Desarrollo y evaluación de un producto cerámico en formato cuadrado: Elaboración del producto a escala de laboratorio.

Andrea Carolina Amaya Ojeda

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniera Química

Modalidad de Práctica

Semestre de Industria

Asesores

Juan Miguel Marín Sepúlveda

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Química

Medellín, Antioquia, Colombia

2025

Cita	(Amaya Ojeda, 2025)
Referencia **Estilo APA 7 (2020)**	Amaya, A. (2025). *Desarrollo y evaluación de un producto cerámico en formato cuadrado: Elaboración del producto a escala de laboratorio.* [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

creative commons BY NC SA

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
Vicerrectoría de Docencia

Sistema de Bibliotecas

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 Dios, principalmente, porque estoy segura de que gracias a Él hoy estoy aquí, viviendo lo que algún día tanto soñé; a mis padres, Elkin Amaya y María Ojeda, por ser el motor de este barco; a ellos les dedico todos mis triunfos en la vida; a mis hermanos, David, Alejandra y Jhonatan, mis compañeros de alegrías y tristezas; a mis abuelos, Iván, Teresa y Celmira, por su amor infinito; a mis tíos; Margarita, por sus años de dedicación a mi formación personal y académica; a Isabel, por sus sabios consejos; a Deisy, Aide y Yuliana, por su apoyo constante en este proceso; a Alberto y Abel, por ser siempre ejemplo a seguir; a todos mis amigos, quienes fueron un apoyo incondicional, a ellos, gracias por hacer este camino más fácil de caminar; y, por último, a mi compañero de vida, Leonardo, por su paciencia y por ser mi calma en momentos difíciles.

Agradecimientos

A la Universidad de Antioquia, mi alma mater, por ser fuente de conocimiento, por formarme como Ingeniera y ciudadana, por abrirme las puertas a mí y a mi familia a soñar con un mejor futuro; a Colcerámica, donde desarrollé mis prácticas académicas y este trabajo de grado, por la confianza entregada y por dejar una huella en mi formación integral; especialmente al área de Desarrollo de Nuevos Productos (DNP), a Clara Londoño, por su guía en el proceso; a Lina Londoño, por su confianza, tiempo y su gran acogida a este espacio; a Migue, Santa, Carlos y Víctor, por ser parte fundamental en este trabajo de grado y por esos días de desayunos; a Luisito y Óscar, por su acompañamiento; a Sara, por compartir su conocimiento; y a Mariana, por ser un apoyo en esta etapa y por compartir tan gratos momentos.

Tabla de contenido

Resumen 11

Abstract 12

1. Introducción 13

2. Objetivos 15

2.1 Objetivo general 15

2.2 Objetivos específicos 15

3. Marco teórico 16

3.1 Cerámica 16

3.2 Prensado 17

3.3 Secado 17

3.4 Esmaltado a campana 17

3.5 Cocción 17

3.6 Baldosa cerámica 17

3.7 Baldosas de monococción 18

3.8 Baldosas de bicocción 18

3.9 Esmalte 18

3.10 Esmalte reactivo 18

3.11 Engobe 18

3.12 Cubierta 18

3.13 Decoración digital 19

3.14 Serigrafía 19

3.15 Pared estructurada 19

3.16 Pared plana 19

3.17 Choque térmico 19
3.18 Craquelado 19
3.19 Norma NTC 919 19
3.20 Norma NTC 4321 20
3.21 Absorción de agua 20
3.22 Resistencia al cuarteo 20
3.23 Abrasión superficial 20
3.24 Expansión térmica lineal 20
3.25 Resistencia mecánica 20
3.26 Modelos matemáticos 21
3.27 Principio de igualdad de fuerzas 21
3.28 Presión especifica 21
3.29 Contracción de la arcilla 21
4. Metodología 22
4.1 Fase 1: Desarrollo del prototipo a nivel de laboratorio 22
4.2 Fase 2: Elaboración de FT de los productos 23
4.2.1 Procedimientos para la elaboración de las fichas técnicas 24
4.3 Fase 3: Evaluación técnica del producto 28
4.3.1 Proceso de realización de pruebas técnicas: 29
3) Resultados y análisis 31
5.1. Prototipos desarrollados para paredes 31
5.2 Prototipos desarrollados para pisos 40
5.3 Fichas técnicas de los productos 43
5.4 Resultados pruebas técnicas 45

