



Sustitución de materiales críticos para la producción de pastas, esmaltes y calcomanías

Ana María Ramírez Penagos

Informe de prácticas académicas en la modalidad de semestre de industria

Requisito para optar al título de:

Ingeniera química

Asesores:

Juan Miguel Sepúlveda Marín

Santiago Ramírez Aristizábal

Universidad de Antioquia

Facultad de ingeniería

Departamento de ingeniería química

Medellín, Colombia

2022

Cita	Ramírez Penagos [1]
Referencia Estilo IEEE (2020)	[1] A. M. Ramírez Penagos, “Sustitución de materiales críticos para la producción de pastas, esmaltes y calcomanías en Vajillas Corona”, Trabajo de grado profesional, Semestre de industria, Ingeniería Química, Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia, Colombia, 2022.



Biblioteca Carlos Gaviria Díaz

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

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes

Decano: Jesús Francisco Vargas Bonilla

Jefe departamento: Lina Maria González Rodríguez

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	7
ABSTRACT	8
1. INTRODUCCIÓN	9
2. OBJETIVOS.....	10
3. MARCO TEÓRICO	11
3.1. Caolín	11
3.2. Feldespato.....	11
3.3. Arcilla.....	11
3.4. Aditivos	12
3.4.1. Dispersantes o defloculantes.....	12
3.4.1.1. Silicato de sodio	12
3.4.1.2. Carbonato de sodio.....	12
3.4.1.3. Poliacrilato de sodio	13
3.4.2. Flocculantes	13
3.5. Pastas	13
3.5.1. Componente plástico.....	13
3.5.2. Componente fundente	14
3.5.3. Componente inerte:	14
3.6. Esmaltes	14
3.7. Serigrafía	14
3.8. Índice de deformación pirolástica (IDP)	15
3.9. Prueba de contracción lineal	15
3.10. Prueba de colorimetría	15
3.11. Ligantes o aglutinantes.....	15

4. METODOLOGÍA	17
5. RESULTADOS	18
5.1. Sustitución de opacificante en pocillos y platos.....	18
5.2 Sustitución de caolín en pasta de porcelana	20
5.3 Sustitución de los ligantes en pastas de porcelana	24
5.4. Sustitución de la emulsión en pantallas.....	27
5.5. Sustitución del pegamento de marcos de madera en pantallas serigráficas	29
5.6. Removedor o recuperador de pantallas	31
5.7. Sustitución de caolín en esmaltes de pintado manual	32
5.8. Sustitución de alúmina en esmalte de coloniado.....	34
5.9. Sustitución de aditivos en esmalte color	35
5.10. Sustitución del yeso del área de molduras	36
6. CONCLUSIONES	38
REFERENCIAS	39

LISTA DE TABLAS

Tabla I. Resultado del prensado	26
Tabla II. Resultado del esmaltado	26
Tabla III. Resultado de la primera cocción	27
Tabla IV. Defectivo de calidad de la primera cocción	27

LISTA DE FIGURAS

Fig 1. Pocillos color nude comparativo y ensayo.....	19
Fig 2. Pocillos color taupé comparativo y ensayo.....	19
Fig 3. Platos color taupé comparativo y ensayo.....	19
Fig 4. Platos color nude comparativo y ensayo.....	19
Fig 5. Pocillos color verde mulaki comparativo y ensayo	20
Fig 6. Pocillos color amarillo mostaza comparativo y ensayo	20
Fig 7. Agitador para dispersar y homogenizar pasta.....	21
Fig 8. Rodajas esmaltadas comparativo y ensayo	22
Fig 9. Pocillos esmaltados comparativo y ensayo.....	23
Fig 10. Barras de contracción lineal comparativo y ensayo.....	23
Fig 11. Medición de la deformacion piroplastica de una barra.....	24
Fig 12. Dispersion, adición de ligantes, atomización y prensado	25
Fig 13. Esmaltado, primera coccion y segunda coccion	25
Fig 14. Emulsión termosensible	28
Fig 15. Fotoexpositor de rayos UV	28
Fig 16. Pantalla comparativa y pantalla de ensayo	29
Fig 17. Muestra de pegamento	30
Fig 18. Proceso de pegado de una pantalla serigráfica	30
Fig 19. Proceso de remocion y limpieza de pantallas	32
Fig 20. Platos de loza y porcelana con esmalte comparativo y de ensayo.....	33
Fig 21. Platos de porcelana con esmalte sustituto aprobado	33
Fig 22. Plano de fundencia.....	34
Fig 23. Pocillos con esmalte negro comparativo y ensayo	35
Fig 24. Pocillos con esmalte verde azul comparativo y ensayo.....	36
Fig 25. Platos de loza de ensayo con grieta.....	37
Fig 26. Platos de loza quemados comparativo, ensayo y rotura	37

RESUMEN

Se sustituyeron 10 materiales críticos presentes en los procesos productivos de Vajillas Corona, manteniendo los estándares de calidad, asegurando los procesos productivos, mejorando tiempos de entrega de materias primas, el abastecimiento de los insumos y un equilibrio de costos avalado por gerencia.

En el área de preparación de esmaltes color se sustituyó el opacificante y el aditivo utilizado, con esto se garantizó uniformidad de opacidad, textura y color, además, que su aplicación sea uniforme y no se presenten cortinas de color. Se sustituyó el proveedor de alúmina utilizado para la preparación de esmaltes tipo coloniado, garantizando los estándares de calidad, además, se redujo el costo asociado a dicha materia prima debido a que el proveedor sustituto es nacional. Para los esmaltes de la línea Artisan, los cuales son decorados a mano, se realizó la sustitución de caolín garantizando que la aplicación sea homogénea, el color según el área de calidad y la no presencia de defectos asociados al esmalte.

En el área de serigrafía y decoración se sustituyó el pegamento empleado para la fabricación de pantallas serigráficas, la emulsión utilizada para el estampado de los diseños de calcomanías y el removedor con el cual se recuperan las pantallas al finalizar el proceso.

La pasta de porcelana también sufrió varios cambios en su formulación, debido a que fue necesario sustituir el caolín y el ligante empleado, garantizando el color de la pasta, la blancura, la absorción, la contracción lineal de las piezas y las especificaciones de agrietamiento y desborde.

