



Evaluación fisicoquímica de diferentes tipos de granillas para posible sustitución de granilla actual y su posterior incorporación en el proceso de planta

Luisa Fernanda Tobón Zapata

Informe de práctica para optar al título de Ingeniero de Materiales

Asesores

Maryory Astrid Gómez Botero, Doctor (PhD)

Clara Isabel Londoño Restrepo, Ingeniera Química

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería de Materiales

Medellín, Antioquia, Colombia

Enero de 2022

Cita	Tobón Zapata [1]
Referencia	[1] L. Tobón Zapata, “Evaluación fisicoquímica de diferentes tipos de granillas para posible sustitución de granilla actual y su posterior incorporación en el proceso de planta”, Trabajo de grado profesional, Ingeniería de Materiales, Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia, Colombia, 2022.
Estilo IEEE (2020)	



Centro de documentación Ingeniería CENDOI

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Cépedes

Decano/director: Jesús Francisco Vargas Bonilla

Jefe departamento: Francisco Javier Herrera Builes

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	9
ABSTRACT	10
I. INTRODUCCIÓN	11
II. OBJETIVOS.....	12
III. MARCO TEÓRICO	13
A. Fritas cerámicas.....	13
1) Tipos de fritas	14
a) Fritas para bicocción tradicional	15
b) Fritas para bicocción rápida	15
c) Fritas para esmaltes brillantes de monoporosa.....	15
d) Fritas mate para monoporosa	16
e) Fritas para pavimentos de gres y gres porcelánico.....	16
2) Proceso de producción de las fritas cerámicas	16
3) Hornos de fusión.....	17
4) Enfriamiento de la frita cerámica	18
5) Ventajas de las fritas.....	19
B. Granillas	20
1) Tipos de granillas.....	20
a) Granillas brillantes transparentes	20
b) Granillas brillantes blancas	21
c) Granillas mate transparentes	21
d) Granillas con efecto.....	21
IV. METODOLOGÍA	22

A.	Revisión bibliográfica	22
B.	Identificación de los tipos de granillas a evaluar e indagación sobre la fabricación de fritas y proceso de obtención de las granillas	22
C.	Validación a nivel de producción las temperaturas y los ciclos de quema	24
D.	Caracterización fisicoquímica de las granillas	25
E.	Realización ensayo #1 y ensayo #2 a nivel de laboratorio.....	25
F.	Selección preliminar respecto al ensayo #1 y ensayo #2	26
G.	Realización ensayo #3 en línea de producción.....	27
H.	Selección de las granillas que presentan las mejores propiedades y el menor grano de azúcar	28
I.	Realización costo/beneficio de la o las granillas seleccionadas.....	28
V.	RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	28
A.	Validación a nivel de laboratorio de las temperaturas y ciclos de quema.....	28
1)	Temperatura de monococción (1120 °C) y ciclo de 50 min.....	29
a)	Granilla 1	29
b)	Granillas 2, 5, 8, 9 y 10	29
c)	Granillas 3, 4 y 7	30
d)	Granilla 6.....	30
e)	Granilla 11.....	30
2)	Temperatura de bicocción (1070 °C) y ciclo de 40 min.....	30
a)	Granilla 1	31
b)	Granillas 2, 5, 8, 9 y 10	31
c)	Granillas 3, 4 y 7	31
d)	Granilla 6.....	31
e)	Granilla 11.....	32
B.	Clasificación granulométrica.....	34

1) Muestras rechazadas	38
2) Muestras con buen comportamiento en otras mallas diferente a malla 10.....	40
3) Muestras aceptadas	42
D. Ensayo #2 muestras decoradas quemadas a temperatura de bicocción.....	43
1) Muestras rechazadas	44
2) Muestras con buen comportamiento en otras mallas diferente a malla 10.....	45
3) Muestras aceptadas	47
E. Ensayo #3 línea de producción.....	47
1) Muestras rechazadas	48
2) Muestras aceptadas	49
F. Costo/beneficio.....	49
VI. CONCLUSIONES	50
VII. REFERENCIAS	51

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Proceso de fabricación de fritas cerámicas.	17
Fig. 2 Esquema de un horno de fusión continuo [10].	18
Fig. 3. (a) Enfriamiento en agua y (b) Enfriamiento en aire [10].	18
Fig. 4. Granillas proporcionadas para ser evaluadas.	23
Fig. 5. Proceso de producción de frita en SM.	23
Fig. 6. Producción de granilla en SM.	24
Fig. 7. Botones sin quemar de las 13 granillas.	24
Fig. 8. Rotab utilizado para la caracterización granulométrica de las granillas.	25
Fig. 9. Formato en bizcocho utilizado para ambos ensayos sin imagen y con imagen.	26
Fig. 10. Muestras decoradas con aplicación en la mitad de la base protectora de planta.	26
Fig. 11. Aplicación de capa protectora mediante rodillo.	27
Fig. 12. Muestra con capa protectora y después del proceso de secado.	28
Fig. 13. Muestra con aplicación de GR.	28
Fig. 14. Granillas de planta quemadas (a) ciclo de 50 min a 1120 °C, (b) ciclo de 40 min a 1070 °C.	29
Fig. 15. Botones de las 13 granillas quemadas a temperatura de monococción 1120 °C en un ciclo alrededor de 48 min.	33
Fig. 16. Botones de las 13 granillas quemadas a temperatura de bicocción 1070 °C en un ciclo alrededor de los 40 min.	34
Fig. 17. Caracterización granulométrica de las 13 granillas.	35
Fig. 18. Clasificación granulométrica malla de 8 hilos.	35
Fig. 19. Clasificación granulométrica malla de 10 hilos.	36
Fig. 20. Clasificación granulométrica malla de 18 hilos.	37
Fig. 21. Clasificación granulométrica malla de 24 hilos.	37
Fig. 22. Muestras que fueron rechazadas en el primer ensayo: (a) GR 1 malla de 18 y 24 hilos, (b) GR 2 malla de 18 hilos, (c) GR 5 malla de 18 y 24 hilos, (d) GR 8 malla de 18 hilos, (e) GR 6 malla de 10 y 8 hilos, (f) GR 10 malla de 18 hilos y (g) GR 11 malla de 8 hilos.	40
Fig. 23. Muestras que presentan buen comportamiento: (a) GR 2 malla de 24 hilos, (b) GR 3 malla de 8 hilos, (c) GR 4 malla de 18 hilos, (d) GR 7 malla de 8 hilos y (e) GR 9 malla de 18 hilos.	42

Fig. 24. Muestras que fueron aceptadas en el primer ensayo: (a) GR 3 malla de 10 hilos, (b) GR 4 malla de 10 hilos, (c) GR 5 malla de 10 hilos, (d) GR 8 malla de 10 hilos, (e) GR 9 malla de 10 hilos y (f) GR 10 malla de 10 hilos.43

Fig. 25. Muestras que fueron rechazadas en el segundo ensayo: (a) GR 1 malla de 18 y 24 hilos, (b) GR 5 malla de 24 hilos, (c) GR 6 malla de 10 y 18 hilos, (d) GR 8 malla de 18 hilos, (e) GR 9 malla de 18 hilos, (f) GR 10 malla de 18 hilos y (g) GR 11 malla de 8 hilos.....45

Fig. 26. Muestras que presentan buen comportamiento: (a) GR 2 malla de 18 y 24 hilos (b) GR 3 malla de 8 hilos, (c) GR 4 malla de 18 hilos, (d) GR 5 malla de 18 hilos y (e) GR 7 malla de 8 hilos.46

Fig. 27. Muestras que fueron aceptadas en el segundo ensayo: (a) GR 3 malla de 10 hilos, (b) GR 4 malla de 10 hilos, (c) GR 5 malla de 10 hilos, (d) GR 8 malla de 8 hilos, (e) GR 9 malla de 10 hilos y (f) GR 10 malla de 10 hilos.47

Fig. 28. Muestras que fueron rechazadas en el ensayo final utilizando una malla de 10 hilos: (a) GR 5, (b) GR 8, (c) GR 9 y (d) GR 10.....48

Fig. 29. Muestras que fueron aceptadas en el ensayo final utilizando una malla de 10 hilos: (a) GR 3 y (b) GR 4.....49

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

SM	Sumicol
GR	Granilla
GRS	Granillas

RESUMEN

Debido a todo esto que se está viviendo actualmente en el mundo, por causa del virus Covid-19, muchas empresas también se han visto afectadas, tanto en la parte económica como en la parte de insumos, y la empresa COLCERÁMICA no es la excepción, a causa de la escasez de oxígeno la producción de fritas y granillas se ha frenado, pues los hornos con los cuales se fabrican estos productos trabajan con este gas, y por lo tanto COLCERÁMICA se ha tenido que ver obligada a buscar otra manera de abastecer los insumos requeridos para los procesos productivos con materiales importados.

En los productos decorados el factor moda es muy importante y poder ofrecer atributos novedosos al consumidor es el gran desafío. La granilla es un material que permite ofrecer estos atributos, es por lo que debido a la poca o casi nula producción de granilla, se decide evaluar otras granillas de diferentes proveedores para lograr el posible reemplazo de la granilla actual. De acuerdo con lo anterior, a través de este proyecto se pretende realizar un estudio a nivel de laboratorio con posible escalamiento semi-industrial desde el proceso de caracterización físicoquímica y su incorporación en los acabados de los productos resultantes, identificando variables críticas como cantidad de granilla que se puede incorporar en cada producto, temperaturas y ciclos de quemados requeridos para obtener buenas propiedades y una estética similar, o mejor a la de las muestras de la granilla actual trabajadas a escala de laboratorio.

Palabras clave — granilla, frita, caracterización, sustitución, evaluación

ABSTRACT

Thanks to the current issues happening in the world, because of the Covid-19 virus, numerous companies have also been affected, both economically and in the part of inputs, and the company COLCERÁMICA is no exception. The shortage of oxygen has slowed down the production of frits and grits, since the furnaces used to manufacture these products work with this gas, and therefore COLCERÁMICA has been forced to look for another way to supply the inputs required for the production processes with imported materials.

In decorated products, the fashion factor is very important and being able to offer novel attributes to the consumer is the great challenge. Grit is a material that allows to offer those attributes, and due to the little or almost null production of grit, it was decided to evaluate other grits from different suppliers to achieve the possible replacement of the current one. In accordance with the above, this project aims to carry out a laboratory study with possible semi-industrial scaling from the physicochemical characterization process and its incorporation in the finishes of the resulting products. This was possible by identifying critical variables such as the amount of grits that can be incorporated into each product, temperatures and burn cycles required to obtain good properties and aesthetics similar to or better than those of the actual grits samples worked at laboratory scale.

Keywords - grit, frit, characterization, substitution, evaluation

I. INTRODUCCIÓN

La importancia de la cerámica dentro de la industria radica en su estrecho vínculo con el sector de la construcción; proporcionando productos empleados en el revestimiento de pisos y paredes, así como productos de porcelana sanitaria.

El sector cerámico en Colombia está altamente concentrado; más de 80% de la producción pertenece a cuatro empresas: ColCerámica S.A. (Grupo Corona), Cerámica Italia (10% del mercado de pisos en el país), Alfagrés S.A. (nacional) y Eurocerámica (nacional) [1].