5.4.1 Absorción de agua 45
5.4.2 Expansión térmica lineal 46
5.4.3 Resistencia al cuarteo de las baldosas 47
5.4.4 Resistencia a la abrasión superficial para baldosas vidriadas 48
5.4.5 Modulo de rotura y resistencia a la flexión 50
6 Conclusiones y recomendaciones 51
7. Referencias 53

Lista de tablas

Tabla 1 Ficha técnica del producto de piso 43

Tabla 2 Ficha técnica de producto de pared 44

Tabla 3 Ficha técnica de empaque 44

Tabla 4 Clasificación del gres porcelánico de acuerdo con la norma ISO 13006-NTC 919 45

Tabla 5 Resultados de la prueba de abrasión 46

Tabla 6 Resultados de la prueba de expansión térmica lineal 47

Tabla 7 Resultados de la prueba de resistencia al cuarteo 47

Tabla 8 Resultado prueba de abrasión.....49

Tabla 9 Resultados prueba de resistencia mecánica.....50

Lista de figuras

Figura 1 Esquema del proceso de cocción del piso.....27

Figura 2 Esquema del proceso de cocción de la pared.....28

Figura 3 Prototipo 1 con aplicación serigráfica a pantalla antes de la quema 32

Figura 4 Prototipo 1 con aplicación serigráfica a pantalla después de la quema.....33

Figura 5 Prototipo 2 con aplicación de fundente en esmalte coloreado antes de la quema 34

Figura 6 Prototipo 2 con aplicación de fundente en esmalte coloreado después de la quema.....35

Figura 7 Prototipo 3 con aplicación serigráfica digital 36

Figura 8 Prototipo 3 con aplicación serigráfica digital 1 37

Figura 9 Prototipo 3 con aplicación serigráfica digital 2 38

Figura 10 Prototipo 4 con aplicación de fundente digital y esmalte reactivo 39

Figura 11 Prototipo 4 con defecto de craquelado.....40

Figura 12 Prototipo 5 con aplicación de grafica digital y cubiertas, antes de la quema 41

Figura 13 Prototipo 5 con aplicación de grafica digital y cubiertas después de la quema.....42

Figura 15 Gráfico de la prueba de dilatometría al ensayo 0 46

Figura 16 Resultado de la prueba de cuarteo 48

Figura 17 Comparación entre cubiertas sometidas a abrasión 49

Siglas, acrónimos y abreviaturas

DNP	Desarrollo de Nuevos Productos
NTC	Norma Técnica Colombiana
FT	Ficha Técnica

Resumen

El área de Desarrollo de Nuevos Productos (DNP) tiene como finalidad desarrollar productos innovadores alineados con los altos estándares de calidad y la normativa vigente para superficies cerámicas. En este contexto, este proyecto tuvo como objetivo evaluar materiales, insumos y acabados para un nuevo producto cerámico en formato cuadrado, garantizando el cumplimiento de la normatividad colombiana mediante la elaboración de prototipos a nivel de laboratorio.

En la primera fase, se desarrollaron los prototipos a nivel de laboratorio, donde se seleccionaron las materias primas y se aplicaron tratamientos superficiales como engobado, esmaltado y decoración, tanto digital como a pantalla. Este proceso permitió obtener diferentes piezas físicas como propuestas de desarrollo para la ampliación del portafolio de la planta, tanto de pisos como de paredes, que cumplieran con los estándares internos de la empresa y fueran viables para su posterior escalamiento industrial.

La segunda fase se centró en la elaboración de las fichas técnicas de los productos cerámicos, documentos esenciales para estandarizar y guiar la fabricación de placas en planta. Estas fichas técnicas consolidaron la información del producto, incluyendo información general, prensado, preparación de esmaltes, decoración, quema y empaque.

