



## “PREPARACIÓN DE ESMALTE PARA APLICAR EN MONOCOCCIÓN EN PASTAS CERÁMICAS DE ARCILLAS DE LA REGIÓN DE GUANAJUATO”

### "PREPARATION OF ENAMEL FOR APPLICATION IN MONO-FIRING ON CERAMIC PASTE MADE OF CLAY FROM THE REGION OF GUANAJUATO"

Mirna Lorena Cortes<sup>(1)</sup>, Juan José Guzmán<sup>(1)</sup>, Zeferino Gamiño<sup>(1)</sup> y Rosalba Fuentes<sup>(1)\*</sup>,  
(1) DCNE, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato, Noria Alta s/n Col.  
Noria Alta, Guanajuato Gto., 36050 México. e-mail: \*rosalba@ugto.mx.

#### RESUMEN

En este trabajo se formuló un esmalte a partir de una frita cerámica comercial realizando un ajuste empírico con la adición de otros componentes, para evitar la presencia de defectos y que pueda ser aplicado sobre una pasta cerámica, elaborada con arcillas de la región de Guanajuato, en un proceso de monococción. Este esmalte mostró mayor resistencia al desgaste que piezas esmaltadas comerciales de la región. También fue analizado cómo influyen las distintas técnicas de aplicación del esmalte en la absorción de agua de una pieza esmaltada. Se encontró que la técnica de inmersión en monococción muestra la menor absorción de agua. Finalmente, éste esmalte no presenta plomo soluble.

Palabras claves: esmalte, frita, monococción.

#### SUMMARY

In this work, ceramic enamel from a commercial glass-ceramic frit was made, adjusted empirically by adding other components to avoid the presence of defects and suitable for application on a ceramic paste, made from clays from the Guanajuato region, in a mono-firing process. This enamel showed higher resistance to wear than commercial enameled pieces from the region. The effect of different application techniques on water absorption was also analyzed. It was observed that the immersion in mono-firing technique results in reduced water absorption. Finally, this enamel does not show the presence of soluble lead.

Keywords: enamel, frit, mono firing.

#### INTRODUCCION

El material cerámico consta de dos partes, la pasta y el esmalte, este último aplicado en la superficie de la pasta cerámica y cocido, confiere a la pieza una capa impermeable, protectora y decorativa que le proporciona belleza y textura. En un esmalte cerámico, los compuestos que intervienen funden total o parcialmente, creando un

material fluido más o menos viscoso, que al enfriar vitrifica formando una interface entre soporte y esmalte que sirve para soldarlos. Entre los materiales que se utilizan en su formulación se tienen las fritas y otros aditivos.



Con la formulación de un esmalte se busca lograr: resistencia a la abrasión, al impacto y al efecto de productos de limpieza; también, que sea antideslizante, y que tenga cierto brillo, opacidad o color, etc.

Las materias primas para un esmalte se clasifican en dos grupos:

- a) Los fundentes, que aceleran el proceso desplazando el intervalo de temperatura hacia valores bajos disminuyendo la viscosidad para una mejor incorporación en la fase fundida de los materiales refractarios. Sin embargo, algunos disminuyen la resistencia química a ácidos, la dureza, y la resistencia mecánica; y también, aumentan el coeficiente de dilatación. Entre estos materiales destacan las fritas, carbonato de litio, criolita, los feldespatos, carbonatos alcalinotérreos, óxido de cinc, wollastonita, talco y algunos óxidos.
- b) Los refractarios, que tienen temperaturas de difusión elevadas y aumentan la viscosidad. Destacan el cuarzo, la alúmina, el caolín y sus arcillas.

Las fritas cerámicas son materiales de naturaleza vítrea que se preparan por fusión de una mezcla de materias cristalinas a temperaturas de alrededor de 1500°C. Durante el proceso se forma una masa fundida que se enfría bruscamente para obtener una estructura vítrea y favorecer la disgregación en pequeños gránulos. Después de enfriada es molida. A pesar de que aumentan el costo final de la pieza cerámica, se utilizan porque así se pueden introducir en los esmaltes materias primas solubles en agua, más refractarias, de granulometría mayor. Algunas ventajas de la frita son: permite el empleo de materias primas tóxicas como el PbO; tener temperaturas y/o tiempos de cocción más bajos, dar una textura superficial más lisa y brillante; utilizar mayor cantidad de SiO<sub>2</sub> y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> para tener características mecánicas y químicas superiores y uso de materia prima de tamaños de partículas y densidades muy diferentes.

