UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

DESARROLLO DE NUEVAS PROPUESTAS Y ACABADOS CON ESMALTES REACTIVOS PARA COLECCIONES 2025 y 2026

Maria Camila Góngora Gallo

Trabajo de grado presentado para optar al título de Ingeniera de Materiales

Modalidad de Práctica

Trabajo de Grado

Asesores

Edward Ferney Restrepo Hoyos, Doctor (PhD) en Ingeniería Materiales

Kelly Tatiana Osorio, Ingeniera Técnica, Locería Colombiana S.A.S.

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería de Materiales

Medellín, Antioquia, Colombia

2025

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
1803

Cita		Góngora Gallo [1]
Referencia	[1]	M.C. Góngora Gallo, Desarrollo de nuevas propuestas y acabados con esmaltes reactivos para colecciones 2025-2026. Trabajo de grado profesional, Ingeniería de Materiales, Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia, Colombia, 2025
Estilo IEEE (2020)		

creative commons CC BY NC SA

Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

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

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

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.

Dedicatoria

A mi mamá que es el pilar de mi vida, mi ejemplo de fuerza y valentía, que ha dado todo y más por mí, por enseñarme, cuidarme y siempre alentarme a seguir adelante, gracias a su amor y apoyo incondicional es que he llegado hoy hasta acá.

A Mateo que recorrió este camino a mi lado, que siempre estuvo para mí con su compañía y amor, por siempre creer en mí y hacérmelo saber.

Mi mamá y mi novio siempre fueron mi impulso en los días difíciles, mi refugio y mi alegría constante.

Y a mi familia, por cada palabra de aliento, por creer en mí con orgullo, por acompañarme y motivarme en todo momento.

Agradecimientos

Agradezco a la Universidad de Antioquia que se convirtió en mi segundo hogar, por regalarme los mejores años de mi vida. Al departamento de Ingeniería de Materiales y a los profesores por guiarme y formarme como profesional y además como persona.

A mi asesor Edward Restrepo por su vocación y disposición para ayudarme a culminar mi etapa universitaria.

A la empresa Locería Colombiana S.A.S, en especial a la Ingeniera Kelly Osorio y a todo el equipo del laboratorio cerámico y área técnica, por recibirme, acogerme y compartir sus conocimientos con tanta disposición, aportando enormemente a mi formación profesional.

Y, por supuesto, a los amigos que me dejó la universidad, que hicieron este camino más ameno y cálido, por todos los momentos vividos y por seguir en mi vida, Camila, Juliana, Esneider, Natalia y Esteban.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN 8
ABSTRACT 10
I. INTRODUCCIÓN 12
II. OBJETIVOS 13
III. MARCO TEÓRICO 14
IV. METODOLOGÍA 20
V. ANÁLISIS DE RESULTADOS 23
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 34
REFERENCIAS 36

LISTA DE TABLAS

TABLA I: COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS ESMALTES ANALIZADOS. 24
TABLA II: TEMPERATURAS CRÍTICAS DE LAS BASES ES0008, ES0015, ES0017, ES0001 y ES0002. 26
TABLA III: TEMPERATURAS CRÍTICAS DE LAS BASES 00137, 00612, 00114 y 0002. 28

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1: Microscopía de calefacción y temperaturas características de la vitrocerámica [9]. 19
Fig. 2: Curvas de microscopía con calefacción de las bases ES0008, ES0015, ES0017, ES0001 y ES0002. 26
Fig. 3: Curvas de microscopía con calefacción de las bases 00137, 00612, 00114, 00492 y 00113. 27
Fig. 4: Imágenes de algunas de las muestras esmaltadas. 31

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

FRX.	Fluorescencia de Rayos X
Fig.	Figura
PhD	Philosophiae Doctor
UdeA	Universidad de Antioquia

RESUMEN

El desarrollo de nuevas colecciones para las líneas institucional, hogar y productos especiales de vajillas corona con materiales innovadores, representa un desafío que requiere una evaluación técnica y estratégica rigurosa para garantizar su viabilidad dentro del proceso productivo. En este contexto, el presente trabajo de investigación se llevó a cabo con el objetivo de desarrollar esmaltes reactivos a partir de nuevos materiales, que cumplieran con los estándares de desempeño, procesabilidad y compatibilidad de los procesos actuales de producción y cocción. Además, que aportaran valor diferencial en términos de estética, funcionalidad y sostenibilidad.

Para ello, se implementó una metodología integral que combinó la evaluación de diferentes materiales y pruebas de validación en condiciones de producción reales. A lo largo del proceso se ajustaron parámetros clave de este, para así optimizar la aplicación de los materiales y evaluar su factibilidad a escala industrial. Además, se analizaron las implicaciones técnicas, comerciales y estratégicas de cada propuesta, con el objetivo de proporcionar información fundamentada que facilitara la toma de decisiones del equipo de mercadeo.

Los resultados obtenidos permitieron establecer que las bases reactivas analizadas están compuestas principalmente por: óxidos de silicio (SiO_2), aluminio (Al_2O_3), calcio (CaO), sodio (Na_2O), potasio (K_2O), zinc (ZnO), zirconio (ZrO_2), titanio (TiO_2), boro (B_2O_3) y cobalto (Co_3O_4) en proporciones variables según la formulación, lo cual influye directamente en la fundencia y estabilidad térmica del esmalte. Adicionalmente, se establecieron las temperaturas clave de sinterización, ablandamiento, formación de semiesfera y fusión de cada base. Se observó una amplia variabilidad en los rangos térmicos: algunas muestras como la Base ES00492 y la Base ES0015 mostraron alta refractariedad, con temperaturas de fusión superiores a los 1200 °C, mientras que otras como la Base ES0001 y la Base ES00612 presentaron comportamientos de mayor fundencia, iniciando sinterización desde los 720 °C y alcanzando fusión completa por debajo de los 1110 °C. Estos resultados permitieron clasificar las bases según su comportamiento

para procesos de baja, media o alta temperatura, facilitando su selección según los requerimientos funcionales y estéticos del esmalte final.

Palabras clave *— Nuevos materiales, esmaltes reactivos, estética, funcionalidad, aplicación, mercadeo, composición química, comportamiento térmico, sinterización, ablandamiento, formación de semiesfera, fusión.*

ABSTRACT

The development of new collections for the institutional, home, and special products lines of Vajillas Corona using innovative materials represents a challenge that requires a rigorous technical and strategic assessment to ensure their viability within the production process. In this context, the present research was carried out with the aim of developing reactive glazes using new materials that meet the standards for performance, processability, and compatibility with current production and firing processes. Additionally, these materials were expected to provide a differential value in terms of aesthetics, functionality, and sustainability.

