



**Desarrollo de esmaltes especiales y decoraciones para nueva colección institucional de
Vajillas Corona 2022-2023**

Maria Fernanda Tuberquia Giraldo

Informe de prácticas académicas en la modalidad de semestre de industria. Requisito para optar al

título de:

Ingeniera Química

Asesores

Juan Miguel Marín Sepúlveda.

Kelly Tatiana Osorio Marín

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Química

Medellín, Antioquia, Colombia

2023

Cita	Tuberquia Giraldo [1]
Referencia	[1] M.F. Tuberquia Giraldo, “Desarrollo de esmaltes especiales y decoraciones para nueva colección institucional de Vajillas Corona 2022-2023”, Trabajo de grado profesional, Ingeniería química, Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia, Colombia, 2023.
Estilo IEEE (2020)	



Coordinador de prácticas Vajillas Corona: Kelly Tatiana Osorio Marín



Biblioteca Carlos Gaviria Díaz

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

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes

Decano/Director: Julio Cesar Saldarriaga

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.

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a la Universidad de Antioquia porque me ayudó a formarme no solo profesionalmente, si no como ser humano, me quedan recuerdos de momentos y personas por los cuales estaré agradecida siempre.

A mi madre, por apoyarme y creer en mí, por levantarse cada mañana con todo el amor para no dejarme desfallecer en este largo proceso. A mis abuelos, que a pesar de que no estén hoy conmigo, es gracias a ellos que hoy estoy logrando este sueño, porque sembraron en mi mente y en mi corazón la idea de ponerme grandes retos, porque siempre pensaron que podía lograr todo lo que me propusiera y porque nunca dudaron de mis capacidades. Para ellos todo mi amor y agradecimiento.

A mis amigos y compañeros los cuales hicieron de esta carrera un proceso lleno de buenos momentos e historias compartidas que siempre llevaré en el corazón. En especial a Juan Camilo Aguilar, Paulina Parra y Nicolás Ruiz por aportar en mi vida académica.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	8
ABSTRACT	9
I. INTRODUCCIÓN	10
II. OBJETIVOS	11
2.1. Objetivo general	11
2.2. Objetivos específicos.....	11
III. MARCO TEÓRICO	12
3.1. <i>Cerámica</i>	12
3.2. <i>Materias primas</i>	12
3.3. <i>Esmalte</i>	14
3.3.1. <i>Choque térmico</i>	14
3.3.2. <i>Prueba de autoclave</i>	15
3.3.3. <i>Prueba de colorimetría</i>	15
3.3.4. <i>Resistencia al desportillado</i>	16
3.3.5. <i>Resistencia al impacto</i>	16
3.3.6. <i>Ajuste de un esmalte</i>	16
3.3.7. <i>Características horno 3</i>	18
3.3.8. <i>Características horo 6</i>	18
3.4. <i>Acople esmalte-pasta</i>	18
3.5. <i>Composición del esmalte</i>	19
3.6. <i>Defectos</i>	19
IV. METODOLOGÍA	20
4.1. <i>Definición del proyecto</i>	21

4.2. Exploración de materiales y métodos	23
4.3. Desarrollo de formulaciones y métodos de pintado manual.....	23
4.3.1. Esmalte color azul envejecido	24
4.3.2. Esmalte color concreto.....	24
4.3.3. Decoración: Lista manual irregular	24
4.4. Analizar y mejorar	25
4.5. Controlar	25
V. RESULTADOS	26
5.1. Azul envejecido.....	26
5.2. Análisis azul envejecido	28
5.3. Concreto	29
5.4. Análisis esmalte reactivo color Concreto	38
5.5. Decoración: Lista manual irregular	39
5.6. Análisis Decoración: Lista manual.....	47
VII. CONCLUSIONES	48
REFERENCIAS	49

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Formulación azul envejecido horno 6	26
Tabla 2. Formulación 1309 concreto.....	29
Tabla 3. Formulación 1378 esmalte color concreto	33
Tabla 4. Resultados pruebas de PT para pocillos de loza	35
Tabla 5. Resultados pruebas de PT para pocillos de porcelana	36
Tabla 6. Resultados pruebas de PT para cerealeros en loza.....	36
Tabla 7. Resultados pruebas de PT para platos porcelana	36
Tabla 8. Resultados pruebas de PT para platos loza	37

Tabla 9. Formulaci3n lista caf3	43
Tabla 10. Formulaci3n esmalte lista negra	44
Tabla 11. Defectivo ensayo lista caf3	46
Tabla 12. Defectivo ensayo lista negra	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Coordenadas CIELAB	15
Figura 2. Picn3metro	17
Figura 3. viscos3metro de torsi3n	17
Figura 4. Flujo de proceso en formulaci3n de esmaltes	21
Figura 5. Azul envejecido H6	22
Figura 6. Solicitud de mercadeo para decoraci3n manual	22
Figura 7. Color concreto solicitado	23
Figura 8. Plato realizado con la formulaci3n original	26
Figura 9. Esmalte azul envejecido con 18,5% de caol3n	27
Figura 10. Esmalte azul envejecido con adici3n de al3mina	28
Figura 11. Formulaci3n 1309 esmalte color concreto	30
Figura 12. Comparaci3n formulaci3n 1309 esmalte concreto	30
Figura 13. Comparaci3n formulaci3n 1314 esmalte concreto	31
Figura 14. Formulaci3n 1349 esmalte color concreto	32
Figura 15. Formulasiones 1359 y 1360 esmalte color concreto	32
Figura 16. Comparaci3n formulaci3n 1378 esmalte color concreto	33
Figura 17. Tono m3nimo y m3ximo del esmalte color concreto en un lote de producci3n	34
Figura 18. Esmalte concreto en un ciclo de 9 horas y media	35
Figura 19. Producto final del esmalte color concreto	38
Figura 20. Primer m3todo probado para lista manual	39
Figura 21. Resultado del primer ensayo lista manual	40
Figura 22. Esponja con di3metro de pieza	40
Figura 23. Proceso de la t3cnica 2 lista manual	41
Figura 24. Resultado de la t3cnica 2 lista manual	41

Figura 25. Herramental creado para la técnica 3.....	42
Figura 26. Esponja del herramental creado para la técnica 3.....	42
Figura 27. Paso a paso de método para decoración manual.....	43
Figura 28. Lista manual café.....	44
Figura 29. Resultado lista manual negra.....	44

RESUMEN

En este proyecto se desarrolló un esmalte reactivo color concreto, se reformuló el color existente azul envejecido para la línea institucional y se desarrolló un nuevo método de pintado manual para decoraciones en la línea de Artisan de Vajillas Corona, ambos esmaltes se desarrollaron tanto para platos como para pocillos, mientras que las decoraciones manuales fueron desarrolladas solo para platos. El objetivo se enfocó al aseguramiento de las condiciones técnicas necesarias para que el producto cumpla con los estándares de calidad y las pruebas de desempeño. Los parámetros establecidos en este proyecto se utilizarán como piloto de aseguramiento de desarrollo de esmaltes reactivos.

La metodología que se utilizó en este proyecto fue seis sigma junto con la metodología DMAIC, la cual está compuesta por cinco fases: definir, medir, analizar, mejorar y controlar. Esta metodología se adaptó perfectamente al proceso ya que tiene como objetivo aumentar la capacidad de este generando mínimos defectos en las piezas producidas [1].

Palabras clave: Esmalte, cerámica, porcelana, reacción, calidad, pruebas, técnica, ensayo, Industria

ABSTRACT

In this project, a concrete color reactive glaze was developed, the existing aged blue color was reformulated for the institutional line and a new manual painting method was developed for decorations in the Artisan line of Vajillas Corona, both glazes were developed for both plates and bowls, while the manual decorations were developed only for plates. The objective was focused on ensuring the technical conditions necessary for the product to meet quality standards and performance tests. The parameters established in this project will be used as an assurance pilot for the development of reactive glazes.

The methodology used in this project was six sigma together with the DMAIC methodology, which is composed of five phases: define, measure, analyze, improve and control. This methodology was perfectly adapted to the process since its objective is to increase the capacity of the process by generating minimum defects in the parts produced. [1]

Keywords: glaze, ceramic, porcelain, reaction, quality, testing, technique, assay, industry

I. INTRODUCCIÓN

La cerámica se considera uno de los materiales prehistóricos de más importancia que aún en la actualidad se sigue utilizando, su aparición se remonta a la edad de piedra, en donde, se descubrió que el barro perdía su plasticidad cuando se sometía al fuego.