El esmalte se obtiene por un proceso de sinterización-maduración, el cual tiene tres etapas. La primera inicia la vitrificación (un aumento de temperatura disminuye la viscosidad, hay contracción y cambio de microestructura porosa). La segunda avanza la vitrificación (los poros terminan por cerrarse y forman burbujas que pueden escapar, y da una superficie menos rugosa al esmalte). Y en la tercera finaliza la vitrificación (el esmalte madura, la viscosidad disminuye, las burbujas van a la superficie y se eliminan, el esmalte reacciona con el soporte). En la evolución del proceso sinterización-maduración influyen la viscosidad aparente que se liga al transporte de masa, y la granulometría de partículas que impacta en la velocidad de sinterizado (Cantavella, 2010).

Cabe señalar que en algunos productos, los esmaltes deben alcanzar su grado de maduración óptimo con las condiciones del ciclo de cocción de la pasta (soporte); además, debe formarse una buena interface entre ellos. En general, la cocción de una pieza cerámica se realiza cociendo primero el soporte y luego aplicando el esmalte y cociendo de nuevo. Pero, idealmente debería realizarse este proceso en una sola cocción, llamado monococción, teniendo que haya una buena interface entre el esmalte y el soporte. Tichell M.T., 2000). También, se han revisado problemas de solubilidad de fritas en el proceso de fabricación de baldosas cerámicas estudiando la influencia del tiempo de molturación, la temperatura de la suspensión, el tiempo de reposo, la intensidad de la agitación y la composición química de algunos aditivos (Gazulla M.F., 2001).

Para que la superficie esmaltada no tenga defectos, el vidriado debe realizarse a una temperatura en la que las reacciones de descomposición y oxidación del soporte ya se hayan completado. Lo anterior es complicado, porque para ello la composición del esmalte debe permanecer permeable al intercambio de gases hasta temperaturas



cercanas a 1000°C y posteriormente vitrificar y madurar en un corto margen de temperatura. Además, durante la cocción el esmalte debe reaccionar con la superficie del soporte para lograr una capa intermedia de unión, lo cual es necesario para evitar defectos.

Los esmaltes pueden clasificarse de distintas maneras (Morales, 2005), según el brillo pueden ser brillantes, mates, semi-mates o satinados. Según el soporte pueden ser: tipo mayólica, de loza, de gres o porcelánicos; y según la temperatura de madurez pueden ser: de baja, media, alta o muy alta temperatura. El término de maduración en los esmaltes hace referencia tanto a la temperatura de fusión del esmalte como a que no haya defectos, teniendo así: de baja, media, alta y muy alta temperatura.

Los esmaltes de baja temperatura se agrupan en dos categorías según el fundente principal que utilicen. *Barnices de plomo* que funden de 710 a 1120°C, y *barnices alcalinos* que funden de 750 a 1060 °C y tienen como fundente principal sustancias alcalinas como el bórax, la colemanita y el carbonato de sodio.

Los esmaltes de temperatura media se sitúan entre 1060-1200°C y deben cubrir a pastas más compactas. En su composición se encuentran tanto fundentes de baja temperatura (plomo) como de alta (feldespato).

Los esmaltes de alta temperatura se aplican sobre pastas que vitrifican y que se cuecen a temperaturas de 1200 a 1280°C. El principal fundente de estos barnices es el feldespato. Estos barnices son muy duros a la abrasión y resistentes a los ácidos.

Los muy alta temperatura funden entre 1250 y 1300°C o más y deben aplicarse sobre pastas como la porcelana. Esta pasta debe bizcocharse a una temperatura aproximada de 1000°C.

Una buena formulación de un esmalte permite evitar defectos tales como:

desconchado y craquelado, recogido, pinchado, reventado, superficie “piel de naranja”, superficie infracocida, superficie vitrificada, picado de esmalte. Estos defectos se deben a que los coeficientes de dilatación lineal de la pasta y del esmalte tienen un orden diferente de composición y de temperatura de cocción. Por lo anterior, es importante considerar tres situaciones en el estudio de la compatibilidad pasta-barniz:

a) Compatibilidad entre la pasta y el barniz tras la cocción, la cual sería ideal si la relación entre los coeficientes de dilatación pasta-barniz fuera igual a uno. Si la relación es mayor de uno, el barniz presentará resistencia a la contracción de la pasta y tenderá a romperse dando el defecto de **“Desconchado”**. En cambio, si tal relación es menor que uno, el barniz contraerá más rápidamente que la pasta, rompiendo la homogeneidad de la superficie, y cuando el esfuerzo supere un cierto límite se cuarteará y resultará el defecto llamado **“Craquelado”**.