Finalmente, en la tercera fase, se realizó la validación técnica del producto mediante inspecciones del proceso después de la quema y pruebas de calidad. Se verificó el cumplimiento de la norma NTC 919, evaluando los requisitos técnicos y de desempeño esperados del producto cerámico desarrollado a nivel de laboratorio.

Palabras clave: **materias primas, prototipo, bizcocho cerámico, ntc 919, placas.**

Abstract

The New Product Development (NPD) area is responsible for developing innovative products aligned with high quality standards and current regulations for ceramic surfaces. In this context, this project aimed to evaluate materials, inputs, and finishes for a new ceramic product in a square format, ensuring compliance with Colombian regulations through the development of laboratory-scale prototypes.

In the first phase, prototypes were developed at the laboratory level, where raw materials were selected, and surface treatments such as engobing, glazing, and decoration (both digital and screen printing) were applied. This process led to the creation of various physical pieces as development proposals for expanding the plant's product portfolio, both for floor and wall tiles, meeting internal company standards and ensuring feasibility for subsequent industrial scaling.

The second phase focused on the preparation of technical data sheets for the ceramic products—essential documents used to standardize and guide the manufacturing of tiles at the plant level. These data sheets consolidated key product information, including general specifications, pressing, glaze preparation, decoration, firing, and packaging.

Finally, in the third phase, technical validation of the product was carried out through post-firing process inspections and quality testing. Compliance with NTC 919 was verified by evaluating the technical and performance requirements expected of the ceramic product developed at the laboratory level.

Keywords: raw materials, prototype, ceramic bisque, NTC 919, tiles.

1. Introducción

Corona es una multinacional colombiana con 142 años de historia empresarial, dedicada a la manufactura y comercialización de productos para el hogar, la construcción, la industria, la agricultura y el sector de la energía. Está compuesta por cuatro Divisiones de Negocios – Baños y Cocinas; Superficies, Materiales y Pinturas; Insumos Industriales y Energía; y Mesa Servida – y dos Unidades Comerciales, que son Almacenes Corona y Comercial Corona Colombia. En alianza con Cementos Molins de España, desarrolló, a través de Empresa Colombiana de Cementos y su marca de cementos ALION, el negocio para la producción y venta de cemento en Colombia.

La División de Superficies, Materiales y Pinturas está dedicada al desarrollo y fabricación de productos para la construcción y remodelación, que incluyen revestimientos (pisos, paredes y decorados), materiales de construcción (pegantes, boquillas, morteros, limpiadores, herramientas de instalación, estucos, yesos, pinturas, acabados texturizados, masillas tipo joint compound, masillas joint free, masillas para revoque en seco, masillas para acabados, aditivos para morteros, juntas, sellos e impermeabilizantes, entre otros), soluciones y sistemas constructivos que hacen más fácil y rápida la construcción, mientras se cuida y protege la salud de la familia y la del maestro de obra. (Corona, s. f.)

En la industria cerámica, el desarrollo de nuevos productos es un factor clave para la innovación y competitividad en el mercado. La demanda de formatos cerámicos diversificados y el cumplimiento de normativas técnicas exigen procesos de investigación, experimentación y validación rigurosos. En este contexto, el presente proyecto busca desarrollar un nuevo producto (piso y pared) cerámico en formato cuadrado pequeño, evaluando su viabilidad técnica y cumplimiento de la norma NTC 919.

Actualmente, la empresa Corona, en su división de superficies y dentro del área (DNP), busca incorporar un producto cerámico en un formato nuevo en su línea de producción. Para

lograrlo, es necesario llevar a cabo un proceso estructurado que garantice la funcionalidad, calidad y compatibilidad del producto con los estándares internos de la empresa. Este desarrollo no solo ampliará el portafolio de productos de la planta, sino que también aprovechará el uso de recursos de esta.