Palabras clave — Esmalte, sustitución, materias primas, caolín, porcelana, serigrafía

ABSTRACT

Ten critical materials present in the production processes of Vajillas Corona were replaced, maintaining quality standards, ensuring production processes, improving delivery times of raw materials, the supply of inputs and a cost balance endorsed by management.

In the color enamel preparation area, the opacifier and the additive used were replaced, thus guaranteeing uniformity of opacity, texture, and color, as well as uniform application and no color curtains. The supplier of alumina used for the preparation of colonized enamels was replaced, guaranteeing quality standards, and the cost associated with this raw material was reduced because the substitute supplier is national. For the Artisan line of enamels, which are hand-decorated, kaolin was substituted to ensure homogeneous application, color according to the quality area and the absence of defects associated with the enamel.

In the silkscreen printing and decoration area, the glue used for the manufacture of silkscreens, the emulsion used for stamping the decal designs and the remover used to recover the screens at the end of the process were replaced.

The porcelain pastes also underwent several changes in its formulation, due to the fact that it was necessary to substitute the kaolin and the binder used, guaranteeing the paste color, whiteness, absorption, linear shrinkage of the pieces and cracking and overflow specifications.

Keywords - Enamel, substitution, raw materials, kaolin, porcelain, silk screen printing

1. INTRODUCCIÓN

Corona es una empresa multinacional de 140 años de historia, dedicada a la manufactura y comercialización de productos para el hogar, la construcción, la industria, la agricultura y el sector de energía. Está compuesta por cuatro divisiones de negocio: Baños y cocinas, superficies, materiales y pinturas, insumos industriales y energía y mesa servida. Esta última es la unidad más antigua de la Organización Corona, se encarga de la fabricación de vajillas y la comercialización de cristalería y cubertería. Vajillas Corona produce y comercializa tres líneas de productos, una para el hogar, otra institucional dirigida a hoteles y restaurante y una de mugs [1].

Debido a la emergencia sanitaria que se vive actualmente, el desabastecimiento de materias primas es una problemática mundial que las empresas están tratando de solucionar, la sustitución de materiales en Vajillas Corona es crítico en procesos de formación de pastas, preparación de esmaltes, serigrafía y decoración; Cabe destacar que algunos de estos procesos permanecen detenidos por la falta de insumos, además, que entre dichos materiales se encuentran proveedores nacionales e importaciones.

La sustitución de los materiales críticos en Vajillas Corona se realiza con el fin de asegurar los procesos productivos, mejorar los tiempos de entrega y abastecimiento de insumos, desarrollar proveedores alternos, además, reducir el costo asociado a los materiales e importaciones.

El alcance del proyecto incluyó la definición de los materiales a sustituir, la caracterización de las propiedades críticas de cada material y la evaluación de las materias primas sustitutas a nivel de laboratorio y semi industrial cuando fue requerido.

2. OBJETIVOS

Objetivo general

Sustituir 10 materiales críticos definidos por el área de planeación, para el aseguramiento del proceso productivo.

Objetivos específicos

- Desarrollar productos de vajillería empleando los materiales críticos y sustitutos, bajo la misma formulación de la ficha técnica o con variaciones.
- Determinar las propiedades del producto desarrollado con el material sustituto para su aprobación.
- Caracterizar las propiedades críticas presentes en los materiales sustitutos.
- Identificar los proveedores alternativos para los materiales críticos.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Cerámica tradicional

Dentro de los materiales cerámicos tradicionales se encuentran los sanitarios, la vajillería, baldosas, ladrillos y revestimientos, para la definición de este material la academia ha llegado a un consenso en el que afirma que básicamente la cerámica tradicional es un material compuesto por arcillas y sílice, comúnmente origen natural, que luego de ser quemadas sufren un proceso de vitrificación [2].

3.2. Caolín

Es uno de los minerales mayoritarios en la corteza continental, confiere plasticidad, velocidad de formación, fluidez y empaquetamiento, blancura del cuerpo cocido y debido a la alúmina presente en el caolín aumenta resistencia a la deformación a altas temperaturas y control de la dilatación térmica [3].

3.3. Feldespato

Son aluminosilicatos de sodio, calcio y potasio, pertenecen al grupo mineralógico más abundante en la corteza terrestre constituyendo frecuentemente más del 50% de muchas rocas. La industria del vidrio y cerámica son las principales consumidoras de estos materiales ya que son materiales fundentes de bajo costo, además, facilitan la formación de una cantidad suficiente de material vítreo de viscosidad adecuada que asegura que la vitrificación de las piezas, así como consistencia y deformabilidad durante el proceso de cocción. Cabe resaltar que en la industria cerámica se utiliza tanto en pastas de porcelana como en esmaltes [4].

3.4. Arcilla

Es un material de grano fino, que manifiesta un comportamiento plástico cuando se mezcla con una cantidad limitada de agua. La arcilla es una roca de naturaleza y origen muy variable, estando

constituidas por cierto número de minerales diferentes, principalmente de sustancias cristalinas que son en esencia silicatos alumínicos hidratados [5].

La arcilla le confiere a la pasta plasticidad, mayor trabajabilidad, resistencia mecánica alta en crudo y en seco para reducir posibles grietas por la manipulación, también ayuda a la vitrificación [4].

3.5. Aditivos

Son sustancias utilizadas para mejorar o aumentar las cualidades de las pastas y esmaltes, en Vajillas corona se utilizan dos tipos de aditivos:

3.5.1. Dispersantes o defloculantes

La gravedad y las fuerzas electrostáticas hacen que las partículas en una suspensión cerámica tiendan a aglomerarse y a sedimentarse, por lo tanto, para prevenir dicho comportamiento es necesario estabilizar la suspensión empleando aditivos, modificando de manera óptima las fuerzas de repulsión que actúan entre las partículas. En Vajillas Corona los aditivos empleados son:

3.5.1.1. Silicato de sodio

Es tal vez el dispersante más comúnmente utilizado en pastas, se emplea en la dispersión de arcillas durante el ensamble de la pasta y para ajustes finales de viscosidad según las condiciones de ficha técnica.

3.5.1.2. Carbonato de sodio

Normalmente usado en arcillas y pastas, es un defloculante menos eficaz que el silicato de sodio, pero tiene una alcalinidad mucho más fuerte.