Corona es una multinacional colombiana dedicada a la manufactura y comercialización de productos para el hogar, la construcción y la industria. Está compuesta por cuatro divisiones de negocios las cuales son: baños y cocinas, insumos y manejo de energía, mesa servida y superficies, materiales y pinturas [2].

La división de insumos y manejo de energía Sumicol S.A.S, está dedicada a la transformación de minerales no metálicos con mezclas de valor agregado y partes o moldes para la conformación de piezas para las industrias que son atendidas [3], donde uno de los productos de alto nivel de desempeño que se produce, son las fritas, este producto tiene una composición homogénea y contiene diversos óxidos, que por lo general son óxidos orgánicos, donde estos tipos de óxidos contienen carbono comúnmente enlazado con hidrógeno, oxígeno, boro, nitrógeno, azufre y algunos halógenos; el resto de los compuestos se clasifican como compuestos inorgánicos, luego estas fritas son fundidas a altas temperaturas y posteriormente sometidas a un enfriamiento rápido en agua y como resultado final, su presentación puede ser en polvo, como suspensión o directamente como producto granulado.

La última de las divisiones pertenecientes a Corona, superficies, materiales y pinturas, llamada COLCERÁMICA S.A.S que se encuentra ubicada en La Estrella se dedica al desarrollo y fabricación de productos para la construcción y remodelación que incluyen revestimientos, tales como pisos, paredes y decorados. Uno de los principales insumos utilizados para la decoración de los productos cerámicos es la granilla, estas son obtenidas a partir de la trituración mecánica de las fritas hasta lograr un tamaño de partícula aproximadamente de entre 0,2 a 0,8 mm. Por lo tanto, con la ejecución del presente proyecto se pretende evaluar las propiedades fisicoquímicas de granillas de nuevos proveedores para una posible sustitución de las granillas actuales para su implementación en el proceso de planta, más precisamente en la línea de revestimientos que incluyen pisos, paredes y decorados.

II. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Evaluar los distintos tipos de granillas de diferentes proveedores, para lograr la posible sustitución de la granilla actual de planta.

B. Objetivos específicos

- Identificar las características fisicoquímicas (tamaño de partícula, número de malla adecuado, color, opacidad, fundencia, efecto grano de azúcar) de las granillas para su implementación en el proceso de planta.
- Validar los tratamientos térmicos con los que se pueden trabajar las granillas en primera y segunda quema.
- Estudiar el comportamiento de las granillas respecto a los procesos de decoración (con y sin capa protectora, impresión digital y a pantalla) para establecer la mejor combinación entre las granillas y los diferentes procesos de decoración.
- Comparar los costos/beneficios de las nuevas granillas evaluadas versus la granilla producida por la empresa.

III. MARCO TEÓRICO

Para lograr un óptimo desarrollo del proyecto realizado, se hace necesario abordar ciertos conceptos y procesos asociados no únicamente al desarrollo de los productos sino también de las materias primas que son utilizadas al momento de hablar de cerámicas en general y más específicamente en el área en que el que se trabajó, superficies, revestimientos y pinturas. Por tal motivo es de suma importancia precisar en el concepto de fritas, el cual según la RAE es como un tecnicismo del arte cerámico y del vidrio, lo cual significa someter los materiales vitrificables a muy altas temperaturas.

A. Fritas cerámicas

Una fritas cerámica es un material de naturaleza vítrea preparado por fusión, a temperatura elevada (alrededor de 1500 °C) de una mezcla de materias primas de naturaleza cristalina. Éstas, durante el proceso de fusión forman una masa fundida que, al final del proceso, es enfriada bruscamente en aire o agua, originando la fritas propiamente dicha. La principal razón de emplear fritas y no sus precursores cristalinos en la elaboración de esmaltes es la posibilidad de incorporar componentes solubles. Sin embargo, existen otras importantes ventajas como son la reducción de la temperatura y tiempo de sinterización, la obtención de texturas más lisas y brillantes o el mejor rendimiento de los opacificantes [4].

Es necesario destacar que el grupo más importante por el cual se da la formación del vidrio son los óxidos, ya que dentro de él se encuentran los principales formadores de fritas cerámicas, como es el caso de SiO_2 y el B_2O_3 donde estos poseen la habilidad no sólo de formar vidrios aisladamente sino mezclados con otros muchos óxidos metálicos, como los alcalinos, alcalinotérreos y la alúmina que por sí mismos no son susceptibles de alcanzar el estado vítreo, pero que pueden reaccionar con éstos formando una fase vítrea continua [5].

En la TABLA I se muestran las principales materias primas utilizadas en la fabricación de fritas cerámicas.

TABLA I. MATERIAS PRIMAS UTILIZADAS EN LA FABRICACIÓN DE FRITAS CERÁMICAS.

Óxido o componente	Materias primas usadas	Otras materias primas
SiO ₂	Cuarzo	
	Caolín	
	Feldespató alcalino (Na, K)	
B ₂ O ₃	Ácido bórico cristalizado	Borato sódico
	Colemanita	Ulexita
Li ₂ O	Esposdumena	
Na ₂ O	Feldespató sódico	
	Carbonato sódico	
	Nitrato sódico	
K ₂ O	Feldespató potásico	
	Nitrato potásico	
MgO	Talco	Magnesita
	Dolomita	
CaO	Carbonato de calcio	Nitrato de calcio
	Colemanita	
	Dolomita	
BaO	Carbonato de bario	
ZnO	Óxido de zinc	
PbO	Mínio	
Al ₂ O ₃	Caolín	Alúmina hidratada
	Feldespató alcalino	Alúmina calcinada
ZrO ₂	Circón	

Las fritas basadas en ciertos óxidos múltiples son las materias primas principales para las composiciones de esmaltes, utilizados en la fabricación de los productos cerámicos obtenidos por procesos de monococción rápida. Cuando es necesario ocultar un color de soporte indeseable y donde el atractivo estético es un factor importante, se prefieren los vidriados opacos [6].

1) Tipos de fritas

Existe una amplia variedad de fritas cerámicas en el mercado, que difieren en sus características físicas y su composición química, por lo tanto, según el tipo de efecto que se esté buscando, depende del tipo de fritas que se necesite.

Siendo así, las fritas pueden clasificarse atendiendo a muy diversos criterios en función:

- De su composición química (plúmbicas, borácicas, etc.)
- De sus características físicas (opacas, transparentes, etc.)
- De su intervalo de fusión (fundentes, duras, etc.)

A continuación, se muestran las características de fritas empleadas en la fabricación de baldosas cerámicas.

a) Fritas para bicocción tradicional

Estas fritas funden a bajas temperaturas (sobre 950 °C) con ciclos de cocción largos. Las fritas transparentes para bicocción han sido tradicionalmente fritas plúmbicas, aunque se ha ido tendiendo a reducir el contenido en plomo a causa de su elevada toxicidad, reemplazándose por boro, alcalinos y alcalinotérreos. Las fritas opacas tienen unas composiciones similares, con la adición de hasta un 14 % en peso ZrO_2 .

b) Fritas para bicocción rápida

La bicocción rápida supone ciclos de cocción muy cortos, del orden de 40 minutos, a una temperatura máxima de unos 1050 °C y con apenas 2 minutos de permanencia. Con estas condiciones de cocción, se requieren fritas fundentes con muy bajas viscosidades en fundido. Las fritas transparentes tienen superficies lisas y brillantes y, debido a que deben incorporar fundentes a su composición, pueden tener una resistencia baja al ataque químico. Las fritas opacas necesitan una mayor cantidad de ZrO_2 en la composición.

c) Fritas para esmaltes brillantes de monoporosa

Los esmaltes aplicados deben madurar sobre soportes con un 10 -12 % de carbonatos en ciclos rápidos (entre 35 y 50 minutos) a temperaturas entre 1080 y 1100 °C. La desgasificación de los carbonatos del soporte se produce entre 720 y 900 °C por lo que debe facilitarse este abundante desprendimiento gaseoso a través del esmalte para lo cual es conveniente que la temperatura de sellado de las fritas que componen el esmalte sea superior a 900 °C. Es decir, la fusión y maduración del esmalte debe realizarse en un intervalo de temperaturas muy reducido. Para conseguir esto, estas fritas utilizan los óxidos de CaO y ZnO como fundentes mayoritarios en proporciones elevadas ya que estos óxidos aumentan la temperatura de sellado, pero, cuando el esmalte inicia la fusión le confieren una viscosidad suficientemente baja para que la maduración se pueda realizar adecuadamente. Por otra parte, el porcentaje de alcalinos, PbO y B_2O_3 ha de ser menor que en las fritas transparentes de bicocción debido a que estos óxidos disminuyen la temperatura de sellado.

d) Fritas mate para monoporosa

Ya se ha indicado que existen dos tipos de mates comúnmente empleados en esmaltes cerámicos: los mates de cal y los mates de cinc. Ambos mates se consiguen por la desvitrificación de wollastonita ($\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) y willemita ($\text{ZnO}\cdot\text{SiO}_2$) respectivamente. Este tipo de fritas se emplean también para esmaltes mate de monoporosa. Otras fritas mate menos empleadas, por cuestiones medioambientales, son los mates de bario y los mates de bario y cinc.

e) Fritas para pavimentos de gres y gres porcelánico

Estos productos se fabrican también con ciclos de cocción muy cortos (máximo 50 minutos) y a temperaturas superiores a la monoporosa (1130 °C a 1160 °C el gres y 1180 °C a 1200 °C el gres porcelánico); y además se exige a los vidriados una mayor resistencia mecánica y química. Por tanto, estas fritas deben incorporar en su composición óxidos refractarios como SiO_2 y Al_2O_3 y/o favorecer la cristalización de fases que mejoren dichas propiedades [7].

2) Proceso de producción de las fritas cerámicas

El proceso de fabricación de las fritas cerámicas se da fundiendo las materias primas (ver TABLA I), en un horno a elevadas temperaturas, estas se pueden encontrar alrededor de los 1500 °C, posteriormente esta fundición es sometida a un enfriamiento brusco, por lo general es utilizada el agua para este tipo de enfriamiento y se tendrá como resultado un material desmenuzado, que es insoluble como se puede evidenciar en la Fig. 1.

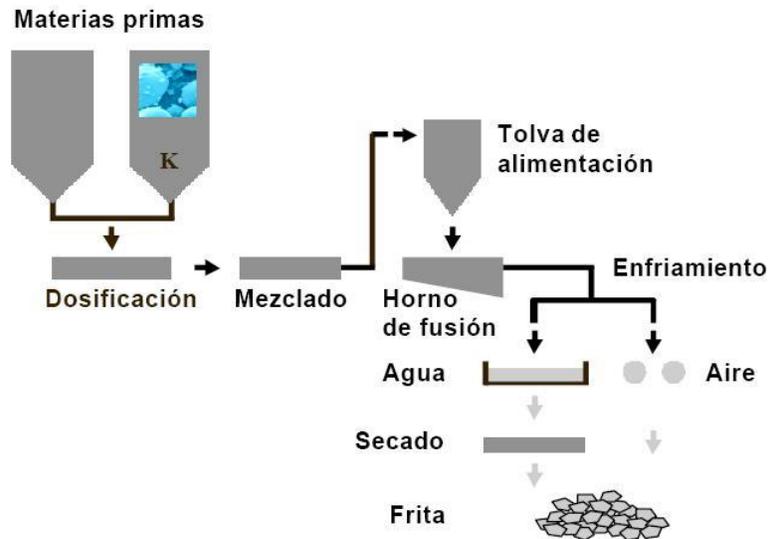


Fig. 1. Proceso de fabricación de fritas cerámicas.