El problema por abordar radica en la necesidad de explorar diferentes insumos disponibles en la planta para proponer nuevos productos tanto para pisos como para paredes, esto para el aprovechamiento de un nuevo molde adquirido por la empresa para la producción de piezas cerámicas, y llevar a cabo el desarrollo y la validación de un nuevo producto cerámico, asegurando su correcto desempeño a nivel de laboratorio. Para ello, se establecen tres fases fundamentales en el proyecto: el desarrollo del prototipo en laboratorio, donde se seleccionan los materiales y se diseñan las piezas físicas; la elaboración de las fichas técnicas de los productos; y la validación del producto bajo la norma NTC 919, garantizando que cumpla con las exigencias técnicas en términos de resistencia, absorción de agua y resistencia al cuarteo, entre otras propiedades establecidas en la normativa.

La metodología del proyecto se basa en un enfoque mixto, desde la escala de laboratorio. Se realizan pruebas para la obtención de los parámetros de fabricación y para analizar la escalabilidad del producto. Al finalizar el estudio, se espera contar con uno o varios modelos de piso y/o pared cerámica que puedan integrarse en la producción regular de la planta, cumpliendo con los estándares de calidad exigidos por el mercado y por la empresa.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Desarrollar un nuevo producto cerámico en formato cuadrado que cumpla con los estándares de la normatividad colombiana, a partir de la elaboración del prototipo a nivel de laboratorio.

2.2 Objetivos específicos

- Desarrollar el prototipo del producto cerámico a nivel de laboratorio, mediante la evaluación de diferentes insumos y la selección de efectos y acabados, asegurando que cumpla con los estándares de desempeño y funcionalidad establecidos por la planta.

- Elaborar las fichas técnicas de los productos, documentando sus variables de operación y los ajustes requeridos para la producción del nuevo producto.

- Evaluar la calidad del producto elaborado en el laboratorio mediante pruebas técnicas que validen el cumplimiento de la norma NTC 919.

3. Marco teórico

El proceso de fabricación de baldosas cerámicas comprende una serie de etapas industriales que transforman materias primas como arcillas, feldespatos y arenas en productos cerámicos. Inicialmente, estas materias se muelen y mezclan, y luego se someten a un proceso de atomización para obtener un polvo con características adecuadas para el prensado (Reed, 1995). Tras formar la baldosa en estado crudo, se realiza un secado controlado que evita deformaciones antes de aplicar el esmalte o decoración (Singer & Singer, 1979). Posteriormente, las piezas son cocidas en hornos a temperaturas entre 1100 °C y 1200 °C, vitrificándose y adquiriendo sus propiedades finales (Kingery, Bowen & Uhlmann, 1976). Finalmente, las baldosas se clasifican, inspeccionan y empacan. Cada una de estas etapas incide en características clave como la absorción de agua, la resistencia mecánica y la expansión térmica lineal, reguladas por normas como la NTC 4321 (ICONTEC, 2021).

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. (Tuberquia Giraldo, 2023)

3.2 Prensado

El proceso de conformado más habitual y con mayor grado de implantación en la fabricación de baldosas cerámicas, el prensado es la compactación y conformado simultáneos de un polvo cerámico o material granular y se lleva a cabo confinando el material en un molde rígido o flexible y aplicando una presión elevada para lograr la compactación. (Abad Jaramillo, 2013)

3.3 Secado

El proceso de secado tiene la función de eliminar el agua de la pieza prensada, la cual que fue necesaria en el momento de su moldeo. En general, las condiciones bajo las cuales el agua es removida del recubrimiento son relativamente críticas para asegurar la integridad del producto y, por tanto, deben ser bien controladas para prevenir deformaciones o fracturas. (Restrepo Baena, O. J. 2011)

3.4 Esmaltado a campana

El esmaltado a campana es un proceso de aplicación de esmalte en polvo o en suspensión mediante un sistema de caída libre desde una campana invertida colocada sobre la línea de producción. Este método permite depositar una capa uniforme de esmalte sobre la cara superior de la pieza cerámica, garantizando eficiencia y regularidad en el recubrimiento, especialmente en productos planos como baldosas. (SACMI, 2004).