3.5.1.3. Poliacrilato de sodio

Es un polímero que utiliza comúnmente en pasta y su principal ventaja sobre los silicatos es su efecto más rápido y permanente sobre las propiedades de la pasta líquida, por tal motivo, se dice que es un dispersante de alto poder que le imprime estabilidad reológica a las suspensiones. Se usa en algunas arcillas y caolines durante la dispersión y el ensamble de la pasta, pero no es recomendable usarse para ajustes finos de la pasta debido a un mayor efecto comparado con el silicato de sodio.

3.5.2. Floculantes

Es una sustancia que se emplea en pastas con el fin de flocularlas un poco y mejorar la velocidad de formación de las pastas [5].

3.6. Pastas

Es una mezcla de componentes específicamente seleccionados y formulados para satisfacer los requerimientos de un producto y del proceso de fabricación utilizado. En el caso de las pastas cerámicas empleadas en Vajillas corona, estas se encuentran compuestas por un componente plástico, un componente inerte y un componente fundente, además de agua y los aditivos correspondientes [6] [7].

3.6.1. Componente plástico

Permite obtener la forma de las piezas en condiciones óptimas de humedad y es fundamentalmente arcilloso, dicho componente es el responsable de la contracción de secado y la resistencia mecánica en crudo, y se encuentra presente en las materias primas que contienen los minerales de arcilla [4].

3.6.2. Componente fundente

Da lugar a un fundido a la temperatura de cocción, que durante el enfriamiento se convierte en vidrio, actuando como elemento de cohesión del resto de las partículas cristalinas. Este componente es responsable de la estabilidad dimensional, la formación de porosidad cerrada, además, actúa como desengrasante y asegura la formación de un fundido en la proporción y con la viscosidad de fundido óptimas, y se encuentra presente en materias primas feldespáticas y talcos.

3.6.3. Componente inerte:

Tiene un papel regulador de los dos componentes anteriores, actúa como desengrasante disminuyendo el exceso de plasticidad del componente plástico a valores óptimos y como refractario ya que ayuda a conseguir la estabilidad dimensional modificando el componente del fundente o el contenido total de la fase vítrea.

3.7. Esmaltes

Es un compuesto en suspensión formado de materiales fundentes que se aplica sobre una pieza cerámica antes de ponerse en el horno y al enfriarse forma una capa semi vítrea parecida a la de un cristal sobre la superficie de cerámica, convirtiendo la superficie porosa en una superficie impermeable y resistente [6].

3.8. Serigrafía

Es un método de impresión directo y permeográfico, que puede ejecutarse de forma manual o mecánica. Se trata de un sistema que, ayudado de un soporte con una malla, más o menos gruesa, deja pasar la tinta por las zonas en las que hay imagen, impidiendo el paso de la misma por las zonas en blanco de la imagen [8][9].

3.9. Índice de deformación piroplástica (IDP)

Esta prueba permite determinar el grado de deformación de una pasta cerámica a causa de los materiales fundentes dentro de la formulación por acción de la gravedad, cuando la pasta se somete a un tratamiento térmico a alta temperatura. Dicho procedimiento se realiza de acuerdo a la norma C20-00 [10].

3.10. Prueba de contracción lineal

Esta prueba permite determinar la contracción que sufre la pasta cuando es sometida a tratamiento térmico a alta temperatura, para ello, se emplean barras de sección transversal rectangular y se determina su longitud inicial y final. Dicho procedimiento se realiza de acuerdo a la norma CIN0013 [4].

3.11. Prueba de colorimetría

Esta prueba permite determinar si el color de las pastas y esmaltes cumplen con los estándares establecidos en los patrones del área de calidad, se realiza empleando el método CIELAB en el cual se determinan las coordenadas L, a y b con ayuda de un colorímetro de Konica Minolta CR-10 y comparando los ΔE obtenidos. Dicho procedimiento se realiza de acuerdo a la norma CIN0097 [4].

3.12. Ligantes o aglutinantes

Su función principal es incrementar la resistencia mecánica y aumentar la compactación en crudo de la pieza cerámica luego del prensado, los ligantes unen el material cerámico atomizado mediante la creación de una red de partículas. Los ligantes inorgánicos se pueden clasificar en ligantes de cadena polimérica corta, estos se adsorben en la superficie de las partículas, tienen un comportamiento similar a los tensoactivos y durante el secado producen enlaces de hidrógeno tridimensionales, y los ligantes de cadena polimérica larga que tienen poca solubilidad en agua

pero son emulsionables, durante el secado no adsorben en la superficie de las partículas pero si tienen la capacidad de formar enlaces de hidrógeno tridimensionales [11][12].

3.13. Colaje

El moldeo por colaje o vaciado es una técnica de modelado adaptada por la industria cerámica, dicha técnica consiste en verter dentro de un molde poroso pasta líquida. El molde es fabricado normalmente en yeso y en el se realiza un fenómeno de intercambio electrolítico como consecuencia el exceso de agua pasa al yeso y deja una capa de arcilla o pasta seca. El grosor de la pieza depende del tiempo que se deje la pasta secando dentro del molde, finalmente, se desmolda girando el molde y vaciando el exceso de pasta [13][14].

3.14. Prueba de autoclave

Es una prueba que cubre la determinación de la resistencia al agrietamiento de artículos blancos vidriados cocidos usando un tratamiento de autoclave bajo las condiciones especificadas para la prueba, dicha prueba se basa en la norma ASTM C424 del 2020 [15].

4. METODOLOGÍA

El desarrollo del proyecto consta de 3 fases principales, la primera de ellas involucra ensayos a nivel de laboratorio en el cual se determinan las formulaciones de los productos y la viabilidad de la implantación del material sustituto a través de pruebas de caracterización, seguido de escalonamientos a nivel semi industrial en el cual se realizan los seguimientos y ajustes necesarios para cumplir con los estándares de calidad de la empresa y finalmente implementar los materiales sustitutos a nivel industrial.

Inicialmente se establecen los posibles proveedores sustitutos y se realiza un pedido de muestras sin valor comercial para realizar el ensayo, a nivel de laboratorio se ensambla el producto empleando el material crítico y el material sustituto, con el fin de realizar una comparación y establecer la calidad de dicha materia prima y su posible reemplazo u oficialización como proveedor secundario, dicho comparativo se realiza estableciendo las propiedades críticas del producto a través de pruebas de caracterización como colorimetría, absorción y contracción, además, su comportamiento en quema.