To achieve this, a comprehensive methodology was implemented, combining the evaluation of different materials and validation tests under real production conditions. Throughout the process, key parameters were adjusted to optimize the application of the materials and assess their feasibility at an industrial scale. Furthermore, the technical, commercial, and strategic implications of each proposal were analyzed to provide well-founded information that would support the marketing team's decision-making process.

The results obtained established that the reactive base glazes analyzed are primarily composed of: silicon oxides (SiO_2), aluminum (Al_2O_3), calcium (CaO), sodium (Na_2O), potassium (K_2O), zinc (ZnO), zirconium (ZrO_2), titanium (TiO_2), boron (B_2O_3), and cobalt (Co_3O_4), in varying proportions depending on the formulation, which directly influences the glaze's fusibility and thermal stability. Additionally, key temperatures for sintering, softening, hemispherical formation, and melting of each base were established. A wide variability in thermal ranges was observed: some samples, such as Base ES00492 and Base ES0015, showed high refractoriness, with melting temperatures above 1200 °C, while others, such as Base ES0001 and Base ES00612, displayed greater fusibility, starting sintering at 720 °C and reaching complete melting below 1110 °C. These results made it possible to classify the glaze bases according to their behavior in low, medium, or high-temperature processes, facilitating their selection based on the functional and aesthetic requirements of the final glaze.

Keywords — *New materials, reactive glazes, aesthetics, functionality, application, marketing, chemical composition, thermal behavior, sintering, softening, hemispherical formation, melting.*

I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de nuevas colecciones para las líneas institucional, hogar y productos especiales (también denominados como 1200°) de vajillas corona, basadas en la búsqueda de nuevos materiales para la fabricación de esmaltes reactivos, es un proceso esencial donde la estética, la funcionalidad y la sostenibilidad son factores determinantes para la competitividad y diferenciación en el mercado. Por lo tanto, la selección y validación de nuevos materiales, así como la definición de sus técnicas de aplicación y condiciones de procesamiento, deben basarse en un análisis riguroso que garantice la viabilidad técnica, la eficiencia productiva y el desempeño del producto final.

Actualmente, uno de los desafíos clave en la incorporación de nuevos materiales para fabricar esmaltes reactivos, radica en asegurar su compatibilidad con los procesos de producción y cocción ya existentes. La falta de alineación entre los materiales seleccionados y las condiciones de proceso puede generar problemas en la calidad, la apariencia y la estabilidad de los productos, afectando tanto la eficiencia operativa como la aceptación en el mercado. Por ello, es fundamental evaluar cada material bajo parámetros específicos, que permitan su integración sin comprometer la productividad ni los estándares de calidad establecidos.

El presente estudio tiene como objetivo la investigación, validación y ajuste de nuevos materiales con potencial para ser implementados como esmaltes reactivos en futuras colecciones, asegurando su compatibilidad con las tecnologías de producción y cocción disponibles. Para ello, se llevó a cabo un proceso que combinó ensayos experimentales, pruebas de técnicas de aplicación y de desempeño en condiciones de producción reales. Esto permitió optimizar las condiciones de procesamiento, garantizando así que los materiales seleccionados cumplieran con los requerimientos técnicos, estéticos y comerciales, alineándose con las tendencias del mercado y la estrategia de innovación de la empresa.

II. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Desarrollar esmaltes reactivos a partir de nuevos materiales para su incorporación en futuras colecciones para las líneas institucional, hogar y 1200° de vajillas corona, garantizando su viabilidad técnica, comercial y su compatibilidad con los procesos de esmaltado y cocción existentes.

B. Objetivos específicos

- ➢ Evaluar nuevos materiales para la fabricación de esmaltes reactivos, con potencial para ser incorporados en nuevas colecciones, considerando sus propiedades técnicas, estéticas y de sostenibilidad.

- ➢ Establecer y ejecutar pruebas de validación para evaluar el desempeño de los materiales en términos de procesabilidad, compatibilidad con tecnologías de esmaltado y cocción, y estabilidad en condiciones de producción real.

- ➢ Analizar la factibilidad de implementación de los materiales seleccionados, considerando su eficiencia productiva y alineación con los estándares de calidad de la empresa.

III. MARCO TEÓRICO

A. Características de los esmaltes

Un esmalte es un material sólido, que se obtiene por calentamiento hasta su fusión y posterior solidificación por enfriamiento, a una velocidad adecuada tal que no permita alcanzar el estado cristalino. El esmalte no tiene un punto de fusión exacto, sino que se ablanda dentro de un rango de temperatura. Su estructura es amorfa, similar a la de un líquido extremadamente viscoso que, al enfriarse, mantiene esta alta viscosidad incluso a temperatura ambiente. Debido a su estructura, el esmalte presenta isotropía óptica, es decir, propiedades como el brillo y la refracción, son iguales en todas las direcciones [1].

Estos se aplican sobre piezas de cerámica para mejorar su apariencia, proteger la superficie y aportar cualidades como brillo, opacidad o color, entre otras. Se obtienen mediante la aplicación de suspensiones acuosas preparadas a partir de la molienda de fritas y otros componentes, sobre soportes cerámicos que pueden estar en crudo o ya bizcochados [1]. Según su formulación, los esmaltes pueden variar desde acabados completamente opacos, hasta superficies brillantes o satinadas. Su composición puede incluir agentes opacificantes como el silicato de zirconio y estar diseñada para responder a procesos específicos de cocción, como la monococción, en la que también deben tolerar la liberación de gases del sustrato sin deteriorarse [1][2].

B. Clasificación de los esmaltes

El esmalte puede presentar diferentes características según su composición química y el tratamiento térmico al que se someta. Puede ser brillante, con una superficie lisa y pulida, o mate, con una textura más rugosa. También puede ser transparente u opaco, dependiendo de si contiene o no elementos no disueltos [1]. En cuanto al color, puede ser incoloro o presentar distintos tonos

según los componentes cromáticos añadidos. La base del esmalte se compone de distintos elementos a los que se pueden agregar agentes que modifican su apariencia, como matificantes, opacificantes o colorantes. Desde el punto de vista óptico y estético, los esmaltes pueden ser brillantes, mates o semimates, así como transparentes u opacos [2]. Estas características pueden combinarse de diversas maneras, como un esmalte brillante y transparente, o mate y opaco, entre otras opciones.

C. Mecanismos de formación y formulación de un esmalte

Los esmaltes se forman a partir de la fusión de distintos componentes, cada uno con un papel específico en su estructura y propiedades. Estos componentes incluyen vitrificadores, que forman la red estructural del esmalte; fundentes, que reducen la temperatura de fusión; estabilizadores, que mejoran la durabilidad y resistencia química; opacificadores, que aportan opacidad y color; y desvitrificadores, que regulan la cristalización. Entre los principales compuestos utilizados en cada categoría se encuentran el dióxido de silicio (SiO_2) y el trióxido de boro (B_2O_3) como vitrificadores, óxidos de sodio (Na_2O), potasio (K_2O) y plomo (PbO) como fundentes, y óxidos de calcio (CaO), bario (BaO) y magnesio (MgO) como estabilizadores. Asimismo, los óxidos de zirconio (ZrO_2) y estaño (SnO_2) actúan como opacificadores, mientras que ciertos óxidos como ZnO, CaO y TiO_2 pueden funcionar como desvitrificadores [2].