3.5 Cocción

La cocción es la etapa del proceso cerámico en la que el cuerpo conformado es sometido a altas temperaturas (entre 900 °C y 1250 °C) en un horno, lo que induce reacciones fisicoquímicas como la sinterización, la vitrificación parcial, y la eliminación de la materia orgánica y humedad residual. Esta etapa determina la resistencia mecánica, color, porosidad, y estabilidad dimensional del producto final. (Abad Jaramillo, 2013)

3.6 Baldosa cerámica

Placa delgada hecha de arcilla u otras materias primas inorgánicas, utilizada generalmente como recubrimiento para pisos y paredes. Se moldea usualmente por extrusión o prensado a temperatura ambiente, pero puede ser formada por otros procesos. (ICONTEC,2022)

3.7 Baldosas de monococción

Proceso de fabricación de baldosas cerámicas que solamente incluye un único proceso de cocción, aunque posteriormente puedan recibir otros procesos térmicos para la cocción de decoraciones a baja temperatura (menos de 900 º C). (Abad Jaramillo, 2013)

3.8 Baldosas de bicocción

Proceso de fabricación de baldosas cerámicas que incluye una primera cocción del soporte o bizcocho y una segunda cocción para el esmalte o esmaltes y decoraciones. (Abad Jaramillo, 2013)

3.9 Esmalte

Es una cubierta vitrificada por cocción y fuertemente adherida a la cara vista del cuerpo o soporte de las baldosas esmaltadas (GL). Tiene composición diferente de la del cuerpo y se aplica entre una primera y una segunda cocción (proceso de bicocción) o antes de una única cocción (proceso de monococción). La cara vista adquiere así la apariencia y las propiedades del esmalte, que pueden ser muy diferentes de las del soporte. En general, el esmalte se distingue fácilmente a simple vista o, al menos, observando una sección de la baldosa. (Barba, Beltrán, García-Ten & Sánchez, 2005)

3.10 Esmalte reactivo

Vidriado especial que produce efectos estéticos diversos durante la cocción, debido a reacciones químicas entre pigmentos y la estructura del esmalte, generando texturas y colores únicos en cada pieza.

3.11 Engobe

Es un revoque de arcilla o pasta claras con el que se cubre la cara vista de la baldosa para tapar su color más oscuro. Aunque generalmente se aplica un esmalte sobre el engobe, puede dejarse como acabado superficial, que, tras la cocción, es mate y menos impermeable y duro que el esmalte. (Barba, Beltrán, García-Ten & Sánchez, 2005)

3.12 Cubierta

Es un revestimiento superficial que se aplica a los pisos con el fin de con el fin de proteger, decorar y funcionalizar una superficie de tránsito, como pisos interiores o exteriores.

3.13 Decoración digital

Método de decoración que utiliza impresión digital directa sobre la baldosa, aplicando tintas cerámicas controladas por ordenador sobre la superficie esmaltada o cruda, lo que permite diseños personalizados y alta resolución.

3.14 Serigrafía

La serigrafía es un procedimiento de decoración cerámica que utiliza una malla tensada y una rasqueta para transferir esmaltes o pigmentos cerámicos sobre la superficie de la pieza, logrando una reproducción precisa del diseño. (Martínez Vela, 2005)

3.15 Pared estructurada

Superficie con relieve o textura visible, utilizada para generar efecto tridimensional.

3.16 Pared plana

Superficie sin relieve, caracterizada por tener una superficie continua y lisa.

3.17 Choque térmico

Tensiones internas generadas en una cerámica debido a cambios bruscos de temperatura durante la cocción o enfriamiento, que pueden causar grietas o fracturas. (Meng et al., 2024)

3.18 Craquelado

Es un defecto superficial que se manifiesta como una red de finas grietas o fisuras en la capa de esmalte de una pieza cerámica. Estas grietas ocurren generalmente cuando hay una diferencia significativa en la contracción térmica entre la pasta y el esmalte durante el enfriamiento, lo que genera tensiones internas que el recubrimiento vítreo no puede resistir. (Hamer & Hamer, 2004)

3.19 Norma NTC 919

La NTC 919 es una norma técnica colombiana que establece las definiciones, métodos de clasificación, características físicas y mecánicas mínimas, y los requisitos de rotulado que deben cumplir las baldosas cerámicas utilizadas como revestimientos de pisos y paredes.

