



MÉTODOS EXPERIMENTALES PARA LA FORMULACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE PASTAS Y VIDRIADOS DE GRES APLICABLES AL DISEÑO DE OBJETOS CERÁMICOS

CENTRO DEL DISEÑO
Y DE LA CONSTRUCCIÓN

textosuniversitarios

Sergio Ruiz García
Laura Patricia Mata Jurado

**MÉTODOS EXPERIMENTALES
PARA LA FORMULACIÓN
Y CARACTERIZACIÓN DE PASTAS
Y VIDRIADOS DE GRES APLICABLES
AL DISEÑO DE OBJETOS CERÁMICOS**



**MÉTODOS EXPERIMENTALES PARA LA
FORMULACIÓN
Y CARACTERIZACIÓN DE PASTAS
Y VIDRIADOS DE GRES APLICABLES
AL DISEÑO DE OBJETOS CERÁMICOS**

Sergio Ruiz García
Laura Patricia Mata Jurado



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES

Métodos experimentales para la formulación y caracterización de pastas y vidriados de gres aplicables al diseño de objetos cerámicos

Primera edición 2023 (versión electrónica)

Universidad Autónoma de Aguascalientes
Av. Universidad No. 940
Ciudad Universitaria
C.P. 20100, Aguascalientes, Ags.
editorial.uaa.mx
libros.uaa.mx

Laura Patricia Mata Jurado
Sergio Ruiz García

ISBN 978-607-8909-91-9

Hecho en México / *Made in Mexico*



Índice

9	Resumen
13	Introducción
17	Objetivo
21	Clasificación de la cerámica
27	Gres (<i>stoneware</i>)
31	El horno y control de temperatura
37	Métodos para obtención y análisis de pastas
49	Métodos para obtención y análisis de vidriados
71	Bibliografía
75	Anexo



RESUMEN

1



El presente proyecto consta de dos fases, la primera consiste en una propuesta metodológica para la obtención de pastas cerámicas de gres aplicables al diseño y desarrollo de objetos utilitarios y ornamentales a través de modelos experimentales que permitan estimar cualitativa y cuantitativamente parámetros de plasticidad, contracción, porosidad y deformación que la industria de la cerámica demanda, en este manual se explica el uso del método triaxial y el método de adición de materiales consistente en el cálculo proporcional de materiales que componen una pasta y barbotina de gres; se explica el método de análisis para que las formulaciones obtenidas sean sometidas a los parámetros mencionados para seleccionar las que cuenten con mejores resultados, utilizadas para producir objetos por procesos de modelado manual, torneado y moldeo, en el ámbito pedagógico y profesional. La segunda fase consiste en el uso de métodos experimentales para el desarrollo de vidriados cerámicos de gres para ser utilizados como acabados en piezas cerámicas, se provee la técnica para realizar catálogos y el registro de vidriados con características de brillo, matiz, transparencia, opacidad, color y textura. Ver Figura 1.



Figura 1. Piezas y catálogo de vidriados de gres desarrollados por los autores (1280°C)



INTRODUCCIÓN

2



Los objetos utilitarios y ornamentales fabricados en materiales cerámicos son parte de toda cultura antigua alrededor del planeta, los materiales cerámicos pueden encontrarse en forma de sedimentos naturales en la corteza terrestre o en yacimientos subterráneos; en cada región las características de los barros y arcillas tienen propiedades únicas y diferentes entre sí, es decir, en cada cultura se estableció un sistema productivo acorde a los materiales disponibles y cercanos. Actualmente, la industria de la cerámica se ha desarrollado de manera muy extensa al controlar los compuestos básicos para componer arcillas cerámicas con fines muy precisos tales como la porcelana, la loza o la alfarería. Para este caso, el objeto de estudio se centra en el desarrollo de pastas y vidriados de gres (stoneware en inglés), por su versatilidad al trabajarla por el moldeo (vaciado de barbotina en matriz de yeso) y por los procesos manuales (fabricación por placas, churros y torno entre otros), además de su impermeabilidad; sobre todo por la resistencia mecánica y calidad en sus acabados.

Al utilizar cualquier material cerámico es necesario contar con un marco de referencia, debido a que los procesos para producir piezas de cerámica requieren de un alto grado de experimentación previa al definir el material, los procesos de quema y los acabados finales; una variación mínima en cada parte del proceso puede significar un resultado completamente diferente al preestablecido, por ello existen modelos experimentales para determinar tanto los materiales como las condiciones de transformación acorde a los resultados deseados (Wilhide, 2017). El presente manual pretende otorgar la información, los medios y las técnicas para medir los parámetros cuantitativos y cualitativos en el diseño y desarrollo de piezas en gres donde se garantice el control del proceso y materiales a fin de asegurar los resultados previstos.



OBJETIVO

3



El objetivo de este manual consiste en proporcionar métodos y técnicas para implementar fases experimentales en el desarrollo, análisis, evaluación y selección de pastas cerámicas de alta temperatura llamadas gres, así como proporcionar métodos y técnicas para la elaboración de catálogos de vidriados con características de color, translucidez, opacidad, brillantez y textura compatibles con las pastas; todos estos materiales para su aplicabilidad en el diseño y desarrollo de objetos utilitarios y ornamentales. Figura 2.

Objetivos particulares: proponer un modelo de trabajo que permita mejorar la implementación en el ámbito pedagógico, además de difundir el conocimiento a ceramistas locales; generar modelos experimentales que permitan la evaluación tecnológica en materia del diseño de objetos cerámicos en alta temperatura, además de la propuesta de nuevos materiales y tecnologías que coadyuven a la innovación para el diseño de objetos cerámicos.

Con el fin de organizar el proceso experimental, este manual, se divide en dos fases: la primera contempla dos etapas, la primera consiste en el desarrollo de pastas; y la segunda correspondiente al desarrollo de vidriados. Para cada fase se describe un marco teórico y metodologías propias.



Figura 2. Piezas y desarrolladas en gres por los autores
(1240°C)



CLASIFICACIÓN DE LA CERÁMICA

4



La cerámica es un término que se refiere a la elaboración de objetos utilitarios u ornamentales construidos con arcilla, la cual es sometida a un proceso de cocción o quema. Debido a que es una práctica humana presente desde las civilizaciones antiguas, existen diversas manifestaciones que varían por el material utilizado y por la temperatura de cocción.

Actualmente, por cuestiones prácticas, existen variadas formas de clasificarlas, para este manual resulta práctica la identificación que realiza María Fernanda Canal (2004: 11), se resume en la Tabla 1.

	Características	Temperatura de cocción	Pasta resultante
Arcilla roja	Arcilla de color pardo grisáceo a causa de un elevado contenido en óxido de hierro. Es muy plástica y fácilmente fusible cuando se sobrepasa la temperatura de cocción.	800 a 1,000°C	Terracota
Arcilla blanca	Arcilla de color gris claro en estado húmedo, aunque el color final, una vez cocida, es marfil o blanquecino. Su contenido en óxido de hierro es prácticamente nulo. Es muy plástica.	1,050 a 1,150°C	Loza
Arcilla de Gres	Compuesta por arcillas refractarias, cuarzos, caolines y feldespatos. Su color en estado húmedo es gris oscuro negruzco, pero una vez cocida se transforma en color marfil rosado. Si se sobrepasa la temperatura tiende a hincharse. Se considera una arcilla de alta temperatura.	1,100 a 1,300°C	Gres
Arcilla de porcelana	Arcilla muy pura compuesta por caolín, cuarzo y feldespato, con nulo contenido en óxido de hierro. Su color en estado húmedo es gris claro, aunque una vez cocida se torna blanca. Es muy poco plástica. Se considera una arcilla de alta temperatura.	1,300 a 1,400°C	Porcelana

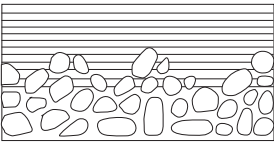
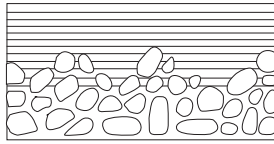
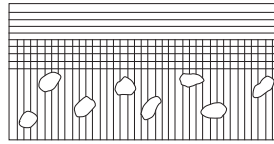
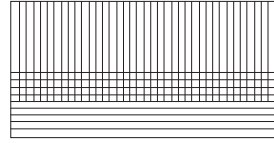
Características de la pasta resultante	Esquema de la sección de la pasta	
<p>Presenta una alta proporción de impurezas, fácilmente observables con ayuda de una lupa. Asimismo, la observación en detalle revela una textura áspera, no demasiado densa y porosa.</p>	<p>Sección de la pasta de terracota: son visibles las partículas de arcilla separadas entre sí y la capa superior de barniz.</p>	
<p>Al igual que la terracota, posee una alta proporción de impurezas calcáreas. La pasta presenta una textura muy porosa, áspera y poco densa.</p>	<p>Sección de la pasta de loza: son visibles las partículas de arcilla separadas entre sí y la capa superior de barniz.</p>	
<p>La pasta es de color blanco cremoso a marfil rosado, de aspecto áspero y estructura granular. Presenta una textura con mezcla de cristales e impurezas de color. No es porosa, sino opaca y dura. Soporta la rayadura del acero y vitrifica de forma parcial.</p>	<p>Sección de la pasta de gres: contiene algunas impurezas y se observa la fusión entre el vidriado y la arcilla.</p>	
<p>La pasta, una vez cocida es de color blanco diáfano. Tiene una estructura densa, no porosa, y vitrificada de color uniforme y granulado fino. Su aspecto es fino y liso.</p>	<p>Sección de la pasta de porcelana: su estructura es regular y densa; hay una fusión total entre la arcilla y el vidriado.</p>	

Tabla 1. Clasificación, características y temperatura de quema de la cerámica

Fuente: Canal, M. F. (2004), *Conservar y restaurar cerámica y porcelana*. Barcelona: Parramón.



GRES (*STONEWARE*)

5



El gres o *stoneware* (llamado así por su aspecto pétreo) es un compuesto de materiales a partir de los cuales se obtienen piezas con baja o nula porosidad, esto se debe a la temperatura a la que es sometida: la vitrifica. Asimismo, tiene alta plasticidad y se puede trabajar tanto por medios manuales como para vaciados (Hooson, 2012). Se destaca, entre otros tipos de cerámica, por su opacidad y alta densidad; por ser vítrea, brinda cualidades sonoras características; por ser de gran dureza es capaz de soportar la rayadura del acero templado (Canal, 2004), en la escala de Mohs –que consiste en comparar la dureza del diamante (10) y el talco (1)–, los vidriados de gres tienen una dureza de 5.5, comparable con el vidrio.

Las pastas cerámicas de gres consisten en una mezcla de arcillas con otros materiales, dicha mezcla permite la obtención de diversas piezas a través de diferentes técnicas de transformación manuales y de moldeo. La cocción a diferentes temperaturas permite su endurecimiento para adoptar la forma deseada. Estas pastas están compuestas principalmente por tres componentes básicos (Vázquez Malagón, 2001):

- Arcillas: este material, que se puede encontrar en los sedimentos provocados por la erosión de materiales rocosos, confiere plasticidad y existen diversos tipos para ser horneados a diferentes temperaturas. Para la elaboración de *stoneware* se utilizan las arcillas de bola y el caolín.
- Sílice: aunque este material se funde a temperaturas por encima de los 1700°C, funciona para controlar la contracción, además de evitar cuarteaduras o rupturas durante el proceso de cocción.
- Feldespatos: tienen la función de actuar como fundentes controlando la cocción de la pasta. Es importante considerar que existen dos tipos de feldespatos, los sódicos y los potásicos; para el desarrollo de pastas se recomienda el sódico (Vázquez Malagón, 2005).