En la antigüedad, estas cerámicas se decoraban con las huellas de los dedos y uñas al modelar y se teñían mezclando diferentes tierras coloreadas [2].

Actualmente la cerámica se produce de forma industrial mezclando agua con componentes fundentes, desgrasantes y plásticos. Adicional, todas las piezas cerámicas se recubren con esmalte, ya que, la utilización de estos les otorga a las piezas mejor resistencia mecánica y química, lo que genera mayor durabilidad en el tiempo y condiciones más higiénicas para su utilización en la industria alimenticia.

Corona es una multinacional con más de 140 años de antigüedad, 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 [3].

Locería colombiana es la planta perteneciente a la división de mesa servida, en esta planta se fabrica y comercializan vajillas. Se diferencian dos líneas principalmente: hogar e institucional, la línea institucional está pensada en ofrecer a hoteles, restaurantes y cafeterías la mejor calidad y los diseños más innovadores que permitan mantener a corona como uno de los líderes del mercado, un mercado que cambia sus necesidades día a día.

Innovar es lo que impulsa la competitividad, el crecimiento y el mantenimiento en el mercado; para innovar es necesario tener ideas nuevas, mejorar o aportar valor a un producto ya existente. La mejora o formulación de esmaltes y decoraciones en Vajillas Corona es uno de los procesos más importantes, es por esto que gran parte de sus esfuerzos se centran en el desarrollo de nuevos productos

El alcance del proyecto incluye la formulación de esmaltes reactivos para la nueva colección de la línea institucional, con el fin de tecnificarlos y asegurarlos mediante diferentes pruebas que garanticen el cumplimiento de las normas estipuladas por Vajillas Corona. Así como la corrección de esmaltes ya formulados, desarrollo de listas y decoraciones, evaluándolos a nivel de laboratorio y a escala semi industrial.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Desarrollar formulaciones de esmaltes reactivos color concreto y azul envejecido, así como listas para pintado manual café y negro, y métodos de decoraciones manuales para la línea institucional de Vajillas Corona que cumplan las condiciones técnicas requeridas para el producto final.

2.2. Objetivos específicos

- Formular el esmalte reactivo color concreto para horno 3
- Formular el esmalte reactivo color concreto para horno 6
- Formular esmalte color Azul envejecido para horno 3 tratando de igualar el tono existente en horno 6.
- Desarrollar un método de pintado a mano para la decoración en el borde (lista) de los platos de la nueva colección
- Validar desde mercadeo los productos con viabilidad (prototipos).
- Realizar ensayos semiindustriales en los esmaltes y decoraciones preaprobadas
- Verificar la calidad del producto terminado por medio de pruebas de desempeño

III. MARCO TEÓRICO

3.1. *Cerámica*

La cerámica es un material inorgánico que se produce por sinterización de materiales orgánicos a altas temperaturas, cuyo principal componente es el óxido de silicio y otros silicatos complejos (caolines, arcillas, feldespatos, alúmina y otros). La pasta cerámica se produce cuando estos materiales, por lo general de origen natural, se mezclan con agua para obtener una mezcla plástica usando tres ingredientes básicos en diferente proporción: componentes fundentes, desgrasantes y componentes plásticos.

Un componente fundente actúa como elemento de cohesión del resto de las partículas cristalinas. Así se logra que tenga lugar un proceso de sinterización con fase fundida que cierra la porosidad generada en la descomposición y transformación del componente arcilloso. Está presente en materias primas feldespáticas, carbonatos y arcillas fundentes. Un desgrasante es el componente inerte responsable de disminuir el exceso de plasticidad del componente plástico a valores óptimos, mientras que el componente plástico es el que permite obtener la forma de las piezas en condiciones óptimas de humedad ya que retiene agua en su estructura. [4]

Cada uno de los componentes mencionados anteriormente aporta diferentes características a la pasta, por lo que diferentes combinaciones de estas tres materias primas dan como resultado pastas con diferentes propiedades.

3.2. *Materias primas*

Dentro de los materiales que constituyen la cerámica tradicional se encuentran las materias primas plásticas y no plásticas, que suelen ser elaboradas a partir de materias primas naturales.

Las materias primas plásticas permiten a la pasta deformarse y conservan su nueva forma. Entre las materias primas plásticas más importantes para la elaboración de pastas cerámicas están las arcillas y los caolines.

La arcilla es una roca de naturaleza y origen muy variable, de grano fino, estando constituidas por un grupo de sustancias cristalinas, conocidas como minerales arcillosos, y fragmentos de rocas y otros minerales. Las arcillas son plásticas cuando están húmedas, rígidas cuando se secan y vitrificadas cuando son sometidas a la acción del fuego [4].

La formación natural de las arcillas surge de un proceso de descomposición de rocas ígneas como el granito y rocas feldespáticas como la ortosa ($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$) o la albita ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$). [5] [6].

Existe un conjunto considerable de arcillas que se clasifican según la relación de átomos de silicio y aluminio dentro de la red cristalina [7], dentro de este grupo se encuentra el grupo de la caolinita. El caolín es la arcilla en la que predomina el mineral caolinita, que confiere plasticidad, velocidad de formación, fluides, empaquetamiento y blancura del cuerpo cocido.

Por otro lado, las materias primas no plásticas, son aquellas que no permiten deformación sin romperse, todas actúan reduciendo plasticidad y facilitando la defloculación. Entre las materias primas no plásticas más importantes para la elaboración de pastas cerámicas están los feldespatos, sílices y carbonatos. Los feldespatos son aluminosilicatos de sodio, calcio y potasio, estos 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.[4]

Las sílices son minerales cuya composición química contiene únicamente silicio como catión. Se presenta en tres formas: cuarzo, tridimita y cristobalita, siendo el cuarzo el más común y uno de los minerales más abundantes en la naturaleza. Se suelen utilizar en las pastas cerámicas para aumentar la resistencia tanto química como mecánica de los productos cerámicos, al ser el formador de la red cristalina durante el proceso de cocción [8]. En el caso de los carbonatos son minerales que se caracterizan por la presencia de $(\text{CO}_3)^{2-}$, dicho ion permite la densificación de la pieza.

En el proceso de ensamble de una pasta cerámica se hace necesario el ajuste de la viscosidad, por lo tanto, se utilizan aditivos que pueden aumentar o disminuir dicha propiedad. Entre los aditivos más utilizados está el silicato de sodio que actúa cambiando la carga en la superficie de la partícula generando repulsión entre ellas y el sulfato de magnesio, el cual provoca que los esmaltes sean más gruesos y puedan gelificar mejor facilitando su aplicación, en las pastas hace que el secado sea más lento [9].

3.3. Esmalte

Un esmalte cerámico es una fina capa vítrea que se funde en la superficie de un cuerpo cerámico cuando se somete a cocción, este está formado principalmente por una fase amorfa, pero también incluye burbujas, grietas y fases cristalinas (compuestos no disueltos y cristales formados durante la cocción) [10].

Un esmalte generalmente está formado por materias primas con presencia de óxidos de sílice, aluminio y varios óxidos metálicos (fundentes) y se colorean con pigmentos y óxidos de metales de transición principalmente, entre los pigmentos más utilizados están los azules que contienen cobalto debido a que este compuesto puede lograr tonos muy saturados y son compatibles con otros óxidos. Los colores y efectos que se logran en las piezas finales también dependen de la atmósfera de cocción, es por esto, que para obtener apariencias iguales en hornos con características diferentes se hace necesario ajustar las formulaciones.

Los esmaltes se preparan como suspensiones acuosas por lo tanto es necesario tener en cuenta las propiedades reológicas de estos ya que cambian según su utilización, las propiedades también pueden depender de la técnica de esmaltado y el acabado que se le quiera dar a la pieza.