b) Compatibilidad pasta y barniz respecto al tiempo, la cual es importante en productos porosos a medida que envejecen, ya que con el tiempo cualquier pequeña rotura en las piezas o craquelado del barniz, tienden a agrandarse. Esto puede ser debido a las tensiones entre la pasta y el barniz que permanecen tras la cocción y que se pueden acentuar por causas externas (golpes, choques térmicos, etc.).

c) Compatibilidad pasta– barniz y los efectos de la temperatura. Cuando se expone una pieza cerámica a choques térmicos debidos, tal vez, a una rápida cocción en muflas, se manifiestan defectos como craquelados, fisuras, etc. no visibles en frío. Esto no es debido a una falta de compatibilidad entre los coeficientes de dilatación, sino a un enfriamiento irregular que provoca tensiones en las piezas, o a la presencia de materiales como el cuarzo que sufren variación brusca del coeficiente de dilatación.

Ahora bien, para obtener la compatibilidad pasta-barniz normalmente se hace variar el coeficiente de dilatación de la pasta, por ser



esto más fácil que variar el vidriado. Si existe tendencia al craquelado, o sea, si el coeficiente de la pasta es bajo, es preciso aumentar la proporción de sílice, o disminuir los fundentes de la pasta (feldespatos), o aumentar la molienda, o sustituir un elemento arcilloso con otro de coeficiente de dilatación más alto. Obviamente, si existe tendencia al desconchado se actúa en sentido contrario.

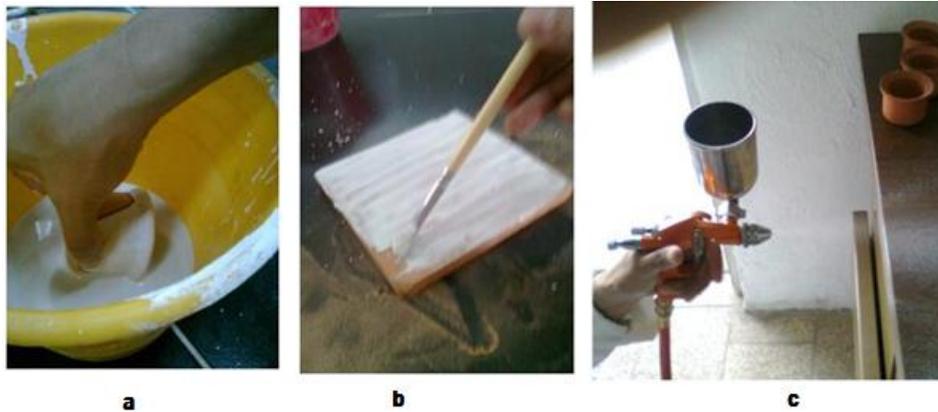
El diseño de un esmalte puede partir de una base, como puede ser el caso de una fritada, y ser modificada de muchas maneras con distintos óxidos para conseguir las propiedades de interés. Tras la modificación con la adición o sustitución de un componente aparece una incertidumbre y debe reanalizarse experimentalmente y avanzar por continuos ajustes de la fórmula hasta tener el resultado estético y de propiedades requerido. Esta incertidumbre se debe a que el esmalte alcanza el equilibrio a distinta velocidad y temperatura con la cocción.

En general, en la velocidad de las transformaciones que experimenta un esmalte influyen las condiciones de cocción y la naturaleza de los componentes en su composición química, impurezas, granulometría, superficie específica, grado de cristalinidad. Existen diferentes formas de expresar la composición de un esmalte cerámico, ya sea con materias primas o bien en función de la composición química de materiales. La fórmula carga, usualmente se maneja en porcentaje. El análisis químico en peso, es utilizado cuando se mezclan varias materias primas, porque es posible conocer la composición química del producto final tomando en cuenta el porcentaje aportado de cada sustancia presente; la composición de

óxidos debe ser la que teóricamente se tendría después de la cocción. El análisis puede ser expresado en porcentaje peso o porcentaje moles. Sin embargo, no proporciona ninguna información sobre las características físicas de las materias primas utilizadas, y podríamos encontrar dos fritadas con esa misma química pero que dan un desarrollo diferente ya que se usaron materias primas diferentes. La Fórmula Seger, que clasifica los óxidos en básicos (fundentes), neutros y ácidos, maneja la fórmula de los óxidos constituyentes en proporción de sus moles, pero los óxidos colorantes no forman parte de ella, debido a que al añadirse en pequeñas cantidades no alteran el proceso químico de la misma, su criterio en sí, es que los coeficientes de los óxidos básicos sumen la unidad.