Esta norma adopta los lineamientos de la norma internacional **ISO 13006**, y agrupa las baldosas según el método de conformado (extrusión o prensado en seco), tipo de superficie

(esmaltada o no), y absorción de agua (E), lo cual permite clasificarlas en **grupos AI, AIIa, AIIb, AIII, BIa, BIb y BII**. (ICONTEC, 2024)

3.20 Norma NTC 4321

La NTC 4321 es una serie de normas técnicas que describe los métodos de ensayo estandarizados para evaluar las propiedades físicas, químicas y mecánicas de las baldosas cerámicas. Cada parte de esta norma corresponde a una prueba específica y detalla el procedimiento, equipo requerido, condiciones de ensayo y criterios de interpretación de resultados. (ICONTEC, 2024)

3.21 Absorción de agua

Esta prueba indica el porcentaje de agua absorbida por una baldosa cerámica al ser sumergida. Es un indicador de su porosidad y se utiliza para clasificar las baldosas (e.g. $E \leq 0.5\%$, 3%, 10%). Esta prueba es la 4321-3 de la norma NTC 919. (ICONTEC,2022)

3.22 Resistencia al cuarteo

Es la capacidad de una baldosa cerámica para resistir la formación de microfisuras o "cuarteaduras" en la superficie esmaltada debido a tensiones térmicas o incompatibilidades entre el cuerpo y el esmalte. El equipo utilizado para este chequeo es un autoclave. (ICONTEC,2022)

3.23 Abrasión superficial

La resistencia a la abrasión superficial de baldosas esmaltadas se determina mediante un ensayo rotacional con carga y abrasivo, clasificando el producto según el grado de desgaste observado (ICONTEC,2022)

3.24 Expansión térmica lineal

Define el procedimiento estandarizado para medir el coeficiente de expansión térmica lineal de baldosas cerámicas entre temperatura ambiente y 100 °C. Los equipos utilizados para este ensayo son un dilatómetro y un pie de rey. (ICONTEC,2022)

3.25 Resistencia mecánica

La prueba de resistencia mecánica, también conocida como resistencia a la flexión o módulo de rotura s un ensayo que determina la capacidad de una baldosa cerámica para soportar cargas sin

romperse. Esta propiedad es clave para garantizar la durabilidad y seguridad del producto en su uso final, especialmente en aplicaciones de alto tráfico. (ICONTEC,2022)

3.26 Modelos matemáticos

Un modelo matemático es una representación simbólica de un sistema real, expresada mediante ecuaciones, funciones o relaciones lógicas, que permite describir, analizar o predecir su comportamiento.

3.27 Principio de igualdad de fuerzas

En prensado cerámico, Se refiere a la relación matemática que asegura igualdad o equilibrio entre esfuerzos durante el modelado mecánico del polvo cerámico, estableciendo condiciones de densificación uniforme frente a fuerzas de conformación. Este principio es utilizado en la formulación de sistemas constitutivos en modelos viscoplásticos de compactación. (Kempen, Piccolroaz, & Bigoni, 2019)

3.28 Presión especifica

En prensado cerámico, el término técnico que alude a la presión aplicada por unidad de área durante la conformación en seco o prensado del polvo cerámico. Es clave controlar este parámetro para optimizar la densidad final y evitar defectos como zonas de baja compactación. (Penasa et al., 2016)

3.29 Contracción de la arcilla

La contracción de la arcilla es la reducción de volumen que experimenta una pieza cerámica durante el secado y la cocción. Esta contracción ocurre en dos etapas principales:

- Contracción por secado: debido a la pérdida de agua física cuando el material pasa del estado plástico a seco.
- Contracción por cocción (sinterización): ocurre por el reacomodo de partículas y vitrificación a altas temperaturas. El control de esta contracción es fundamental para evitar deformaciones, grietas o tensiones internas en el producto final.