Existen diversas formas de seleccionar los tipos de pastas cerámicas, para este manual, se tomó en cuenta el criterio de la temperatura de cocción para la obtención del gres o *stoneware* y porcelana o pastas de alta temperatura. Este tipo de pastas son procesadas en un rango de temperatura de 1200°C a 1300°C (Hooson, 2012).



**EL HORNO Y EL CONTROL
DE TEMPERATURA**

6



DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA

En el apartado donde se describe la clasificación de la cerámica se menciona la temperatura de quema como uno de los factores que determinan las características del gres, el cual puede ser procesado en el rango de 1200°C a 1300°C. Actualmente existen controladores electrónicos y pirómetros que permiten monitorear la temperatura de quema dentro del horno, además de la posibilidad de programar el tiempo, esto permite realizar quemas muy específicas programando rampas, donde se calculan las variaciones de temperatura y tiempo; esta tecnología se remonta a la segunda mitad del siglo XX y el antecedente más cercano para el control de quemas se remonta a la primera mitad del mismo.

Edward Orton, químico dedicado a la industria cerámica, desarrolló materiales cerámicos en forma de cono capaces de indicar la relación temperatura-tiempo cuando éstos colapsan, de este desarrollo tecnológico surge la escala Orton (Vivas, 2016), donde se clasifican los conos pirométricos y se estandarizan los valores de cocción; dichos valores se muestran en la Tabla 2, también se puede apreciar el valor de la quema en conos 8 y 9, que se encuentra en el límite superior de la quema del gres.

Cono grande estándar No.	Aumento de temperatura por hora		
	60°C	100°C	150°C
Cono 022	585		600
Cono 021	602		614
Cono 020	625		635
Cono 019	668		683
Cono 018	696		717
Cono 017	727		747
Cono 016	764		792
Cono 015	790		804
Cono 014	834		838
Cono 013	869		852
Cono 012	866		884
Cono 011	886		894
Cono 010	887		904
Cono 09	915		923
Cono 08	945	950	955
Cono 07	945	978	955
Cono 06	991	995	999
Cono 05	1031	1036	1046
Cono 04	1050	1055	1060
Cono 03	1086	1092	1101
Cono 02	1101	1110	1120
Cono 01	1117	1127	1137
Cono 1	1136	1145	1154
Cono 2	1142	1150	1162
Cono 3	1152	1160	1163
Cono 4	1168	1176	1186
Cono 5	1177	1186	1198
Cono 6	1201	1210	1222
Cono 7	1215	1227	1240
Cono 8	1236	1248	1264
Cono 9	1260	1270	1280
Cono 10	1285	1294	1305

Tabla 2. Rangos de temperatura para cada cono pirométrico
Fuente: Vázquez Malagón, Emma del Carmen. (2005). *Materiales cerámicos. Propiedades, aplicaciones y elaboración*. México: Centro de Investigaciones de Diseño Industrial, UNAM.

Condiciones de cocción y control de temperatura en el horno

La cocción de piezas cerámicas supone uno de los procesos determinantes para la obtención de resultados deseados, los procesos previos suponen esfuerzo y tiempo invertidos, por esta razón es importante tomar en cuenta diversos factores para que el proceso de quema se realice de manera efectiva. El primer factor a tomar en cuenta es la quema por monococción, o dos quemas (sancocho y quema de esmalte), generalmente se opta por la quema doble, esto se debe a que el sancocho permite estructurar la pieza para poder trabajar el vidriado de manera más segura, además de diagnosticar posibles defectos de las piezas que se harán aparentes después de este proceso; el siguiente factor consiste en introducir las piezas completamente secas, la presencia de agua durante la quema provoca el estallamiento de la pieza dentro del horno, además pone en riesgo las piezas adyacentes y los componentes internos del horno. Vázquez Malagón propone 850°C; Arturo Muñoz, profesor del centro de Artes y Oficios de Aguascalientes, propone 1050°C, después de diversas pruebas se sugiere optar por la segunda, debido a que a 850°C se producen poros después de la quema a conos 8 y 9.

El incremento de temperatura dentro del horno es crucial. Chavarría (2009) propone que en la primera etapa de quema, hasta los 200°C, se lleve a cabo un incremento lento de temperatura para eliminar por completo la humedad relativa de las piezas. A partir de los 200°C, incrementar la temperatura hasta los 500°C, cuando el sílice se licúa y se dilata, para este caso, es necesario ralentizar el tiempo de incremento de temperatura; pasados los 600°C se puede acelerar el incremento hasta llegar a la temperatura de fusión del vidriado. Con base en este criterio, Vázquez Malagón propone la programación del horno a partir de “rampas” en las que se atienden los fenómenos descritos. A continuación se muestran los rangos de temperatura y los tiempos para cada uno:

- 0°C a 100°C, subir 100 °C/hora
- 100°C a 500°C, subir 150 °C/hora
- 500°C a 600°C, subir 100 °C/hora
- 600°C a temperatura final, subir 150°C/hora
- Mantener la última temperatura 30 minutos (esto aplica sólo para esmaltes, promueve una fusión completa de todos los reactivos)

Para el desarrollo de este manual se utilizó un horno eléctrico marca Sasabe, por lo cual es importante incluir el listado de sugerencias propuestas por el proveedor, para la colocación de las piezas en su interior:

1. Coloque en el fondo del horno la placa refractaria (o 2 mitades).
2. A partir de allí vaya construyendo su carga de acuerdo con el tamaño de las piezas.
3. Evite que las placas refractaria queden frente a las resistencias y busque la manera de traslapar, de tal suerte que el calor fluya entre los pisos.
4. Coloque los pisos más altos de la mitad hacia abajo.
5. Las placas refractaria deben estar separadas en altura al menos el área de dos resistencias.

6. Es preferible que las menores separaciones sean de la mitad hacia arriba.
7. Procure que las piezas estén lo más seco posible para evitar rotura.
8. Coloque la cuña que va con el horno, en la parte de frente, a un lado de la jaladera, esta tiene diferentes alturas, ponga el lado con 1.5" hasta que la temperatura alcance unos 180-200°C, esto es para que salga la humedad que pueda retener las piezas.
9. Después de ese tiempo, retire con cuidado la cuña levantando ligeramente la tapa, hágalo con un guante y el horno debe quedar cerrado para efectuar la quema programada
10. No tape el agujero (mirilla) esto es para que los gases de ignición tengan por donde escapar.
11. Evite golpear el termopar (sensor) que se encuentra a la mitad de la altura interior del horno, esto dañaría el equipo.
12. El programa del horno tiene una permanencia a la temperatura a que quiere quemar, esto hará que sus piezas tengan mejor apariencia.
13. No ponga piezas o placas en el borde del horno se dañarán los ladrillos y después no cerrará bien la tapa, tampoco ponga cosas sobre el horno.

**MÉTODOS PARA OBTENCIÓN
Y ANÁLISIS DE PASTAS**

7



El objetivo que se persigue en este apartado consiste en aplicar los métodos para el control de porcentajes, en la combinación de materiales que intervienen en el desarrollo de pastas cerámicas, y comprender el comportamiento de los materiales cerámicos al variar sus porcentajes, determinación y aplicación de protocolos, métodos y técnicas para el análisis, evaluación y elección de pastas cerámicas; además de la implementación de mejoras estructurales y de porosidad por el método de adición de materiales. Se propone una metodología que contempla dos etapas, la primera consiste en el manejo de los tres elementos básicos de una pasta de gres; la segunda consiste en agregar materiales a las pastas seleccionadas con el fin de mejorar sus cualidades básicas, tomando en cuenta las curvas de incremento de temperatura en los procesos de sancocho y quema vistos en el capítulo anterior; los resultados serán evaluados por diversos indicadores que se describen a continuación.

METODOLOGÍA

La experimentación y el análisis de resultados nos permite conformar un marco teórico del comportamiento de las diferentes combinaciones de materiales (Hooson, 2012).

ETAPA 1 (APLICACIÓN DEL MÉTODO TRIAXIAL)

Debido a que las pastas cerámicas están constituidas por tres elementos básicos: arcilla-sílice-feldespato, se propone la aplicación del método triaxial para poder encontrar y controlar la combinación idónea en el rango de temperatura deseado. De este método se deriva el siguiente triángulo donde se pueden notar las posibilidades de combinación entre los tres materiales, cada combinación es un triángulo que en su vértice superior representa el porcentaje de materia arcilloso, el vértice inferior izquierdo representa el porcentaje de sílice y el inferior derecho el feldespato (Vázquez Malagón, 2001).

El área seleccionada corresponde a las combinaciones ideales para el desarrollo de la pasta deseada. En la Figura 3 se puede observar que las posibles mezclas oscilan en los siguientes rangos:

50% a 70% de material arcilloso (combinación de arcilla de bola OM4 al 75% y caolín al 25%), 10% a 30% de sílice, 10% a 30% de feldespato (Vázquez Malagón, 2005), al contemplar variaciones del 10% se obtienen siete mezclas a evaluar (8, 9, 12, 13, 14, 18 y 19). De acuerdo con esta delimitación, cada formulación está codificada por el porcentaje de cada material que le corresponde, así como un número de identificación.

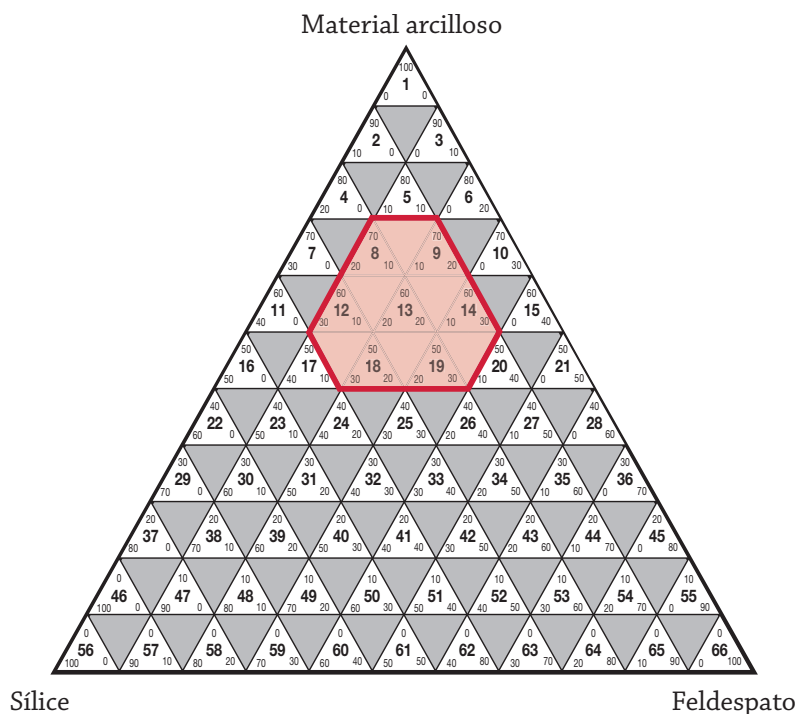


Figura 3. Delimitación de formulaciones para el desarrollo de pasta de gres, en el modelo triaxial

Para controlar las pruebas en el taller, se requiere la elaboración de 200 gramos de pasta correspondiente para cada formulación, debido a que se requieren cuatro probetas que se esquematizan más adelante en este mismo capítulo, las cuales pesan aproximadamente 50 gramos, para ser horneadas en cono 8 y 9, para ser sometidas a pruebas de plasticidad, contracción, deformación y porosidad, bajo el siguiente criterio (Peterson, 2002):

- Una placa horneada en cono 8 para prueba de encogimiento.
- Una placa horneada en cono 8 para prueba de deformación y absorción.
- Una placa horneada en cono 9 para prueba de encogimiento.
- Una placa horneada en cono 9 para prueba de deformación y absorción.
- En la Tabla 3 se pueden apreciar los porcentajes de cada formulación para obtener las mezclas.