Para aplicar el esmalte se utilizan diferentes técnicas (figura 1).

- a) Inmersión, da un barnizado uniforme en toda la superficie de la pieza, es rápido, sencillo y solamente debe cuidarse una densidad que permita aplicarse y que deje un grosor suficiente.
- b) A pincel, que utiliza pinceles de cerda blanca, y pueden necesitarse varias capas (dos o tres) antes de quedar cubiertas. Aplicando cada capa una vez que la anterior esté seca y en sentido contrario para evitar la formación de burbujas y descascarillamientos.
- c) Por aspersion, que utiliza una cabina con un extractor, un compresor, la pistola de barnizar y una torneta. El barniz que se usa debe estar tamizado en una criba de malla n° 200 para evitar que la pistola se obstruya y tener una buena suspensión para que no se decante. Se barniza manteniendo perpendicular la pistola y a una distancia de 30 o 40 cm.



**Fig.1.** Técnicas de esmaltado por a) inmersión, b) pincel y c) aspersión.

En este trabajo se muestra cómo formular un esmalte para arcillas de yacimientos naturales de la región que pueda ser aplicado y obtenida la pieza en un proceso de monococción.

#### METODOLOGIA.

El esmalte diseñado se aplicó sobre una pasta cerámica formulada con arcillas del estado de Guanajuato, que cuenta con yacimientos en la región (Ramos y col., 2002). Para la pasta se utilizaron tres tipos de arcillas: roja, amarilla y negra, cuyas características y metodología de formulación se describe en un trabajo previo (Fuentes y col., 2008). Las arcillas se mezclaron en distintas proporciones hasta lograr una composición en la cual se obtienen las mejores propiedades de plasticidad, contracción, absorción de agua, etc. De esta manera se contó con una base o bischocho sobre la que se aplicó el esmalte.

Para la formulación del esmalte, se buscó una frita adecuada para la pasta que se usara como soporte. Para lo anterior, primero fueron caracterizadas tres fritas marca Monterrey en un espectrofotómetro de Absorción atómica Perkin Elmer Modelo AA analyst 200. Después, se observó la respuesta de comportamiento viscoso de cada frita sobre la pasta formulada, preparando pastillas de 2 gramos y cociéndolas a 1050°C durante 1 hora sobre la mejor formulación de pasta de

la mezcla de arcilla roja, amarilla y negra. Tras una observación cualitativa del comportamiento de la frita sobre la pasta y a partir de su composición, se seleccionó la frita y se mezcló con otros compuestos para obtener un esmalte transparente libre de defecto.

Entre los materiales agregados para modificar la frita se utilizaron Borax ( $B_4O_7Na_2$ ) y silicato de sodio, y fueron realizados ajustes secuenciales para lograr las mejores propiedades del esmalte.

Posteriormente, el esmalte se aplicó con distintas técnicas sobre la pasta-soporte y fue cocido por dos procesos distintos para comparar. En el proceso de monococción, la base arcillosa en crudo se esmaltó, se secó y posteriormente se sometió a la temperatura de maduración de 1050°C. En la bicocción la base arcillosa se sometió a una temperatura superior de 650°C por 3 horas, para garantizar la pérdida total de agua, lográndose la contracción total de la arcilla, después se esmaltó la pieza y se sometió de nuevo a una temperatura de maduración de 1050°C.

Después de cocer la pieza, para conocer el contenido de plomo en el esmalte sobre el cuerpo cerámico, se realizó un análisis por absorción atómica bajo la norma NOM-231-SSA1-2002 de salud Ambiental. Ésta establece que la cantidad límite de plomo debe estar alrededor de 0.5 mg/L para artículos de alfarería vidriada, cerámica



vidriada, y porcelana que se utilicen para contener alimentos y bebidas.

Las propiedades determinadas en el esmalte fueron la resistencia al desgaste y la absorción de agua. El método para medir la resistencia al desgaste consiste en determinar la diferencia de pesos antes y después de ser sometido a prueba, a 1000 ciclos, en un equipo TABER-5135 de plataforma giratoria.

Para determinar la absorción de agua se pesa la pieza y se llena con agua destilada hasta 3mm antes de llegar al borde y se deja en reposo por espacio de 1 hora a temperatura ambiente. Se seca, pesa, vuelve a llenarse por 24 horas y de nuevo se pesa. Se calcula el porcentaje de absorción de agua después de la primera hora, después de 24 horas y finalmente, la diferencia de porcentajes de

agua absorbida entre la primera hora de prueba y las otras 24 horas de prueba.