D. Esmaltado cerámico

El esmaltado cerámico es un proceso en el que se aplica una capa de esmalte sobre la superficie de una pieza de cerámica para darle color, textura y protección. Durante la cocción, este esmalte reacciona con la temperatura, creando efectos únicos según su composición. Para lograr un buen esmaltado, es importante elegir los materiales adecuados, controlar la temperatura y el tiempo de cocción y considerar cómo los esmaltes interactúan con la superficie de la pieza. Estas reacciones generan superficies únicas y diversificadas, caracterizadas por variaciones de color y textura que aportan originalidad a cada pieza [3]. Gracias a estas técnicas, se pueden obtener acabados originales y de alta calidad en productos cerámicos.

E. Reología de los esmaltes

Los esmaltes en la mayoría de las ocasiones se aplican en forma de suspensión acuosa, por lo que es fundamental estudiar su reología. La reología es el estudio del flujo y la deformación de la materia bajo la influencia de una fuerza mecánica, es la rama de la física que analiza cómo los materiales que pueden fluir responden a la aplicación de fuerzas externas, observando la relación entre el esfuerzo ejercido sobre ellos y la deformación que experimentan. Este estudio permite entender cómo un material reacciona internamente ante diferentes tipos de presión o tensión. Los parámetros reológicos son las características físicas de un fluido que determinan cómo se comporta cuando está en movimiento o bajo la acción de una fuerza externa. Estos parámetros afectan la manera en que este fluye, resiste la deformación o cambia su estructura interna. Uno de los parámetros más importantes en la reología es la viscosidad, que representa la resistencia de un fluido al movimiento. La densidad también es un parámetro influyente, y mide la cantidad de masa que tiene un fluido en un determinado volumen [5].

F. Tixotropía

La tixotropía es una propiedad y además un comportamiento de ciertos fluidos, que les permite disminuir su viscosidad al ser sometidos a una agitación o esfuerzo, volviendo a su estado más viscoso una vez que se detiene la aplicación de dicha fuerza. En el área de los esmaltes cerámicos, la tixotropía tiene un papel fundamental. Los esmaltes son suspensiones que, al estar en reposo, pueden aumentar su viscosidad debido a la formación de estructuras internas. Sin embargo, al aplicarles una agitación constante, estas estructuras se rompen, reduciendo la viscosidad y facilitando su aplicación sobre las piezas cerámicas [4]. El control adecuado de la tixotropía en los esmaltes es esencial para garantizar una aplicación homogénea y de calidad. Un esmalte con una tixotropía excesiva puede presentar dificultades durante la aplicación, mientras que una tixotropía insuficiente puede provocar problemas de sedimentación y defectos en el acabado final.

La adición de ciertos aditivos, como la bentonita, puede aumentar la viscosidad y la tixotropía de las suspensiones de esmalte. No obstante, es fundamental dosificar estos aditivos de manera adecuada, ya que una cantidad excesiva puede alterar el comportamiento reológico del esmalte, dificultando su aplicación y el secado [5].

G. Esmaltes reactivos

Generalmente, se consideran esmaltes reactivos aquellos que no presentan un color sólido homogéneo o uniforme. Estos esmaltes están formulados para generar superficies, coloraciones o efectos especiales e irregulares como resultado de una reacción química durante el proceso de cocción. Por lo general, los esmaltes reactivos contienen un mayor porcentaje de fundentes, los cuales modifican la estructura del esmalte base para producir distintos colores y texturas irregulares. La sílice es el componente principal del esmalte, ya que se funde a altas temperaturas y, al enfriarse, forma una superficie vidriosa. Además, se pueden añadir compuestos metálicos como óxido de cobre, óxido de cobalto, óxido de manganeso y óxido de hierro para modificar el color del esmalte o incluso provocar una reacción con el [6][7].

H. Composición estructural del esmalte y su comportamiento térmico

Desde un punto de vista estructural, los esmaltes son materiales sin forma cristalina definida, con una red interna desordenada formada principalmente por átomos de silicio y oxígeno. Esta red está compuesta por estructuras llamadas tetraedros, conectadas de manera irregular, lo que permite que el esmalte tenga propiedades únicas como transparencia, brillo o resistencia química. En su formulación intervienen distintos tipos de óxidos: los que construyen la red base (como los de silicio y boro), los que modifican su estructura para reducir la temperatura de fusión (como los óxidos de sodio, potasio o plomo), y los que estabilizan la red para hacerla más resistente (como los de calcio o magnesio). La combinación de estos componentes determina la fluidez, viscosidad, brillo y estabilidad del esmalte durante la cocción. A medida que aumenta la

temperatura, los enlaces más débiles en su estructura se rompen primero, provocando su reblandecimiento y eventual fusión, lo cual es esencial para lograr una buena adherencia al soporte cerámico y el acabado deseado [7].

I. Caracterización térmica

La microscopía de calefacción es una técnica de caracterización que se utiliza para observar los cambios morfológicos que experimenta una muestra sólida, normalmente conformada como un cilindro o una pastilla, al ser sometida a un incremento controlado de temperatura. Este proceso permite documentar visualmente cómo la silueta de la probeta evoluciona a medida que aumenta la temperatura. A través del análisis de imagen, es posible cuantificar la contracción o expansión de la muestra en función de la temperatura, generando así una curva de contracción vs. temperatura. Esta curva es fundamental para caracterizar el comportamiento térmico del material. Adicionalmente, la microscopía de calefacción permite identificar con precisión temperaturas críticas que corresponden a transformaciones clave en el material, tales como: [8].

- *Temperatura de sinterización (sintering):* Marca el inicio de la cohesión entre las partículas del material, donde empiezan a unirse sin alcanzar la fase líquida.
- *Temperatura de ablandamiento (softening):* Indica el punto en el que la muestra pierde su rigidez estructural y comienza a deformarse bajo su propio peso o tensiones mínimas.
- *Temperaturas de esfera (sphere) y semiesfera (half-sphere):* Reflejan etapas intermedias de fusión progresiva, donde la muestra tiende a adoptar formas esféricas o semiesféricas debido a la disminución de la viscosidad.
- *Temperatura de fusión (melting):* Define el punto en el que el material alcanza su máxima deformación o fluidez, indicando una fusión casi completa.