No.	Arcillas		Total Arcillas	Sílice	Feldespato Sódico	Sumatoria
	OM4 (75%)	Caolin (25%)				
8	52.5	17.5	70	20	10	100
9	52.5	17.5	70	10	20	100
12	45	15	60	30	10	100
13	45	15	60	20	20	100
14	45	15	60	10	30	100
18	37.5	12.5	50	30	20	100
19	37.5	12.5	50	20	30	100

Tabla 3. Porcentajes para cada formulación derivadas del método triaxial

TÉCNICAS DE ANÁLISIS

MEDICIÓN DEL ÍNDICE DE CONTRACCIÓN

El índice de contracción de una pasta cerámica se refiere al encogimiento que sufre durante el proceso tanto de deshidratación como en las quemas en el horno, por lo que, una vez realizadas las formulaciones, se debe obtener una pasta para cada número de identificación (número de formulación y cono de quema) a fin de obtener placas de prueba (probetas) para su análisis, que consiste en una barra de 15 cm x 2.5 cm y 7 mm de espesor, la cual cuenta con una línea de 10 cm para medir la contracción durante el proceso, debe oscilar entre 12% y 15% (Peterson, 2002), como se aprecia en la Figura 4. Se deben llevar a cabo dos mediciones durante el proceso, la primera se realiza con la probeta en verde (antes del proceso de quema y cuando pierde la humedad) y la segunda después de la quema en la temperatura correspondiente.



Figura 4. Medición de la probeta posterior a la quema

EVALUACIÓN CUALITATIVA DE LA PLASTICIDAD

El índice de plasticidad de una pasta cerámica se refiere a la flexibilidad de ésta durante el moldeo sin que pierda cohesión y homogeneidad, a menor plasticidad mayor riesgo de fracturas o agrietamientos. Cada formulación se debe someter a una prueba cualitativa de plasticidad que consiste en hacer una barra y enrollarla para determinar si cuenta con la propiedad de ser modelada por procedimientos manuales. Una pasta considerada como plástica no debe generar grietas o cuarteaduras, debe adaptarse a la forma de espiral, en cambio, si presenta cuarteaduras se considera como una pasta poco plástica (Vázquez Malagón, 2001). Como se muestra en las Figuras 5 y 6.



Figura 5. Pasta que presenta buena plasticidad



Figura 6. Pasta con baja plasticidad

MEDICIÓN DEL ÍNDICE DE DEFORMACIÓN

Debido a que las piezas de cerámica son horneadas a alta temperatura, su composición molecular sufre cambios durante ese proceso, su importancia radica en la necesidad de contar con un material que no deforme las piezas una vez que culmine su proceso dentro del horno. Para evaluar el índice de deformación de cada formulación, durante el proceso de quema cada probeta debe estar suspendida sobre dos soportes separados que coincidan con los extremos de la línea de medición de 10 cm. El índice de deformación se mide por el encorvamiento que sufre la probeta plana al ser suspendida en dos puntos durante el horneado, como se aprecia en las figuras 7, 8 y 9. (Vázquez Malagón, 2001).



Figura 7. Izquierda: Probetas colocadas en el horno antes de ser horneadas

Figura 8. Derecha: Probetas después de la quema, donde se aprecian los diferentes grados de deformación

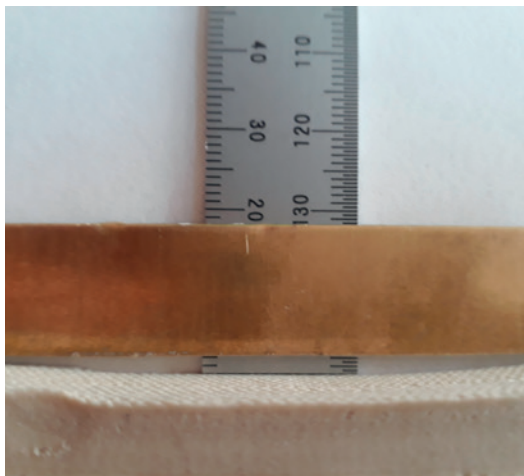


Figura 9. Medición en mm

MEDICIÓN DEL ÍNDICE DE ABSORCIÓN (POROSIDAD)

Una de las características que resaltan de los materiales cerámicos de alta temperatura es la nula o casi nula absorción de agua, la impermeabilidad le confiere ventajas como la imposibilidad de contaminación por líquidos o sólidos a contener y mayor durabilidad entre otros. Para obtener el nivel de absorción, es necesario pesar las probetas horneadas, después dejarlas reposar por 48 horas en agua y finalmente hervirlas en agua por dos horas, Figura 10. Una vez terminado este proceso, fueron pesadas nuevamente para saber la cantidad de líquido absorbido (Vázquez Malagón, 2001).



Figura 10. Proceso de hervido

ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA ETAPA 1

En la Tabla 4 se muestran las siete formulaciones elegidas por el método triaxial y las casillas para el registro de los valores obtenidos en los cuatro parámetros que caracterizan las pastas cerámicas: plasticidad, absorción, contracción y deformación. Se sugiere con color marrón ■ los resultados menos favorecidos; con color beige ■ los que se encuentran cercanos al promedio y las formulaciones que incluyen los resultados más desfavorables se descartan, quedando las formulaciones marcadas en azul ■. Adicionalmente, los resultados permiten observar el comportamiento que experimentan las diferentes formulaciones, se prevé que aquellas con mayor cantidad de arcilla pueden presentar un alto grado de plasticidad; sin embargo, son más porosas y susceptibles a absor-

ber líquidos, mayor índice de contracción y deformación. Por su parte, las arcillas con mayor cantidad de feldespato y sílice presentan la tendencia a un menor grado de contracción y porosidad, este mapeo es de gran importancia para elegir la pasta que más convenga, por ejemplo, si el ceramista trabaja principalmente mediante el vaciado en moldes, convendrá tener una pasta con mayor cantidad de feldespato y sílice, y si el ceramista trabaja principalmente por procesos manuales le será favorable una pasta más plástica con mayor cantidad de arcilla.

No.	Plasticidad	Absorción (gr)			Contracción				Deformación mm
		Peso 1	Peso 2	%	1 (verde)	sancocho	cono 8	%	mm
8	Muy buena	40.6	42.95	5.47	95.5	93.5	88.6	11.4	1.26
9	Muy buena	39.4	40.2	1.99	94.6	94.3	87.6	12.4	2.29
12	Buena	40.4	43.45	7.02	94.9	93.9	89.8	10.2	2.68
13	Buena	41.7	42.95	2.91	94.1	95.4	89.4	10.6	0.91
14	Buena	39.9	40.5	1.48	94.8	94.8	88.4	11.6	2.47
18	Regular	44.7	46.4	3.66	94.5	95.3	89.9	10.1	2.83
19	Regular	46.5	47.6	2.31	95.8	95.8	91.2	8.8	2.15

Tabla 4. Tabla de resultados para el análisis de la etapa 1 (método triaxial)

ETAPA 2 (método de adición de materiales)

Esta etapa consiste en mejorar las cualidades de porosidad, deformación y contracción, la técnica a emplear será la adición de materiales que químicamente optimicen las características mencionadas, para lo que se propone el uso de talco cerámico con un incremento del 1% al 5%, la Tabla 5 muestra los valores para cada formulación.

ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA ETAPA 2

Una vez que las probetas sean sometidas al proceso de horneado, se lleva a cabo la medición del índice de contracción, la evaluación cualitativa de la plasticidad, la medición del índice de deformación y la medición del índice de absorción (porosidad). Los resultados se expresan en el mismo formato de la Tabla 4.

De acuerdo al criterio empleado para el análisis de la tabla 3, los resultados serán interpretados por los propios ceramistas.

No.	Plasticidad *	Absorción (grms)			Contracción				Deformación (mm)
		Peso 1	Peso 2	%	1 (verde)	sancocho	cono 8	%	mm
12-1	Buena	36.2	37.9	4.49	93.4	92.3	87.6	12.4	1.2
12-2	Buena	37.2	38.7	3.88	94.5	94.5	88.3	11.7	1.1
12-3	Buena	38.3	39.7	3.53	94.4	93.5	88.1	11.9	0.7
12-4	Buena	36.8	38.4	4.17	94.4	93.7	88.1	11.9	2
12-5	Buena	42.1	43.2	2.55	94.2	94	88.3	11.7	1.3
13-1	Muy buena	35	35.7	1.96	92.9	92.4	85.2	14.8	2
13-2	Muy buena	36.8	37.2	1.08	93.4	92.6	86.2	13.8	0.7
13-3	Muy buena	37.2	38.1	2.36	93.2	92.8	86.3	13.7	1
13-4	Muy buena	37.5	38	1.32	93.2	92.7	85.4	14.6	2.5
13-5	Buena	37.9	38.1	0.52	93.6	93.5	85.3	14.7	2
14-1	Buena	38.5	38.6	0.26	93.1	92.8	84.5	15.5	1.6
14-2	Buena	36.9	37.3	1.07	92.3	91.6	84.3	15.7	1.7
14-3	Regular	35.7	36.1	1.11	92.6	92.2	85.3	14.7	0.2
14-4	Regular	37.3	37.5	0.53	93.3	93	86.2	13.8	0.5
14-5	Regular	39.1	39.2	0.26	93.2	92.4	85.5	14.5	2.2

Tabla 5. Formulaciones de la etapa 1 con adición de talco (1 al 5%) etapa 2

El proceso de experimentación propuesto para ambas etapas proporciona los medios para diseñar arcillas propias, además se pueden ampliar las perspectivas de búsqueda de nuevas formulaciones a diferentes temperaturas de quema. Una vez concluida esta fase, que consiste en el desarrollo de pastas, se sugiere el prototipo de piezas acorde al sistema productivo que se tenga en mente, sea modelado manual (torno, placas, churros, etc.) o por vaciado.

Como complemento de este apartado, se describen las técnicas para la elaboración de probetas para el análisis y selección de pastas.

ELABORACIÓN DE PROBETAS

En este apartado se muestra el diseño y las técnicas de construcción de las probetas para experimentar con las diferentes combinaciones de materiales en ambas fases del proyecto. La primera opción consiste en una probeta moldeada en cavidades de yeso y la segunda por medio de placas recortadas manualmente. Ambos tipos se describen de manera más detallada a continuación.

DISEÑO Y PRODUCCIÓN DE PROBETA PARA EL ANÁLISIS DE PASTAS

Proceso de moldeado por cavidades de yeso

En la etapa 1 se desarrollan siete formulaciones de pastas, de acuerdo con la delimitación del modelo triaxial, de las cuales se requieren 28 probetas para los diferentes tipos de análisis: plasticidad, contracción, deformación y porosidad. Para la etapa 2, la cantidad de probetas requeridas dependerá de la cantidad de formulaciones a mejorar. Cada probeta es una barra de 15 cm x 2.5 cm y 7 mm de espesor, la cual cuenta con una línea de 10 cm para medir la contracción durante el proceso; además cuenta con un espacio para colocar de manera manual el número de identificación (número de formulación y cono de quema), Figura 11.