#### ANALISIS DE RESULTADOS.

La mezcla de arcillas que dio las mejores condiciones de conformación correspondió a 50% de arcilla roja, 33.3% de arcilla amarilla y 16.6% de arcilla negra, la cual, dio 28.44% de agua de plasticidad. Después de cocer la pasta se encontró que el mínimo de absorción de agua y contracción de la pieza es a la temperatura de 1050 °C. Es sobre esta pasta que fue aplicado el esmalte formulado con la frita y otros componentes y que fue cocido a esta misma temperatura. La tabla 1 muestra el análisis por absorción atómica de tres fritas, puede notarse que la MC-097 presenta la menor cantidad de óxido de plomo.

<b>Tabla 1. Análisis de Absorción Atómica realizados a las fritas cerámicas.</b>			
<b>Frita cerámica</b>	<b>MC-130</b>	<b>MC-097</b>	<b>Ex10007</b>
Compuesto	% P	% P	% P
SiO <sub>2</sub>	57.3	44.2	54.8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.1	0.1	7.3
CaO	11.2	6.6	9.6
MgO	0.1	0.2	0.3
Na <sub>2</sub> O	3.2	17.8	2.6
K <sub>2</sub> O	1.2	4.6	5.1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0	0.1
PbO	0.5	0.002	3.4
Total	81.6	73.502	88.6
*Nota: Los porcentajes no llegan al 100% debido a que en el análisis de Absorción atómica no se cuenta con el método de caracterización para determinar la presencia de boratos			

Para conocer el comportamiento de cada frita sobre la pasta, se realizó un análisis de botón, para ello, 2.0 gramos de polvo de cada frita fue compactado y colocado sobre la pasta formulada y cocido a la temperatura de 1050 °C en monococión y en bicoción. Después de esto, se realizó una observación cualitativa de la respuesta de cada frita para conocer cual

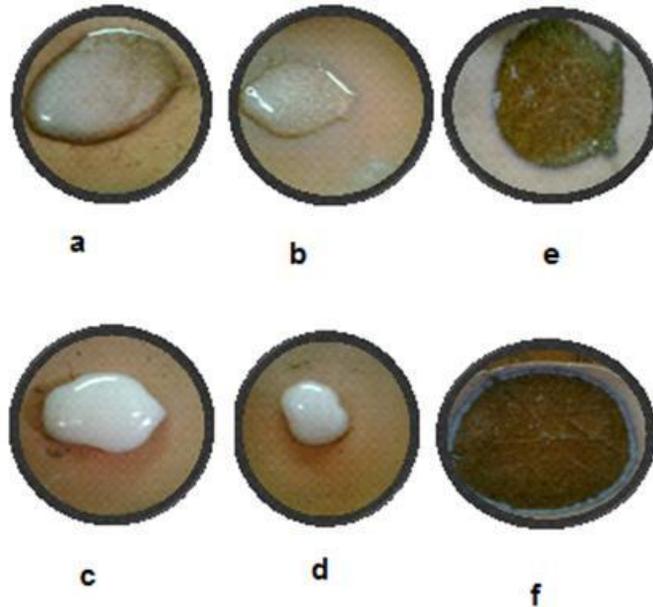
frita da el mejor mojado y menor cantidad de defectos.

En la figura 2 se presenta el comportamiento de cada frita cerámica sobre la base arcillosa para cada proceso de cocción. Puede observarse que la frita MC-130 (fig. 2a y 2b) y EX-10007 (fig. 2c y 2d) a 1050°C no alcanzan completamente a fundir. En el caso de la frita MC-097 (fig. 2e y 2f) se obtuvo un



esmalte transparente muy fluido sobre la arcilla y con buena adherencia sobre el soporte, pero se presentaron algunos defectos debido a que el coeficiente de dilatación del

esmalte es diferente al de la pasta cerámica. Por lo anterior y por la menor cantidad de óxido de plomo, la frita seleccionada fue MC-097.



**Fig. 2.** a) frita MC-130 en monococción, b) frita MC-130 en bicocción; c) frita EX-10007 monococción, d) frita EX-10007 Bicocción, e) frita MC-097 monococción, f) frita MC-097 Bicocción.

Habiendo seleccionado la frita a utilizar como base para el esmalte, se procedió a la reformulación con el objetivo de evitar los defectos observados. Así, considerando las proporciones mostradas en la tabla 2

(Morales, 2005), a la temperatura de 1050°C que corresponde a la de cocido sd la pasta, el esmalte puede contener entre 40 a 60 % de parte fritada.