Como se había dicho anteriormente el proceso de fabricación de granillas depende directamente del proceso de fabricación de fritas por lo que se denomina granilla a partículas de frita con un tamaño entre 0,2 a 0,8 mm. Por lo tanto, se produce cogiendo los gránulos o láminas de frita y triturarlos mecánicamente tamizando posteriormente los polvos obtenidos en una torre de tamices con diferentes granulometrías. De esta forma podemos tener granilla de una misma frita, pero con distinta granulometría, es decir diferentes granillas de una frita ya que el comportamiento postcocción de las granillas puede variar con el tamaño [9].

3) Hornos de fusión

La fabricación de fritas utiliza hornos de fusión de menos de 30 toneladas /día de capacidad de producción. Este proceso puede desarrollarse en continuo (hornos continuos con enfriamiento por agua o por aire) o en discontinuo (hornos rotatorios con enfriamiento por agua). La industria de fritas cerámicas utiliza principalmente hornos de fusión continuos, como se puede observar en la Fig. 2, y en raras ocasiones discontinuos. La elección del tipo de horno depende de la escala de producción y de la formulación del producto.

La producción permanece constante debido a la continua alimentación de las materias primas en la entrada del horno. El material fundido puede ser puesto en contacto

directamente con un baño de agua, o puede ser enfriado entre rodillos enfriadores para producir un producto fritado. Los hornos de fritado utilizan gas natural, y las temperaturas comunes en los hornos oscilan entre los 1350 °C y los 1550 °C.

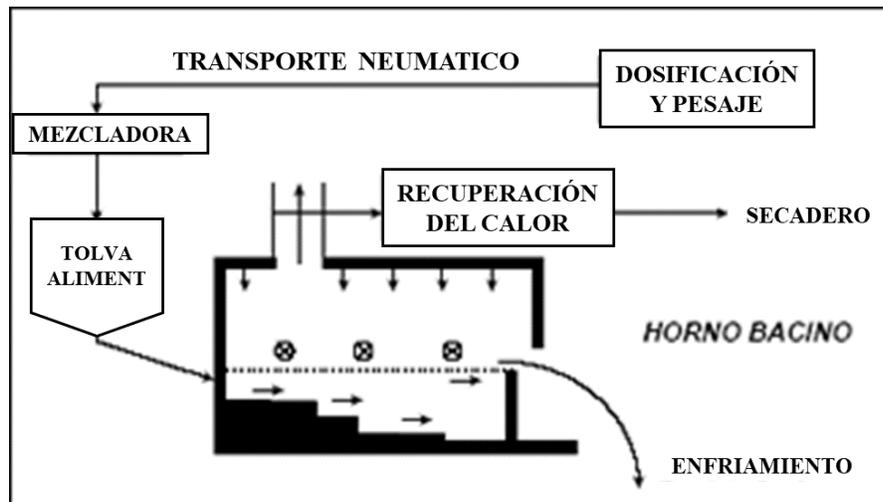


Fig. 2 Esquema de un horno de fusión continuo [10].

4) *Enfriamiento de la frita cerámica*

La masa fundida debe enfriarse rápidamente a la salida del horno. Existen dos procedimientos de enfriamiento: por agua y por aire, como se puede observar en la Fig. 3. En el enfriamiento por agua, la masa fundida va a parar a un rebosadero, cayendo en forma de cortina en un depósito con agua a temperatura ambiente, donde solidifica rompiéndose en pequeños trozos. Este fraccionamiento de la masa sólida facilitará su posterior molienda.

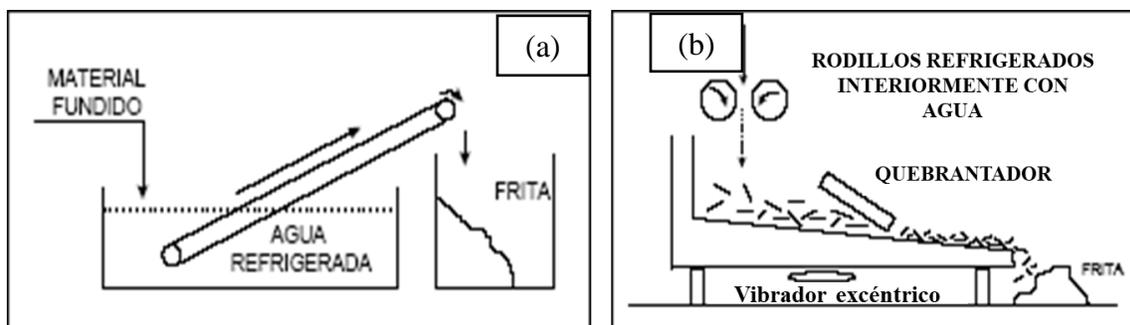


Fig. 3. (a) Enfriamiento en agua y (b) Enfriamiento en aire [10].

En el enfriamiento por aire la frita fundida se hace pasar a través de dos rodillos laminadores refrigerados en su interior por agua. Estos rodillos laminan la pasta vítrea dando lugar a un

producto delgado (laminado) que cae sobre un quebrantador-vibrador, que las reduce a pequeñas escamas. Una ventaja de este tipo de enfriamiento respecto al anterior es que no es necesario la etapa posterior del secado de la frita [10].

La industria cerámica se ha desarrollado exponencialmente en los últimos años gracias a la evolución progresiva de algunos procesos y productos específicos. Estos últimos (como tintas, granillas, esmaltes, efectos digitales, etc.) deben desarrollarse de acuerdo con las posibilidades que ofrecen las tecnologías actuales disponibles en el mercado, que son fundamentales para mantener la alta calidad de los acabados de los productos cerámicos. Granillas y tintas son dos componentes fundamentales para los productores de cerámica. Estos dos «ingredientes» permiten tener productos de alta gama con un importante valor técnico y estético [11].

5) *Ventajas de las fritas*

Las fritas son el principal componente de casi todos los esmaltes cerámicos, las fritas hacen posible:

- Hacer insolubles los materiales solubles, pues óxidos muy útiles (es decir, el boro) están contenidos en altas proporciones en materias primas que son poco o muy solubles, además de que las mezclas fritadas que contienen estos materiales los hacen insolubles e inertes.
- La disminución de la toxicidad ya que el proceso de fritado los elimina.
- La reducción de la temperatura de fusión y mejora la previsibilidad de la masa fundida ya que la fusión requiere menos tiempo y energía, permitiendo así cocer un esmalte a una temperatura más baja.
- Mejorar la calidad de la decoración.

Al momento de tener un mayor porcentaje de fritas se da pie a mejorar la calidad y rapidez de cocción, disminución en la temperatura de fusión, una menor cantidad de defectos, mayor claridad, colores más brillantes, se obtiene una superficie más lisa y una menor expansión térmica [12].

B. Granillas

Son fritas que se han sometido a un proceso de trituración y posterior tamizado para alcanzar el intervalo de tamaños de grano apropiado. Dependiendo del efecto final que se desee obtener, la distribución de tamaños debe ser muy estrecha o ancha. Generalmente los intervalos más normales están comprendidos entre 0,15-0,5 mm y 1-2 mm. Las granillas coloreadas se obtienen a partir de fritas coloreadas por fusión o recubriendo la partícula de frita ya triturada con un pigmento cerámico. En este último caso, es imprescindible que el pigmento se distribuya regularmente sobre todos los granos de frita. Para que la capa del vidriado resultante presente las características requeridas (ausencia de porosidad, expansión térmica adecuada, textura) es necesario que las diferentes granillas que se empleen sean compatibles entre sí y con los restantes esmaltes que puedan aplicarse por vía húmeda. Una selección inadecuada de las granillas y/o del esmalte base ocasiona con frecuencia poros entre gránulos distintos o entre gránulos y base en el vidriado cocido, lo que deteriora considerablemente la calidad del producto. No obstante, el problema principal de la fabricación de granillas es la presencia de infundidos que provoca la aparición de defectos puntuales sobre la superficie vidriada cocida [13].

1) Tipos de granillas

Además de una amplia gama de efectos cerámicos, las granillas están disponibles en una amplia gama de selecciones granulométricas, lo que las hace utilizables con todos los sistemas de aplicación existentes, tanto en húmedo como en seco.

a) Granillas brillantes transparentes

Las granillas brillantes transparentes pertenecen a esta serie. Han sido diseñadas de tal manera que pueden ser utilizadas tanto individualmente como mezcladas, permitiendo una excelente elasticidad de uso tanto en términos de ciclos de cocción como de tipos de masa. Su gran transparencia permite un excelente desarrollo de los colores digitales incluso cuando se utilizan en grandes espesores como en el caso de los productos lapados, donde generan un vidrio extremadamente compacto. En granulometrías más gruesas pueden utilizarse como agente de punteado o para dar efectos de tipo “azúcar”.

b) Granillas brillantes blancas

Esta serie incluye una granilla hiperblanca formulada de manera que sea compatible con todas las demás granillas de la gama y pueda así utilizarse para puntear al mezclarse con las demás. También puede utilizarse sola como decoración (vena blanca) o en mezcla dentro de los esmaltes porque, aunque es extremadamente blanca, tiene tal fusibilidad que puede fundirse perfectamente sin quedar en relieve y de forma desagradable al tacto.

c) Granillas mate transparentes

Esta serie incluye las granillas mate transparentes, muy resistentes a las pisadas. Es la serie que contiene el mayor número de códigos. Esto se debe a que Colorobbia, mayor fabricante en el mundo de fritas, pigmentos y otros productos para la industria cerámica y vidrio, ha venido estudiando de forma muy particular su formulación química, combinando las mejores propiedades técnicas con las superficies mate suaves o antideslizantes que quiere obtener según las necesidades a diferentes temperaturas de uso. Además, como se puede ver en sus características físicas que se muestran en el catálogo, la gama puede utilizarse con un amplio rango de temperaturas de cocción (revestimientos y pavimentos) y se adaptan muy bien a la mayoría de los sustratos de cerámica. Son granillas transparentes y esto conduce a un excelente desarrollo del color; normalmente, en el caso de los azulejos lapados, se originan por sí mismos o en cortes con granillas de vidrio brillante muy transparentes y compactas.

d) Granillas con efecto

Es la última de las series de granillas, pero no menos importante. Esta serie incluye granillas con efecto brillante y metálico. Cabe señalar que, aunque son eficaces en nuestras condiciones estándar de cocción (1205 °C durante 50 min) su resistencia a los ataques químicos no está garantizada. Pueden ser usadas tanto solas para decoración como en mezcla con las otras granillas de la gama como punteado de efecto. Por esta razón no se suministran en todas las granulometrías, sino sólo en aquellas que permiten su uso en seco o como punteado de efecto [14].