4. Metodología

El desarrollo de este proyecto se basó en una metodología de enfoque mixto, utilizando herramientas cuantitativas y cualitativas. Desde lo cuantitativo, se recopilaron y analizaron datos numéricos como la presión de prensado, los tiempos y temperaturas de cocción, así como los resultados obtenidos en pruebas técnicas estandarizadas según la Norma Técnica Colombiana NTC 919. Estos datos permitieron evaluar el desempeño técnico del producto. Al mismo tiempo, se aplicó un enfoque cualitativo en aspectos como la selección de acabados, la apreciación estética de los prototipos y la identificación de posibles defectos superficiales; aspectos que, aunque no siempre son medibles, resultan fundamentales para valorar la viabilidad comercial del producto. La metodología se estructuró en tres fases: primero, el desarrollo del prototipo a nivel de laboratorio; luego, la elaboración de fichas técnicas que consolidan los parámetros del proceso; y, finalmente, la evaluación técnica del producto terminado.

4.1 Fase 1: Desarrollo del prototipo a nivel de laboratorio

En esta etapa se llevó a cabo el diseño y la experimentación inicial del nuevo producto, centrado en la evaluación de materias primas, recubrimientos y decoraciones. Las principales actividades incluyeron:

- Selección de materias primas: para los ensayos de piso se utilizó la pasta piso roja, y para los ensayos de pared, la pasta pared blanca. Ambas materias primas se encuentran activas en la planta de producción.
- Obtención del bizcocho: se utilizaron bizcochos provenientes de una quema previa, suministrados por el laboratorio del área de Desarrollo de Nuevos Productos (DNP).
- Aplicación del engobe: se seleccionó el engobe E1 para los pisos y el engobe E3 para las paredes. Se aplicó manualmente mediante la técnica de pistola sobre 25 piezas destinadas a piso y 35 piezas destinadas a pared.
- Selección de esmalte: se seleccionó el esmalte E0 para los pisos y para las paredes esmalte E7.

- Decoraciones: entre las decoraciones hechas se realizó la aplicación de la gráfica digital que lleva el producto del piso, la selección de esta gráfica fue hecha de la base de datos del área, para los prototipos de paredes se aplica serigrafía digital, fundente digital y fundente a pantalla sobre esmaltes coloreados y granilla 1100.
- Cubiertas: se utilizaron tres cubiertas diferentes para piso: cubierta 0, 1 y 2. Las paredes no llevan cubierta.

4.2 Fase 2: Elaboración de FT de los productos

En esta etapa se elaboraron dos fichas técnicas: una para el prototipo de piso y otra para el de pared. El objetivo fue establecer un consolidado que permitiera verificar cómo sería el proceso de los productos en un escenario de producción en planta. Para esto, se tuvieron en cuenta los parámetros estándar de operación de los equipos principales del proceso. Aunque estas fichas no corresponden aún a una configuración final, representan un primer acercamiento técnico necesario en caso de que alguno de los diseños sea aprobado por el área de Mercadeo. De esta forma, se facilita una posible transición del laboratorio a la línea de producción, permitiendo proyectar condiciones de proceso con mayor claridad.

- Prensa: se calcularon los valores de presión de compactación de acuerdo con el tipo de pasta seleccionada, asegurando la densidad y resistencia requeridas para cada aplicación.
- Secadero: se mide y evalúa la temperatura a la que la pieza debe realizar el secado para conseguir una humedad residual necesaria del proceso de acuerdo con la pasta utilizada.
- Esmaltado: se elige el tipo de esmaltado y se realizan los cálculos necesarios para obtener las cantidades de esmalte y engobe a aplicar.
- Horno (entrada y salida): se elige de la curva de quema de la pieza para cumplir la normatividad establecida.
- Empaque: se elige la caja que permita la preservación (transporte y almacenamiento) del producto, cumpliendo las normativas ergonómicas vigentes.