Estas temperaturas permiten evaluar aspectos como la tendencia del material a expandirse o contraerse según el intervalo térmico considerado, siendo fundamentales para el análisis del comportamiento térmico de los esmaltes [2]. En la Fig. 1 se presentan las imágenes obtenidas tras una evaluación por microscopía de calentamiento realizada a un material vitrocerámico, a partir

de las cuales se identificaron las temperaturas características del material durante el calentamiento. Se observa que la temperatura de inicio de sinterización (SO) ocurre a 545 °C, momento en el que el material comienza a densificar sin pérdida significativa de forma. A medida que la temperatura aumenta se presenta una deformación visible a 644 °C (DT) y alcanza la forma de esfera a 758 °C (ST). Posteriormente, a 863 °C se forma una semiesfera (HT), evidenciando una buena mojabilidad sobre el soporte, ya que en este punto la altura del cuerpo es aproximadamente la mitad del diámetro de su base, correspondiente a un ángulo de contacto cercano a 90°. Finalmente, a 1249 °C se alcanza la temperatura de fluidez (FT), en la cual el material se expande sobre el soporte de manera significativa [9].

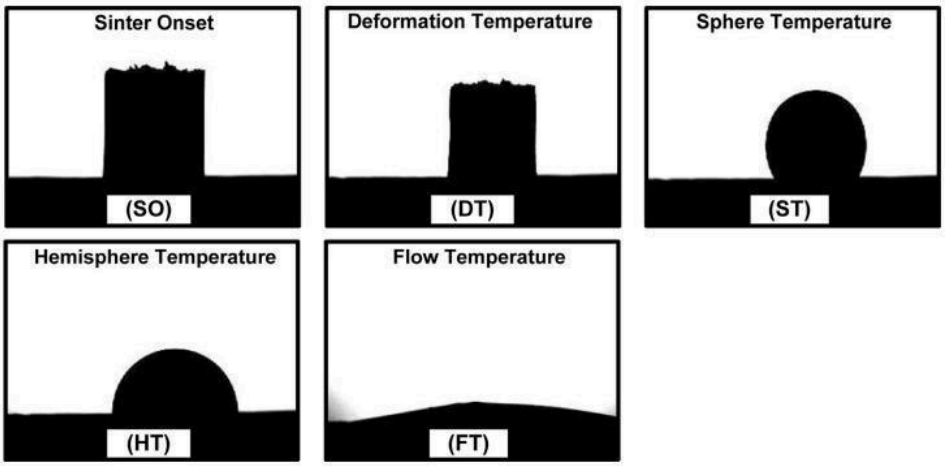


Fig. 1: Microscopía de calefacción y temperaturas características de la vitrocerámica [9].

IV. METODOLOGÍA

El desarrollo de este proyecto se llevó a cabo utilizando la metodología DMAIC, un enfoque estructurado que facilita la gestión eficiente y la mejora continua de los procesos. Esta metodología se divide en cinco etapas; definir, donde se establecen los objetivos y alcances del proyecto; medir, para recopilar información relevante sobre los materiales y esmaltes; analizar, con el fin de identificar patrones y evaluar su comportamiento en el proceso productivo; mejorar, donde se optimizan las condiciones de aplicación y procesamiento; y controlar, asegurando que los materiales seleccionados mantengan su desempeño esperado a largo plazo, que combinarán enfoques cualitativos y cuantitativos, permitiendo no solo evaluar las propiedades técnicas de los materiales, sino también validar su viabilidad desde el punto de vista del proceso productivo y la percepción del mercado.

A continuación, se muestran las etapas mediante las cuales se llevó a cabo el presente trabajo de investigación.

A. Revisión bibliográfica: Se realizó una revisión de la literatura científica y técnica en bases de datos, revistas científicas, libros y normas técnicas, entre otros, sobre esmaltes reactivos y técnicas de esmaltado.

B. Caracterización de las materias primas: La caracterización de la materia prima se realizó mediante Fluorescencia de Rayos X (FRX), con el fin de determinar su composición química, además se llevó a cabo el estudio térmico y óptico de los materiales mediante Microscopía de Calefacción, calentando las muestras hasta 1350°C, con una tasa de calentamiento de 30°C/min hasta 1100°C y 20°C/min hasta 1350°C.

C. Formulación de los esmaltes: Para el desarrollo del proyecto, se llevaron a cabo pruebas para evaluar el comportamiento de las bases reactivas con distintas formulaciones. En una

primera etapa, las bases se prepararon sin modificaciones, utilizando un 60% en peso de agua, con el objetivo de analizar su desempeño en estado puro. Luego, se realizaron ajustes en la composición, reduciendo la proporción de la base a un rango de 90% a 95%, mientras que el 5% al 10% restante se complementó con diferentes combinaciones de vitrificantes, fundentes y refractarios. Estos ensayos permitieron analizar el efecto de cada aditivo/corrector en las propiedades finales del material, optimizando su desempeño según los requerimientos del proyecto. Se evaluaron las bases reactivas con diferentes formulaciones, se realizaron pruebas de aplicación de los esmaltes seleccionados a distintas condiciones y se realizaron pruebas de caracterización de materiales para evaluar las propiedades físicas, químicas y estéticas mediante las pruebas específicas mencionadas anteriormente.

Debido a fines de confidencialidad de la empresa Locería Colombiana S.A.S., esta información se considera sensible y protegida, por lo tanto, no se muestra en detalle las formulaciones de los esmaltes, así como de algunos de los ensayos realizados.

D. Evaluación de los esmaltes: Se realizaron pruebas como la medición de densidad y viscosidad, que permitieron determinar su estabilidad y comportamiento durante la aplicación. Además, se llevaron a cabo pruebas de aplicación para analizar su adherencia, uniformidad y compatibilidad con los procesos de esmaltado y cocción, asegurando así su viabilidad en la producción y la calidad del acabado final.

E. Análisis de resultados y optimización: Comparación de los materiales ensayados según su desempeño y su respectivo ajuste de formulación, de acuerdo con los resultados experimentales.

F. Colaboración con equipo del área técnica y equipo de mercadeo: Reuniones con los respectivos equipos para obtener recomendaciones y ajustar formulaciones.

G. Pruebas de proceso de esmaltado a nivel semi industrial: Se realizaron pruebas a nivel semi industrial para escalar el producto al proceso real de esmaltado y cocción para determinar las características de calidad, apariencia, la estabilidad y desempeño para el producto final

H. Pruebas de desempeño en choque térmico: Se realizaron pruebas de choque térmico que consiste en exponer una pieza a cambios controlados de temperatura, con el fin de evaluar su resistencia frente a variaciones térmicas bruscas. En este caso, las piezas fueron sometidas a temperaturas crecientes de 117, 133, 157, 177, 205 y 237 °C, con tres ciclos de 45 minutos para cada temperatura. Las muestras fueron enfriadas para cada ciclo en agua a temperatura ambiente. Durante el ensayo se observa si ocurren daños como grietas, desprendimientos o deformaciones. La norma establece como temperatura mínima de resistencia 177 °C, por lo que la pieza debe soportar al menos esta condición sin presentar fallas para considerarse apta.