Las granillas cerámicas, concretamente, son una combinación de tecnologías químicas al servicio de la belleza del producto. La granilla está formada por partículas de vidriado, con una distribución granulométrica precisa, que se aplican sobre una superficie cerámica para obtener diferentes efectos. Lo que distingue a las diferentes granillas cerámicas, no es solo la distribución granulométrica, sino también el origen de las materias primas y la composición: esta última influye significativamente en las propiedades químico-físicas del vidrio en términos, por ejemplo, de rendimiento de los colores, temperaturas, características, valores de coeficiente de dilatación térmica, presencia de porosidad, etc [11].

IV. METODOLOGÍA

A. Revisión bibliográfica

Como parte inicial del proyecto en cuestión y durante la realización de este, se realizó la búsqueda bibliográfica de los términos asociados a las fritas y a las granillas, esto con el objetivo de comprender el proceso de fritado y de granillado y las materias primas utilizadas para la obtención de cada uno de los productos finales.

B. Identificación de los tipos de granillas a evaluar e indagación sobre la fabricación de fritas y proceso de obtención de las granillas

Fueron proporcionadas en total 13 diferentes tipos de granillas de distintos proveedores ver Fig. 4. para ser evaluadas, incluyendo las granillas de planta para tener un referente sobre lo que se quiere llegar, para esta evaluación se contaba únicamente con las granillas, es decir sin tener fichas técnicas y especificaciones, de esta manera se evaluaron con las condiciones que normalmente se trabajan en la planta.



Fig. 4. Granillas proporcionadas para ser evaluadas.

Además, se realizó una visita a la planta Sumicol (SM), donde se da el proceso de fritado y posterior producción de granilla, allí se dio un recorrido y acompañamiento durante todo el proceso, logrando entender de una forma más clara la información, proceso e importancia de este producto en la industria cerámica, en la Fig. 5 y Fig. 6. Se observan algunas fotos tomadas durante el recorrido del proceso de fabricación de frita y producción de granilla respectivamente.



Fig. 5. Proceso de producción de frita en SM.



Fig. 6. Producción de granilla en SM.

C. Validación a nivel de producción las temperaturas y los ciclos de quema

Para lograr esta validación se procedió a realizar lo que se denominan botones, estos botones son simplemente pequeños círculos de las granillas en una baldosa que se encuentra ya esmaltada, en este caso de color negro brillante como se muestra en la Fig. 7 y estos botones están en forma cruda. Para lograr observar el comportamiento de las diferentes granillas a las temperaturas y ciclos de quema con las que cuenta la planta, se quemaron para monococción a una temperatura de 1120 °C durante 50 min aproximadamente y bicocción a una temperatura de 1070 °C alrededor de 40 a 48 min aproximadamente.

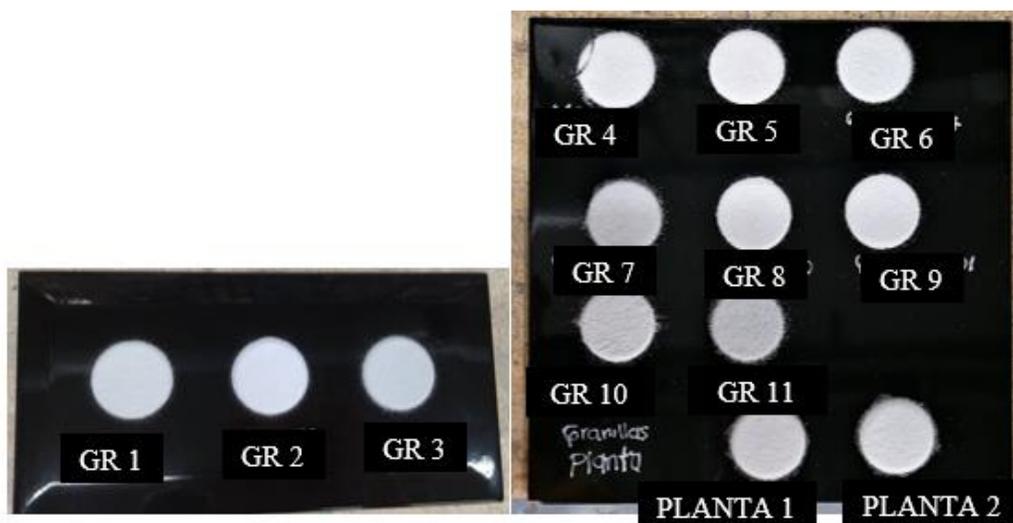


Fig. 7. Botones sin quemar de las 13 granillas.

D. Caracterización fisicoquímica de las granillas

Se tomaron 100 gramos de cada una de las 13 granillas, se pusieron en el rotab con que cuenta el laboratorio (Fig. 8) haciéndolas pasar por 6 diferentes números de tamices, 50, 60, 70, 80, 100 y 140 con abertura nominal correspondiente a 300, 250, 212, 180, 150, 106 micras, respectivamente. Todos los pesos obtenidos de cada tamiz y para cada granilla fueron plasmados en un Excel, mediante el cual se hicieron unas tablas y gráficas que permitieron la clasificación granulométrica para determinar el tipo de malla adecuada para cada granilla, en este caso se utilizaron varias mallas para algunas granillas y otras granillas solo con un tipo de malla, todo esto con el fin de ver el mejor comportamiento de estas. Los números de las mallas que se utilizaron fueron 8 hilos para los tamaños de partícula más gruesos, 10 y 18 hilos para los tamaños medios y 24 hilos para los tamaños de partícula más finos. Todo esto se discutirá más detalladamente en los resultados.



Fig. 8. Rotab utilizado para la caracterización granulométrica de las granillas.

E. Realización ensayo #1 y ensayo #2 a nivel de laboratorio

Se tomaron bizcochos inertizados y se cortaron en un formato de 10cmX15cm para decorarlos con una imagen en la cual se pudieran apreciar visualmente varios colores fuertes como el púrpura, rojo y marrón, pues estos son los colores que se ven más afectados o donde se evidencian más los defectos de las granillas al momento de quemarlas, sobre todo el grano de azúcar (principal defecto en las granillas) ver Fig. 9. Posterior a la decoración se les aplicó en la mitad a cada una de las muestras la base protectora de la planta para lograr evidenciar cómo se comportan las granillas a

evaluar sin la capa protectora y con la capa protectora (Fig. 10). Se realizaron dos ensayos, el primero para monococción (Temperatura 1120 °C durante 50 min aproximadamente) y segundo para bicocción (Temperatura 1070 °C durante 45 min aproximadamente).



Fig. 9. Formato en bizcocho utilizado para ambos ensayos sin imagen y con imagen.



Fig. 10. Muestras decoradas con aplicación en la mitad de la base protectora de planta.

F. Selección preliminar respecto al ensayo #1 y ensayo #2

De las 13 granillas proporcionadas, excepto las dos de planta que fueron utilizadas como referencia, se hizo una primera selección visual y al tacto como resultado de los dos primeros ensayos, teniendo en cuenta sus propiedades físicas, como brillo, textura, fundencia, opacidad y color. Estas granillas seleccionadas en primera instancia serán evaluadas en un tercer ensayo para una selección final.

G. Realización ensayo #3 en línea de producción

Se tomaron bizcochos crudos, esmaltados y engobados y se cortaron en un formato de 30cmX30cm para decorarlos con la misma imagen utilizada en los ensayos anteriores, de tal manera que se pudieran reflejar visualmente las características que se quieren en los colores fuertes y en general de toda la pieza. Posteriormente se le aplicó la capa protectora, en este caso a toda la superficie de la baldosa, mediante un rodillo, se puede observar en la Fig.11; luego se dejaron en un secadero a una temperatura de aproximadamente 100 °C durante 30 min (Fig. 12), finalmente se aplicó la GR y se llevaron al horno a una temperatura de 1120 °C aproximadamente durante 46 min (Fig. 13). A partir de los resultados obtenidos en este ensayo se lograron seleccionar 6 GRS, las cuales dieron los mejores resultados según los criterios anteriormente mencionados.



Fig. 11. Aplicación de capa protectora mediante rodillo.



Fig. 12. Muestra con capa protectora y después del proceso de secado.



Fig. 13. Muestra con aplicación de GR.

H. Selección de las granillas que presentan las mejores propiedades y el menor grano de azúcar

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos a partir de este ensayo y las características que se esperan tener, se tuvo como principal criterio los acabados y el menor efecto grano de azúcar de las 6 GR que fueron seleccionadas anteriormente y desde allí, se escogieron las dos mejores.

I. Realización costo/beneficio de la o las granillas seleccionadas

Se tomaron las dos GRS seleccionadas y también las GRS de planta, teniendo en cuenta la calidad que presentan, el costo real y el precio del producto, para finalmente dar una opción a la planta al momento de un posible reemplazo.

V. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

A. Validación a nivel de laboratorio de las temperaturas y ciclos de quema

En las Fig. 14, 15 y 16 se muestra el comportamiento de las 11 diferentes granillas respecto a las dos que normalmente se utilizan en la planta tomadas como referencia y/o patrón quemadas a las temperaturas y ciclos que maneja la planta. Tomando como referencia la Fig. 14, las características que se esperaba o factores que predominan de las granillas evaluadas con respecto a las de planta deberían ser: una buena transparencia, poco o nada del efecto de azúcar, buena fundencia con las temperaturas de quema, ataque sobre los colores fuertes, buen brillo y al momento del tacto

suavidad y que no se sienta algún tipo de hervido o porosidad, también es necesario aclarar que las granillas de planta no son 100% transparentes, estas poseen algunos puntos blancos al momento de validar en los botones.



Fig. 14. Granillas de planta quemadas (a) ciclo de 50 min a 1120 °C, (b) ciclo de 40 min a 1070 °C.

1) *Temperatura de monococción (1120 °C) y ciclo de 50 min*

Teniendo en cuenta lo anterior, respecto al comportamiento de las granillas evaluadas como se muestra en la Fig. 15, durante un ciclo de 50 min a una temperatura de 1120 °C y partiendo del hecho de que el análisis será al comparar las nuevas granillas con las GRS de planta, se puede observar que para las GRS, ocurre lo siguiente:

a) *Granilla 1*

El comportamiento más evidente con esta granilla fue que su punto de fundencia es considerablemente bajo, por lo tanto la temperatura de monococción resulta ser bastante alta para que se dé un adecuado acabado en los productos que maneja la planta ya que se ve un esparcimiento de la GR al momento de la quema, pues el tamaño del botón cambió en gran medida, también se puede apreciar en el centro como hay casi en su totalidad del área puntos blancos además de pequeñas burbujas correspondientes al inicio de un hervido de la GR.

b) *Granillas 2, 5, 8, 9 y 10*

En este caso, para este conjunto de GRS, presentan un comportamiento similar entre ellas y de igual forma un aspecto similar a las GRS de planta obteniendo de esta manera, un buen brillo, presentan punzaduras leves, una fundencia adecuada para el ciclo y la temperatura utilizada, y se observa un poco de lechosidad, lo cual da

indicio de que se necesitaría una mayor temperatura para evitar esta última característica.

c) Granillas 3, 4 y 7

Este conjunto de GRS presentan el mejor comportamiento al momento de validar el ciclo y la temperatura, incluso en esta validación se muestran mejores características que las GRS de planta, observando de esta manera muy buen brillo, poca punzadura y puntos blancos, buena transparencia en toda el área del botón y una fundencia adecuada a la temperatura de monococción.

d) Granilla 6

El comportamiento más evidente con este tipo de GR es que es demasiado lechosa y apunta a ser una granilla blanca, que en el caso del proyecto esto no aplicaría, además de que presenta una mayor cantidad de segregaciones y opacidad. A primera vista esta GR quedaría descartada.

e) Granilla 11

Este tipo de GR, que, aunque da un poco de transparencia presenta demasiados puntos blancos en toda el área del botón, al tocarla da una sensación de rugosidad y una de las características que es de mayor importancia y que no se quiere en los productos, es el efecto “grano de azúcar” y esta GR lo presenta, es necesario destacar que, en la validación del ciclo y la temperatura, para observar posiblemente un mejor compartimiento se necesita menos temperatura, pero a primera vista esta GR podría ser descartada.