Tabla 2. Cantidad de frita para formulación de esmalte en base a su temperatura.	
Temperatura (°C)	%parte fritada
900	50-90
1050	40-60
1120	20-40
1200	0-30

Para la formulación del esmalte se agregaron a la frita otros compuestos como:

Esmalte 1.- Frita cerámica MC-097, alúmina y bórax

Esmalte 2.- Frita cerámica MC-097, alúmina y silicato de sodio

Esmalte 3.- Frita cerámica MC-097, alúmina, silicato de sodio, bórax.

Un aumento de la cantidad de alumina disminuye la fluidez y aumenta el punto de

fusión. Por ello, se planteó utilizar bórax, para contrarrestar lo anterior, ya que es un buen formador de red. Los cambios observados en el comportamiento del esmalte a diferente proporción de alúmina, con variación de 10 a 20 % se observa en la tabla 3. Aunque en ambas muestras el esmalte no tuvo un fundido total, puede notarse en la figura 3b, como con una mayor cantidad de alúmina, el botón de esmalte es mas blanquecino.

**Tabla 3. Formulación con frita MC-097, Alúmina comercial y Bórax en diferentes porcentajes de peso.**

Experimento	frita MC-097 %	alúmina %	bórax %	total %
a	70	10	20	100
b	50	20	30	100



Fig. 3. Formulación de esmalte MC-097 con diferentes porcentajes de alúmina y bórax.

Por otro lado, también se observó como afecta la variación en la cantidad de frita, en la figura 3b que con 50% de frita, el esmalte perdió brillo, sien embargo, con un 70% de frita el material craqueló.

Por lo anterior, para el siguiente ajuste, la frita MC-097 se movió de 40% a 60%, se mezcló con cantidades distintas de alumina, se disminuyó la de borax y agrego silicato de sodio como defloculante, como se lo indica la tabla 4.

**Tabla 4. Formulación de frita (60-40)%**

Experimento	frita MC-097%	Silicato de Sodio%	alúmina%	bórax %	total %
a	60	10	20	10	100
b	40	45	5	10	100

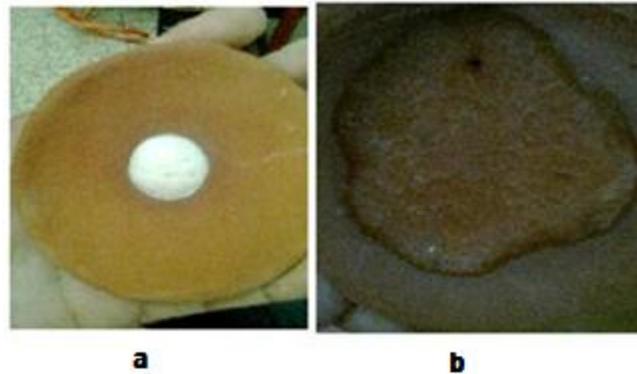


Fig.4. Formulación de esmalte con porcentajes de fritas (40-60 %), variando la cantidad de alúmina y silicato de sodio

El comportamiento del esmalte, se presentan en la fig. 4., donde puede notarse que en (a) que el esmalte es poco fluido y en (b y c) un alto índice de craquelado y muy fluido. Por lo

anterior, en el siguiente ajuste en las experimentaciones se redujo el porcentaje de fritas variando de 50 a 54 y hasta 59%, como se indica en la tabla 5.

**Tabla 5. Formulación con fritas MC-097 (60-50) % en peso.**

Experimento	fritas MC-097 %	silicato%	Alúmina %	bórax %	total %
a	59	30.5	7.5	3	100
b	54	29.5	9	7.5	100
c	50	35	10	5	100

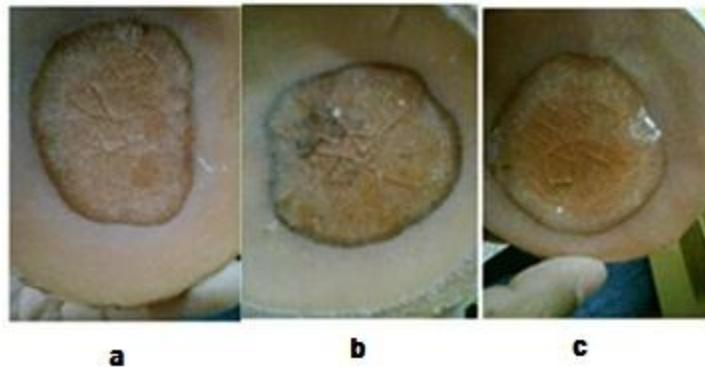


Fig. 5. Muestra de esmaltes con las formulaciones de la tabla 5.