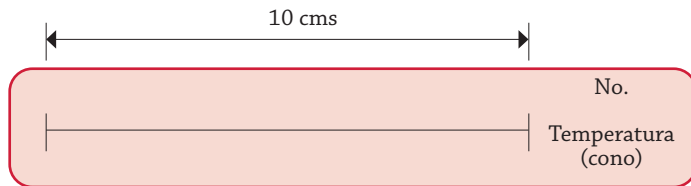


Figura 11. Probeta para el desarrollo de pastas

Para su elaboración es necesario modelar cuatro matrices con el diseño mostrado en la Figura 6, posteriormente se registran en un molde de yeso. Las cavidades resultantes funcionan como moldes para las formulaciones, se obtienen cuatro piezas de cada formulación para poder cubrir el análisis. Este proceso se aprecia en las Figuras 12, 13 y 14.



Figura 12. Izquierda: Molde de yeso de cuatro cavidades
Figura 13. Derecha: Elaboración de cuatro probetas para cada formulación



Figura 14. Aspecto de las probetas después de ser moldeadas, identificadas y antes de ser pulidas

Proceso manual por placas y recorte

Otra técnica para construir las probetas es por medio manual. Con la ayuda de una lona de tela, dos guías de 7 mm de espesor y un rodillo se conforman las placas, para poder cortar y marcar las probetas. Este proceso se puede apreciar en las Figuras 15 y 16. La producción manual permite conocer la plasticidad de cada formulación, se elaboran 500 gramos de cada una para producir placas, se cortan las cuatro probetas a medida (15 cm x 2.5 cm) y se realizan las marcas de contracción e identificación.



Figura 15. Izquierda: Elaboración de placas

Figura 16. Derecha: Probetas recortadas, marcadas e identificadas listas para el proceso de quema

**MÉTODOS PARA LA OBTENCIÓN
Y ANÁLISIS DE VIDRIADOS**

8



El objetivo para esta etapa del proceso consiste en establecer a través de la experimentación, un método práctico para la obtención de acabados cerámicos, que permita controlar el comportamiento químico de los materiales utilizados para la obtención de diferentes características físicas de color, textura, brillo, transparencia y opacidad en una serie de vidriados de alta temperatura, en los rangos del gres que oscilan entre los 1200 °C y los 1300 °C, realizados con materiales disponibles en la localidad, con la finalidad de que el ceramista desarrolle su propio catálogo físico de vidriados deseados para la obtención de piezas cerámicas. La práctica de este método permitirá al ceramista diseñar sus propios acabados conforme a su perfil estético y para fines de comercialización en objetos utilitarios y ornamentales.

VIDRIADOS DE ALTA TEMPERATURA

Los vidriados cerámicos, también llamados esmaltes o barnices, están compuestos principalmente por materiales en polvo mantenidos en suspensión en agua, cuando entran en contacto con la superficie porosa de una pieza de pasta cerámica se adhieren a ésta por causa de la absorción de humedad (Constant, 1996), y al fundirse dentro del horno forman una capa vítrea. Cabe mencionar que existe una relación intrínseca entre el material arcilloso y el vidriado, ya que, sin el primero, el segundo no puede ser procesado de manera aislada.

Los vidriados son importantes por diferentes razones: en piezas de carácter funcional son útiles para dar un acabado en la superficie de una pieza arcillosa, confiriéndole suavidad, ausencia de porosidad y, por consiguiente, la posibilidad de tener una pieza higiénica; por otro lado, en un sentido simbólico, el acabado representa una forma de expresión estética a través del brillo, textura, opacidad y color. Los vidriados se clasifican de acuerdo a diversas condiciones (Chavarría, 2009):

- Por la temperatura de quema: baja (920 °C-1050 °C), media (1050 °C- 1,150 °C), alta (1,150 °C-1280 °C) y muy alta (1,280 °C-1,400 °C). En este manual se trabaja con alta temperatura.
- Por su preparación: crudos y fritados. Los crudos son materiales que se mezclan en polvo y se hidratan para adherirlos a la superficie porosa de las piezas cerámicas. Los fritados consisten en “fritar” en un horno componentes tóxicos, principalmente los que contienen plomo, esto coadyuva a nulificar su toxicidad. Los de alta temperatura no contienen plomo, por consiguiente, son considerados crudos, como es el caso de los trabajados en este manual.
- Por sus componentes químicos: se clasifican en plúmbicos, alcalinos y feldespáticos. Generalmente los vidriados de baja temperatura utilizan fundentes acordes al rango de temperaturas de 920 °C a 1150 °C, que son los materiales plúmbicos y los alcalinos. En cambio, los de alta temperatura utilizan el feldespato sódico, por su resistencia a los rangos de 1150 °C a 1400 °C, por lo tanto, los que se utilizan para este manual son feldespáticos.
- Por la atmósfera del horno: oxidantes y reductores. Los oxidantes se procesan generalmente en hornos de gas o eléctricos, donde existe un flujo de aire y por consiguiente promueve la oxidación durante la quema. En cambio, en las atmósferas reductoras no hay presencia de oxígeno donde se puede regular la entrada del aire, esto se consigue en hornos de gas o de leña, es importante mencionar que los esmaltes reductores son experimentales y su control es impreciso e impredecible. Para este manual se utiliza el primero.

De acuerdo con esta clasificación, se afirma para este manual la producción de esmaltes de alta temperatura, crudos, feldespáticos y oxidantes.

METODOLOGÍA

FASE 2. DESARROLLO DE VIDRIADOS

Se establece un proceso basado en cuatro etapas para la formulación de vidriados cerámicos (Vázquez Malagón, 2005). El objetivo es obtener bases para vidriados en la primera etapa, que consiste en la combinación básica de tres componentes para visualizar características de opacidad y transparencia, además de brillo o textura. Es importante mencionar que de estas bases no se obtienen vidriados definitivos, ya que requieren agregados que les confieran otras cualidades que se reflejan en las etapas siguientes; en dichas etapas se agregan componentes que permiten mejorar la fusión (etapa 2), opacificar (etapa 3) y, por último, conferirles color (etapa 4). Al igual que en la fase de elaboración de pastas, para la etapa básica se usa del método triaxial, en las siguientes etapas se utiliza el método de adición de materiales en diferentes porcentajes.

DISEÑO Y DESARROLLO DE PROBETAS PARA LAS ETAPAS 1, 2 Y 3

Para poder realizar las pruebas correspondientes en cada formulación, es necesario contar con “probetas” realizadas con material arcilloso (ver Figura 17). Estas placas se fabrican de manera manual, con las siguientes características, para ser utilizadas en las etapas 1, 2 y 3:

- Placas cuadradas de 5 cm por lado y 7 mm de espesor.
- Texturizadas para que el vidriado tenga una buena adherencia a la superficie.
- Bajorrelieve para mostrar el comportamiento del esmalte en cambios de superficie, en este caso se muestra el logotipo de Diseño Industrial de la Universidad Autónoma de Aguascalientes.
- Aplicación de marcas con óxidos de cobalto y de hierro con el fin de observar su dilución en el proceso de horneado, esta prueba es útil para diagnosticar si un vidriado sufrirá escurrimientos indeseados.
- Identificación de la formulación y temperatura de quema. Marca con óxido de hierro.

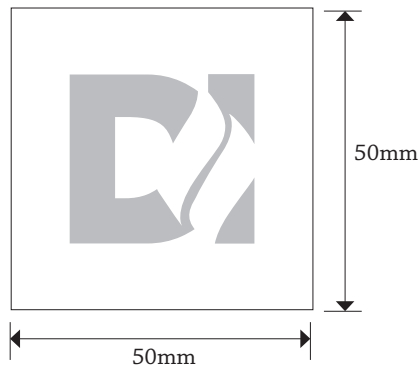


Figura 17. Diseño de probeta para las etapas 1, 2 y 3 de vidriados

Una vez preparada la pasta cerámica, ésta se extiende con un rodillo para lograr una placa de 6 mm de espesor, Figura 18. Para que ésta sea regular, el rodillo se apoya en dos guías laterales, se moldea sobre una manta texturizada que permite que la probeta tenga la superficie deseada para la adherencia del esmalte.



Figura 18. Modelado en placas para la elaboración de probetas

Como se muestra en la Figura 19, una vez modelada la placa, se mide, se escuadra, se corta y se sella con el logotipo para obtener las probetas de 5 cm x 5 cm marcadas con el bajo relieve del logotipo o figura.



Figura 19. Secado de las probetas

Como se muestra en las Figuras 20 y 21, las probetas son dejadas secar a la intemperie para que pierdan humedad y pueda realizarse posteriormente la quema de sancocho, que es la primera quema (1050 °C), cuando las piezas van a ser esmaltadas.

Después de la quema de sancocho, las probetas son marcadas con óxido de hierro con la identificación de la formulación de vidriado o esmalte que se le aplicará, así como la temperatura de quema.



Figura 20. Izquierda: Marcaje de probetas
Figura 21. Derecha: Formulaciones de vidriados y conos de quema

En la Figura 22, las probetas son quemadas en el horno eléctrico bajo el sistema de programación que permite administrar rampas de temperatura hasta llegar a la temperatura deseada, Figura 23.



Figura 22. Colocación de probetas en horno eléctrico para quema de esmaltes



Figura 23. Pobetas planas realizadas con placas en sus tres estados: verde, sancocho y esmalte

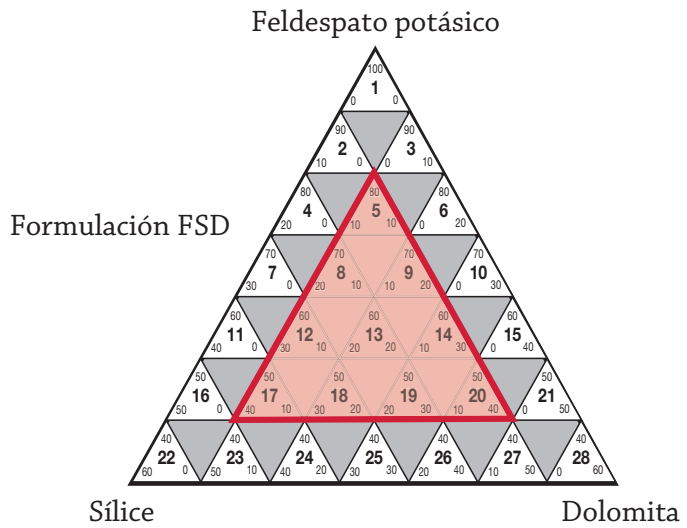
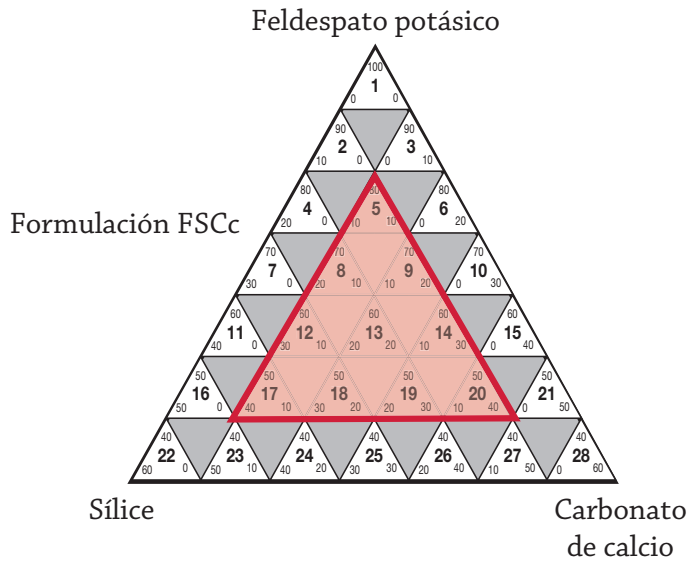
ETAPA 1. BASES