2) Temperatura de bicocción (1070 °C) y ciclo de 40 min

Respecto al comportamiento de las granillas evaluadas durante un ciclo de 40 min a una temperatura de 1070 °C como se puede observar en la Fig. 16 y partiendo del hecho de que el análisis será al comparar las nuevas granillas con las GRS de planta, se puede observar que, para las GRS, ocurre lo siguiente:

a) Granilla 1

El comportamiento de esta GR al momento de validar la temperatura de bicocción fue que sigue siendo bastante fundente, por lo tanto esta temperatura resulta ser alta para obtener un buen acabado en los productos que maneja la planta, ya que se ve un esparcimiento de la GR al momento de la quema, pues el tamaño del botón cambió en gran medida, también se puede apreciar en el centro como hay casi en su totalidad del área puntos blancos además de pequeñas burbujas correspondientes al inicio de un hervido de la GR.

b) Granillas 2, 5, 8, 9 y 10

En este caso, para este conjunto de GRS, presentan un comportamiento similar entre ellas y de igual forma un aspecto similar a las GRS de planta obteniendo de esta manera, un buen brillo, presentan punzaduras leves, una fundencia adecuada para el ciclo y la temperatura utilizada, y se observa una mayor lechosis, lo cual confirma el hecho de que es necesario una mayor temperatura para evitar esta última característica.

c) Granillas 3, 4 y 7

Este conjunto de GRS presentan el mejor comportamiento al momento de validar el ciclo y la temperatura, incluso en esta validación se muestran mejores características que las GRS de planta, observando de esta manera muy bien brillo, poca punzadura y puntos blancos, buena transparencia en toda el área del botón y una fundencia adecuada a la temperatura de bicocción, dando como resultado su comportamiento a ambas temperaturas.

d) Granilla 6

El comportamiento más evidente con este tipo de GR para este ciclo y temperatura es que sigue presentando un aspecto lechoso y apunta a ser una granilla blanca, que en el caso del proyecto esto no aplicaría, además de que presenta una mayor cantidad de segregaciones y opacidad. A primera vista esta GR quedaría descartada

e) Granilla 11

Este tipo de GR, que, aunque da un poco de transparencia para esta temperatura sigue presentando bastantes puntos blancos en toda el área del botón, al tocarla da una sensación de rugosidad en menor medida que la temperatura anterior y una de las características que es de mayor importancia y que no se quiere en los productos, es el efecto “grano de azúcar” y esta GR lo presenta, como se dijo anteriormente para validar el ciclo se sugería una menor temperatura para observar si el comportamiento mejoraba, en tal caso, sigue presentando casi todas las características que no dan un buen atributo al producto, por lo tanto a primera vista esta GR podría ser descartada.



Fig. 15. Botones de las 13 granillas quemadas a temperatura de monococción 1120 °C en un ciclo alrededor de 48 min.



Fig. 16. Botones de las 13 granillas quemadas a temperatura de bicocción 1070 °C en un ciclo alrededor de los 40 min.

B. Clasificación granulométrica

En las Fig. 17, 18, 19, 20 y 21 se muestra el comportamiento de las granillas en cuanto al porcentaje de partículas retenidas y el tamaño de partícula. Con base en la Fig. 17, como ya se mencionó en la metodología, para lograr realizar los ensayos, se debió proceder con una clasificación de granulometría, de tal forma que se pudiera determinar cuál de las mallas con las que cuenta la planta para granillar (Malla de 8, 10, 18 y 24 hilos) sería la adecuada para cada tipo de GR según el tamaño de partícula y el porcentaje de partículas que fueron retenidas en cada tamiz.

Es necesario recalcar que la clasificación para las granillas se hizo dependiendo de la concentración o la tendencia que tuvieran las barras hacia las partículas gruesas, intermedias y partículas finas.

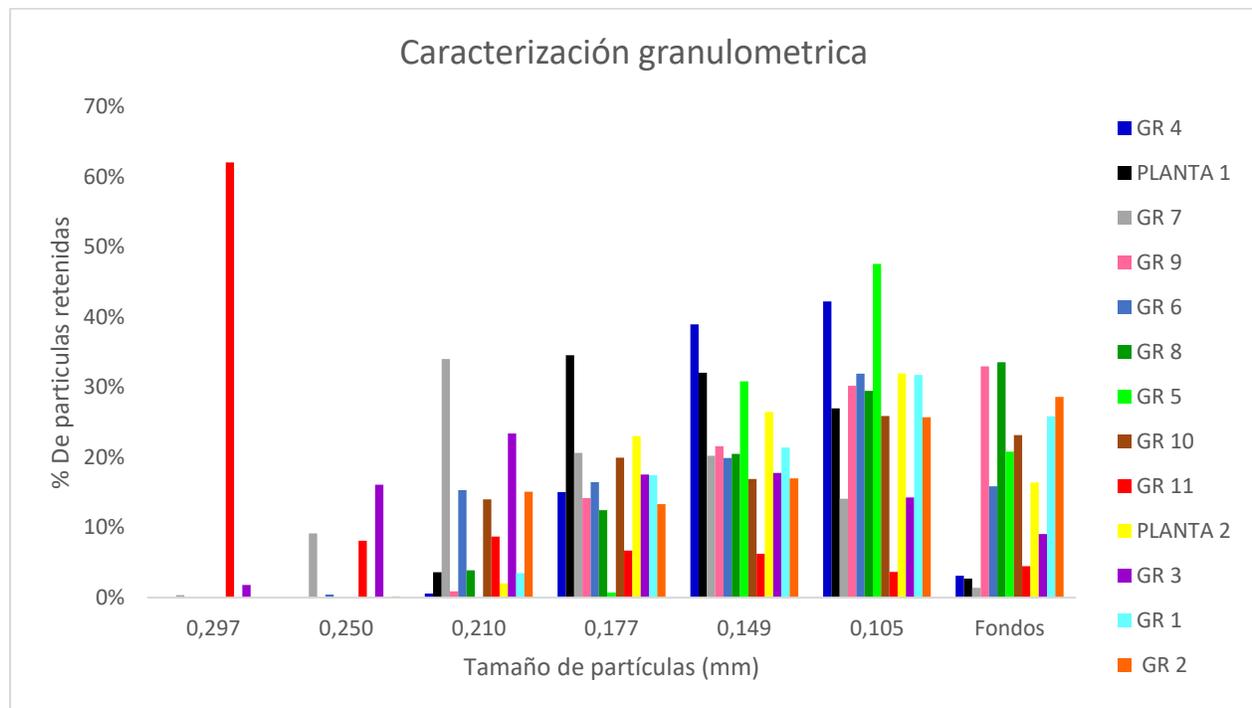


Fig. 17. Caracterización granulométrica de las 13 granillas.

En cuanto al tamaño de partícula comprendido entre 0,297mm a 0,210mm (Fig. 18), que en este caso hace referencia a las partículas gruesas, se observó que se encontraba una gran concentración de las GRS 3, 7 y 11, por lo cual la malla adecuada para realizar los primeros ensayos a estos tamaños de partícula sería la malla de 8 hilos.

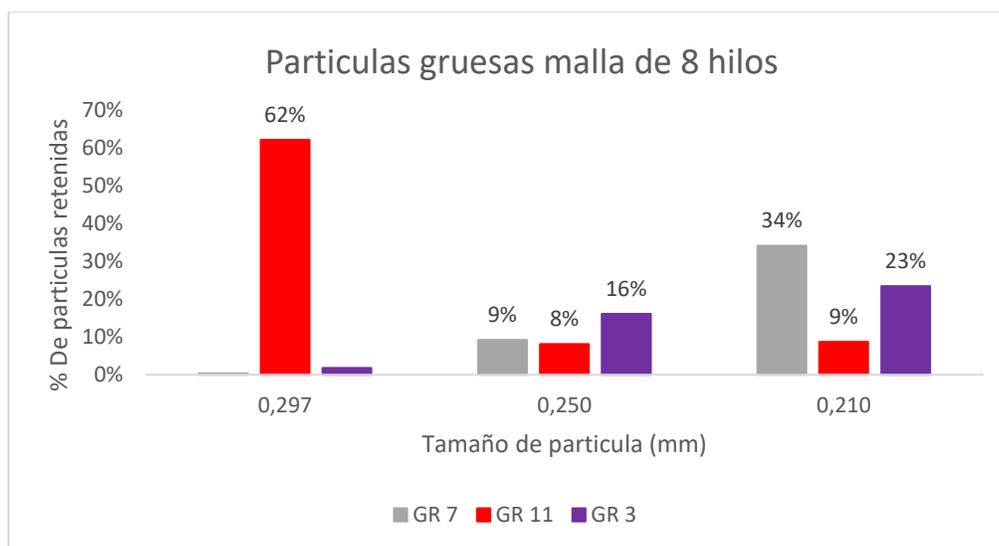


Fig. 18. Clasificación granulométrica malla de 8 hilos.

En cuanto al tamaño de partícula comprendido entre 0,177mm a 0,105mm como se observa en la Fig. 19, se encuentran concentradas las GRS 3, 4, 5, 6, 8, 9, y 10 para un primer ensayo con una malla de 10 hilos, cabe aclarar que este es el tipo de malla más utilizado en la planta y con la que se granilla casi que todos los productos. Además, para estos mismos tamaños de partícula se decidió ensayar con una malla de 18 hilos para las GRS 1, 2, 4, 5, 6, 8, 9 y 10 (Fig. 20) esto con el fin de ver cuál sería el mejor comportamiento y efecto de grano de azúcar al momento de cambiar de malla.