Existen diferentes técnicas de esmaltado como lo son: cascada, inmersión y pistola. El esmaltado por pistola consiste en un método manual o automático que utiliza aire a presión para atomizar el esmalte y depositarlo sobre la pieza cruda, el esmaltado por inmersión es un método manual que consiste en sumergir completamente la pieza en el esmalte, mientras que el esmaltado por cascada consiste en una cascada continua de esmalte sobre una banda que transporta las piezas.

Cuando se obtiene el producto final es necesario realizar evaluaciones que predicen como será el comportamiento de los materiales en una aplicación específica. Entre las más importantes están: choque térmico, absorción, prueba de colorimetría y autoclave, también conocidas como pruebas de producto terminado.

3.3.1. Choque térmico

Este método de ensayo determina la resistencia al agrietamiento de piezas vitrificadas de vajillería cerámica cuando la tensión residual, después de la cocción del vidriado, puede causar una tendencia

a agrietarse, siendo dicha tensión inducida por factores diferentes a la expansión por humedad [11]. Esta prueba solo se realiza a piezas de porcelana.

3.3.2. 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 [12]. Esta prueba solo se realiza a piezas de pasta loza.

3.3.3. Prueba de colorimetría

Esta prueba determina si el color del esmalte cumple con los patrones establecidos por el área de calidad, para la medición se utiliza el método CIELAB 1976 que utiliza las coordenadas L,a,b que representan una ubicación en el espectro de colores blanco, verde-rojo y amarillo-azul respectivamente (Ilustración 1). Dicho procedimiento se realiza de acuerdo con la norma CIN0097 [13].

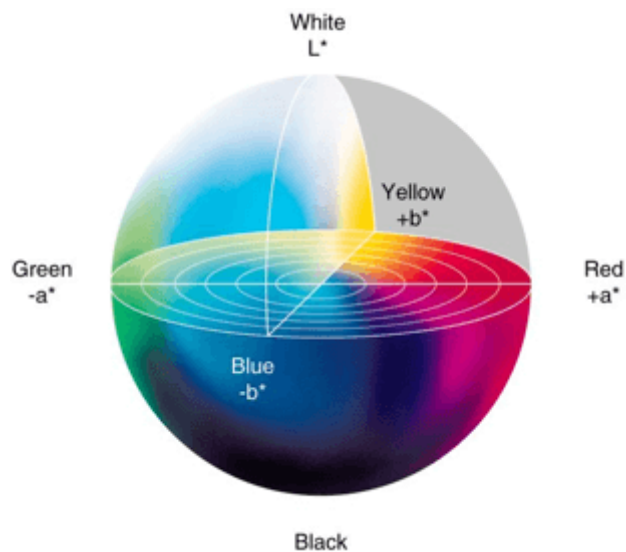


Figura 1. Coordenadas CIELAB

3.3.4. Resistencia al desportillado

Esta prueba se realiza en el borde de artículos de obra planos, se usa para determinar la cantidad de energía necesaria para producir una fractura inicial. Dicho procedimiento se realiza de acuerdo con la norma NTC4631 [20].

3.3.5. Resistencia al impacto

Esta prueba se realiza en el centro tanto en artículos de obra plana como de obra hueca, se usa para determinar la cantidad de energía necesaria para producir una fractura completa. Dicho procedimiento se realiza de acuerdo con la norma NTC4631 [20].

3.3.6. Ajuste de un esmalte

Dependiendo del método de aplicación y las características buscadas en el esmalte se requieren diferentes condiciones de densidad y viscosidad, en el caso de la densidad se ajusta según la capa de esmalte que se requiera, entre mayor sea la densidad la capa de esmalte resulta más gruesa, mientras que los ajustes de viscosidad se encuentran asociados más a la técnica de aplicación del esmalte, para métodos como cascada e inmersión se requieren esmaltes más fluidos.

La densidad se midió por medio de un picnómetro, el cual se llena de esmalte y se pesa, dicho picnómetro tiene un volumen conocido, por lo tanto, con el peso es posible conocer el valor de densidad en unidades de Kg/cm^3 y la viscosidad se mide por medio de un viscosímetro de torsión en unidades de $^\circ/\text{giro}$, en el caso de los esmaltes, a mayor viscosidad mayor fluidez.

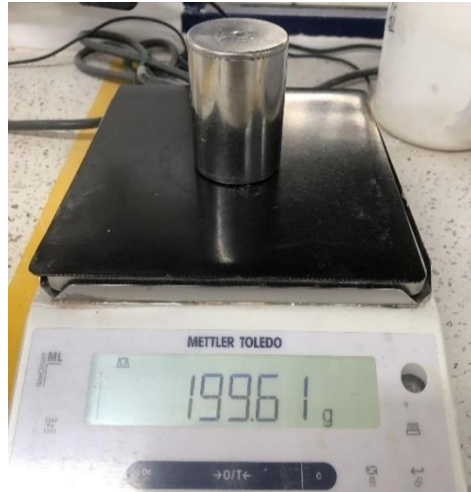


Figura 2. Picnómetro



Figura 3. viscosímetro de torsión

Al ensamblar los esmaltes es necesario ajustar estas propiedades, la densidad se disminuye agregando agua al esmalte y se aumenta regando una parte del esmalte sobre una placa de yeso para que absorba el exceso de agua y se reincorpora. En el caso de la viscosidad se aumenta utilizando un defloculante y se disminuye utilizando un floculante.

Los esmaltes por lo general se encuentran constituidos por burbujas cerradas, una fase amorfa y una cristalina, la formación de la fase cristalina depende de la composición, el ciclo del horno y la forma en la que se enfría es por esto que, se hace fundamental conocer las características de cada horno.

3.3.7. Características horno 3

Es un horno de túnel compuesto por carros, los cuáles lo atraviesan mediante rieles, usa como combustible gas natural y se utiliza principalmente para la quema de platos. Este horno tiene un ciclo aproximado de 7,5 horas y una temperatura que ronda generalmente los 1230°C.

3.3.8. Características horno 6

Es un horno de túnel compuesto por carros, los cuáles lo atraviesan mediante rieles, usa como combustible gas natural y se utiliza principalmente para la quema de pocillos y productos especiales. Este horno tiene un ciclo aproximado de 11 horas y una temperatura que ronda generalmente los 1200°C.

3.4. Acople esmalte-pasta

Un esmalte presenta varias fases durante el proceso de cocción, durante estas fases la composición química cambia principalmente por la interacción con la pasta cerámica y a la volatilización de algunos compuestos, una vez formada la fase líquida mediante el proceso de tratamiento térmico, el esmalte se funde, en esta fase, se producen reacciones químicas entre el esmalte y el sustrato y se forma una capa de interfase, esta puede estar limpia o llena de cristales formados por la reacción entre ambos, dependiendo de la temperatura, de la monococción o bicocción, y de la composición de la pasta y del esmalte [15].

Dicha reacción de interfase debe ser lo suficientemente fuerte para mantener el esmalte adherido al cuerpo cerámico, la penetración del esmalte depende principalmente de la composición de este, esta penetración puede variar significativamente generando también diferentes tensiones superficiales, este factor es muy importante debido a que cuando las curvas de expansión térmicas del esmalte y de la pasta son muy diferentes, durante el enfriamiento de la pieza en el horno se desarrollan tensiones entre ambas capas, el elevado coeficiente de dilatación térmica del esmalte, comparado con el del cuerpo cerámico, genera grietas en los esmaltes (craquelado) durante la fase de enfriamiento, mientras que, un coeficiente de dilatación térmica muy bajo puede provocar la

descamación del esmalte [18]. Debido a este factor, un mismo esmalte cocido sobre diferentes pastas puede presentar calidades de superficie muy diferentes [16] [17].

Los esmaltes cerámicos son más resistentes a la compresión que a la tracción y por esto se suele utilizar esmaltes con coeficientes de expansión térmicas ligeramente inferiores a los de la pasta para que queden sometidos a un esfuerzo de compresión. [4]

3.5. Composición del esmalte

Como se había mencionado antes los esmaltes generalmente están compuestos por sílice, alúmina y varios óxidos metálicos, el sílice es el principal formador de vidrio. Los colores de los esmaltes se pueden obtener adicionando pigmentos u óxidos de metales de transición cocidos en condiciones oxidantes o reductoras. En el caso de los hornos 3 y 6 ambos trabajan en condiciones oxidantes.