En caso de que el ensayo a nivel de laboratorio sea aprobado por el área de calidad, se programan ensayos semi industriales en planta en los cuales se ensamblan entre 100 y 200 piezas para cada uno de los materiales y se realiza una revisión con el fin de comprobar si el material sustituto cumple con todos los requisitos para su implementación a nivel industrial. Finalmente se realiza la matrícula y legalización de la materia prima y del producto reformulado para ser utilizado en producción a escala industrial.

5. RESULTADOS

5.1. Sustitución de opacificante en pocillos y platos

El opacificante comúnmente empleado en la empresa para la preparación de esmaltes de pocillos y platos en pasta loza y porcelana lo llamaremos opacificante A, es una sustancia refinada a base de circonio que le otorga uniformidad de opacidad, textura y color al esmalte en una amplia gama de temperaturas, reduce el agrietamiento y aumenta la resistencia, además, actúa como material refractario.

La importación de dicho material aumentó considerablemente en el transcurso de este año, por lo tanto, se optó por buscar un material sustituto que les otorgara las mismas propiedades a los esmaltes y presentara un costo más bajo. Se encontró un proveedor que propuso el opacificante B como sustituto, dicho material es un silicato de circonio que presenta propiedades similares al opacificante A.

Los ensayos de dicho material se realizaron a nivel de laboratorio y consistieron en preparar esmalte color de acuerdo con la ficha técnica empleando opacificante A como comparativo y de igual manera prepararlo sustituyendo 1:1 el opacificante B como ensayo. El proceso de preparación de esmaltes consiste en pesar las materias primas de acuerdo con la formulación de este, iniciar la dispersión de los materiales en agitadores a 2000 rpm, ajustar las condiciones reológicas del esmalte empleando agua y defloculante, finalmente se tamiza el color por malla 100.

Los esmaltes se aplicaron en pocillos quemados en horno 6 con un ciclo de temperatura de 1229 °C y en platos de porcelana quemados en horno 3 a 1542 °C aproximadamente. Dicho ensayo se validó en dos colores, a continuación, se muestran los resultados obtenidos en los esmaltes Nude 929 y Taupé 901.



Fig 1. Pocillos color Nude comparativo y ensayo



Fig 2. Pocillos color Taupé comparativo y ensayo

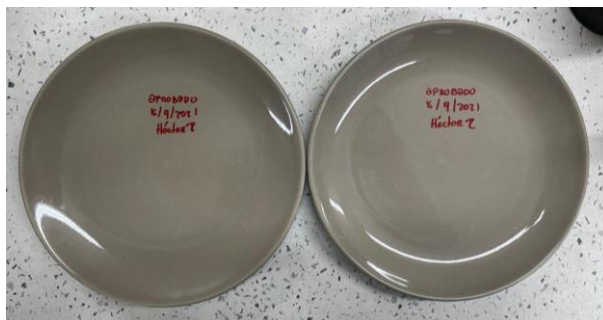


Fig 3. Platos color Taupé comparativo y ensayo



Fig 4. Platos color Nude comparativo y ensayo

Cabe resaltar que el área de calidad comparó ambas piezas respecto al patrón establecido en la empresa y aprobó la sustitución de dicho material empleando una prueba de colorimetría, la cual establece que si el delta de E del ensayo es menor a 1 es posible aprobar el cambio. Posteriormente, se realizaron dos ensayos semi industriales de 200 piezas en los colores Verde Mulaki 922 y Amarillo Mostaza 964 como se muestra en la figura, los cuales también fueron aprobados por el área de calidad y se realizó la sustitución de material en todas las fichas técnicas de la empresa.



Fig 5. Pocillos color Verde Mulaki comparativo y ensayo



Fig 6. Pocillos color Amarillo Mostaza comparativo y ensayo

5.2 Sustitución de caolín en pasta de porcelana

El producto más exclusivo, costoso y de mejor calidad que fabrica Locería Colombiana es la porcelana, para este tipo de vajillería se emplea una pasta americana, ensamblada en su totalidad con materiales importados. En consecuencia, a la emergencia sanitaria vivida actualmente, el proveedor del caolín A comúnmente utilizado para la preparación de la pasta americana manifestó su incapacidad de cumplir con los pedidos y las órdenes de compra realizadas por la empresa, de tal forma, que fue necesario realizar una sustitución. En primera parte se comunicó con un

proveedor alternativo y se solicitaron 500 kg de muestra del caolín B para su evaluación en planta y caracterización.

Inicialmente se realiza el ensayo a nivel de laboratorio para el cual primero se ensambló la pasta americana de acuerdo con su ficha técnica, se empleó un agitador para su dispersión como se observa en la figura 7. Las materias primas se agregaron de manera usual como se realiza en el área de preparación pastas, en el siguiente orden: las arcillas en suspensión, el caolín, feldespatos, arena. Posteriormente, se ajustaron las condiciones reológicas de la pasta de acuerdo con la indicadas para colaje.



Fig 7. Agitador para dispersar y homogenizar pasta

Para el ensayo a nivel de laboratorio se conformaron muestras con ayuda de moldes de yeso con forma de pocillos, barras y rodajas empleando pasta con caolin A y pasta con caolin B. El proceso consistió en aplicar desmoldante en los moldes y luego vacear las pastas, dejar reposar durante una hora y desmoldar las piezas, posteriormente, se cortan de acuerdo a las pruebas que se van a relizar y se secan en hornos de secado a 60 °C, aproximadamente durante 3 horas. Por último se pulen con lijas y punzones.

Las rodajas se esmaltaron con esmalte transparente con la técnica de inmersión por una sola cara, con el propósito de evitar que a su paso por el horno se fundiera y pegara a las placas refractarias, con dichas rodajas se realizó la prueba de colorimetría de acuerdo a la norma CIN0097 por el método CIElab en el cual se determinan las coordenadas L, a y b con ayuda de un colorímetro y se realiza un comparativo entre ambas pastas basándose en el color, el resultado es un ΔE menor a 1 lo cual indica que el color entre las pastas es muy similar.