I. Análisis de viabilidad técnica y comercial: Evaluación de costos, factibilidad de producción y alineación con tendencias del mercado mediante matrices de decisión.

V. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A. Análisis de la composición química

La composición química de los esmaltes (bases) analizados se muestran en la Tabla I. En esta se observa que las muestras evaluadas están compuestas principalmente por sílice (SiO_2) y alúmina (Al_2O_3), y en menores porcentajes por los óxidos alcalinos (Na_2O, K_2O), además de calcio (CaO), titanio (TiO_2), boro (B_2O_3) y óxidos funcionales como ZnO y ZrO_2.

La sílice (SiO_2) es el óxido que tiene mayor presencia en la composición, con valores entre 39,9% y 55,3%, lo que era de esperar ya que este es el principal vitrificante empleado en la formulación de los esmaltes. Mientras que, la alúmina (Al_2O_3) se encuentra en mayor contenido en las bases ES0001 y ES0015, lo que es característico en esmaltes con apariencia reactiva donde esta modifica las redes de los silicatos para formar estructuras más completas que propician los efectos superficiales característicos de los reactivos, siendo un modificador de red que genera una apariencia no homogénea de la superficie, adicionalmente, genera un aumento en la temperatura de sinterización del esmalte [10].

Por su parte, la presencia de titanio (TiO_2) ayuda a realzar el efecto reactivo, obteniendo efectos de colores, amarillos, verdes y marrones. Además, genera cambios en las estructuras cristalinas de la superficie, siendo así el modificador por excelencia de los esmaltes reactivos. El Boro (B_2O_3) ayuda con la fundencia y aporta un buen acabado superficial dando un aspecto brillante y liso. El Cobalto (Co_3O_4) es el principal compuesto para lograr tonos azules en los efectos de los esmaltes reactivos. Sin embargo, si este se encuentra en contenidos superiores al 2% en peso, este no solo actúa como colorante si no también como fundente [10].

TABLA I: COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS ESMALTES ANALIZADOS.

Muestra (base)	**Óxidos (% en peso)**												
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	B_2O_3	Co_3O_4	CuO	ZnO	PPI
ES0001	46,90	4,83	0,12	3,65	1,65	-	4,84	0,73	7,70	6,02	-	22,06	1,20
ES0002	49,90	5,73	0,13	3,72	1,82	0,12	-	0,76	7,60	-	6,76	22,55	0,70
ES0008	43,30	12,32	0,20	9,51	9,79	1,92	8,47	1,38	3,40	-	-	2,94	6,40
ES0015	39,90	12,19	0,28	9,85	8,69	4,07	4,01	0,60	1,30	-	-	9,23	6,80
ES0017	55,30	8,77	3,82	4,18	16,80	0,92	4,03	0,13	4,66	-	-	0,01	1,30
ES00492	54,30	12,26	0,81	5,56	5,20	4,74	3,59	2,42	4,43	1,85	-	0,04	4,50
ES00113	51,50	13,30	0,21	8,71	4,50	0,51	7,79	1,41	6,30	-	-	2,43	3,00
ES00114	51,90	14,20	0,17	6,99	0,20	0,98	7,07	1,37	10,50	-	-	2,80	3,70
ES00137	53,60	11,50	0,13	5,13	5,40	0,47	3,78	1,28	5,40	-	-	6,69	6,40
ES00612	53,00	7,40	0,04	0,03	0,20	0,37	5,98	1,33	8,90	-	-	22,39	0,30
$U_{expandida}$ Mayoritarios (>2%)	±1,23	±1,09	±0,66	±0,43	±1,95	±1,51	±0,50	±0,68	-	±0,42	±0,32	±0,17	±0,50
$U_{expandida}$ Menores (<2%)	±0,54	±0,72	±0,42	±0,42	±0,60	±0,26	±0,52	±0,45	-	±0,41	±0,32	±0,18	±0,50

[a] Incertidumbre de los óxidos presentes en más del 2% en peso.
[b] Incertidumbre de los óxidos presentes en menos del 2% en peso.

Los óxidos alcalinos (Na_2O y K_2O) varían significativamente en las muestras. Estas diferencias podrían influir en la fluidez del esmalte y en el desarrollo del brillo superficial.

El CaO cumple su función como fundente secundario y estabilizante de la fase vítrea.

Mientras que, El ZnO, presente en altas concentraciones mayores al 22% en peso, en las bases ES0001, ES0002 y ES00612, son importantes por su influencia en la opacidad y resistencia química del esmalte.

Las pérdidas por inmisión se generan debido al contenido de material orgánico presente en los esmaltes, así como a aditivos orgánicos y materiales arcillosos o caoliniticos empleados para promover una buena suspensionabilidad [11].

En general, la variabilidad observada sugiere que estas bases están formuladas para lograr distintos efectos visuales, texturales y funcionales, dependiendo de su aplicación final. El balance entre los óxidos alcalinos y estabilizantes permite controlar el punto de fusión, la opacidad y la interacción con colorantes o efectos reactivos en los esmaltes.

B. Comportamiento térmico de las muestras

En la Fig. 2. se muestran los resultados de la microscopía de calefacción de las bases ES0008, ES0015, ES0017, ES0001 y ES0002. Se observa que las muestras ES0015 y ES0017 presentan los valores más altos en todas las etapas térmicas (temperaturas críticas), lo cual indica que son más refractarias, es decir, resisten temperaturas más altas antes de fundirse. Estas bases podrían ser adecuadas para esmaltes que requieren estabilidad térmica y por lo general son las que adquieren un aspecto menos brillante. Por su parte, la gráfica que corresponde a la base ES0001, debido al alto contenido de Co_3O_4, se aprecia su ensanchamiento como consecuencia del cambio abrupto en la fundencia del esmalte, que se genera por efecto de la sustitución de los átomos de cobalto en las estructuras de silicatos causando que las estructuras se abran volviéndose más reactivo.

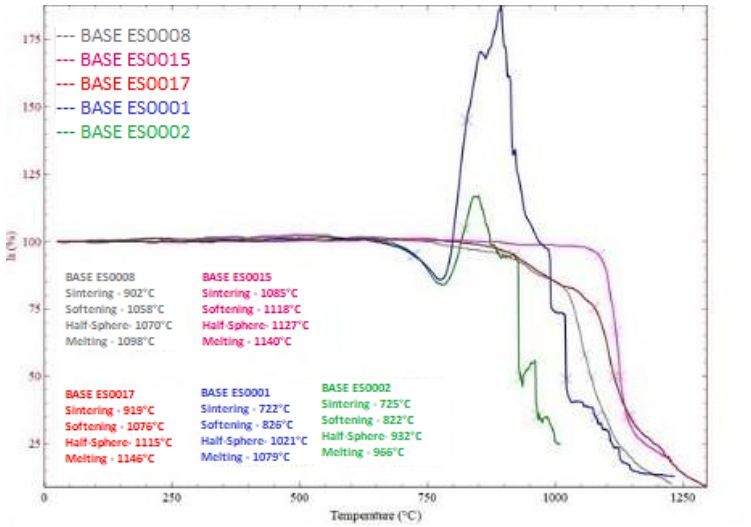


Fig. 2: Curvas de microscopía con calefacción de las bases ES0008, ES0015, ES0017, ES0001 y ES0002.