Como puede observarse en la fig.5, aunque el esmalte ya es más fluido para las tres formulaciones, hay menor fluidez y existen defectos.

Los cambios de ajuste para la siguiente formulación se presentan en la Tabla 6. Se observó que las muestras 6a y 6b presentaron pequeñas burbujas atrapadas en el esmalte y en 6c ya no se observó presencia de defectos.

**Tabla 6. Formulaciones aplicadas a pincel sobre la pasta cerámica.**

Experimento	frita MC-097 %	Silicato de Na%	Alúmina %	bórax %	total %
a	55	30	10	5	100
b	55	33	7	5	100
c	55	35	5	5	100

El esmalte obtenido fue transparente y con coeficientes de dilatación parecidos al de la pasta. En la figura 6 se muestra una pieza cerámica con

esmalte de fórmula: 55 % de frita, 35% de silicato de sodio, 5% de alúmina y 5% de bórax, con la técnica de pincel y obtenido por monococción.



Fig.6. Aplicación de formulaciones sobre piezas de la base arcillosa por la técnica de pincel

Las propiedades seleccionadas para determinarse en el esmalte formulado fueron desgaste y absorción de agua. Para el análisis de desgaste, las piezas cerámicas diseñadas se compararon con piezas comerciales de la región y los resultados son mostrados en la fig.7. Puede notarse que existe siempre una

gran ventaja cuando se formula un esmalte, y que al utilizar una frita e introducir materiales refractarios se le confiere al esmalte mayor dureza. El esmalte que tiene mejor condición para aplicarse a la pasta en monococción mostró que se desgasta un 69,4% menos que piezas comerciales de esmalte sin fritar.

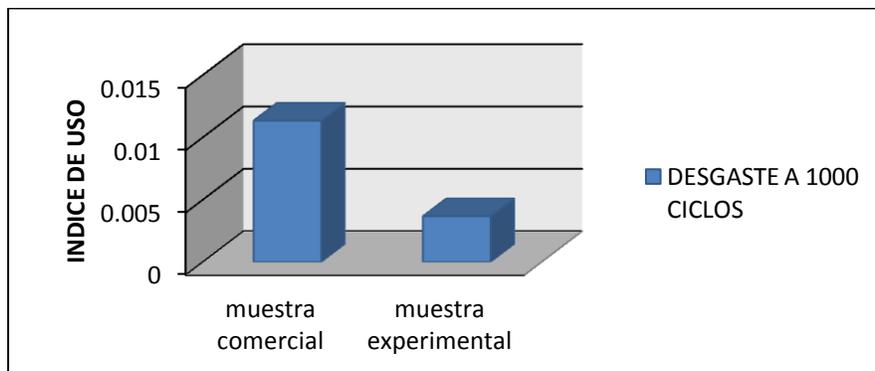


Fig.7. Comparación de los índices de uso de muestras comerciales y muestra experimental.



Las pruebas de absorción de agua, se hicieron bajo norma oficial mexicana NOM-132-SCFI-1998. Los resultados son mostrados en la fig.8, donde se muestra el porcentaje de agua absorbida por la pieza cerámica a través del esmalte transparente formulado por distintas técnicas y procesos de cocción. Para el proceso de bicocción por las tres técnicas de aplicación, los resultados están por encima del 12.15 %. Sin embargo, puede notarse una

gran diferencia en la monococción, en el caso de la técnica de pincel y aspersión se tiene una absorción inferior al 3% y con la técnica de inmersión se obtuvo el mejor resultado con una absorción de agua inferior al 1%, debido a que con la inmersión en el esmalte, éste penetra mejor en los poros de la pieza cerámica y al sinterizar la pieza se tiene una menor porosidad.