Fig 8. Rodajas esmaltadas comparativo y ensayo

En el caso de los pocillos se esmaltaron de igual manera con el fin de realizar la prueba de autoclave y resistencia al agrietamiento, dicha prueba la realizaron los auxiliares de calidad basándose en la norma ASTM C424 [15]. Los resultados arrojaron un valor de 202, según la norma lo ideal es estar por encima de 150, lo cual indica que la pasta con el caolin B cumple las especificaciones de agrietamiento.



Fig 9. Pocillos esmaltados comparativo y ensayo

A las barras de pasta empleadas para la prueba de contracción lineal se les realizó una marca de 100 centímetros empleando un pie de rey, luego fueron quemadas en el horno 3 y se realizó la medición nuevamente. Lo establecido por la norma es que lo ideal en una pasta de porcelana es una contracción menor al 10%, la pasta con caolin A presentó una contracción de 8.8% y la pasta con caolin B 8.6%, lo cual indica que cumple con las especificaciones.



Fig 10. Barras de contracción lineal

Las barras de deformación pirolástica se ubicaron en piezas refractarias en forma de U, con el fin de medir su deformación luego de salir del horno, para tal objetivo se emplea una tabla de medición que se encuentra en el laboratorio como se muestra en la figura 11.



Fig 11. Medición de la deformación pirolástica de una barra

Luego de realizadas las pruebas de producto terminado a ambas pastas los resultados indican que el caolín B es un buen sustituto, por lo tanto, se programa un ensayo semi industrial en el cual se preparan tres toneladas de pasta y se forjan piezas durante toda una tarde en el área de formación pocillos. Los defectivos finales indican que no se presentan roturas, por lo tanto, se aprueba el proveedor sustituto.

5.3 Sustitución de los ligantes en pastas de porcelana

El ligante A empleado en la división de mesa servida de la organización Corona en el proceso de prensado de vajillas de porcelana tuvo que ser sustituido debido al desabastecimiento de materias primas que se presenta a nivel mundial, obligando a la industria a indagar sobre nuevas alternativas con resultados iguales o mejores a los que se tienen actualmente en aras de una continuidad

productiva de excelente calidad. A la planta llegaron 4 proveedores alternos con sus respectivas muestras, por lo tanto, se realizaron 4 ensayos semi industriales que consistían en preparar la pasta desde cero, adicionar los ligantes, atomizar la pasta, prensar platos, esmaltar las piezas y quemarlas dos veces en el horno.



Fig 12. Dispersion, adición de ligantes, atomización y prensado



Fig 13. Esmaltado, primera coccion y segunda coccion

Los resultados obtenidos luego de la etapa del prensado indican que la densidad aireada para los ligantes evaluados no cumple con los requerimientos de producción, sin embargo, el peso de la pieza tanto en crudo como en quema se encuentran dentro del rango especificado por el área de calidad. La resistencia mecánica se evaluó cualitativamente por el operario de la prensa, puesto que aun no se cuenta con un método estandarizado de medición de forma cuantitativa.

En el caso del ligante E fue necesario modificar el ángulo de caída de la banda que recibe la pieza luego del prensado con el fin de amortiguar la caída y evitar fisuras en la misma. Dentro de la operación con el ligante B se observaron problemas de desaireación a partir de la pieza #150, lo cual ocasiona dificultades para el desmoldeo de la pieza y por consiguiente genera problemas de

acumulación de pasta entre el centro y el ala de la pieza prensada “apelmazado”, por lo tanto, el operario debió realizar constantemente una limpieza del molde.

Tabla I. Resultados del prensado

	Ligante A (Comparativo)	Ligante B	Ligante C	Ligante D	Ligante E
Humedad [%]	3.71	3.56	2.48	2.92	2.93
Fluidez [s]	77	83	86	78	77
Densidad aireada [g/L]	853.73	803.29	816.03	788.34	802.60
Resistencia mecánica	Media	Media	Alta	Media	Media

Los resultados de la etapa de esmaltado arrojaron que el tiempo de secado del esmaltado, tanto para la pasta comparativa como para el ensayo del ligante B, fue mayor a las especificaciones de producción, lo cual generó desbordes de peana y dificultad en el proceso. Se evidencia que para los ligantes evaluados se cumple con los criterios de espesores de esmalte aun teniendo un consumo de esmalte menor.

Tabla II. Resultado del esmaltado

	Ligante A (Comparativo)	Ligante B	Ligante C	Ligante D	Ligante E
Secado [s]	>17	>17	>17	<10	<10
Consumo de esmalte [g]	146.6	132.9	133.8	135.1	110.1
Espesores de esmalte [$\text{cm} \times 10^{-3}$]	31-32	29-30	27-32	29-32	30-31

En los resultados de la primera cocción se logró evidenciar la influencia del esmaltado en las piezas cerámicas, puesto que el esmalte funciona como un sellante en el proceso de quema, por lo tanto, los valores de absorción presentan grandes diferencias entre piezas esmaltadas y sin esmaltar, a pesar de que ambos están dentro de las condiciones de producción para porcelana.

Tabla III. Resultado de la primera cocción

	Ligante A (Comparativo)	Ligante B	Ligante C	Ligante D	Ligante E
Absorción piezas sin esmaltar [%]	0.30	0.26	0.28	0.29	0.29
Absorción piezas esmaltada [%]	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02

Dentro del análisis del defectivo del área de calidad se encontraron problemas de esmalte y contaminación, sin embargo, según lo acordado para el desarrollo del proyecto se examinó el defectivo teniendo en cuenta únicamente los defectos asociados a la pasta como los son la grieta en el borde de la pieza y el desborde de la peana.

Tabla IV. Defectivo de calidad de la primera cocción

	Ligante A (Comparativo)	Ligante B	Ligante C	Ligante D	Ligante E
Primeras [%]	97.2	95.2	100	98.4	98.8
Roturas [%]	2.8	4.8	0	1.6	1.2

Al finalizar los ensayos se concluyó que la solución inmediata para producción es el ligante E, teniendo en cuenta aspectos como facilidad de suministro del proveedor, buen desempeño en todas las etapas y que no requiere cambio en el proceso posterior al prensado, y se planteó que una solución a futuro podría ser el ligante C debido a que las propiedades que ofrece sobre la pasta blanca son superiores mecánicamente respecto a los demás ligantes, sin embargo, el uso de mismo requeriría un ajuste en el proceso de esmaltado.