La absorción de la luz en la gama de longitudes de onda visibles (entre 380 y 740 nm) es la responsable del color del esmalte, esta absorción está relacionada con la naturaleza de los átomos presentes y las fuerzas de interacción que los unen a la estructura del vidrio, por lo tanto, el color de un esmalte se debe especialmente a la presencia de iones, principalmente los de elementos metálicos de transición con sus diferentes estados de oxidación y sus diferentes formas en que se unen al esmalte (coordinación). [10]

3.6. Defectos

Un defecto es una imperfección presentada en una pieza, los defectos más comunes en las piezas cerámicas son: poro, punzado, superficie irregular y hervido. El poro es un pequeño agujero circular en la superficie esmaltada creado por una burbuja de aire en la pasta. En este defecto es posible apreciar la pasta.

El punzado es una hendidura circular en la superficie esmaltada, normalmente ocurre por el desprendimiento de gases del bizcocho, una alta viscosidad del esmalte o una interrupción en la quema del esmalte. En este defecto no es posible apreciar la pasta.

En la superficie irregular el esmalte se aprecia arrugado y con una apariencia de piel de naranja. Se presenta principalmente debido a la aplicación irregular del esmalte o por presiones elevadas del aire en el método por pistola.

IV. METODOLOGÍA

El desarrollo del proyecto se llevó a cabo usando la metodología DMAIC de Seis Sigma ya que es un modelo estándar para resolver problemas operacionales. Esta metodología consta de 5 etapas conectadas, las cuales son: Definir, medir, analizar, mejorar y controlar.

En la primera etapa se definieron los alcances del proyecto, los cuales son: desarrollar un nuevo esmalte color concreto para horno 3 y 6, reformular el color azul envejecido para horno 3 y desarrollar un nuevo método para el decorado manual de una lista (decoración en el borde del plato) irregular.

En la segunda etapa se definieron las primeras formulaciones y métodos para probar, buscando identificar cuáles son las características y parámetros claves en el proceso. En la tercera etapa, se analizaron los datos obtenidos anteriormente y se determinaron las oportunidades de mejora. La segunda y tercera etapa se llevó a cabo mediante ensayos a nivel de laboratorio, es decir, se construyeron los primeros prototipos de los esmaltes y decoraciones que se solicitaron.

En la cuarta etapa del proyecto se desarrollaron, implementaron y validaron las oportunidades de mejora definidas en la etapa anterior teniendo en cuenta el resultado de los prototipos, de estas pruebas se obtuvieron varias propuestas de cambio que empezaron a ser aplicadas al proceso en ensayos semi-industriales. Finalmente, en la quinta etapa se investigó como asegurar que la solución pueda mantenerse industrialmente cumpliendo con todas las características establecidas, dichas características se verificaron realizando pruebas de desempeño para producto terminado. En la siguiente imagen se muestra el proceso que se siguió en el desarrollo de esmaltes y decoraciones.

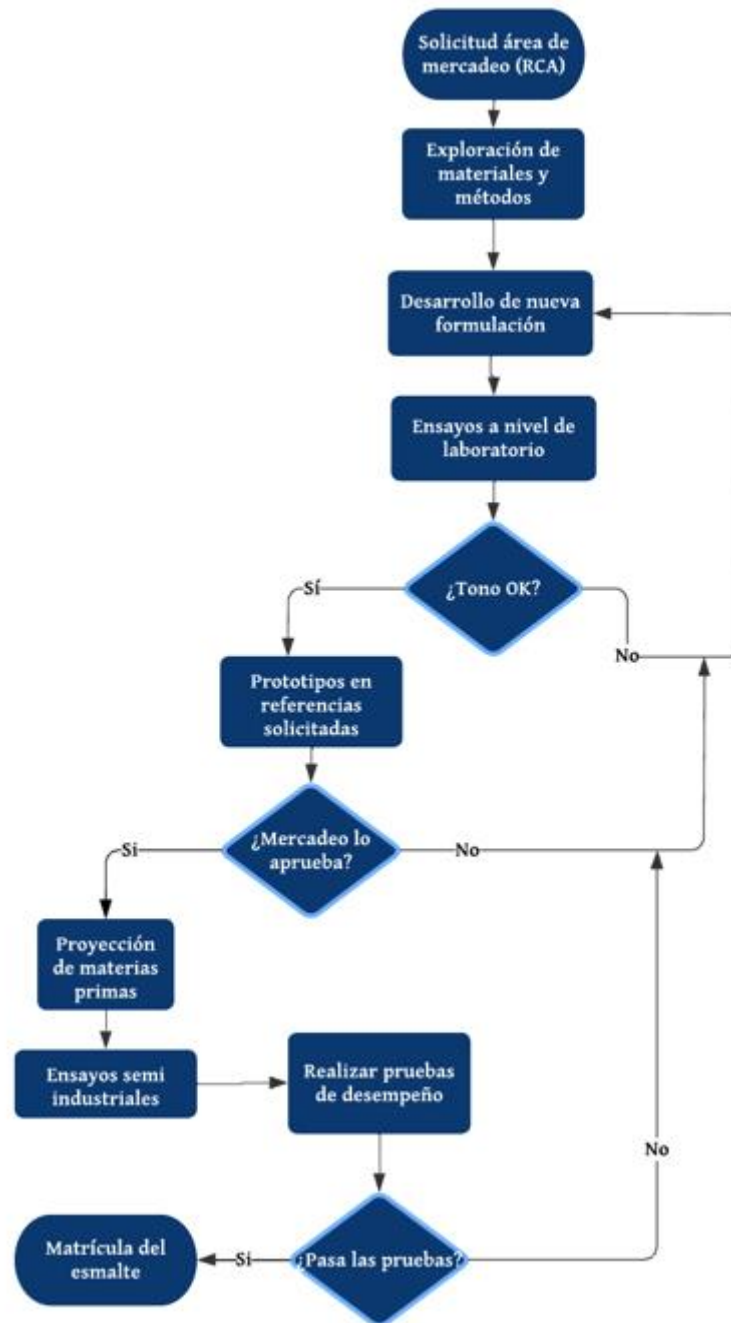


Figura 4. Flujo de proceso en formulación de esmaltes

4.1. Definición del proyecto

Para la definición de los alcances del proyecto se tiene en cuenta la solicitud del área de mercadeo (RCA) la cual en este caso fue el desarrollo del esmalte reactivo en color concreto (horno 3 y 6) y

DESARROLLO DE ESMALTES ESPECIALES Y DECORACIONES PARA NUEVA COLECCIÓN...

listas manuales irregulares, además, corrección en el tono del esmalte ya desarrollado azul envejecido para horno 3. Esta solicitud incluyó pasta loza y pasta blanca, platos, pocillos y productos especiales.

El color azul envejecido existente en horno 6, al cual se pretende igualar en horno 3 se muestra en la figura 5.



Figura 5. Azul envejecido H6

El gráfico presentado por mercadeo de lo que esperaban obtener para la decoración manual de la lista se muestra en la figura 6.



Figura 6. Solicitud de mercadeo para decoración manual

En el caso del esmalte color concreto, el color solicitado se muestra en la figura 7.



Figura 7. Color concreto solicitado

4.2. Exploración de materiales y métodos

En esta parte de definición del proyecto se realizó búsqueda bibliográfica, exploración de materiales y métodos tanto para esmaltes como para decoraciones. Un paso indispensable fue identificar las variables críticas del proceso que influyen en el producto final, para esto, se realizó la caracterización de la pasta, del esmalte y del producto terminado, buscando conocer más a profundidad la interacción de las materias primas durante el proceso.

4.3. Desarrollo de formulaciones y métodos de pintado manual.

Para el ensamble de los esmaltes en el laboratorio se empleó un agitador (durante mínimo 10 minutos) para homogenizar completamente la suspensión, cuando se aseguró la dispersión de todas las materias primas en el esmalte se comprobó la densidad con la ayuda del picnómetro y se ajustó

(como se mencionó en el apartado 3.3.6) a los valores establecidos, cuando se alcanzó el valor deseado de densidad se comprobó la viscosidad con ayuda del viscosímetros de torsión y se ajustó (como se mencionó en el apartado 3.3.6) a los valores establecidos, por lo general para inmersión se utilizan viscosidades entre 320 y 340 °/giro mientras que para pistola se utilizan viscosidades entre 265 y 295 °/giro. Cuando la densidad y la viscosidad se ajustaron se procedió a tamizar el esmalte por medio de una malla con abertura de 150 μm la cual retira cualquier contaminante externo que pueda estar presente en el esmalte y que pueda generar defectos en la apariencia final.