En la Tabla II. se muestran las temperaturas críticas de la microscopía de calefacción de las bases ES0008, ES0015, ES0017, ES0001 y ES0002. Se observa que la base ES0008 tiene una temperatura de sinterización de 902 °C y de fusión de 1098 °C. Temperaturas de fusión entre 1050 y 1100 °C se consideran bajas, lo que indica que este esmalte se funde y se vuelve un líquido viscoso mucho antes de la temperatura máxima del tratamiento térmico realizado, se encuentra entre 1200 y 1230 °C, lo que genera una barrera para las posibles desgasificaciones que sufre la pasta o soporte cerámico (sobre el que se aplica) por encima de los 1000 °C, comportamiento típico de la quema en monococción. Esta característica corresponde al reto más grande para asegurar una buena calidad y estabilidad de la pieza ya que depende del equilibrio entre la pasta, el esmalte y el tratamiento térmico. Por su parte, las bases ES0001 y ES0002 tienen las temperaturas de sinterización más bajas, lo que indica que estas composiciones se ablandan y funden más rápido. En general, la curva de microscopía con calefacción muestra claramente la diversidad funcional de las bases analizadas, siendo las bases ES0015 y ES0017 y aptas para su aplicación a altas temperaturas, mientras que las bases ES0001 y ES0002 adecuadas para su uso a baja temperaturas. [12]

TABLA II: TEMPERATURAS CRÍTICAS DE LAS BASES ES0008, ES0015, ES0017, ES0001 y ES0002.

Base (esmalte)	Temperaturas críticas (°C)			
	Sinterización (sintering)	Ablandamiento (softening)	Semi-esfera (half-sphere)	Fusión (melting)
ES0008	902	1058	1070	1098
ES0015	1085	1118	1127	1140
ES0017	919	1076	1115	1146
ES0001	722	826	1021	1079
ES0002	725	822	932	966

Las temperaturas de las bases ES0015 y ES0017 son características de esmaltes con efecto mate, mientras que temperaturas como las de las bases ES0001 y ES0002 presentan un comportamiento

significativamente más fundente. Esta información permite la selección adecuada según el tipo de esmalte o efecto deseado. Es importante resaltar que las bajas temperaturas de sinterización se pueden ajustar con la adición de modificadores que permiten un ablandamiento tardío del esmalte, esto con la ayuda de materiales refractarios, los cuales retardan la propagación de reacciones a temperaturas tempranas que puedan llegar a afectar el producto.

En la Fig. 3, se muestran los resultados de la microscopía de calefacción de las bases 00137, 00612, 00114, 00491 y 00113. En esta serie de curvas se evidencia una amplia variedad de temperaturas de fundencia entre las bases analizadas. Por un lado, ES00492 es adecuada para procesos de cocción de esmaltes de alta temperatura, gracias a su alto punto de fusión. Mientras que, la base ES00612 se adapta mejor a procesos a baja temperatura, reduciendo así el consumo energético y favoreciendo la vitrificación temprana [13].

El análisis de los perfiles térmicos (curvas de microscopía de calefacción) y las temperaturas críticas, permiten determinar el grado de deformación y fluidez de los esmaltes formulados con estas bases. Así, se puede tomar decisiones en función del diseño técnico y estético del producto final (opacidad, brillo, resistencia, acabado, desempeño en pruebas de producto terminado, etc.).

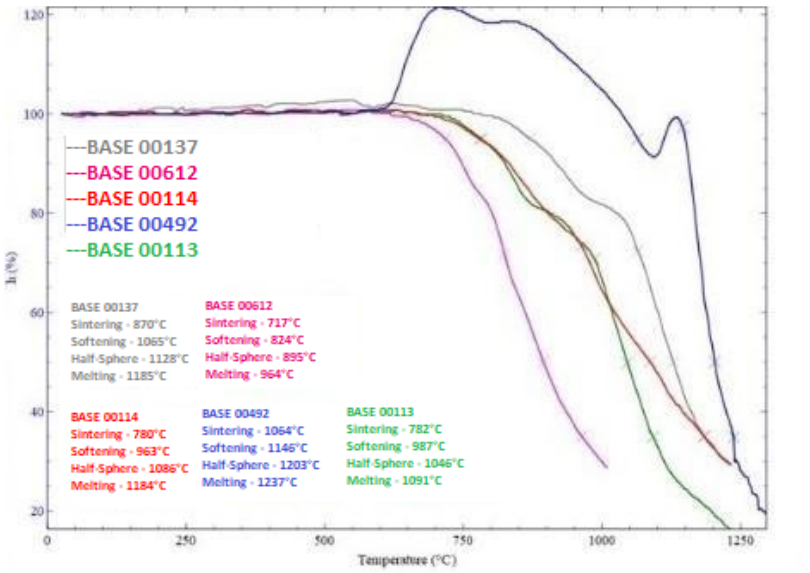


Fig. 3: Curvas de microscopía con calefacción de las bases 00137, 00612, 00114, 00492 y 00113.

En la Tabla III se muestran las temperaturas críticas de la microscopía de calefacción de las bases 00137, 00612, 00114, 00492 y 0002. La base 00492 presenta los valores más altos en todos los eventos térmicos, alcanzando una temperatura de fusión de 1237 °C, siendo ésta la más refractaria de ellas. Este comportamiento sugiere una formulación muy estable a altas temperaturas. Por su parte, las bases 00137 y 00114 muestran temperaturas de sinterización y ablandamiento relativamente bajas, sin embargo, alcanzan una fusión más progresiva a temperaturas elevadas de 1185 y 1184 °C respectivamente, lo que indica que podrían ofrecer un buen comportamiento fundente y a su vez buena estabilidad térmica [13].

La base 00113 se comporta de forma intermedia, con inicio de sinterización a 782 °C y fusión a 1091 °C, lo que la hace adecuada para tratamientos térmicos de 1100 a 1180 °C. La base 00612 es la muestra el comportamiento más fundente, con sinterización iniciando a 717 °C y fusión a 964 °C, lo que la hace adecuada para esmaltes de baja temperatura.

TABLA III: TEMPERATURAS CRÍTICAS DE LAS BASES 00137, 00612, 00114 y 0002.