5.4. Sustitución de la emulsión en pantallas serigráficas

Las calcomanías que se fabrican en Vajillas Corona parten de un estampado en pantallas serigráficas, dichos estampados se obtienen luego de un proceso expositor con rayos UV empleando una emulsión termosensible. Actualmente la emulsión empleada en la empresa proviene de una multinacional alemana, se buscó encontrar un proveedor alternativo en vista de los

problemas de envío y sobre costos asociados. Se realizó una petición a un proveedor italiano y este envió muestras sin valor comercial para realizar ensayos y pruebas.

Se realizó un ensayo que consiste en aplicar la emulsión a evaluar sobre cinco pantallas, posteriormente se ingresaron a un secadero que permanece entre 60 y 70°C. Se centró la pantalla serigráfica en un tablero de luz y encima se adhiere el negativo del diseño de la calcomanía, se retocó con emulsión las partes que no hayan quedado completamente cubiertas y se lleva la pantalla a un expositor que a través luz ultravioleta define el diseño en la pantalla quemando la emulsión en las zonas definidas, posteriormente, se llevó la pantalla a un cuarto de revelado en el cual se lava la emulsión con agua fría a presión y se seca de nuevo.



Fig 14. Emulsión termosensible



Fig 15. Fotoexpositor de rayos UV

La emulsión sustituta se comportó de manera igual que la emulsión utilizada normalmente en la planta, sin embargo, se notó que el color de la emulsión sustituta (amarillo) era considerablemente claro en comparación con el color regular (verde) como se observa en la figura 16, lo cual dificultaba el trabajo de los operarios en la etapa de retoque debido a que debían forzar mucho la vista para visualizar los detalles del diseño, por lo tanto, no se considera el proveedor como un sustituto sino como un secundario.

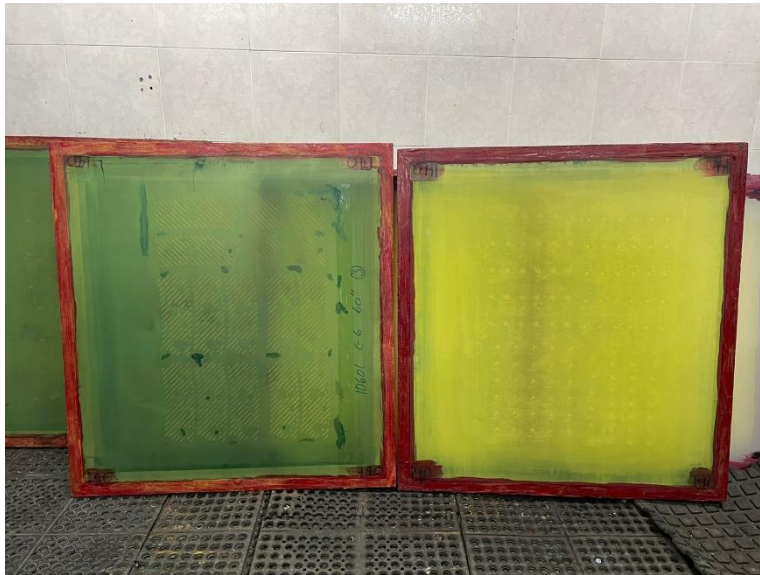


Fig 16. Pantalla comparativa y pantalla de ensayo

5.5. Sustitución del pegamento de marcos de madera en pantallas serigráficas

En el área de serigrafía de Vajillas Corona se fabrican calcomanías que se utilizan para estampar piezas de loza y porcelana, dichas calcomanías se obtienen a partir de pantallas serigráficas las cuales están compuestas por una malla de nylon y un marco de madera; el proceso de fabricación de las pantallas se basa principalmente en adherir la malla al marco empleando una pega especial. Actualmente el pegamento empleado por Vajillas Corona es suministrado por un proveedor alemán, a pesar de que dicho producto no presenta problemas en la adherencia de las pantallas, debido al escases de contenedores y aumento de costos de transporte se ha plantado la sustitución de dicho material.

El pegamento sustituto proviene de Italia, presenta propiedades similares al material actual y su precio es considerablemente más bajo, se cuenta con una muestra de 2 kilogramos sin valor comercial.



Fig 17. Muestra de pegamento

Se realizó un primer ensayo en el cual se pegaron 10 pantallas para observar el comportamiento del producto, dicho proceso empieza por la preparación de la pega que consiste en realizar una mezcla en la cual por cada 10 gramos de pega se emplean 2 gramos de catalizador o vulcanizante, se aplicó la pega con una brocha sobre el marco de madera ubicado en una mesa tensadora y se coloca la malla sobre este, dicha mesa cuenta con pinzas neumáticas que funcionan a partir de aire comprimido y ayudan a estirar la malla, de igual manera se cuenta con pesos adicionales, los cuales se ubican sobre el marco de madera con el fin de ayudar a la adherencia de la malla.



Fig 18. Proceso de pegado de una pantalla serigráfica

La mesa tensadora cuenta con una alarma que indica luego de 20 minutos de secado que el proceso ha terminado, se retiran los pesos adicionales, las pinzas neumáticas y se evalúa que la malla esté adherida al marco, finalmente se coloca en un secadero a 50 °C aproximadamente para curar la malla. Al finalizar el primer ensayo se observó con los técnicos del área de serigrafía que las mallas cumplen bien su función y que el pegamento presentó buena adherencia. Posteriormente se lleva a cabo un periodo de prueba en el cual el pegamento sustituto es utilizado en la pega de pantallas de producción y presenta buena calidad, resistencia química, resistencia al calor, durabilidad y resistencia mecánica, por lo tanto, se considera el proveedor italiano como un proveedor alterno.

5.6. Sustitución del removedor o recuperador de pantallas serigráficas

Luego de que las pantallas serigráficas son utilizadas es necesario lavarlas y remover el diseño anterior para darles uso nuevamente, este proceso se realiza empleando un removedor concentrado diluido en agua y una estopa.