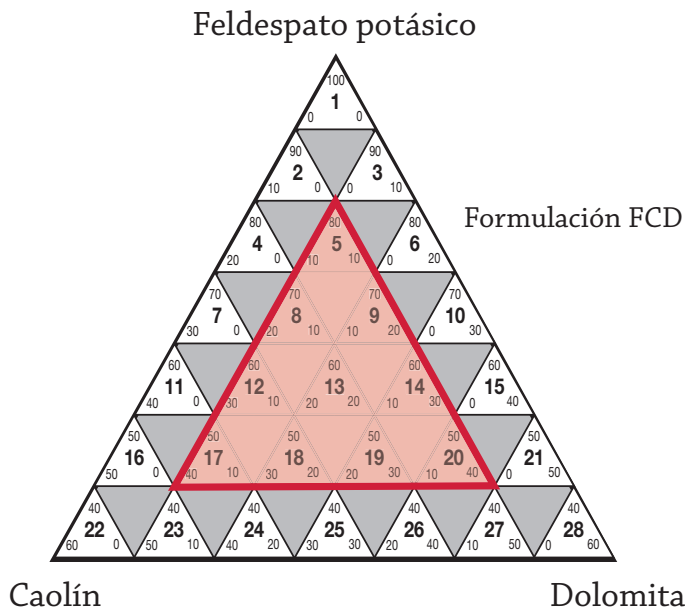
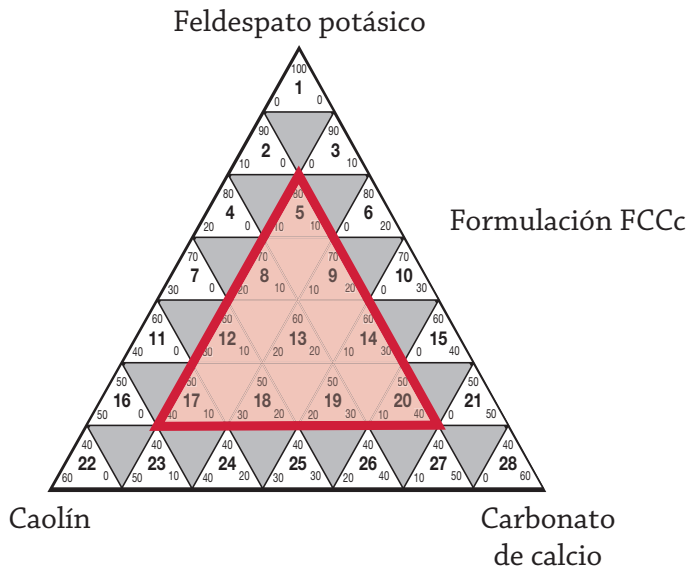
Una composición básica consta de tres elementos: un material fundente (feldespato potásico) y dos vitrificantes (carbonato de calcio, dolomita, sílice y caolín). Para este caso, se utilizan las siguientes claves para identificar las combinaciones:

- feldespato + sílice + carbonato de calcio (FSCc)
- feldespato + sílice + dolomita (FSD)
- feldespato + caolín + carbonato de calcio (FCCc)
- feldespato + caolín + dolomita (FCD)

De este criterio se obtienen cuatro modelos triaxiales¹ en los que se delimitan las muestras que se llevan a cabo, el criterio consiste en que el material principal para la elaboración de un vidriado es el feldespato potásico; una proporción menor al 50% degrada la muestra, las franjas con 0% de cada componente también son delimitadas. Se sugiere realizar las pruebas por lo menos a dos temperaturas con la finalidad de contrastar resultados y elegir los más convenientes. Como consecuencia de este criterio, sólo se llevan a cabo las 10 formulaciones delimitadas en las imágenes de los modelos triaxiales (5, 8, 9, 12, 13, 14, 17, 18, 19 y 20). Ver Figuras 24, 25, 26 y 27.

1 Para entender mejor este modelo, es necesario consultar la etapa 1 del apartado referente al desarrollo de pastas.





Figuras 24, 25, 26 y 27. Modelos triaxiales para la etapa de bases

De las cuatro combinaciones se obtienen claves para cada formulación, las tablas de porcentajes y pesos correspondientes a la delimitación se muestran en la Tabla 6, que ejemplifica la combinación FSCc.

No.	Porcentajes				Pesos			
	Feld	Silice	CCalcio	Suma	Feld	Silice	Ccalcio	Suma
FSCc5	80	10	10	100	16	2	2	20
FSCc8	70	20	10	100	14	4	2	20
FSCc9	70	10	20	100	14	2	4	20
FSCc12	60	30	10	100	12	6	2	20
FSCc13	60	20	20	100	12	4	4	20
FSCc14	60	10	30	100	12	2	6	20
FSCc17	50	40	10	100	10	8	2	20
FSCc18	50	30	20	100	10	6	4	20
FSCc19	50	20	30	100	10	4	6	20
FSCc20	50	10	40	100	10	2	8	20

Tabla 6. Porcentajes y pesos de 20 gr para la combinación FSCc, etapa 1 (bases)

Para llevar a cabo la muestra de cada formulación a dos temperaturas de cocción, es necesario pesar 20 gramos de cada una. Cada mezcla es introducida en un mortero para agregar agua hasta lograr una sustancia de consistencia lechosa, la proporción de agua varía entre 75% a 100% debido a que cada componente puede ser soluble o insoluble, la sílice no absorbe agua, en cambio, el caolín, al ser un material arcilloso, requiere mayor cantidad de agua para ser procesado. Una vez obtenidos los vidriados, cada probeta previamente identificada debe ser sumergida en una de sus caras para impregnar el vidriado correspondiente, cabe mencionar que este proceso se lleva a cabo en las tres siguientes etapas. En total se realizan 10 formulaciones para cada modelo triaxial, para quemarse en la temperatura elegida, en total se requieren 80 probetas para esta etapa.

El objetivo de la primera etapa consiste en la elaboración de bases o formulaciones básicas, de las cuales serán elegidas las que presenten mejores cualidades para dar paso a la etapa dos. La valoración es de carácter cualitativo, la meta principal consiste en elegir la mayor variedad de efectos que oscilen en las relaciones brillo-matiz y transparencia-opacidad. Tomando en cuenta que en esta etapa hay ausencia de color excepto el blanco.

ANÁLISIS (ETAPA 1, BASES)

En esta primera etapa no se obtienen resultados definitivos para poder elegir algún vidriado, la mayor parte de ellos sufrirá craquelaciones o deformación de las probetas (ver Figura 28), estos fenómenos se deben a que es necesario continuar con la etapa dos, donde a las formulaciones elegidas se agregarán materiales fundentes. Se sugiere elegir dos formulaciones de cada combinación para contar con la mayor variedad de bases que oscilen entre la transparencia y la opacidad, así como el brillo y matiz.

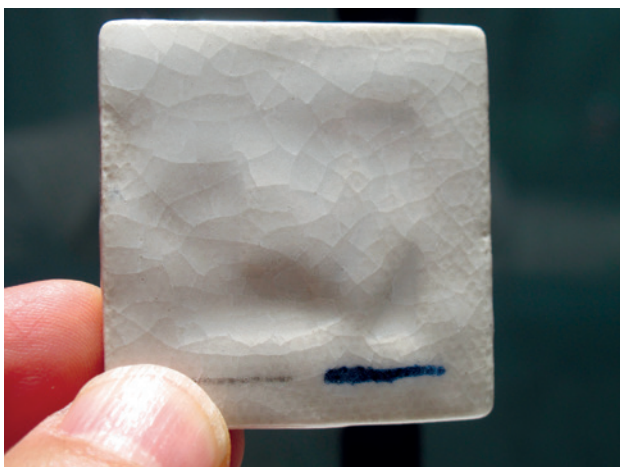


Figura 28. Fenómeno de craquelación suscitada en la mayor parte de las muestras de la etapa 1 de vidriados

ETAPA 2. FUNDENTES

Consiste en agregar un segundo fundente a las formulaciones seleccionadas en la etapa anterior. El objetivo que se persigue es mejorar la fluidez del vidriado con la presencia de un fundente en el momento de la cocción, eliminando craquelaciones en su superficie y reduciendo deformaciones de las probetas.

El modelo triaxial ya no es utilizado en las etapas subsecuentes, en cambio, los compuestos son sumativos a las formulaciones seleccionados de la etapa de bases. Para el caso de esta etapa, Vázquez Malagón (2005) propone los siguientes materiales con la clave asignada para su identificación:

- óxido de zinc (Z)
- carbonato de bario (B)
- dolomita (D)
- carbonato de magnesio (M)
- carbonato de calcio (Cc)

El criterio de adición de estos fundentes es de 5% y 10% para cada una de las ocho formulaciones seleccionadas de la etapa anterior, las combinaciones resultantes son las siguientes:

- Formulación 1 + (fundentes) al 5% y 10%
- Formulación 2 + (fundentes) al 5% y 10%
- Formulación 3 + (fundentes) al 5% y 10%
- Formulación 4 + (fundentes) al 5% y 10%
- Formulación 5 + (fundentes) al 5% y 10%
- Formulación 6 + (fundentes) al 5% y 10%
- Formulación 7 + (fundentes) al 5% y 10%
- Formulación 8 + (fundentes) al 5% y 10%

Con el mismo criterio que la etapa anterior, para cada formulación se deben realizar mezclas de 20 gramos más el fundente, 8 bases multiplicadas por 4 fundentes por dos porcentajes dan como resultado 64 muestras. Para este caso, también se llevan a

cabo quemas en la temperatura definida. Dando como resultado 128 muestras. La Tabla 7 ejemplifica la formulación FSCc5 con la combinación de los fundentes en los dos porcentajes.

No.	Porcentajes					Peso (gramos)					FUND
	F	S	Cc	FUND	SUMA	F	S	Cc	FUND	SUMA	
FSCc5-Z5	80	10	10	5	105	16	2	2	1	21	Óxido de zinc
FSCc5-Z10	80	10	10	10	110	16	2	2	2	22	Óxido de zinc
FSCc5-B5	80	10	10	5	105	16	2	2	1	21	Carb de bario
FSCc5-B10	80	10	10	10	110	16	2	2	2	22	Carb de bario
FSCc5-D5	80	10	10	5	105	16	2	2	1	21	Dolomita
FSCc5-D10	80	10	10	10	110	16	2	2	2	22	Dolomita
FSCc5-M5	80	10	10	5	105	16	2	2	1	21	Carb de mg
FSCc5-M10	80	10	10	10	110	16	2	2	2	22	Carb de mg

Tabla 7. Porcentajes y pesos para las combinaciones FSCc5, etapa 2 (fundentes), a cada clave de formulación se agrega un guion, seguido de la clave del fundente y el porcentaje de adición

ANÁLISIS (ETAPA 2, FUNDENTES)

Después de la quema a los conos correspondientes se podrá notar que el óxido de zinc conserva el brillo y no afecta la transparencia, el mismo caso ocurre con el carbonato de bario. La dolomita también coadyuva a preservar el brillo, pero confiere opacidad; en cambio, el carbonato de magnesio otorga matiz y opacidad.