4.3.1. Esmalte color azul envejecido

Como se mencionó anteriormente este esmalte existe en horno 6 pero a la hora de aplicar la misma formulación en platos para horno 3 se perciben cambios, principalmente en el tono y la textura. El objetivo de reformular este esmalte es que todas las piezas del set combinen y se complementen. La primera diferencia entre las piezas del horno 6 con las del horno 3 es que el acabado es muy brillante y el tono se acerca más al verde, teniendo esto en cuenta y con los resultados de la búsqueda bibliográfica se realizaron formulaciones que incluyan opacificantes y correcciones de tono a base de pigmentos y óxidos. Las nuevas formulaciones se construyeron cambiando porcentajes, agregando o quitando materias primas, luego de esto, se ensamblaron las nuevas formulaciones a nivel de laboratorio, teniendo en cuenta la caracterización del esmalte.

4.3.2. Esmalte color concreto

Debido a que el color concreto no existía, se tomó la base de un esmalte reactivo y se agregaron diferentes pigmentos u óxidos que pudieran generar el efecto y color deseado.

4.3.3. Decoración: Lista manual irregular

Para la decoración manual se partió del método manual existente para listas en platos, este método genera un efecto regular, por lo tanto, se descartó. Sin embargo, se investigaron alternativas modificando los herramientas existentes y creando nuevos herramientas para realizar ensayos a nivel de laboratorio.

4.4. Analizar y mejorar

Luego de obtener los prototipos realizados en los ensayos a nivel de laboratorio se analiza si cumplen la apariencia final deseada, en este punto, no se tiene en cuenta las pruebas de producto terminado.

Cuando se consideró que el prototipo no cumplía las características requeridas, se realizaban nuevas formulaciones (en el caso de los esmaltes) hasta obtener un producto final que cumpla con todas las características físicas requeridas.

En el caso de la decoración manual, cuando se consideró que el herramental no generaba el patrón requerido, se realizaban nuevas modificaciones en los herramientas, también se crearon herramientas nuevos orientados al efecto irregular que se buscaba.

Cuando se obtuvieron los prototipos con las características requeridas se realizaron reuniones con el personal del área de mercadeo para que los evaluaran, por lo general en estas reuniones se generaban nuevas correcciones o, por el contrario, cuando mercadeo consideraba que el prototipo cumplía con las características establecidas daban el aval para continuar con el siguiente paso.

4.5. Controlar

Cuando las mejoras realizadas dieron los resultados que mercadeo buscaba, se procedió a realizar ensayos semi industriales, es decir, se realizaron los prototipos finales en la planta con una cantidad de piezas menor a mil.

Durante los ensayos semi industriales se realizaron seguimientos para garantizar el cumplimiento de las condiciones que se establecieron como ideales en el laboratorio, cuando se obtiene el producto final es necesario realizar pruebas de producto terminado (mencionadas en los numerales del 3.3.1 al 3.3.5), las cuales garantizaran la calidad del producto final. Cuando el producto pasa todas las pruebas se procede a la matrícula del esmalte/método, este es el paso final que avala la utilización a nivel industrial.

V. RESULTADOS

5.1. Azul envejecido

La formulación existente del horno 6 se muestra en la tabla 1 y en la figura 8 se muestra el resultado del plato con dicha formulación.

Tabla 1. Formulación azul envejecido horno 6

Materia prima	Porcentaje
Base reactiva	84%
Caolín	15%
Oxido de cobalto	1%



Figura 8. Plato realizado con la formulación original

El óxido de cobalto es normalmente utilizado desde porcentajes de 0,02% debido a que es un potente colorante en esmaltes cerámicos. En la búsqueda bibliográfica se encontró que este óxido es muy estable en diferentes ambientes de cocción, principalmente debido a que el óxido de cobalto no sufre transformaciones de fase por debajo de los 1400°C, por lo tanto, no se modificó su presencia en el esmalte. Debido a que el principal problema era el brillo se realizaron varias formulaciones aumentando el porcentaje de caolín ya que este contiene alúmina en su estructura que actúa como opacificante. El porcentaje que mostró mejor resultado fue de 18,5% y se muestra en la figura 9.

Los números que aparecen en las piezas son consecutivos que se le asignan en el laboratorio para hacer un seguimiento de las formulaciones realizadas por todo el personal del laboratorio.



Figura 9. Esmalte azul envejecido con 18,5% de caolín

Esta formulación aún presentaba un acabado muy brillante y un tono verde indeseado por lo tanto para corregir el color se decidió realizarse varias formulaciones con adición de alúmina. Los porcentajes de alúmina que dieron mejores resultados fueron 1% en la formulación 1375 y 1,5% en la formulación 1375, los resultados se muestran en la figura 10.



Figura 10. Esmalte azul envejecido con adición de alúmina

Como se puede observar, la formulación 1375 que contiene 1,5% de alúmina modifica mucho la textura y la vuelve muy opaca, por lo tanto, la mejor formulación para el esmalte azul envejecido es la 1374 que complementa perfectamente el tono del pocillo resultante de horno 6, estos prototipos fueron presentados a mercadeo.

Debido a que este esmalte reactivo presenta una amplia gama de variaciones de tono en el mismo lote de producción, mercadeo decidió que el público objetivo de este color es 'El taller', una sublínea de la línea institucional de Corona. Con esto se da cumplimiento al tercer objetivo específico, sin embargo, las siguientes etapas del desarrollo de este esmalte no están dentro de los alcances de este proyecto.

5.2. Análisis azul envejecido

Durante el desarrollo de este esmalte se conoció que el azul de este esmalte es producido por el óxido de cobalto presente en coordinación tetraédrica, el cual en adiciones muy pequeñas genera un tinte potente en el esmalte, este óxido es muy estable en ambos hornos debido a que ninguno sobrepasa los 1250°C y el cobalto no sufre cambios de fase por debajo de los 1400°C.

Las adiciones de alúmina en este esmalte se realizaron debido a que esta genera varios efectos en el esmalte, lo primero es que liga los óxidos ácidos y básicos generando un esmalte más estable, esto desde la parte química, mientras que en cuanto a la parte física, incrementa la opacidad e incide en el mateado y el brillo, por lo general la alúmina se agrega por medio de feldespatos, caolines y arcillas, debido a que la alúmina pura presenta muchos problemas para ser dispersada de forma adecuada además de su elevado costo. En este caso se decidió realizar la adición de forma directa ya que se necesitaba cambiar en gran proporción el acabado del esmalte y aumentando el porcentaje de caolín no se obtenía un cambio muy drástico.

Durante el desarrollo de este esmalte ocurrió que cuando se realizaba una formulación a las mismas condiciones, pero con diferentes lotes de base reactiva se obtenían resultados muy diferentes, esto porque el proveedor de base no puede garantizar la misma composición de lote a lote, esto generó dificultades a la hora de realizar las formulaciones siendo necesarios definir la formulación siempre con el mismo lote de base para no generar más ruido en el proceso.

5.3. Concreto

Teniendo en cuenta la figura 7 se empezó a realizar formulaciones pensando en la composición del color gris, que en esencia es pigmento negro en cantidades muy pequeñas, por lo tanto las primeras formulaciones se realizaron únicamente con base reactiva, caolín y pigmento negro. Se realizaron aproximadamente 20 formulaciones diferentes para pocillos y la que presentó mejores resultados fue la 1309 mostrada en la tabla 2, figura 11.

Tabla 2. Formulación 1309 concreto

Materia prima	Porcentaje
Base reactiva	81,5%
Caolín	18%
Pigmento negro	0,5%



Figura 11. Formulación 1309 esmalte color concreto

Esta formulación inicial se le presentó a mercadeo, los cuales dieron el aval para seguir con el desarrollo en platos (horno 3), como se mencionó anteriormente el esmalte cambia su apariencia dependiendo de las condiciones de cocción, por lo tanto, fue necesario explorar más formulaciones para el horno 3, ya que la formulación 1309 en platos presentaba un acabado diferente como se observa la comparación en la figura 12.