Base (esmalte)	Temperaturas críticas (°C)			
	Sinterización (sintering)	Ablandamiento (softening)	Semi-esfera (half-sphere)	Fusión (melting)
00137	870	1065	1128	1185
00612	717	824	895	964
00114	780	963	1086	1184
00492	1064	1146	1203	1237
00113	782	987	1046	1091

C. Aplicación y corrección de los esmaltes

Según los requerimientos de la compañía, los esmaltes deben cumplir con tres; la apariencia del esmalte, la presencia de defectos en las piezas y el desempeño del producto terminado, este último evaluado a través de la prueba de choque térmico (con fines de confidencialidad de la

empresa Locería Colombiana S.A.S., al ser esta información sensible y protegida, no se muestran los resultados de algunas de las muestras esmaltadas).

En la Fig. 4, se enseñan algunas de las muestras esmaltadas a partir de las bases antes mencionadas, las cuales fueron tratadas térmicamente a 1230°C por 7 horas en monococción. En el esmaltado de las piezas realizado con la base ES0008, ver Fig. 4a se observó inicialmente la aparición de poros en el borde y en la parte inferior de las piezas, además de fallas en el choque térmico a partir de los 150 °C, aunque estas eran casi imperceptibles a simple vista. Para abordar el problema del poro, se planteó la hipótesis de que podía deberse a una desgasificación excesiva durante la cocción o, por el contrario, a que el esmalte se estaba cerrando demasiado pronto, impidiendo que los gases salieran completamente de la pasta [14].

Es importante mencionar que las pastas prensadas liberan gases entre los 100 y 900 °C, debido a la humedad, materiales orgánicos presentes en las arcillas y aditivos, así como a transformaciones internas de los caolines. Por tanto, era clave evitar que la base ES0008 se sellara antes de que este proceso finalizara. Para validar esta hipótesis, se esmaltaron y quemaron piezas previamente bizcochadas, es decir, con el 80-90% de la desgasificación previamente completada. Los resultados mostraron que el defecto del poro persistía, lo que permitió descartar que la causa fuera una excesiva liberación de gases desde la pasta. Lo que permitió concluir que el problema estaba relacionado con una sinterización temprana del esmalte.

A partir de esto, se comenzaron ensayos utilizando modificadores que ayudaran a subir la temperatura a la que el esmalte empieza a cerrarse, permitiendo que los gases salieran completamente antes de que el esmalte comenzara a sellar la superficie. Estos ajustes ayudaron a corregir el defecto del poro. Sin embargo, continuaba pendiente mejorar el comportamiento del esmalte frente al choque térmico, ya que se evidenciaban problemas de acople entre la pasta y el esmalte.

Para mejorar ese acople, se incorporaron componentes que ayudaran a reducir la expansión térmica del esmalte, como cuarzo, fritas de bajo coeficiente, cristalina y alúmina, ver Fig. 3b. Estos permitieron que el esmalte se adaptara mejor a los cambios bruscos de temperatura,

evitando fisuras o grietas. Finalmente, se logró un equilibrio entre ambas variables; aumentando la temperatura de sinterización se corrigió el defecto del poro, y reduciendo el coeficiente de expansión del esmalte se mejoró su compatibilidad con la pasta, lo cual permitió superar la prueba de choque térmico de manera satisfactoria.

En el caso de la base ES0001, ver Fig. 4d, el análisis fue similar al realizado para el esmalte anterior, ya que también presentaba una temperatura de sinterización baja. Sin embargo, este caso resultó más complejo debido a su alta carga de óxidos de cobalto, lo cual se evidenció en los resultados de microscopía de calefacción, donde se observó un notable ensanchamiento del esmalte al aumentar la temperatura (ver Fig. 2). Este comportamiento es característico de esmaltes con alto contenido en colorantes.

En las pruebas de choque térmico la base ES0001 superó los requisitos establecidos, por lo que el enfoque se centró en corregir la fundencia excesiva. Para esto, se buscó aumentar su temperatura de sinterización mediante la incorporación de materiales modificadores que ayudarán a endurecer el esmalte sin comprometer su apariencia o desempeño en el producto final. En esta etapa, se observó que ciertos modificadores alteran negativamente el color del esmalte, llevándolo hacia tonos verdosos o azul cian, que no eran aceptados según los resultados del estudio de tendencias, el cual indicó una preferencia por los azules cobalto y tonos más oscuros, con efectos sutiles en los bordes. A partir de estos resultados, se identificaron como efectivos aquellos modificadores que no alteraban el color, especialmente las fritas duras y la alúmina. Con su uso, se logró reducir la fundencia excesiva y alcanzar un equilibrio adecuado entre la apariencia superficial y el efecto deseado del esmalte azul, como se observa en la Fig. 4d.

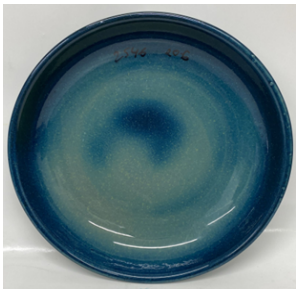
Vista superior			
a) Base 0008	b) Base 0008 con frita correctora y cuarzo.	c) Base 0001	d) Base 001 con cuarzo y alúmina.
			
Vista posterior			
			

Fig. 4: Imágenes de algunas de las muestras esmaltadas.

El estudio y desarrollo de esmaltes reactivos demuestra ser un proceso altamente sensible a múltiples variables. Cambios en la cocción, ajustes en la formulación, variaciones en la pasta base y condiciones del proceso como la densidad o la capa aplicada, pueden alterar significativamente tanto la calidad como el efecto visual que se busca. Por esta razón, trabajar con esmaltes reactivos implica comprender un sistema complejo donde cada decisión puede tener un impacto relevante en el resultado final.

A través de diferentes pruebas y ajustes en las proporciones, es posible utilizar modificadores para mejorar o corregir los esmaltes. Para esto, se pueden aplicar metodologías como diseños experimentales que permiten variar los niveles de cada componente entre un 0 % y un 20 %, y así observar tanto el efecto individual como el combinado de los modificadores. Estas evaluaciones, aunque no siempre arrojan resultados numéricos continuos, permiten establecer claramente si un esmalte cumple o no con los requisitos mínimos, facilitando la toma de decisiones sobre qué modificadores ayudan a lograr los objetivos propuestos en términos de apariencia, ausencia de defectos y desempeño.

Algunos modificadores como TiO_2 y B_2O_3, tienen un efecto muy fuerte sobre el esmalte. No solo alteran su comportamiento, sino también su apariencia final, por lo que no son recomendables cuando se requieren ajustes sutiles. En cambio, otros como el cuarzo aportan mayor estabilidad a la estructura, mejoran la compatibilidad entre la pasta y el esmalte, y favorecen la formación de fases más estables. En este sentido, se logra acercarse al comportamiento de un esmalte tradicional, manteniendo ciertas características del reactivo.