Es destacable que en esta etapa se van a conformar los primeros vidriados transparentes, además de una gran variedad de blancos semitransparentes, opacos, y con diferentes matices (debido a la gran variedad de acabados que ya se pueden presentar en esta etapa, es necesario iniciar la construcción de un catálogo físico que permita observar cada formulación).

La siguiente etapa se refiere a agregar opacificantes, tiene la finalidad de obtener acabados semitransparentes, blancos y sus diversas combinaciones de brillantez y matiz. El criterio de selección es semejante a la etapa anterior: se sugiere elegir dos formulaciones transparentes brillantes, dos formulaciones blancas brillantes, dos opacas mate y dos semitransparentes semimate.

ETAPA 3. OPACIFICANTES

Como se ha comentado, en la etapa 3 (opacificantes) se agrega un quinto componente a las formulaciones seleccionadas en la etapa dos. El objetivo que se persigue es conferir textura y opacidad del vidriado en el momento de la cocción. Estos opacificantes son sumativos a las formulaciones seleccionadas, Vázquez Malagón (2005) propone los siguientes materiales con la clave asignada para su identificación:

- óxido de titanio (T)
- carbonato de circonio (C)
- óxido de estaño (E)

El criterio de adición de estos compuestos es del 5, 10 y 15% para cada formulación de la etapa dos, las combinaciones resultantes son:

- Formulación 1 + (opacificantes) al 5, 10 y 15%
- Formulación 2 + (opacificantes) al 5, 10 y 15%
- Formulación 3 + (opacificantes) al 5, 10 y 15%
- Formulación 4 + (opacificantes) al 5, 10 y 15%
- Formulación 5 + (opacificantes) al 5, 10 y 15%
- Formulación 6 + (opacificantes) al 5, 10 y 15%
- Formulación 7 + (opacificantes) al 5, 10 y 15%
- Formulación 8 + (opacificantes) al 5, 10 y 15%

Bajo el mismo criterio que la etapa anterior, para cada formulación se realizan mezclas de 20 gramos más el material opacificante, 8 bases multiplicadas por 3 opacificantes, por tres porcentajes, dan como resultado 72 muestras. Para este caso también se sugiere quemar a las mismas temperaturas. Dan como resultado 144 muestras. La Tabla 8 ejemplifica la formulación FCD5-Z10 con la combinación de los opacificantes en los tres porcentajes.

No.	porcentajes					SUMA	
	FELD	CAOLIN	DOL	ZINC	OPACIF		
FCD5-Z10-T5	80	10	10	10	5.50	115.50	
FCD5-Z10-T10	80	10	10	10	11.00	121.00	
FCD5-Z10-T15	80	10	10	10	16.50	126.50	
FCD5-Z10-C5	80	10	10	10	5.50	115.50	
FCD5-Z10-C10	80	10	10	10	11.00	121.00	
FCD5-Z10-C15	80	10	10	10	16.50	126.50	
FCD5-Z10-E5	80	10	10	10	5.50	115.50	
FCD5-Z10-E10	80	10	10	10	11.00	121.00	
FCD5-Z10-E15	80	10	10	10	16.50	126.50	

No.	porcentajes					SUMA	OPACIF
	FELD	CAOLIN	DOL	ZINC	OPACIF		
FCD5-Z10-T5	16.00	2.00	2.00	2.00	1.10	23.10	ox titanio 5%
FCD5-Z10-T10	16.00	2.00	2.00	2.00	2.20	24.20	ox titanio 10%
FCD5-Z10-T15	16.00	2.00	2.00	2.00	3.30	25.30	ox titanio 15%
FCD5-Z10-C5	16.00	2.00	2.00	2.00	1.10	23.10	s circonio 5%
FCD5-Z10-C10	16.00	2.00	2.00	2.00	2.20	24.20	s circonio 10%
FCD5-Z10-C15	16.00	2.00	2.00	2.00	3.30	25.30	s circonio 15%
FCD5-Z10-E5	16.00	2.00	2.00	2.00	1.10	23.10	ox estaño 5%
FCD5-Z10-E10	16.00	2.00	2.00	2.00	2.20	24.20	ox estaño 10%
FCD5-Z10-E15	16.00	2.00	2.00	2.00	3.30	25.30	ox estaño 15%

Tabla 8. Porcentajes y pesos para las combinaciones FCD5-Z10, etapa 3 (opacificantes), se agrega en un segundo guion, la clave del opacificante y el porcentaje de adición

ANÁLISIS (ETAPA 3, OPACIFICANTES)

Como resultado de esta etapa se deben obtener diferentes tipos de blancos mate y semimate, bases texturizadas, incluso algunos colores resultantes del uso del titanio. Algunos blancos y acabados tipo mármol pueden utilizarse como vidriados definitivos (es importante incorporar estas probetas al catálogo físico para observarlas a detalle). La siguiente etapa se trata de agregar óxidos colorantes. El criterio de selección consiste en utilizar la mayor gama de posibilidades, cuatro formulaciones de la etapa 2: una transparente brillante, una transparente semimate, una semitransparente semimate y otra opaca semimate. Cuatro formulaciones de la etapa 3: una blanca brillante, dos blancas mate y una blanca semimate. Es importante mencionar que se pueden elegir más muestras para cada una de las etapas, pero hay que tomar en cuenta que la cantidad de trabajo experimental también aumentará.

ETAPA 4 (ÓXIDOS COLORANTES)

Consiste en agregar óxidos colorantes a las formulaciones seleccionadas en la etapa anterior. El objetivo que se persigue es conferir diversos colores a los vidriados en el momento de la cocción, el color puede ser resaltado por su translucidez, su opacidad, brillo o textura. Para lograr este propósito, la elección mencionada en la etapa anterior debe responder a la variedad de bases, componentes y características físicas.

Los materiales seleccionados según Vázquez Malagón (2005), con la clave asignada para su identificación, son los siguientes:

- óxido de cobalto (CBL)
- óxido de hierro (HRR)
- óxido de cobre (CBR)
- óxido de cromo (CRM)
- óxido de manganeso (MAN)
- óxido de níquel (NIQ)
- óxido de rutilo (RUT)

El criterio de adición de estos compuestos es de 5, 10 y 15% para cada formulación de la etapa anterior, las combinaciones resultantes son las que se muestran a continuación:

- Formulación 1 + (óxidos) al 5, 10 y 15%
- Formulación 2 + (óxidos) al 5, 10 y 15%
- Formulación 3 + (óxidos) al 5, 10 y 15%
- Formulación 4 + (óxidos) al 5, 10 y 15%
- Formulación 5 + (óxidos) al 5, 10 y 15%
- Formulación 6 + (óxidos) al 5, 10 y 15%
- Formulación 7 + (óxidos) al 5, 10 y 15%
- Formulación 8 + (óxidos) al 5, 10 y 15%

Bajo el mismo criterio que la etapa anterior, para cada formulación se deben realizar mezclas de 20 gramos junto con el oxidante, hay que resaltar que en las formulaciones se agregan fundentes y opacificantes, por lo que es necesario convertirlas al 100% para reiniciar con la adición de óxidos. Se eligieron 8 bases multiplica-

das por 7 óxidos por tres porcentajes, que dan como resultado 168 muestras. Para este caso también se deben llevar a cabo quemas en las dos temperaturas elegidas. Como resultado dan 336 muestras. La Tabla 9 ejemplifica la formulación FCD5-Z10 con la combinación de los opacificantes en los tres porcentajes (ver Tabla 9).

No.	Porcentajes					ÓXIDO
	FELD	CAOLIN	DOL	CCALC		
FCD5Cc10-CBL5	73	9	9	9		5.00
FCD5Cc10-CBL10	73	9	9	9		10.00
FCD5Cc10-CBL15	73	9	9	9		15.00
FCD5Cc10-HRR-5	73	9	9	9		5.00
FCD5Cc10-HRR10	73	9	9	9		10.00
FCD5Cc10-HRR-15	73	9	9	9		15.00
FCD5Cc10-CBR5	73	9	9	9		5.00
FCD5Cc10-CBR10	73	9	9	9		10.00
FCD5Cc10-CBR15	73	9	9	9		15.00
FCD5Cc10-CRM5	73	9	9	9		5.00
FCD5Cc10-CRM10	73	9	9	9		10.00
FCD5Cc10-CRM15	73	9	9	9		15.00
FCD5Cc10-MAN5	73	9	9	9		5.00
FCD5Cc10-MAN10	73	9	9	9		10.00
FCD5Cc10-MAN15	73	9	9	9		15.00

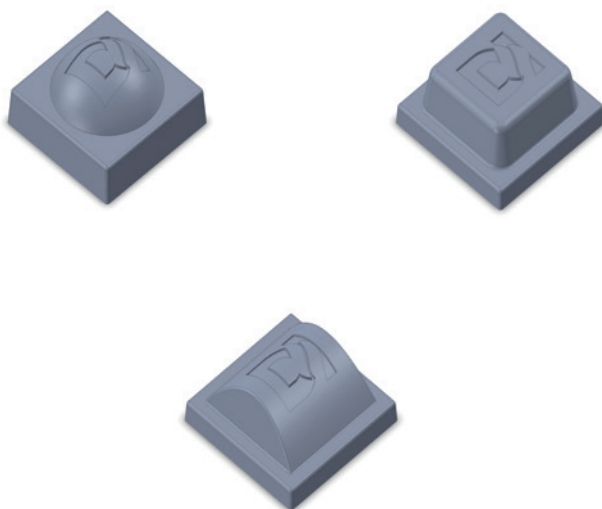
No.	Porcentajes				ÓXIDO	ÓXIDO
	FELD	CAOLIN	DOL	CCALC		
FCD5Cc10-CBL5	14.55	1.82	1.82	1.82	1.00	Cobalto 5%
FCD5Cc10-CBL10	14.55	1.82	1.82	1.82	2.00	Cobalto 10%
FCD5Cc10-CBL15	14.55	1.82	1.82	1.82	3.00	Cobalto 15%
FCD5Cc10-HRR-5	14.55	1.82	1.82	1.82	1.00	Hierro 5%
FCD5Cc10-HRR10	14.55	1.82	1.82	1.82	2.00	Hierro 10%
FCD5Cc10-HRR-15	14.55	1.82	1.82	1.82	3.00	Hierro 15%
FCD5Cc10-CBR5	14.55	1.82	1.82	1.82	1.00	Cobre 5%
FCD5Cc10-CBR10	14.55	1.82	1.82	1.82	2.00	Cobre 10%
FCD5Cc10-CBR15	14.55	1.82	1.82	1.82	3.00	Cobre 15%
FCD5Cc10-CRM5	14.55	1.82	1.82	1.82	1.00	Cromo 5%
FCD5Cc10-CRM10	14.55	1.82	1.82	1.82	2.00	Cromo 10%
FCD5Cc10-CRM15	14.55	1.82	1.82	1.82	3.00	Cromo 15%
FCD5Cc10-MAN5	14.55	1.82	1.82	1.82	1.00	Manganeso 5%
FCD5Cc10-MAN10	14.55	1.82	1.82	1.82	2.00	Manganeso 10%
FCD5Cc10-MAN15	14.55	1.82	1.82	1.82	3.00	Manganeso 15%
FCD5Cc10-NIQ5	14.55	1.82	1.82	1.82	1.00	Níquel 5%
FCD5Cc10-NIQ10	14.55	1.82	1.82	1.82	2.00	Níquel 10%
FCD5Cc10-NIQ15	14.55	1.82	1.82	1.82	3.00	Níquel 15%
FCD5Cc10-RUT5	14.55	1.82	1.82	1.82	1.00	Rutilo 5%
FCD5Cc10-RUT10	14.55	1.82	1.82	1.82	2.00	Rutilo 10%
FCD5Cc10-RUT15	14.55	1.82	1.82	1.82	3.00	Rutilo 15%

Tabla 9. Porcentajes y pesos para las combinaciones FCD5Cc10, etapa 4 (óxidos colorantes), se agrega un tercer guion, la clave del óxido colorante y el porcentaje de adición

DISEÑO Y PRODUCCIÓN DE PROBETA PARA EL ANÁLISIS DE VIDRIADOS (ETAPA 4)

Para el diseño de las probetas tridimensionales empleadas en el catálogo de esmaltes en la etapa 4 (óxidos colorantes), se consideran diversos criterios, entre otros, la configuración debe obedecer a la técnica de vaciado con barbotina, la probeta utilizada en las etapas anteriores se realizó por técnica de placas, la nueva probeta debe permitir registrar características geométricas comunes en piezas cerámicas obtenidas por vaciado cuyo proceso de esmalte sea por la técnica de inmersión, se pretende que en su configuración existan caras planas, aristas, cantos, bajo relieves y transiciones de configuraciones curvas a planas. Por otra parte, se deben hacer evidentes las propiedades físicas de la pasta cerámica obtenida en la primera etapa de esta investigación: el índice de deformación, absorción, porosidad y plasticidad.