Figura 12. Comparación formulación 1309 esmalte concreto

La principal diferencia fue que el plato presentaba un tono más cálido en comparación con el pocillo y un acabado más brillante, entonces, se realizaron aproximadamente 50 formulaciones buscando primero corregir el tono. Lo primero que se probó fueron formulaciones con adición de pigmentos y óxidos azules para neutralizar el color amarillo, la formulación 1314 tiene una adición de 0,1% de pigmento azul respecto a la formulación 1309 y tiende a irse más al color verde como se observa en la figura 13, por lo tanto, la adición de pigmentos azules se descartó, ya que con porcentajes muy pequeños ya genera tonos verdes.



Figura 13. Comparación formulación 1314 esmalte concreto

En cuanto a la adición de óxidos, se probó el óxido de manganeso en diferentes porcentajes desde 0,3% hasta 1%, en donde la formulación 1349 con adición del 0,5% de óxido de manganeso presentó el mejor resultado, se muestra en la figura 14. Sin embargo, se sigue observando una coloración amarilla por lo que adicionar este óxido a la formulación también se descartó.



Figura 14. Formulación 1349 esmalte color concreto

Se probaron también óxidos de hierro y cobalto en diferentes porcentajes, sin embargo, estos óxidos en cantidades muy pequeñas generan efectos muy intensos, en consecuencia, también se descartaron, la formulación 1359 contiene 2% de óxido de hierro y la 1360 contiene 0,2% de óxido de cobalto, los resultados se muestran en la figura 15.



Figura 15. Formulaciones 1359 y 1360 esmalte color concreto

Debido a que estas adiciones no generaron los resultados esperados, se decidió corregir el brillo que presentaba el esmalte usando un opacificante como la alúmina, así como se realizó para el esmalte azul envejecido. Se tomó una de las primeras formulaciones que más se acercaba al tono y se le realizó una adición de 1% de alúmina y un aumento en 0,3% de caolín, la formulación 1378 se muestra en la tabla 3 y la figura 16.

Tabla 3. Formulación 1378 esmalte color concreto

Materia prima	Porcentaje
Base reactiva	80,2%
Caolín	18,3%
Pigmento negro	0,5%
Alúmina	1%



Figura 16. Comparación formulación 1378 esmalte color concreto

Como se observa en la figura 16 el acabado del plato (horno 3) es muy parecido al del pocillo (horno 6), con estos resultados se procedió a presentarlos a mercadeo, los cuales dieron el aval para continuar con las pruebas en planta.

Se realizaron varios ensayos semi industriales en los cuales se hicieron seguimientos de condiciones de aplicación y variación de tono, para platos se realizó esmaltado por cabina automática, la cantidad de esmalte que se aplicó fue el 12% del peso del plato en crudo, aplicando 50% del esmalte en la cara superior y 50% en la cara inferior, las condiciones óptimas fueron a densidades entre 1605 a 1615 Kg/m³ y viscosidades entre 325 y 335°/giro. En cuanto al tono, ya que al ser un esmalte reactivo no se puede garantizar un resultado puntual se define un rango de aceptabilidad, en la figura 17 se muestra el tono mínimo y el tono máximo que puede presentar el esmalte en un lote de producción.



Figura 17. Tono mínimo y máximo del esmalte color concreto en un lote de producción

Los platos de la figura 15 se realizaron antes de que se diera una baja en la producción, en esta baja se aumentó el ciclo del horno en 2 horas, lo que causó que el esmalte perdiera el efecto reactivo como se muestra en la figura 18, por lo tanto, se recomienda que la producción de este esmalte se realice cerca al ciclo inicial de 7 horas y media.



Figura 18. Esmalte concreto en un ciclo de 9 horas y media

La calidad primera (sin defectos) que presentó este esmalte en platos fue del 82%, en donde el principal defecto fue la pega del esmalte. Para cerealeros (horno 6) se realizaron varios ensayos esmaltando mediante cascada e inmersión, el método que presentó mejor calidad fue inmersión con 91,6% de calidad primera. En cuanto a pocillos, la calidad primera fue de 87%, en donde el principal defecto fue una grieta en el borde del pocillo, este defecto es asociado a la formación de la pieza.

Con las piezas resultantes de estos ensayos semi industriales se realizaron pruebas de producto terminado (PT), los resultados se muestran en las siguientes tablas para cada forma y pasta. Las piezas en loza son para la línea hogar y las piezas en porcelana son para la línea institucional.

Tabla 4. Resultados pruebas de PT para pocillos de loza

Prueba	Norma	Pocillos H6 Loza
Resistencia al desportillado		
(J)	0,081	0,0894
Resistencia al impacto (J)	0,108	0,1425

Resistencia al agrietamiento por autoclave (Psi)	≥ 150	200
---	------------	-----

Tabla 5. Resultados pruebas de PT para pocillos de porcelana

Prueba	Norma	Pocillos H6
		Porcelana
Resistencia al desportillado (J)	0,081	0,1166
Resistencia al impacto (J)	0,136	0,183
Resistencia al choque térmico (°C)	≥ 149	202,2

Tabla 6. Resultados pruebas de PT para cerealeros en loza

Prueba	Norma	Cerealeros H6
		Loza
Resistencia al desportillado (J)	0,095	0,095
Resistencia al impacto (J)	0,136	0,1829
Resistencia al agrietamiento por autoclave (Psi)	≥ 150	200

Tabla 7. Resultados pruebas de PT para platos porcelana

Prueba	Norma	Platos H3
		Porcelana
Resistencia al desportillado (J)	0,136	0,228
Resistencia al impacto (J)	0,149	0,152

Resistencia al choque térmico (°C)	149	213,4
---------------------------------------	-----	-------

Tabla 8. Resultados pruebas de PT para platos loza

Prueba	Norma	Platos H3 Loza
Resistencia al desportillado (J)	0,095	0,1248
Resistencia al impacto (J)	0,136	0,1506
Resistencia al agrietamiento por autoclave (Psi)	150	201

Todas las piezas pasaron las pruebas de producto terminado, lo cual garantiza la calidad del producto final, luego se procedió a realizar la matrícula del esmalte, que es el paso final de este desarrollo y es el aval para empezar la producción a nivel industrial. En donde los cerealeros y pocillos corresponden a la formulación 1309 quemados en el horno 6 y los platos corresponden a la formulación 1378 quemados en el horno 3. Las piezas finales se muestran en la figura 19.



Figura 19. Producto final del esmalte color concreto

5.4. Análisis esmalte reactivo color Concreto

Un punto importante de análisis de este esmalte reactivo es el cambio de apariencia cuando se aumenta la permanencia en el horno, se debe tener en cuenta que este esmalte no se colorea con óxidos, por lo tanto, el cambio de comportamiento del esmalte se puede asociar a la base reactiva, para conocer la composición de la base se realizó un análisis de fluorescencia de rayos x (FRX). En los resultados del FRX se encontró que la principal composición de esta base es óxido de silicio y óxido de aluminio los cuales son compuestos fundamentales para la formación de la mullita, la cual es un mineral que favorece las propiedades mecánicas del esmalte. En la lista de composición de la base el compuesto que sigue en cantidad es el óxido de zinc, el cual al enfriarse crea finos cristales que recogen pigmento o ión colorante presente en el esmalte para dar efectos decorativos [19] es decir, es posible que este compuesto aporte significativamente al efecto reactivo en el esmalte concreto, estos cristales en forma de agujas se obtienen cuando se mantiene la temperatura con una meseta alrededor de los 1090°C durante dos horas, por lo tanto, puede que al aumentar la permanencia del esmalte en el horno estos cristales se disuelvan en la fase líquida. Al igual que

con el azul envejecido las adiciones de alúmina se realizaron con el fin de incrementar la opacidad e incidir en el mateado y el brillo. Con los resultados de este esmalte en las pruebas de producto terminado puede afirmarse que cumple con todos los requisitos de calidad para continuar con el proceso y empezar la producción a nivel industrial.