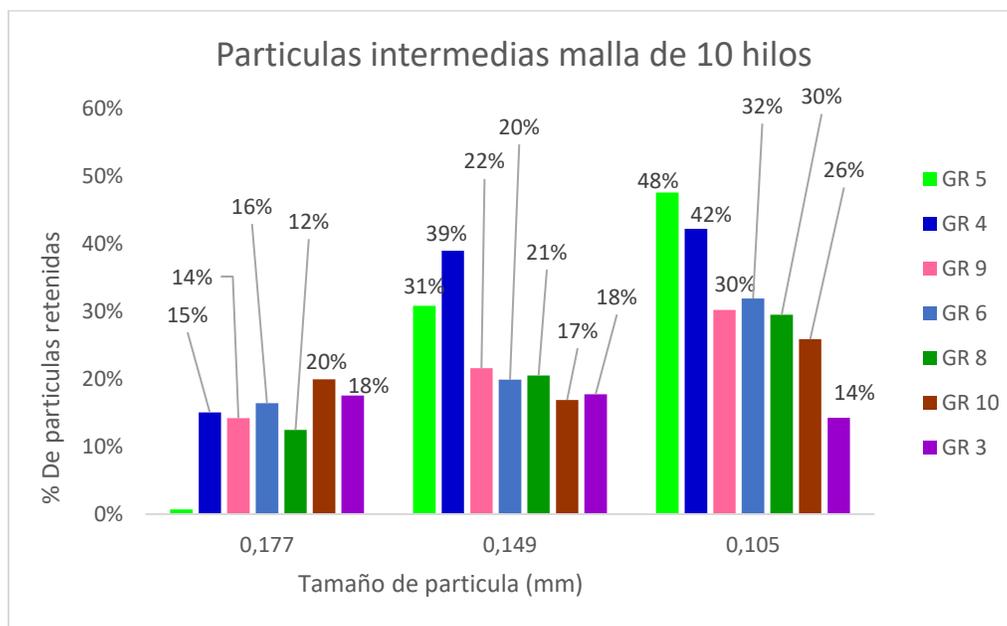


Fig. 19. Clasificación granulométrica malla de 10 hilos.

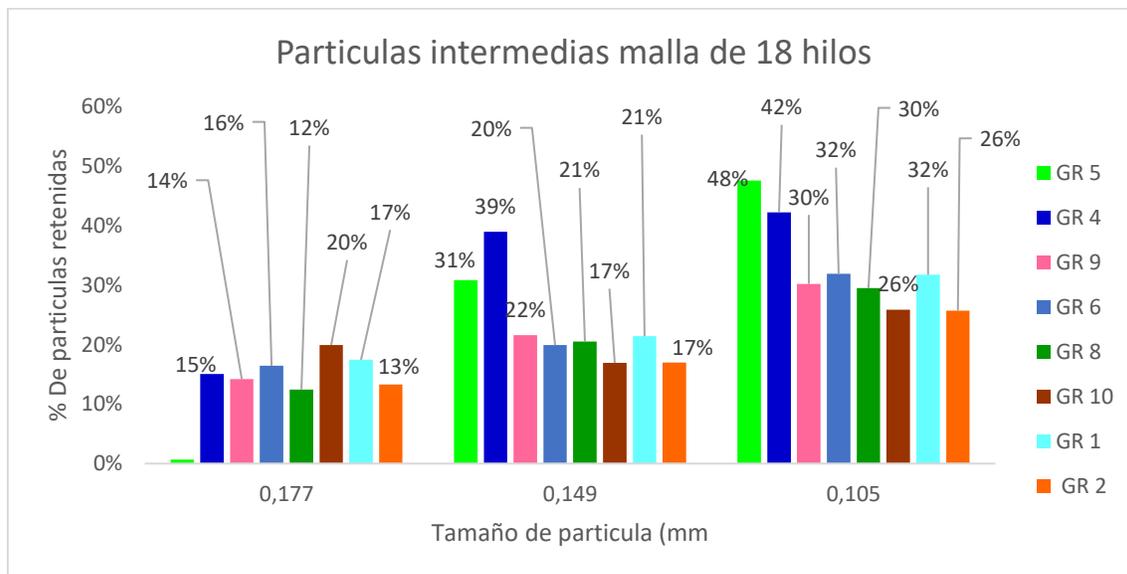


Fig. 20. Clasificación granulométrica malla de 18 hilos.

Finalmente, para el tamaño de partículas comprendido de 0,105mm y los finos (fondos), haciendo referencia a las partículas más finas, se observó en la Fig. 21 que se encontraba una gran concentración de las GRS 5, 1 y 2, por lo cual la malla más adecuada sería la malla de 24 hilos, que es la malla más cerrada con la que cuenta la planta en este momento.

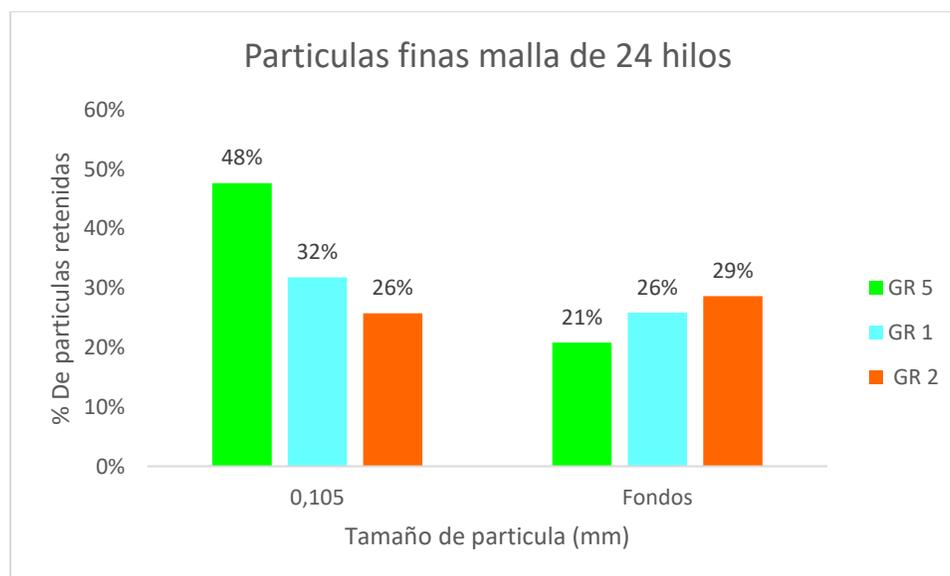


Fig. 21. Clasificación granulométrica malla de 24 hilos.

C. Ensayo #1 muestras decoradas quemadas a temperatura de monococción

En las Figs. 22, 23 y 24 se muestran las GRS que fueron rechazadas, tuvieron un buen comportamiento con mallas diferentes a las que normalmente se utilizan en planta y fueron aceptadas, respectivamente, teniendo en cuenta las características y/o atributos que se buscan para obtener un buen acabado en los productos decorativos, por lo tanto, se da un análisis de manera detallada que se encuentra en esta sección.

1) Muestras rechazadas

En la Fig. 22 (a), se muestra que la GR 1 no presenta un buen comportamiento, ya que al ser sometida a la temperatura de monococción se fundió completamente, donde en la parte que se encontraba sin la capa protectora atacó los colores y en la parte con la capa protectora desapareció la GR y tanto para la malla de 18 como de 24 hilos se observó el mismo comportamiento.

En la Fig. 22 (b), se muestra que la GR 2 tanto con y sin capa protectora se evidencia el efecto grano de azúcar, lechosidad a pesar de que conserva buen brillo.

En la Fig. 22 (c), se muestra que la GR 5 para una malla de 18 hilos teniendo la capa protectora no hay presencia del efecto grano de azúcar, pero al mismo tiempo tampoco se evidencia una buena transparencia y brillo; sin tener la capa protectora se evidencia el efecto grano de azúcar, bastante lechosidad y muy poco brillo. Para esta misma GR, pero con una malla de 24 hilos, el comportamiento con una malla tan fina no da buenos resultados pues presenta grano de azúcar, sin brillo ni transparencia, haciendo así que no se obtenga un buen decorado con y sin la capa protectora.

En la Fig. 22 (d), se muestra que la GR 6 con una malla de 10 hilos con la capa protectora se obtiene grano de azúcar en menor cantidad que con una malla de 18 hilos, además presenta blancura y opacidad tanto en los colores claros como en los colores oscuros, sin la capa protectora se da grano de azúcar en gran medida, presenta un hervido y blancura y opacidad. Para la misma GR, pero con una malla de 18 hilos con la capa protectora se evidencia grano de azúcar en los colores fuertes (oscuros) y presenta blancura y opacidad, mientras que en los colores claros se da un poco más de brillo, pero permaneciendo el tono blanco en ella; sin la capa protectora se evidencia con más fuerza el color blanco, el grano de azúcar y el ataque a los colores.

En la Fig. 22 (e), se muestra que la GR 8 con este tipo de malla (18 hilos) con capa y sin capa protectora se evidencia que hay más lechosis, grano de azúcar y un poco opaca.

En la Fig. 22 (f), se muestra que la GR 10 con la capa protectora presenta buen brillo, no se observa mucho efecto del grano de azúcar, pero la transparencia no es tan buena y se puede evidenciar como hay un ataque a los colores fuertes, sin la capa protectora se observa bastante grano de azúcar, lechosis y poco brillo.

En la Fig. 22 (g), se muestra que la GR 11 con una malla de 8 hilos con capa protectora se observa que la presencia del grano de azúcar es muy poca y que conserva el brillo, sin embargo, hay evidencia de puntos blancos en casi todas las áreas granilladas, lo que hace que no se tenga un buen aspecto.



Fig. 22. Muestras que fueron rechazadas en el primer ensayo: (a) GR 1 malla de 18 y 24 hilos, (b) GR 2 malla de 18 hilos, (c) GR 5 malla de 18 y 24 hilos, (d) GR 8 malla de 18 hilos, (e) GR 6 malla de 10 y 8 hilos, (f) GR 10 malla de 18 hilos y (g) GR 11 malla de 8 hilos.

2) *Muestras con buen comportamiento en otras mallas diferente a malla 10*

En la Fig. 23 se observan 5 GRS, las cuales presentan buenas características pero que tienen mejor comportamiento con otras mallas que usualmente no se usan en la planta.

En la Fig. 23 (a), se muestra que la GR 2 con una malla 24, con capa protectora presenta buen brillo y sin presencia de grano de azúcar, pero con un poco de lechosidad y sin capa protectora se observa lechosidad, mucho grano de azúcar, pero sigue conservando el brillo.

En la Fig. 23 (b), se muestra que la GR 3 con una malla 8 presenta muy buen brillo, buena transparencia, pero con un poco de grano de azúcar, sin la capa protectora se evidencia bastante ataque a los colores fuertes, grano de azúcar y posee buen brillo y transparencia.

En la Fig. 23 (c), se muestra que la GR 4 con una malla de 18 hilos, presenta buen brillo, buena transparencia y no hay presencia de grano de azúcar, todo esto con capa protectora, por lo tanto, posee buenas propiedades con este tipo de malla; sin la capa protectora se sigue conservando el brillo y la transparencia, pero se evidencia el efecto grano de azúcar.

En la Fig. 23 (d), la GR 7 con una malla de 8 hilos, se observa como con la capa protectora da un mejor acabado sin grano de azúcar, sin atacar los colores y mostrando buen brillo y transparencia, mientras que sin la capa protectora se da un ataque a los colores, grano de azúcar bastante evidente y presenta lechosidad.

En la Fig. 23 (e), se muestra que la GR 9 con una malla de 18 hilos, con capa protectora no presenta grano de azúcar y se evidencia buen brillo, pero poca transparencia; sin la capa protectora se observa grano de azúcar, poco brillo y transparencia.