La alúmina ha demostrado ser un modificador muy útil, incluso en pequeñas cantidades. Su incorporación estabiliza la estructura del esmalte, incrementa su viscosidad durante la quema y, por tanto, mejora su comportamiento sin afectar su apariencia. Esta propiedad la convierte en un recurso muy valioso para afinar formulaciones.

El uso de bases cristalinas puede endurecer el esmalte, pero al mismo tiempo modifica notablemente su aspecto visual, por lo que deben utilizarse con precaución cuando el objetivo es conservar una estética específica. En cambio, las fritas correctoras representan una alternativa muy eficiente, ya que permiten hacer ajustes puntuales con cantidades reducidas. Existen fritas correctoras para controlar la expansión térmica, la fundencia o la reactividad y su selección depende del tipo de ajuste que se desea. Para el esmalte blanco ES0008, por ejemplo, fueron útiles las fritas que corrigen la expansión térmica, mientras que para ambos esmaltes ES0001 y ES0008 se emplearon fritas que ayudaron a controlar la fundencia.

A lo largo del proceso se logró generar nuevo conocimiento científico y técnico, validar el uso de un proveedor adicional para este tipo de productos y ampliar el portafolio de esmaltes reactivos disponibles para la compañía. Además, se identificaron los márgenes de maniobra en cuanto a formulación y ajuste de defectos. Esta etapa de desarrollo concluye con la validación de viabilidad técnica, y da paso a la fase de industrialización. Esto implica llevar las formulaciones a una escala mayor, evaluar su comportamiento en condiciones reales de línea, validar la calidad y el rendimiento en pruebas finales, asegurar la reproducibilidad de los resultados y trabajar en conjunto con el área de mercadeo en la definición de patrones. Finalmente, todo este trabajo culminará en el lanzamiento del nuevo producto al mercado.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La metodología de investigación implementada en el presente trabajo de investigación, permitió que se cumplieron los objetivos propuestos, ya que fue posible evaluar e identificar nuevos esmaltes con un buen comportamiento técnico y estético. Por su parte, las pruebas desarrolladas en condiciones reales de producción permitieron validar su compatibilidad con los procesos existentes, asegurando tanto la estabilidad como la eficiencia de ellos, lo que respalda su viabilidad para ser implementados a nivel industrial. Así mismo, el estudio realizado permitió establecer:

- Las bases evaluadas presentan composiciones químicas diversas, con predominio de óxidos como SiO_2, Al_2O_3, CaO, Na_2O, K_2O, TiO_2 y Co_3O_4, que influyen directamente en las propiedades de fusión, viscosidad, opacidad, estabilidad y efecto del esmalte durante la cocción.

- Los análisis de microscopía con calefacción confirmaron diferencias térmicas significativas entre las bases, destacando algunas por su comportamiento altamente refractario, tales como la bases ES00492 y ES0015, que requieren mayores temperaturas para alcanzar la fusión, y otras que funden con mayor facilidad como la bases ES0001 y ES00612, que inician su sinterización a temperaturas considerablemente más bajas.

- La integración de ambas técnicas de caracterización (FRX y microscopía con calefacción) permitió establecer una relación clara entre la composición química y el comportamiento térmico de las bases, lo cual es fundamental para seleccionar adecuadamente el esmalte según el tipo de cocción y el acabado deseado.

- Bases con mayores contenidos de óxidos modificadores como sodio y potasio mostraron menor estabilidad térmica y temperaturas de fusión más bajas, mientras que aquellas con mayor proporción de alúmina y sílice exhibieron una mayor resistencia térmica y menor

fluidez, características deseables para esmaltes monococción a altas temperaturas.

- Los resultados obtenidos permiten orientar decisiones en formulación y selección de esmaltes cerámicos, ya que proporcionan información clave sobre su desempeño durante la cocción y su compatibilidad con el sustrato cerámico, lo que contribuye a mejorar la calidad y el rendimiento del producto final.
- El estudio de esmaltes reactivos es específico para cada caso, cambiando las condiciones de cocción, la formulación, la pasta y las condiciones de proceso como densidad y porcentaje de capa aplicada, son variables influyen en la calidad y en el efecto esperado de los esmaltes reactivos, considerándose así un mundo complejo.

REFERENCIAS

[1] Güeto, J. (2005). Tecnología de los materiales cerámicos. Editorial Díaz de Santos. p. 123.

[2] Asociación española de técnicos cerámicos. (2004). Tecnología cerámica aplicada. Faenza Editrice Ibérica.

[3] HOSEN HOME. (2024). Uno de los efectos del acabado cerámico - Acabado esmaltado reactivo.https://hosen28.com/es/uno-de-los-efectos-del-acabado-ceramico-acabado-esmaltado-reactivo/

[4] ZSCHIMMER & SCHWARZ. (2023), Tixotropía en la cerámica. https://www.zschimmer-schwarz.es/noticias/que-es-la-tixotropia-en-la-ceramica/

[5] Moreno, R. (2005). Reología de suspensiones cerámicas. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

[6] Reactive glazes. COLOROBBIA.

[7] Carter, C. B., & Norton, M. G. (2007). Ceramic materials science and engineering. Springer.

[8] Gómez Tena, M. P. (2013). Esmaltes para baldosas cerámicas preparados con una nueva materia prima borácica. Transformaciones físico-químicas que se desarrollan durante la cocción. [Tesis doctoral], Universitat Jaume I de Castelló.

[9] M. D. Bilandžić, S. Wollgarten, J. Stollenwerk, R. Poprawe, M. Esteves-Oliveira, and H. Fischer, “Glass-ceramic coating material for the CO_2 laser based sintering of thin films as caries and erosion protection,” Department of Dental Materials and Biomaterials Research, RWTH Aachen University Hospital, Aachen, Germany.

[10] Rhodes, D. (1973). Clay and Glazes for the Potter (3ra ed.). Chilton Book Company.

[11] A. De la Garza Chávez, Diseño y construcción de un dilatómetro de alta velocidad para el estudio de transformaciones de fase en materiales [Tesis de maestría], Univ. Autónoma de Nuevo León, Fac. de Ing. Mecánica y Eléctrica, Div. de Estudios de Posgrado, Ene. 2011.

[12] K. Rajeswari, S. Padhi, A. R. S. Reddy, R. Johnson, and D. Das, “Studies on sintering kinetics and correlation with the sinterability of zirconia ceramics based on the dilatometric shrinkage curves,” Ceramics International, vol. 39, no. 5, pp. 4985–4990, 2013, de: 10.1016/j.ceramint.2012.11.095.

[13] Taylor, B. y Doody, A. (2014). Esmaltes cerámicos: Manual completo. Thames & Hudson.[1] Bloomfield, L. (2015). Science for Potters. The American Ceramic Society.

[14] Britt, J. (2014). Guía completa de esmaltes de gama media: Esmaltado y cocción. Lark Crafts.