Se busca un proveedor sustituto de dicho removedor debido a la escasez de contenedores que impiden el envío de producto del proveedor anterior. Se realiza un ensayo con 15 pantallas, las cuales tienen diseños y colores totalmente diferentes, se aplica el removedor con una estopa en toda la superficie y se deja en reposo durante al menos 3 minutos, posteriormente, se retira el producto con agua caliente a presión y se observa que el producto sustituto cumple con la función de remover todo tipo de esmalte en las mallas.



Fig 19. Proceso de remoción y limpieza de pantallas

5.7. Sustitución de caolín en esmaltes de pintado manual

El caolín A utilizado en los esmaltes de la línea Artisan de Vajillas Corona es importado y actualmente se encuentra escaso en la planta debido a la dificultad en los envíos marítimos y aéreos. Por tal razón, es necesario buscar un sustituto a dicho material, inicialmente se propone una mezcla entre el caolín B y una arcilla de grano fino. Se realiza un ensayo a escala de laboratorio en el cual se prepara el esmalte Artisan Verde Oliva empleando el caolín A como comparativo y la mezcla del caolín B y la arcilla como ensayo, ambos esmaltes a condiciones reológicas idénticas. Se aplican dichos esmaltes en piezas de loza y porcelana y se queman en el horno 3 una temperatura de 1538 °C y un ciclo de 7 horas aproximadamente. El área de calidad aprueba el ensayo constatando que el tono del esmalte continua entre los patrones mínimos y máximos para dicho color.

A continuación, se programa un ensayo semi industrial en el cual se decoran 200 piezas de porcelana con el color Artisan Verde Oliva con el fin de realizar un defectivo que compruebe que las tonalidades del esmalte no varían significativamente y que se puede realizar la sustitución.



Fig 20. Platos de loza y porcelana con esmalte comparativo y de ensayo

Finalmente, para realizar la matrícula y el cambio en las fichas técnicas de los esmaltes se realizan ensayos de laboratorio en los cuales se homologan los demás colores de la línea Artisan.



Fig 21. Platos de porcelana con esmalte sustituto aprobado

5.8. Sustitución de alúmina en esmalte de colinado

Debido a la emergencia sanitaria y la imposibilidad de importar alúmina, es necesario contactar un proveedor nacional de alúmina para la preparación de esmaltes de colinado. Se realizó inicialmente un ensayo a nivel de laboratorio en el cual se prepara el esmalte negro KINE950 con la alúmina A, es decir, el comparativo y otro con la alúmina B de procedencia nacional, se ajustaron sus condiciones reológicas de manera idéntica, se aplicaron empleando al mismo operador y posteriormente se quemaron en el horno 6. Se comprobó que la tonalidad de los pocillos no cambiara a partir de pruebas de colorimetría realizadas por el área de calidad y que la fundencia del esmalte no varía significativamente como se observa en la figura 22.



Fig 22. Plano de fundencia

Se programó un ensayo semi industrial en el cual se esmaltan 200 piezas de comparativo y 200 piezas de ensayo, realizando la aplicación de los esmaltes con el robot utilizado en producción, finalmente, el área de calidad aprobó el ensayo a partir de una prueba de colorimetría que demuestra que la tonalidad del pocillo no variaba respecto al comparativo.

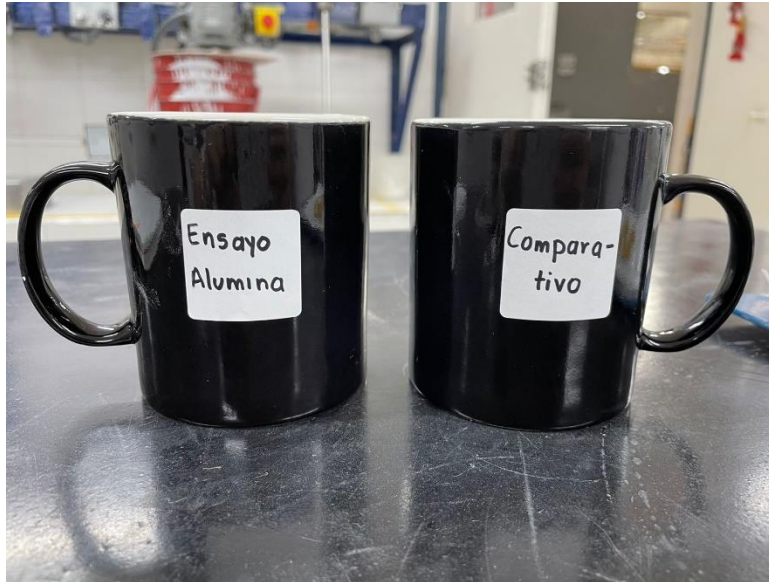


Fig. 23. Pocillos con esmalte negro comparativo y ensayo

5.9. Sustitución de aditivos en esmalte color

En la preparación de esmaltes es frecuente el uso de aditivos, ya sea biocidas, antiespumantes o agentes que mejoren la aplicación o adherencia de este. En los esmaltes de pocillos se emplea el aditivo A, el cual es un plastificante que ayuda a la formación rápida de capa de esmalte sobre la pasta del pocillo al igual que un secado efectivo, su presentación es en forma de gel.

Dicho aditivo proviene de un proveedor de Alemania, el cual cerró sus puertas debido a la crisis sanitaria, esto obligó a Vajillas Corona a buscar un material que lo reemplazara. Inicialmente se contactó con una empresa que proponía el aditivo B como aditivo sustituto, a diferencia del Aditivo A dicho material se presenta en forma de polvo, por lo tanto, es necesario dispersarlo en agua fría.

Se realizó inicialmente un ensayo a nivel de laboratorio en el cual se preparó el esmalte verde azul empleando aditivo A y aditivo B en la misma proporción según ficha técnica, y se aplicaron 10 pocillos de cada uno. Al finalizar el ensayo fue posible observar que los pocillos de ensayo presentaban un tono lechoso en comparación con los demás, por lo tanto, se decide repetir el ensayo en el laboratorio, pero esta vez disminuyendo la proporción del aditivo B en la formulación del esmalte. Este segundo ensayo es aprobado por el área de calidad empleando pruebas de colorimetría debido a que la tonalidad lechosa desapareció.