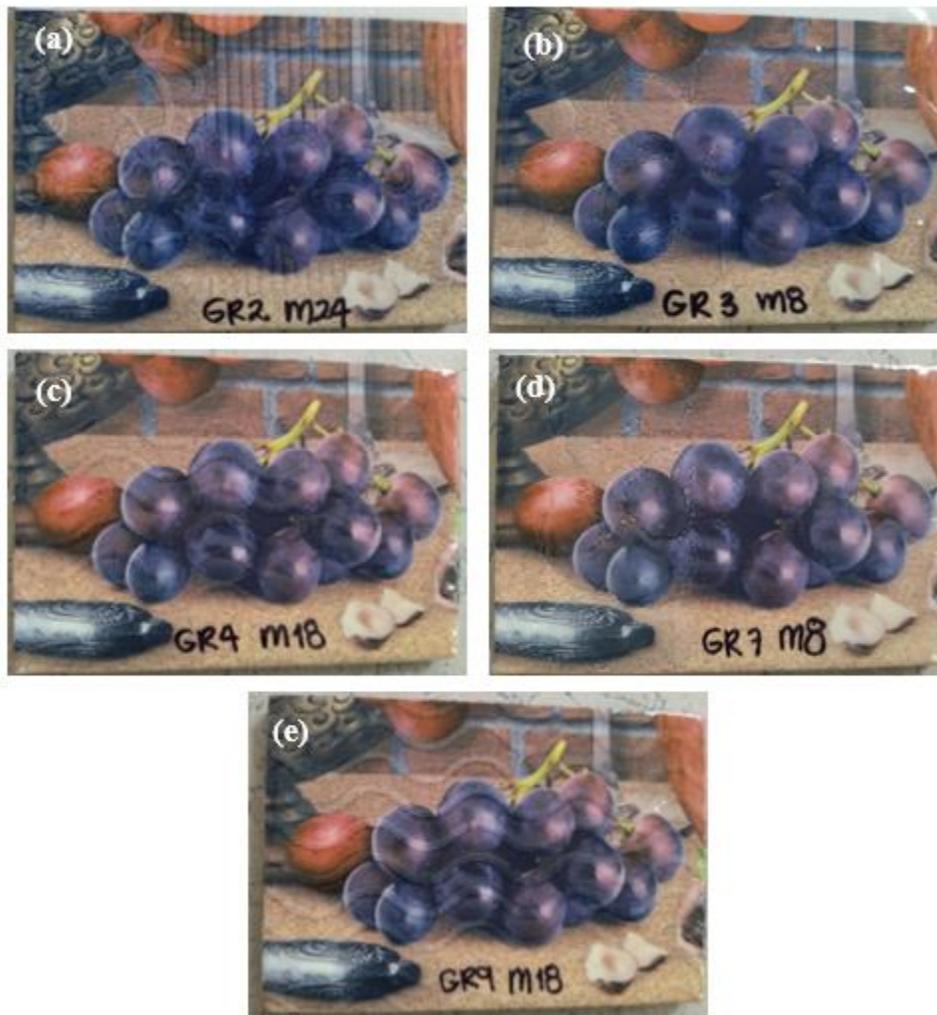


Fig. 23. Muestras que presentan buen comportamiento: (a) GR 2 malla de 24 hilos, (b) GR 3 malla de 8 hilos, (c) GR 4 malla de 18 hilos, (d) GR 7 malla de 8 hilos y (e) GR 9 malla de 18 hilos.

3) Muestras aceptadas

En la Fig. 24 desde la (a) hasta la (f) se muestran las GRS que presentaron las mejores características durante el ensayo (GR 3, 4, 5, 8, 9 y 10 respectivamente). Se observa como con la capa protectora se da un mejor acabado, en este caso sin ningún efecto de grano de azúcar, sin atacar los colores fuertes, muy buena transparencia y brillo; sin la capa protectora se presenta alto porcentaje de grano de azúcar, lechosisidad, ataque a los colores y en algunas un poco de hervido.

Es necesario recalcar que entre todas estas GRS que fueron aceptadas a pesar de que presentan muy buenas características, dos de ellas resaltan sobre las demás, siendo la GR 3

y 4, las principales candidatas para ser utilizadas como posibles reemplazos a las GRS de planta.



Fig. 24. Muestras que fueron aceptadas en el primer ensayo: (a) GR 3 malla de 10 hilos, (b) GR 4 malla de 10 hilos, (c) GR 5 malla de 10 hilos, (d) GR 8 malla de 10 hilos, (e) GR 9 malla de 10 hilos y (f) GR 10 malla de 10 hilos.

D. Ensayo #2 muestras decoradas quemadas a temperatura de bicocción

En las Fig. 25, 26 y 27 se muestran las GRS que fueron rechazadas, tuvieron un buen comportamiento con mallas diferentes a la que normalmente se utiliza en planta y fueron aceptadas, respectivamente, teniendo en cuenta las características y/o atributos que se buscan para obtener un buen acabado en los productos decorativos, por lo tanto, se da un análisis de manera detalla que se encuentra en esta sección.

1) Muestras rechazadas

En la Fig. 25 (a), se muestra que la GR 1 con una malla de 18 y 24 hilos, es una GR muy fundente, y a pesar de que se hizo el ensayo a una temperatura menor, sigue teniendo el mismo comportamiento, es decir, que no presenta unos buenos atributos al producto, con y sin la capa protectora. Sería una GR para una temperatura mucho menor, aproximadamente de 850 °C.

En la Fig. 25 (b), se muestra que la GR 5 con una malla de 24 hilos, deja evidencia que con este tipo de malla no se logran apreciar los atributos o características representativas que se buscan, esto aplica tanto con capa y sin capa protectora.

En la Fig. 25 (c), se muestra que la GR 6 con una malla de 10 y 18 hilos, presenta el mismo comportamiento con ambas mallas, el cual da evidencia de que es un GR de tipo blanca, por lo tanto, no aplica para este proyecto y por ende queda descartada.

En la Fig. 25 (d), se muestra que la GR 8 con una malla de 18 hilos presenta una buena transparencia y muy poco efecto de grano de azúcar, pero se ve un claro ataque a los colores, esto con la capa protectora. Sin la capa protectora se observa buen brillo, presencia de grano de azúcar.

En las Figs. 25 (e) y (f), la GR 9 y la GR 10 con una malla de 18 hilos con capa protectora se observa buen brillo, pero la transparencia con este tipo de malla se ve más lechosa, aunque el efecto grano de azúcar en este caso es nulo. Sin la capa protectora se evidencia el grano de azúcar, pero se obtiene buena transparencia y buen brillo.

En la Fig. 25 (g), se muestra que la GR 11 con una malla de 8 hilos, con capa protectora presenta mucha rugosidad al tacto, se observan puntos blancos, buena transparencia, pero un poco opaca. Sin la capa protectora se presenta hervido, rugosidad, grano de azúcar y bastante lechosisidad.



Fig. 25. Muestras que fueron rechazadas en el segundo ensayo: (a) GR 1 malla de 18 y 24 hilos, (b) GR 5 malla de 24 hilos, (c) GR 6 malla de 10 y 18 hilos, (d) GR 8 malla de 18 hilos, (e) GR 9 malla de 18 hilos, (f) GR 10 malla de 18 hilos y (g) GR 11 malla de 8 hilos.

2) Muestras con buen comportamiento en otras mallas diferente a malla 10

En la Fig. 26 (a), se muestra que la GR 2 con una malla de 18 y 24 hilos presenta un buen comportamiento con la capa protectora dando un buen brillo, buena transparencia, además no hay evidencia de grano de azúcar ni de ataque a los colores. Sin la capa protectora se observa lechosis, grano de azúcar, un poco de brillo y se observa el ataque a los colores. En la Fig. 26 (b), se muestra que la GR 3 con una malla de 8 hilos con capa protectora presenta muy buen brillo, buena transparencia sin efecto grano de azúcar. Sin la capa

protectora se observa bastante ataque a los colores y grano de azúcar, pero presenta buen brillo y buena transparencia.

En la Fig. 26 (c), se muestra que la GR 4 con una malla de 18 hilos con capa protectora presenta muy buen brillo, buena transparencia sin efecto grano de azúcar. Sin la capa protectora se observa buen brillo y buena transparencia, sin embargo, se presenta grano de azúcar.

En la Fig. 26 (d), se muestra que la GR 5 con una malla de 18 hilos con capa protectora presenta buen brillo, sin grano de azúcar, pero la transparencia tiene una apariencia un poco lechosa. Sin la capa protectora sigue permaneciendo la lechosis en este caso con más intensidad, pero un punto a favor es que el grano de azúcar en este caso no es tan evidente.

En la Fig. 26 (e), se muestra que la GR 7 con una malla de 8 hilos, presenta las mejores características con la capa protectora y con este tipo de malla, sin embargo, sin la capa protectora se evidencia grano de azúcar, un poco de lechosis, pero permanece el brillo.



Fig. 26. Muestras que presentan buen comportamiento: (a) GR 2 malla de 18 y 24 hilos (b) GR 3 malla de 8 hilos, (c) GR 4 malla de 18 hilos, (d) GR 5 malla de 18 hilos y (e) GR 7 malla de 8 hilos.

3) Muestras aceptadas

En la Fig. 27 desde la (a) hasta la (f) se muestran las GRS que presentaron las mejores características durante el ensayo (GR 3, 4, 5, 8, 9 y 10 respectivamente). Se observa como con la capa protectora se da un mejor acabado, en este caso sin ningún efecto de grano de azúcar, sin atacar los colores fuertes, muy buena transparencia y brillo; sin la capa protectora se presenta alto porcentaje de grano de azúcar, pero conserva el brillo y la transparencia.

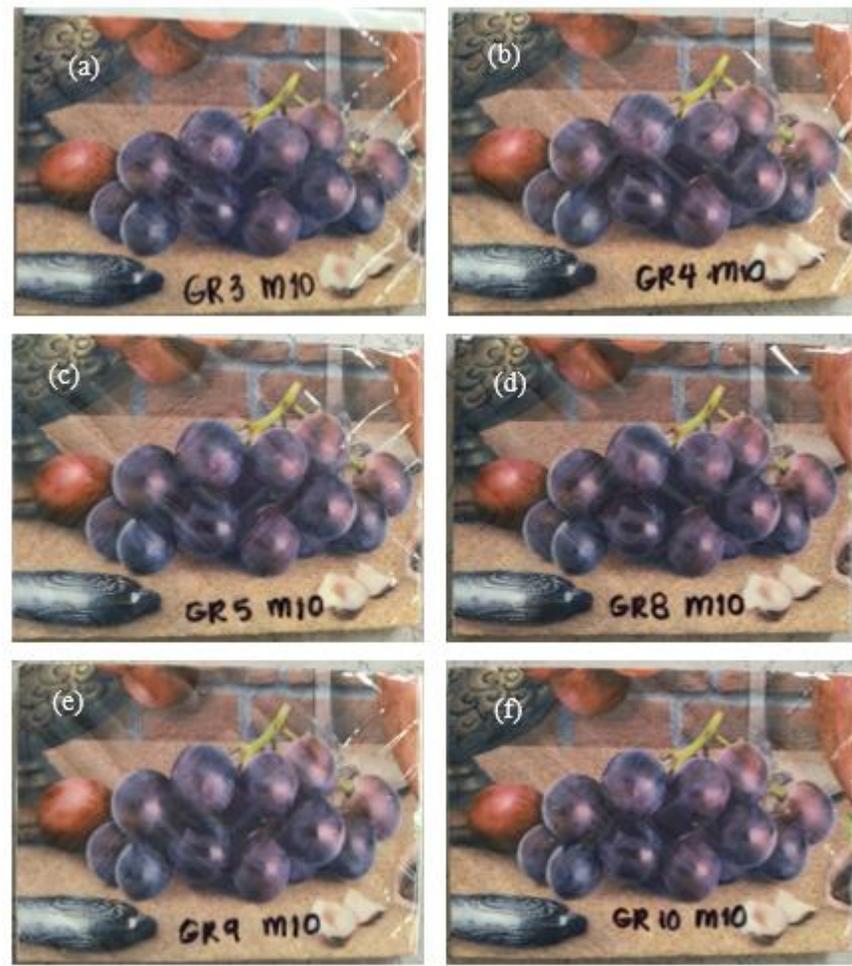


Fig. 27. Muestras que fueron aceptadas en el segundo ensayo: (a) GR 3 malla de 10 hilos, (b) GR 4 malla de 10 hilos, (c) GR 5 malla de 10 hilos, (d) GR 8 malla de 8 hilos, (e) GR 9 malla de 10 hilos y (f) GR 10 malla de 10 hilos.