Con estos criterios, se ejemplifican tres diseños renderizados en un sistema CAD 3, alternativas de probeta, como se muestra en las Figuras 29, 30 y 31. La primera de sección esférica, la segunda de cara plana con cantos y aristas para desmolde y la tercera de configuración de media caña, las tres con un bajo relieve distintivo y que a su vez propone una referencia institucional.



Figuras 29, 30 y 31. Modelado probeta 3D en CAD

Por los criterios señalados, se seleccionó la configuración de media caña, la cual se imprime en tecnología 3D, como se muestra en la Figura 32. Se obtiene un modelo de exactitud milimétrica en ángulos de salida y bajo relieves del logotipo y base.

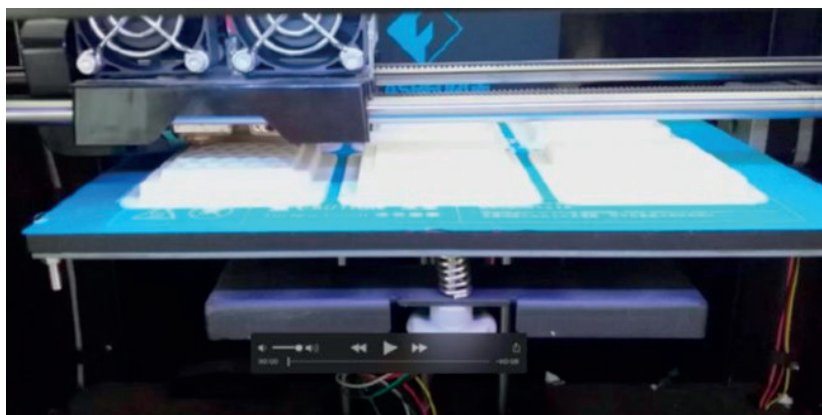


Figura 32. Impresora 3D modelando probeta

Una vez impresos los modelos 3D, se continúa con la elaboración de los moldes de yeso cerámico, Figura 33. Se prepara el yeso cerámico para el molde, así como la “caja” para el vaciado, se calcula la ubicación simétrica de los modelos y se preparan con desmoldantes para realizar el vaciado. Cuando ya está fraguado el yeso, se

retiran los modelos y se dejan secar por dos semanas para continuar el proceso de moldeo.



Figura 33. Molde de seis cavidades para probetas 3D

Posteriormente al secado del molde, se prepara la pasta cerámica en barbotina para comenzar el vaciado en series de seis probetas por molde, como se muestra en la Figura 34.



Figura 34. Vaciado de barbotina en molde

Las primeras pruebas de vaciado se realizan cuando el molde ha perdido humedad, durante el vaciado de barbotina en el molde de yeso cerámico, el agua contenida en la barbotina es absorbida por el molde dejando una capa de pasta cerámica en estado semisólido. Una vez obtenida esta pieza, se retira el exceso líquido para luego realizar el desmolde, el grueso de la pieza obtenida depende del tiempo que se deje la barbotina en el molde antes de retirar el exceso, como se muestra en la Figura 35.

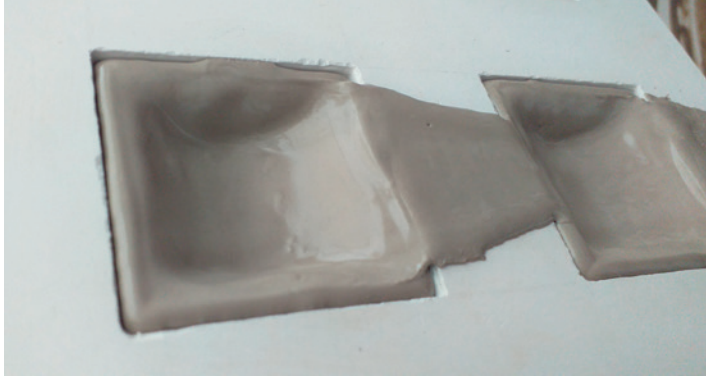


Figura 35. Proceso de absorción de humedad al molde y solidificación de la pieza en pasta cerámica

Cuando la probeta se encuentra en un estado de solidificación manejable (dureza de cuero), ésta es retirada del molde para continuar su secado a la intemperie, como se ve en las Figuras 36 y 37.



Figuras 36. Arriba: aspecto de las probetas de cerámica vaciadas en barbotina

Figuras 37. Abajo: probeta 3D

ANÁLISIS ETAPA 4: ÓXIDOS COLORANTES

Las muestras físicas ayudan a comprender el comportamiento de los óxidos y su relación con las bases elegidas; los óxidos confieren color específico con variaciones entre su porcentaje y la base utilizada (el titanio y el zinc modifican el color). Como se especificó al inicio de la presente etapa, estas formulaciones son evaluadas con criterios cualitativos: por su color, textura, brillo, transparencia y opacidad (para esta etapa es recomendable incluir los resultados en un catálogo físico, así se podrán apreciar las cualidades ópticas y táctiles de cada vidriado).

Las mezclas con cobalto generan gamas de color azul, funcionan como fundente, es decir, confieren brillo; el hierro desarrolla diferentes gamas de colores que oscilan entre el café, olivo y amarillo; del cobre resultan verdes y gris-negro metálicos, opacifica y otorga un acabado mate; el cromo es un opacificante muy agresivo, las formulaciones de la fase dos con presencia del cromo generan cuarteaduras, por ello no es recomendable utilizarlo como tercer opacificante, ya que desarrolla colores que van desde café a verde mate; el manganeso también funciona como opacificante y, además, confiere textura, desarrolla gamas desde beige a café oscuro; el níquel, además de ser opacificante, otorga gamas de color verde; por último, el rutilo opacifica y desarrolla tonalidades que van del blanco al beige. De esta última etapa, surgirán diversos resultados, con la posibilidad de ser elegidos y utilizados con el propósito de cada diseñador, dicho de otro modo, la etapa 4 representa un gran catálogo de posibilidades.

CONCLUSIONES

En contraste con la fase de pastas cerámicas –donde se obtienen formulaciones específicas–, el resultado de la fase de vidriados representa un gran catálogo físico y visual, recordemos que los acabados cerámicos pueden cumplir con necesidades funcionales y/o simbólicas, esta variedad de acabados está a la mano para los docentes, alumnos y ceramistas que requieran utilizar cualquier formulación derivada de cada una de las etapas, sea para fines artísticos o prácticos, esta elección será de carácter cualitativo. Por otro lado, la metodología de 4 etapas eleva exponencialmente las posibles combinaciones al pasar de una a otra. Este trabajo representa una aportación al estado del arte, y es posible reconsiderar su aplicación para futuros proyectos.

Se recomienda realizar una prueba experimental de ambas fases previo a la producción. Por medio de prototipos es necesario verificar la plasticidad de la pasta para ser moldeada, su calidad para absorber el vidriado en estado de sancocho, sus índices de contracción y deformabilidad al ser horneados a las temperaturas elegidas. Se recomienda producir piezas por diferentes procesos: presión en molde de yeso, por medios manuales como el uso de placas y churros, así como el torno. También se recomienda utilizar el proceso de vaciado en yeso a partir de barbotina. Una vez que se tengan sancochadas las piezas es recomendable producir vidriados del catálogo para aplicarlos a los diferentes prototipos, demostrando que los materiales desarrollados en éste están listos para ponerse a prueba en procesos productivos y pedagógicos.



BIBLIOGRAFÍA

9



- Bernal, D. & Espinoza, D. (2021) Título de la tesis de pregrado (Análisis y mejora de los parámetros responsables de la eficiencia en el proceso de defloculación en la molturación vía húmeda en una empresa cerámica). Universidad de Cuenca. Cuenca, Ecuador.
- Canal, M. F. (2004). *Conservar y restaurar cerámica y porcelana*. Barcelona: Parramón.
- Chavarría, J. (2009). *La cerámica*. Barcelona: Parramón
- Chavarría, J. (2008). *Aula de cerámica. Decoración*. Barcelona: Parramón.
- Chavarría, J. (2008). *Aula de cerámica. Esmaltes*. Barcelona: Parramón.
- Constant, C. (1996). *La paleta del ceramista*. Barcelona: Gustavo Gilli.
- Ediciones Daly SL. (1998). *Manual del ceramista. Tomo I: Técnicas de Modelado*. Barcelona: Parramón.
- Hooson, D. and Quinn, A. (2012). *The Workshop Guide to Ceramics*. Nueva York: Hauppauge.
- Norton, F. H. (1976). *Ceramics for the Artist Potter*. Bogotá: CECSA.
- Peterson, S. y Peterson, J. (2003). *The Craft And art of Clay: A Complete Potter's Handbook*. Londres: Lawrence King.
- Peterson, S. (2002). *Working with Clay*. Londres: Lawrence King.
- Vázquez Malagón, E. del C. (2001). *La cerámica en el diseño industrial, algunas propuestas metodológicas para el desarrollo de pastas y vidriados*. México: UNAM.
- Vázquez Malagón, E. del C. (2005). *Materiales cerámicos. Propiedades, aplicaciones y elaboración*. México: Centro de Investigaciones de Diseño Industrial, UNAM.
- Vivas, W. (2016). *Conos pirométricos*. Toledo: Infocerámica. Disponible en www.orththonceramic.com
- Wilhide, L. (2017). *Cerámica. Un recorrido por la historia, las técnicas y los ceramistas más destacados*. Barcelona: GG.