5.5. Decoración: Lista manual irregular

Para la lista manual lo primero que se hizo fue investigar los métodos manuales de decoración existentes y con una de las operarias más especializada en el tema se indagó de qué forma se podría lograr el efecto mostrado en la figura 4. Con esta persona se hizo un ensayo donde se pintaron varias piezas con la técnica que consideró la más adecuada, esta técnica consistía en utilizar una esponja rectangular y realizar toques en la parte interna y externa del plato mientras el plato giraba sobre un torno (figura 20). Se utilizó el color de lista existente en producción.



Figura 20. Primer método probado para lista manual.

El resultado de este método fue muy cercano al que se buscaba (figura 21), sin embargo, este método presentaba varias restricciones debido a la cantidad de movimientos repetitivos que fueron necesarios para generar el efecto, la mayoría de los operarios que se encuentran en la parte de pintado manual son personas reubicadas debido a restricciones de salud, por lo tanto, este método se descartó desde salud ocupacional.



Figura 21. Resultado del primer ensayo lista manual

De forma paralela a la búsqueda de la técnica se realizaron múltiples formulaciones del esmalte a lo largo de los ensayos.

Pensando en esta técnica y buscando opciones que logran un efecto parecido se recortó una esponja con una hendidura con el diámetro de la pieza (figura 22) donde se apoyara la pieza, se humedeció con el esmalte y se realizó presión sobre la pieza (Figura 23), el resultado se muestra en la figura 24.



Figura 22. Esponja con diámetro de pieza



Figura 23. Proceso de la técnica 2 lista manual



Figura 24. Resultado de la técnica 2 lista manual

El efecto logrado se acercaba mucho al pedido por mercadeo, la dificultad de esta técnica fue que sostener un plato boca abajo es muy complicado de forma manual, por lo tanto, se pensó en que es más fácil posicionar la esponja, también pensando en disminuir al máximo el contacto de la persona con el esmalte, ya que esto genera contaminación, se creó un soporte para la esponja (figura 25) que se adaptara a la forma de la mano, pensando en las restricciones de salud del personal.



Figura 25. Herramental creado para la técnica 3



Figura 26. Esponja del herramental creado para la técnica 3.

Este herramental está compuesto por un soporte hecho de una espuma flexible que permite escurrir el exceso de esmalte de la esponja, esta se sostiene al soporte por medio de velcro, la esponja tiene forma de arco y cuenta con una ranura en el centro (figura 26) que es capaz de adaptarse a cualquier diámetro de plato, siendo necesario un solo tipo de herramental. Con este herramental se realizaron primero pruebas a nivel de laboratorio para establecer la mejor técnica desde la parte de salud ocupacional y de resultados esperados. Por parte de salud ocupacional se obtuvo el aval del método debido a que se redujeron significativamente la cantidad de movimientos repetitivos (a más de la

mitad) advirtiéndole la baja productividad del método. El paso a paso de este método se encuentra ilustrado en la figura 27.

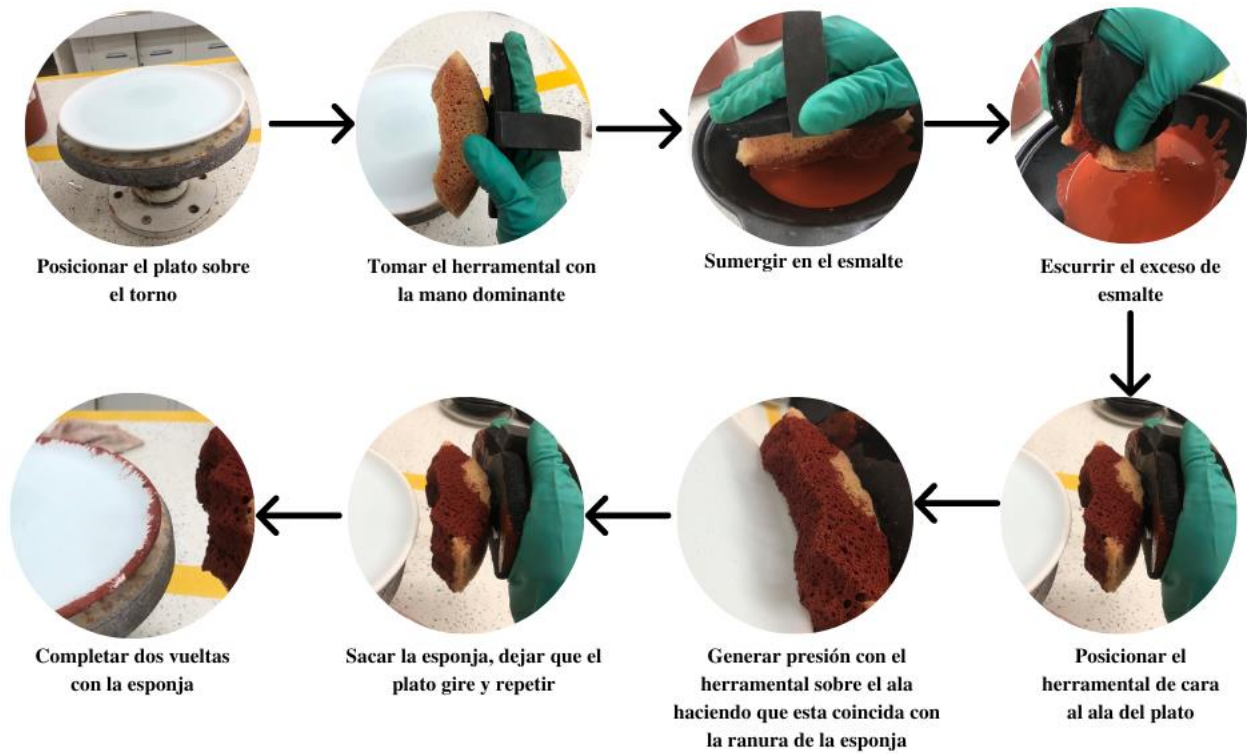


Figura 27. Paso a paso de método para decoración manual

Para obtener un efecto ‘oxidado’ en el esmalte café se agregó óxido de hierro, el cual en combinación con el pigmento rojo y las condiciones de aplicación generan el color mostrado en la figura 28. Las condiciones de aplicación se definieron teniendo como referencia los esmaltes ya existentes para las listas, la densidad en un rango entre 1580 y 1600 Kg/m³, mientras que la viscosidad se mantuvo en un rango entre 320 y 340°/giro.

Tabla 9. Formulación lista café

Materia prima	Porcentaje (%)
Base	81,1
Pigmento rojo	3,74
Óxido de hierro	1,99
Aditivos	13,17



Figura 28. Lista manual café

En el caso de la lista negra la formulación es más simple debido a que esta no necesita ningún tipo de efecto, la formulación se muestra en la tabla 10 y el resultado en la figura 29.

Tabla 10. Formulación esmalte lista negra

Materia prima	Porcentaje (%)
Base	81
Pigmento negro	15
Aditivos	4



Figura 29. Resultado lista manual negra

DESARROLLO DE ESMALTES ESPECIALES Y DECORACIONES PARA NUEVA COLECCIÓN...

Luego de obtener las formulaciones finales del esmalte, se procedió a realizar ensayos semi industriales, para estos ensayos fue necesario entrenar a los decoradores en el uso del herramental, los resultados de los defectivos de los primeros ensayos semi industriales se muestran a continuación.

DESARROLLO DE ESMALTES ESPECIALES Y DECORACIONES PARA NUEVA COLECCIÓN...