E. Ensayo #3 línea de producción.

En las Fig. 28 y 29 se muestran las GRS que fueron rechazadas y fueron aceptadas, respectivamente, teniendo en cuenta las características y/o atributos que se buscan para obtener un

buen acabado en los productos decorativos, es necesario aclarar que este ensayo solo se realizó a una temperatura de 1120 °C, debido a que los espacios y la disponibilidad de la planta estaban muy limitados por su capacidad, y además de tener en cuenta que la temperatura de 1070 °C es más difícil de obtener.

1) *Muestras rechazadas*

En la Fig. 28 se observa como a simple vista el comportamiento de estas GRS (5, 8, 9 y 10) no es el más adecuado para lo que se espera obtener, teniendo en cuenta que se usó la capa protectora, se evidencia en todas ellas que hay bastante presencia del efecto grano de azúcar, hervido en algunos de los casos (GR 5 y 10), además se puede notar el ataque que tiene hacia a los colores púrpura y Vinotinto.

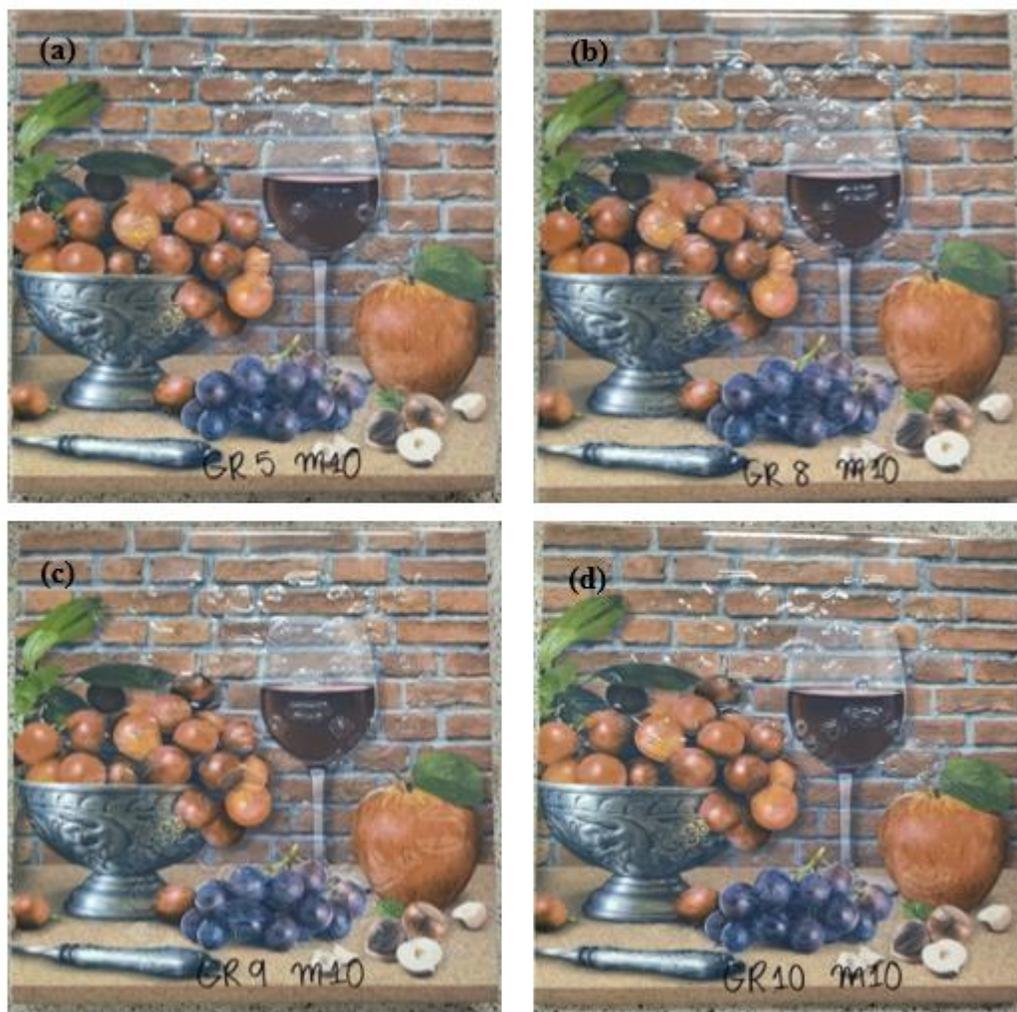


Fig. 28. Muestras que fueron rechazadas en el ensayo final utilizando una malla de 10 hilos: (a) GR 5, (b) GR 8, (c) GR 9 y (d) GR 10.

2) Muestras aceptadas

En la Fig. 29, se observan las dos GRS que fueron aceptadas teniendo en cuenta los atributos y características esperadas, como buen brillo, buena transparencia, una muy buena fundencia, además se muestran como el efecto grano de azúcar y el ataque en los colores es prácticamente imperceptible y se logra el objetivo de dar ese factor moda de decoración a los productos de revestimiento. También es necesario aclarar que los ensayos anteriores como con esta selección final, tuvieron concordancia y los ensayos a nivel de laboratorio como en línea, dan una trazabilidad al momento de evaluar alguna materia prima.



Fig. 29. Muestras que fueron aceptadas en el ensayo final utilizando una malla de 10 hilos: (a) GR 3 y (b) GR 4.

F. Costo/beneficio

En la TABLA II, se muestran los factores que se tuvieron en cuenta para lograr hacer la comparación y así de esta forma dar un aproximado de lo que podrían costar las nuevas GRS si se decide trabajar con ellas, el consumo promedio que se utiliza por GRS es igual para todas, pues este factor en este caso no varió ni debería variar en general, de modo que la GR 3 como la GR 4 son un poco más costosas que las GRS de planta, pero también es evidente que la calidad que se puede obtener con estas nuevas GRS es mucho mayor que las de la planta.

TABLA II. Costo de las GRS de planta y las GRS aceptadas.

Tipo de GR	Consumo promedio (Kg)	Calidad de productos (%)	Precio GR (\$/Kg)	Costo Real (\$)
GR 4	50	98%	\$ 8.310	\$ 423.980
GR 3	50	98%	\$ 8.200	\$ 418.367
GR PLANTA 1	50	90%	\$ 7.334	\$ 407.444
GR PLANTA 2	50	85%	\$ 6.886	\$ 405.059

VI. CONCLUSIONES

- Mediante el presente trabajo realizado, se logró la evaluación fisicoquímica de las diferentes granillas proporcionadas por la empresa COLCERAMICA S.A.S, permitiendo por medio de esta una posible sustitución de las granillas con las cuales cuenta actualmente la planta, basados en el factor decorativo y el factor moda de los productos de revestimientos tanto para las muestras rechazadas como para las muestras aceptadas.
- Se lograron validar de forma adecuada las temperaturas y ciclos a los cuales las GRS proporcionadas presentaron un mejor desempeño, ya que no todas las GRS dieron buenos resultados a las dos temperaturas de quema y por lo tanto este fue uno de los factores por los cuales fueron rechazadas y/o aceptadas, además de tener en cuenta las características, que como planta enfocada a la decoración y a un buen criterio estético se quiere ofrecer a los clientes.
- La implementación de la evaluación fisicoquímica de diferentes materias primas a nivel de laboratorio y luego llevada a nivel semiindustrial permite dar una trazabilidad al momento de poder seleccionar las más adecuadas para la planta, ya que su comportamiento a nivel de laboratorio puede dar un indicio de la viabilidad de su uso a nivel semiindustrial.
- Se determinó que las granillas 3 y 4 son las mejores candidatas, ya que estas presentan las mejores características al hacer el comparativo con las de planta, además de que su comportamiento es el adecuado con la malla empleada por COLCERAMICA (malla #10). Por otro lado, con base al estudio realizado costo/beneficio se determinó que estas granillas, aunque resultan ser más costosas que las granillas de producción proporcionan una mayor calidad a los productos de revestimiento.

VII. REFERENCIAS

- [1] DNP Colombia, “Generalidades de la cadena productiva de la Cerámica,” pp. 379–390, 2014.
- [2] Corona. (26 de Julio de 2021). Compañía corona. Obtenido de <https://empresa.corona.co/nuestra-compania/quienes-somos>
- [3] Sumicol (5 de agosto de 2021). Compañía corona. Obtenido de <https://www.sumicol.com.co/nuestro-negocio/quienes-somos/>
- [4] E. Sánchez, J. García-Ten, and M. Regueiro, “Materias para la industria cerámica española. Situación actual y perspectivas,” *Boletín la Soc. Española Cerámica y Vidr.*, vol. 45, no. 1, pp. 1–12, 2006, doi: 10.3989/cyv.2006.v45.i1.322
- [5] C. Cerámicos, R. Sociales, E. Y. Medioambientales, and E. N. El, “Castellón (España),” 1988.
- [6] K. Karaveli, B. Karasu, and H. S. Onal, “Circón Para Azulejos Y Su Uso,” *Qualicer*, pp. 43–49, 2008.
- [7] R. Galindo, “Esmaltes Composiciones de fritas Esmaltes,” 2017.
- [8] FRITAS: NATURALEZA, VENTAJAS, COMPOSICIÓN Y FABRICACIÓN. - ppt descargar video en línea. (2015, 3 de julio). Obtenido de <https://slideplayer.es/slide/5425989/>.
- [9] J. Reyes, “Cerámica Industrial : Producción de Pavimento y Revestimiento Cerámico,” *Univ. Alicant.*, pp. 1–19, 1995.
- [10] Asociación Nacional de Fabricantes de Fritas, Esmaltes y Colores Cerámicos. (2015, July 3). Obtenido de <https://www.anffecc.com/es/fritas>.
- [11] Sicer. (2021, April 1). Granillas y tintas cerámicas, los productos que marcan la diferencia - Blog Sicer. Retrieved from <https://blog.sicer.es/granillas-y-tintas-ceramicas-los-productos-que-marcan-la-diferencia/>
- [12] D. Santander, “Proceso de fritas Definiciones.”
- [13] R. C. Evolucion, Y. Perspectivas, J. Luis, and A. Albaro, “Vidriados Para Pavimentos Y.”
- [14] Granillas - Colorobbia Holding SpA (nd). Obtenido de <https://www.colorobbia.com/es/soluzioni/granillas/>.