Finalmente, se realizan ensayos semi industriales en varios colores de esmalte con el fin de comprobar que el aditivo B se comporta como un sustituto del aditivo A, en dichos ensayos se observa que la tonalidad del esmalte cumple respecto a los patrones definidos por el área de calidad, además, que no se presentan defectos como cortinas, poros o recogidos en las piezas



Fig. 24. Pocillos con esmalte verde azul comparativo y ensayo

5.10. Sustitución de yeso en molduras

En la Locería Colombiana los platos de loza son fabricados mediante la técnica de forjado, la cual consiste en ubicar una cantidad de pasta en moldes de yeso y con ayuda de un robot darle la forma. Dichos moldes de yeso son fabricados en la empresa en el área de molduras, este proceso consiste en dosificar el yeso con agua, agitar, vaciar y secar los moldes. Debido a la emergencia sanitaria mundial el proveedor de yeso español utilizado en Vajillas Corona anunció su salida del mercado, por lo tanto, se buscaron proveedores sustitutos que ofrecieran yeso de la misma calidad.

Inicialmente se recibe una muestra de 1 tonelada de una empresa de yesos nacionales, con la cual se inicia un ensayo semi industrial. En primera parte se fabricaron 20 moldes de yeso de la referencia 5103 de platos de loza, en esta etapa no se observaron cambios significativos en ninguno de los procedimientos.

Posteriormente se evaluaron dichos moldes en la formación de platos de loza, se ubicaron sobre el carrusel de formación los 20 moldes de ensayo identificados con marcas de anilina azul para su fácil reconocimiento. El ensayo tuvo una duración aproximada de 56 horas, lo que corresponde a 336 vueltas de cada molde y alrededor de 5000 platos formados. Durante las primeras dos horas del ensayo se obtuvieron 133 platos, de los cuales la gran mayoría estaban saliendo rajados en el centro, este comportamiento se debe posiblemente a que los moldes estaban porosos. Con el paso del tiempo este defecto disminuyó considerablemente, el primer día del ensayo se realizó seguimiento a 96 platos de los cuales 47 salieron buenos y 49 rajados, mientras que el segundo día de 72 platos, 57 salieron buenos y 15 rajados.



Fig. 25. Platos de loza de ensayo con grieta

Los 104 platos formados se llevaron a cocción en el Horno 2 a 1165°C aproximadamente donde se obtuvo una calidad del 86.48%. Se compararon los platos del ensayo con platos formados en los moldes actuales de producción (comparativo), a simple vista no se observan diferencias significativas, por lo tanto, se aprobó el nuevo proveedor como proveedor sustituto para los moldes de yeso de plato de loza. Cabe destacar que para pocillos no se alcanzó a realizar el seguimiento, dicho ensayo quedó pendiente.



Fig. 26. Platos de loza quemados comparativo, ensayo y rotura

6. CONCLUSIONES

El desabastecimiento de insumos a nivel mundial es una problemática actual que atraviesan todas las industrias, la causa principal es la pandemia ocasionada por el COVID 19, que obligó a disminuir la capacidad de producción del mundo y por lo tanto sus economías.

Se logró sustituir los 10 materiales críticos planteados inicialmente en las áreas de producción de pastas, esmaltes, yesos y serigrafía, cumpliendo con los estándares de calidad, asegurando los procesos productivos, mejorando tiempos de entrega y abastecimiento de los insumos, además, se redujeron los costos asociados a los materiales e importaciones.

En algunos casos además de sustituir los materiales críticos con proveedores sustitutos, se encontraron proveedores alternos que serán considerados por Vajillas Corona a largo plazo, además, se redujeron costos asociados a envíos e importaciones debido a que se sustituyeron proveedores del exterior por industrias nacionales.

REFERENCIAS

- [1] “Corona - Nuestra compañía,” *¿Quiénes somos?* <https://empresa.corona.co/nuestra-compania/quienes-somos>.
- [2] C. Barry Carter and M. Grant Norton, “Ceramic materials: Science and engineering,” 2007.
- [3] J. Bartolomé, “El Caolín: composición, estructura, génesis y aplicaciones.,” *Boletín la Soc. Española Cerámica y Vidr.*, vol. 36, no. 1, pp. 7–19, 1997.
- [4] C. laboratorio Cerámico, “Nociones pastas cerámicas y materias primas para pastas,” *Septiembre*, 2012.
- [5] H. Salmang, *Los fundamentos físicos y químicos de la cerámica*, 3ra ed. 1954.
- [6] F. H. Norton, *Fine ceramics technology and applications*, Original e. 1970.
- [7] S. L. Correia, A. P. N. Oliveira, D. Hotza, and A. M. Segadães, “Properties of triaxial porcelain bodies: Interpretation of statistical modeling,” *J. Am. Ceram. Soc.*, vol. 89, no. 11, pp. 3356–3365, 2006, doi: 10.1111/j.1551-2916.2006.01245.x.
- [8] I. R. Martín and Rocío Collado Alonso, “Preparación de la impresión en serigrafía,” *Preparación de la impresión en serigrafía*, 2013. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=J04pEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT3&dq=serigrafía&ots=40EGMgJGqU&sig=eb80JrA9vRVG1PQBVJtV2WsUn64#v=onepage&q=serigrafía&f=false>.
- [9] Paul Rado, *Introducción a la tecnología de la cerámica*, Primera ed. 1990.
- [10] T. P. Boaventura, “Performance of plastic biofilter media with different configuration in a water recirculation system for the culture of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*).,” *Aquac. Int. J. Eur. Aquac. Soc.*, vol. 26, no. 4, pp. 139–154, 2018, doi: 10.1520/C0020-00R10.2.
- [11] Reed James Stalford, *Principles of Ceramics Processing*, 2da ed. 1995.
- [12] H. D. Fernanda Mora, *Evaluación de aditivos para la fabricación de pastillas cerámicas*, Tesis de g. Eafit, 20066.
- [13] R. MORENO, J. MOYA, and J. REQUENA, “Colaje de óxidos cerámicos. I: Fundamentos,” *Bol. La Soc. Esp. Ceram. Y Vidr.*, vol. 24, no. 3, pp. 165–171, 1985.
- [14] A.I. Avgustinik, *Cerámica*, Segunda ed. 1983.
- [15] A. I. [ASTM], “Método De Prueba Estándar Para La Resistencia Al Agrietamiento De Los Artículos Blancos Vidriados Cocidos Mediante Tratamiento En Autoclave.”