Tabla 11. Defectivo ensayo lista café

Tipo Producto (Referencia):		TAMAÑO LOTE:				101	
LISTA CHORREADA CAFE-17128-19928		TAMAÑO DE LA MUESTRA:				0	
Horno:	3	15 de diciembre del 2022					
Defecto #	NOMBRE DEL DEFECTO	CANTIDAD DE UNIDADES DEFECTUOSAS					
		PRIMERA SEGÚN PATRON	%	SEGUNDA	%	ROTURA	%
00	CALIDAD PRIMERA (SIN DEFECTOS)	46	46%				
06	PELADO ESMALTE					1	1,0%
14	CONTAMINACIÓN (Colores, Calcos..)					15	14,9%
15	DEFECTO CRUDOS					2	2,0%
21	GRIETA BORDE					1	1,0%
47	DESBORDE PEANA					36	35,6%
49	GRIETA CUERPO					3	3,7%
Conclusión		46	46%	0		55	54,5%

Tabla 12. Defectivo ensayo lista negra

Tipo Producto (Referencia):		TAMAÑO LOTE:				92	
LISTA CHORREADA NEGRA-17128-19928		TAMAÑO DE LA MUESTRA:				0	
Horno:	3	14 de diciembre 2022					
Defecto #	NOMBRE DEL DEFECTO	CANTIDAD DE UNIDADES DEFECTUOSAS					
		PRIMERA SEGÚN PATRON	%	SEGUNDA	%	ROTURA	%
00	CALIDAD PRIMERA (SIN DEFECTOS)	41	44,6%				
14	CONTAMINACIÓN (Colores, Calcos..)					11	12,0%
47	DESBORDE PEANA					40	43,5%
CONCLUSIÓN		41	44,6%	0		51	55,4%

5.6. Análisis Decoración: Lista manual

Lo más importante que se tuvo que analizar en el desarrollo de esta decoración fue el herramental, ya que los decoradores presentan varias restricciones de salud, las ventajas que presenta el herramental desarrollado es principalmente la reducción de movimientos repetitivos lo que impacta de forma positiva la ergonomía del proceso, teniendo así el aval de seguridad y salud en el trabajo. El herramental existente se realizó de forma artesanal con los materiales disponibles en la planta, para evaluar su desempeño y viabilidad, sin embargo, se espera realizar investigaciones sobre materiales más adecuados y resistentes para este propósito.

Los prototipos realizados en el laboratorio fueron aprobados por mercado, sin embargo, cuando se desarrolla un nuevo método de decoración se debe tener en cuenta todos los posibles defectos asociados a errores humanos mientras se estandariza y mejora la técnica de aplicación, durante los ensayos semi industriales se presentaron dos principales defectos, desborde de peana y contaminación, ambos asociados a una técnica inadecuada de aplicación. Lo que se observó durante los ensayos realizados fue que las decoradoras generaban mucha presión sobre el herramental haciendo que el plato golpeará sobre la base de forma repetitiva, estos golpes pudieron generar debilitamiento de la peana, al mismo tiempo, esta presión excesiva hace que el esmalte en el herramental salpique y contamine otras partes de la pieza.

Es importante resaltar que durante las fechas que se realizaron los ensayos se presentó un problema generalizado de desborde de peana en la planta de porcelana, por lo tanto, para conocer con certeza el causante de este defecto es necesario repetir el ensayo.

Debido a la complejidad de desarrollar un nuevo método de decoración manual con el tiempo disponible, no se logró completar todo el proceso para empezar la producción industrial, en el futuro, se espera replicar esta decoración para pocillos.

VII. CONCLUSIONES

- Es importante realizar seguimientos en los ensayos industriales a las condiciones de aplicación del esmalte (método de esmaltado, densidad, viscosidad) ya que, si estas no están dentro de los rangos recomendados, los defectos que afectan la calidad del producto final pueden aumentar.
- Debido a la complejidad en composición de las bases reactivas y las posibles interacciones con los compuestos del esmalte, los esmaltes reactivos son muy sensibles ante perturbaciones en las variables de proceso, por lo tanto, es recomendable variar lo menos posible dichas variables principalmente ciclos y temperaturas de cocción.
- Las pruebas de producto terminado son el indicador de calidad más importante y es indispensable que los productos cumplan estas pruebas.
- Las variaciones presentadas a lo largo del desarrollo del esmalte azul envejecido se asocian principalmente al proveedor de base reactiva, por lo tanto, se debe realizar una previa evaluación de cada lote de base y realizar el ajuste necesario.
- Se logró generar un método de decoración manual que cumpliera con los parámetros de ergonomía y restricciones de movilidad de los operarios del proceso.
- Respecto al método de aplicación de la decoración manual, al ser un producto donde cada pieza es única se genera un alto valor agregado que contrarresta la baja productividad del método.

VIII. RECOMENDACIONES

- Para obtener resultados más estables en esmaltes reactivos es necesario generar métodos de aprobación de materias primas.
- No utilizar ciclos mayores a 7 horas y media en el esmalte color concreto para generar el efecto reactivo.

REFERENCIAS

- [1] Corona. (n.d.). *Quiénes somos*. Retrieved December 18, 2022, from <https://empresa.corona.co/nuestra-compania/quienes-somos>
- [2] Maria Raboso. (2017, September 2). *De lo acenstral. Los orígenes de la cerámica*. <https://mariaraboso.com/?p=1056>
- [3] Corona. (n.d.). *Quiénes somos*. Retrieved December 18, 2022, from <https://empresa.corona.co/nuestra-compania/quienes-somos>
- [4] SUMICOL. (2012). *Nociones sobre materias primas, criterios de formulación y técnicas de caracterización de vidreado cerámicos*.
- [5] E. del C. V. Malagon (2005). *Materiales cerámicos. Propiedades, aplicaciones y elaboración*. México DF: UNAM.
- [6] W. Ryan (1978). *PROPERTIES OF CERAMIC RAW MATERIALS*, 2nd ed. Oxford.
- [7] R. Grim and H. Kodama (2014). *Clay Mineral*, Encyclopedia Britannica. Retrieved December 18, 2022, from: <https://global.britannica.com/science/clay-mineral>.
- [8] S. Garcia (2020). *Notas de Clase: Materias Primas*. Procesamiento de materiales cerámicos. Universidad de Antioquia, Medellín.
- [9] *Artes cerámicas. Floculantes y defloculantes*. (2020, December 28). From <https://artesceramicas.com/2020/12/28/floculantes-y-defloculantes/>
- [10] Pradell, T., & Molera, J. (2020). Ceramic technology. How to characterise ceramic glazes. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 12(8). <https://doi.org/10.1007/s12520-020-01136-9>
- [11] Instituto Colombiano de Normas Técnicas [ICONTEC]. (2018). *MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA AL CHOQUE TÉRMICO EN PIEZAS VITRIFICADAS DE VAJILLERÍA CERAMICA*.
- [12] A. I. [ASTM], *Método De Prueba Estándar Para La Resistencia Al Agrietamiento De Los Artículos Blancos Vidriados Cocidos Mediante Tratamiento En Autoclave*.
- [13] C. Barry Carter and M. Grant Norton (2007). *Ceramic materials: Science and engineering*.
- [14] Güngör, F., Çatır, H., & Çakı, M. (2020). Investigation of the microstructural changes of a number of glazes after they are applied and fired on two different bodies. *Boletín de La Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 59(4), 165–175. <https://doi.org/10.1016/j.bsecv.2019.09.007>

- [15] Molera, J., Pradell, T., Martínez, S., & Vendrell, M. (1993). The Growth of Sanidine Crystals in the Lead Glaze of Hispano Moresque Pottery. *Applied Clay Science*, 7, 483–491. [https://doi.org/10.1016/0169-1317\(93\)90017-U](https://doi.org/10.1016/0169-1317(93)90017-U)
- [16] J.L. Benson (2003). *Effect of Glaze Variables on the Mechanical Strength of Whitewares*, Master Science in Ceramic Engineering. Alfred University.
- [17] B. Karasu, M. Çakı, S. Turan.(2000) *The development and characterization of zinc crystal glazes used for Amakusa-like soft porcelains*. J. Eur. Ceram. Soc., 20, pp. 2225-2231.
- [18] Tite, M. s, Freestone, I., Mason, R., Molera, J., Vendrell, M., & Wood, N. (2007). Lead Glazes in Antiquity—Methods of Production and Reasons for Use. *Archaeometry*, 40, 241–260. <https://doi.org/10.1111/j.1475-4754.1998.tb00836.x>
- [19] Karasu, B., & Turan, S. (2002). Effects of cobalt, copper, manganese and titanium oxide additions on the microstructures of zinc containing soft porcelain glazes. *Journal of the European Ceramic Society*, 22(9–10), 1447–1455. [https://doi.org/10.1016/S0955-2219\(01\)00456-3](https://doi.org/10.1016/S0955-2219(01)00456-3)
- [20] ICONTEC. (2014). *MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA AL IMPACTO Y DESPORTILLADO EN VAJILLERÍA DE MESA*.