ANEXO

10



ELABORACIÓN DE PASTA CERÁMICA A PARTIR DE UNA FÓRMULA

Una pasta cerámica de gres consiste en una mezcla conformada por material plástico arcilloso, material refractario (sílice) y fundente (generalmente se utiliza el feldespato), estos compuestos se consiguen en polvo (200 micras) para poder ser pesados y mezclados, para este caso, la pasta 13-2 contiene un 40% de material arcilloso, 20% de sílice, 20% de feldespato y 2% de talco. Al ganar humedad, esta pasta adquiere las cualidades de un lodo plástico y consistente, con la capacidad de ser transformado por diversos medios, entre los cuales se han desarrollado diversas técnicas como el torneado, el modelado con base en placas y churros y el prensado en cavidades de yeso, entre otros. El camino para obtener esta pasta es relativamente fácil, sin embargo, es necesario documentar la técnica para obtener un resultado óptimo. El proceso se describe a continuación:

1. Se requiere un recipiente con la capacidad de contener la mezcla en polvo en el 50% de su capacidad.
2. Pesar y mezclar todos los componentes en seco para obtener un polvo homogéneo. Figura 38.
3. Agregar el equivalente en peso de agua (si se pesaron 10 kg de polvo, agregar 10 litros de agua).
4. Se notará un burbujeo, esto significa que el agua está permeando lentamente en la mezcla.
5. Batir la mezcla con una propela.
6. Dejar en reposo durante dos días como mínimo, esto permite que la totalidad de la mezcla adquiera humedad (las opiniones para este punto pueden diferir entre ceramistas, el maestro Arturo Muñoz menciona que una semana de reposo ayudará a que la humectación y que a largo plazo coadyuva a mejorar su plasticidad, por su parte, Emma Vázquez sugiere más de un mes, para el caso de este manual, se sugiere se dejen reposar 15 días).

7. Por naturaleza, la pasta se decanta, deja un espejo de agua en la parte superior del recipiente, la cual puede retirarse con una esponja de poliuretano. Figura 39.
8. Se debe contar con placas de yeso para verter la mezcla en su superficie. Esta placa puede tener diferente tamaño y espesor, para este proyecto se fabricaron placas de dos tamaños: para preparaciones de 400 gramos (formulaciones de la etapa 2) se elaboraron placas cilíndricas de 30 cm de diámetro por 6 cm de espesor; para producciones mayores a 5 kg se fabricó una placa de 60 x 90 cm con 12 cm de espesor. Figuras 40 y 41.
9. La finalidad de verter la mezcla en la placa de yeso consiste en eliminar el exceso de agua, debido a que el lodo aún no tiene la consistencia para ser transformado. El indicador cualitativo que permite saber que la mezcla ha perdido suficiente humedad es la pérdida de brillo, una vez que la mezcla es opaca ya se encuentra en condiciones de ser amasada. Figuras 42, 43 y 44.
10. En este punto, la mezcla aún contiene exceso de humedad, el amasado consiste en girar la pasta con doble finalidad: la primera consiste en continuar con la pérdida de humedad hasta que ya no se pegue en la mano; la segunda, en eliminar las burbujas contenidas en la mezcla. Figuras 45 y 46.
11. La mezcla está lista cuando dejen de aparecer burbujas.

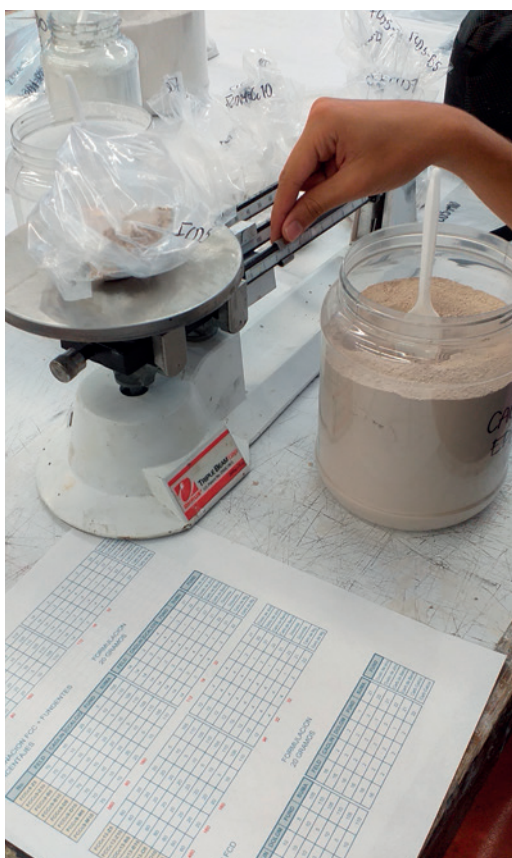


Figura 38. Pesaje de las formulaciones de 400 gramos



Figura 39. Exceso de agua en proceso de extracción con esponja



Figura 40. Izquierda: Placas de yeso para formulaciones de 400
gramos

Figura 41. Derecha: Placa de yeso para producción de pasta



Figura 42 y 43. Izquierda y derecha. Formulaciones de 400 gramos en proceso de secado



Figura 44. 10 kg de pasta 13-2 en proceso de secado

Como se ha visto, este proceso requiere de paciencia y organización, es importante mencionar que para la fase 1 de este manual se desarrollan 22 formulaciones para producir 88 probetas, además de las placas de yeso necesarias para el secado y amasado de las pastas. Para la fase 2 de desarrollo de vidriados y prototipos es necesario producir 30 kg de pasta y 15 kg de barbotina (este proceso se describe en el siguiente apartado).



Figuras 45 y 46. Proceso de amasado

ELABORACIÓN DE BARBOTINA

La barbotina es una pasta cerámica, pero en un estado aparentemente líquido, esto permite que el material se pueda manipular en moldes de yeso por medio del vaciado. El estado líquido se mantiene por un largo periodo de tiempo porque además de obtener agua, se agrega un material defloculante (silicato de sodio) para lograr una emulsión que permite a las partículas sólidas mantenerse en suspensión.

Los defloculantes son sustancias cuya adición en una suspensión acuosa de polvos coloidales dispersos, provoca un aumento del contenido de sólidos y la fluidez de la suspensión con la disminución de su viscosidad aparente. Son compuestos que impiden la floculación (aglutinación) debido a que se adquiere un mayor potencial electrocinético y un relativo aumento de las fuerzas repulsivas que intervienen entre las partículas, es decir, provocan una reorganización de las partículas por cambios electroquímicos (Bernal, Espinoza 2021)

Desarrollar barbotina para las pastas que el ceramista ha elegido es importante para poder producir piezas de manera seriada por medio del vaciado, para esta investigación se produjeron 15 kg de barbotina de la formulación 13-2. Este proceso consiste en vaciar el material viscoso en la cavidad de un molde de yeso, las paredes del molde absorberán la humedad de la barbotina, lo que

genera una capa sólida que permite la copia fiel de la figura del molde (Figuras 47 y 48). Una vez que la capa tiene un espesor de 3 mm o más, la barbotina en estado líquido es devuelta al contenedor y, posteriormente, queda una capa sólida adherida al molde. Para desmoldar la pieza resultante, es necesario dejarla algunos minutos dentro del molde de yeso, se notará la contracción natural de la barbotina, durante esta contracción la pasta adquiere la dureza de cuero (consiste en la transición entre el estado líquido y sólido, donde la pieza puede manipularse sin sufrir roturas o deformación), momento para su extracción (Figura 49).

PROCESO PARA LA PRODUCCIÓN DE BARBOTINA

Diversos autores proponen recetas para su elaboración, por ejemplo, Chavarría (2010) propone las siguientes cantidades:

- 1000 gr de pasta en seco
- 400 a 800 cm³ de agua
- 1 a 4 gr de carbonato sódico
- 1 a 6 cm³ de silicato de sodio

Como puede observarse, los rangos propuestos son muy amplios, en la siguiente lista se resumen las cantidades exactas después de un proceso de experimentación realizada para este documento, es importante señalar que cada formulación varía en sus componentes –se comportan de manera diferente–, por esta razón, este proceso aplica únicamente para la para el gres.

1. Se requiere un recipiente con la capacidad de contener la mezcla en polvo en el 50% de su capacidad.
2. Pesar y mezclar todos los componentes en seco para obtener un polvo homogéneo.
3. Pesar el 0.7% de silicato de sodio y reservarlo en un recipiente.
4. Agregar el 55% del peso en agua (si se preparan 10 kg de polvo, serán 5.5 litros de agua).
5. Agregar el silicato de sodio al agua y revolver.
6. Incorporar lentamente el polvo, mezclar constantemente hasta lograr un líquido sin grumos.
7. Dejar reposar por lo menos 24 horas y proceder a mezclar nuevamente.
8. Para que la barbotina tenga un rendimiento óptimo durante el vaciado es necesario medir su densidad, la cual debe ser de 1.7, existen diversos métodos de medición, uno consiste en contar con un densímetro, el cual se introduce a la barbotina y se procede a medir. La técnica que se utilizó para esta investigación consistió en introducir en un recipiente graduado un litro de la barbotina y pesarlo, la medición del líquido debe corresponder a 1.7 kg.

Es de suma importancia que la barbotina conserve los valores mencionados porque de esto dependerá que la producción se lleve a cabo sin contratiempos. Una barbotina con mayor densidad (menos cantidad de agua o menor cantidad de silicato de sodio) no podrá generar paredes uniformes, pero sí paredes más gruesas, el proceso

de secado (dureza de cuero) de la pieza necesitará más tiempo y se incrementa el riesgo de deformación al extraerla del molde.

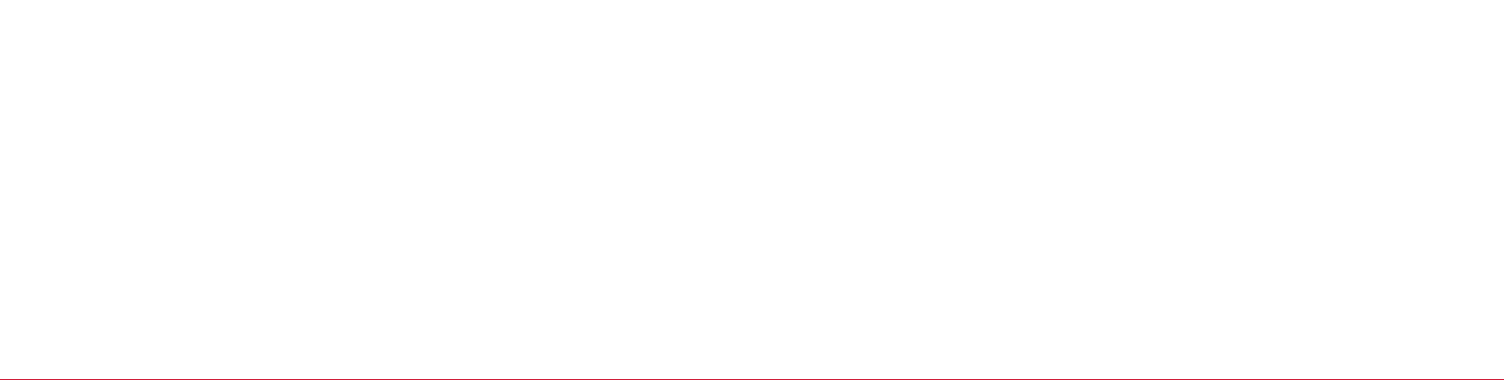
Por el contrario, si la barbotina tiene menor densidad (mayor cantidad de agua o mayor cantidad de silicato de sodio) se corre el riesgo de que las partículas sólidas de la pasta se decanten, separándolas del agua, perdiendo plasticidad y fluidez, esto imposibilita el proceso de vaciado.



Figura 47. Izquierda: Molde de yeso de tres partes (taceles)
Figura 48. Derecha: Vaciado de barbotina en el molde cerrado



Figura 49. Comparativa entre la matriz y el objeto extraído del molde



**Métodos experimentales para la formulación
y caracterización de pastas y vidriados de gres aplicables
al diseño de objetos cerámicos**

**Primera edición 2023
(versión electrónica)**

El cuidado de la edición estuvo a cargo del Departamento Editorial
de la Dirección General de Difusión y Vinculación de la Universidad
Autónoma de Aguascalientes.