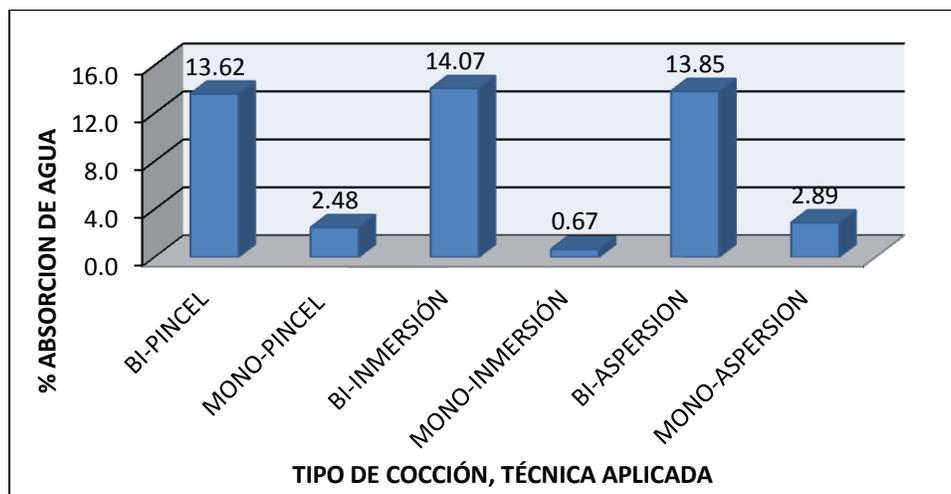


Fig.8. El gráfico representa el porcentaje de agua absorbida en cada proceso de cocción, por las diferentes técnicas de esmaltado.

Para la determinación de plomo se lavó la pieza con jabón neutro y se puso en contacto con borosilicato como agente plástico y se sumergió en una solución de ácido acético al 4% a temperatura controlada de  $22^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$  por 24 horas y protegidas de la luz para lixiviar el plomo. Después de ese tiempo se removió el líquido para homogenizar la solución y se extrajo una alícuota para cuantificarlo por espectrofotometría de absorción atómica (AA) con lámparas de cátodo hueco o de descarga sin electrodos o por plasma inductivamente Acoplado (ICP). Los resultados de plomo soluble en piezas

planas rectangulares, fue que para la pieza a la cual se le aplicó el esmalte experimental transparente diseñado, no tiene detección de plomo soluble en la solución. Mientras que para muestras comerciales se detectó 3.2 ppm, ya cercana a los límites permisibles establecidos para artículos de alfarería y cerámicos.

#### CONCLUSIONES

- Se obtuvo un esmalte transparente con las características adecuadas para aplicarlo y realizar el proceso de



monococción sin que se presenten defectos de esmaltado.

- El esmalte diseñando con la frita MC-097 cumple la Norma Oficial Mexicana 223.
- El esmalte obtenido es más resistente al desgaste abrasivo que un esmalte utilizado en piezas comerciales vendidas en la región, siendo el desgaste tres veces mayor en la muestra comercial.

**Agradecimientos:** Por el apoyo brindado a la Universidad de Guanajuato, A Concyteg y a la maestra María Carrillo.

#### BIBLIOGRAFIA

Cantavella Escrig Miguel, (2010), Desarrollo de fritas, esmaltes y pigmentos cerámicos: Apuntes. - IES El Caminàs : Conselleria d'Educació, cultura I Esports.

Fuentes Ramírez R., O. Mejía- Ordaz, G.de la Rosa y B. Caudillo; (2008) "Evaluación de las condiciones de secado y cocción de una pasta cerámica formulada con arcilla de Guanajuato", Revista Acta Universitaria., Universidad de Guanajuato. Vol 18, ( 3), 20-26.

Gazulla M.F., P. Gómez, A. Moreno, E. Bou, (2001), Estudio de algunos factores que afectan a la solubilidad de fritas en suspensiones de esmaltes. Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio, Vol 40, No 2, 131-137.

- En la aplicación de la frita formulada hubo un menor índice de defecto en ambos procesos de cocción, aunque se obtuvieron mejores resultados para el proceso de monococción. El porcentaje de absorción de agua en los procesos de esmaltado dio en un rango de 0.67 a 2.89 % para monococción y de 13.67 a 14.07 % para bicocción.

Manual Del Ceramista, (1998), Ed. DALY S.L., España. IV tomo.

Morales Güeto Juan (2005); Tecnología de los Materiales Cerámicos; Ed. Díaz Santos.

Norma Para Talavera, Norma Oficial Mexicana; Nom-132-SCFI-1998.

Norma 231. Para la alfarería, porcelana, cerámica; detección de plomo y cadmio; 2001.

Ramos Ramírez E., Guzmán Andrade J.J., Sandoval Juárez M.C. y Gallaga Ortega Y., (2002). Caracterización de Arcillas del Estado de Guanajuato y su Potencial Aplicación en Cerámica. *Acta Universitaria*, 12 (1), 23-30.

Tichell M.T., J. Bakali, A. Pascual, L. Sánchez-Muñoz, I. Nebot -Díaz, J. B. Carda (2000), Esmaltes especiales para soportes de gres porcelánico. Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio, Vol 39, No 1. 31-38

Vielhaber L., (2002), Tecnología De Los Esmaltes; Ed. Reverte, S.A.