4.2.1 Procedimientos para la elaboración de las fichas técnicas

Cálculo de presiones

Desarrollo del procedimiento para el cálculo de las variables críticas en el proceso de producción de la pieza tanto para pasta piso como para pasta pared

Cálculo de la presión de prensado de la pasta piso:

El proceso de prensado se da en 3 movimientos: desaireación (1er y 2da prensada) y conformado (3ra prensada), en este proceso existen dos variables muy importantes las cuales son: la presión especifica y la humedad que dependen directamente de la pasta que se esté utilizando, la pasta piso tiene una contracción del 4% y la pasta pared una contracción del 2% en todo el proceso; incluyendo secado y quema.

Datos:

Presión especifica pasta piso = $288\,\frac{KgF}{cm^2}$

Presión especifica pasta pared = $324\,\frac{KgF}{cm^2}$

Cálculo de la presión manométrica de prensado:

Área del pistón de la prensa =$1964\ cm^2$

Área de prensado = $1465\ cm^2$

Planteamiento del equilibrio de fuerzas

$$\sum F = 0 \qquad \textit{Ecuación 1}$$

Se parte del principio de equilibrio estático, donde la fuerza ejercida por el pistón debe ser igual a la fuerza ejercida sobre el molde. Esto se expresa como:

$$F_{piston} = F_{molde} \qquad \textit{Ecuación 2}$$

Definición de presión: la presión es la relación entre la fuerza aplicada y el área sobre la cual actúa:

$$P = \frac{F}{A} \qquad \textit{Ecuación 3}$$

Se igualan las expresiones de presión ejercida por el sistema hidráulico (pistón) y la presión requerida sobre el molde del producto cerámico:

$$P_{manométrica} \cdot A_{pistón} = P_{específica} \cdot A_{molde} \qquad \textit{Ecuación 4}$$

Donde,

$P_{manométrica}$: $es\ la\ presion\ que\ genera\ el\ sistema\ hidraulico$

$A_{pistón}$: $es\ el\ area\ del\ piston$

$P_{específica}$: $es\ la\ presión\ específica\ requerida\ para\ prensar\ la\ pasta\ cerámica.$

A_{molde}: $es\ el\ area\ del\ molde$

Despejando hallamos la presión manométrica para el prensado de la pasta piso

$$P_{man} = \frac{P_{esp} \cdot A_{molde}}{A_{piston}} \qquad \textit{Ecuación 5}$$

Entonces:

$$P_{man,piso} = \frac{288 \frac{KgF}{cm^2} * 1465\ cm^2}{1964\ cm^2} = 214{,}83\ \frac{KgF}{cm^2} \quad \textit{Ecuación 6}$$

Ahora, utilizando la ecuación 6 hallada de la presión manométrica para el piso, reemplazamos la presión específica para la pasta pared y se calcula:

$$P_{man,pared} = \frac{324\frac{KgF}{cm^2} * 1465\ cm^2}{1964\ cm^2} = 241{,}68\ \frac{KgF}{cm^2} \qquad \textit{Ecuación 7}$$

Temperatura de secado

La temperatura de secado es importante ya que esta etapa prepara la pieza para el esmaltado, el porcentaje de la humedad residual debe ser menor al 1% y la temperatura del secadero debe estar entre 95 y 110 C.

$$Humedad\ residual(\%) = \frac{masa\ pieza\ humeda - masa\ pieza\ seca}{masa\ pieza\ seca} * 100 \quad \textit{Ecuación 8}$$

Aplicación de engobe y esmalte

Para estimar la cantidad de engobe y esmalte requeridos en el nuevo formato, se toma como referencia la aplicación realizada sobre un formato diferente. A partir de los datos obtenidos en ese formato base, se realiza un escalado proporcional según el área de la baldosa, con el fin de mantener la misma cantidad de material aplicado por unidad de superficie (g/m²).

$$g\ por\ pieza\ (formato\ nuevo) = \left(\frac{g\ aplicados}{área\ formato\ base}\right) \cdot área\ formato\ nuevo \quad \textit{Ecuación 9}$$

Curva horno 1 para pasta piso y pared

Las piezas fueron sometidas al proceso de quema en un horno de rodillos de aproximadamente 70 metros de longitud, en el cual se controlan cuidadosamente la temperatura y

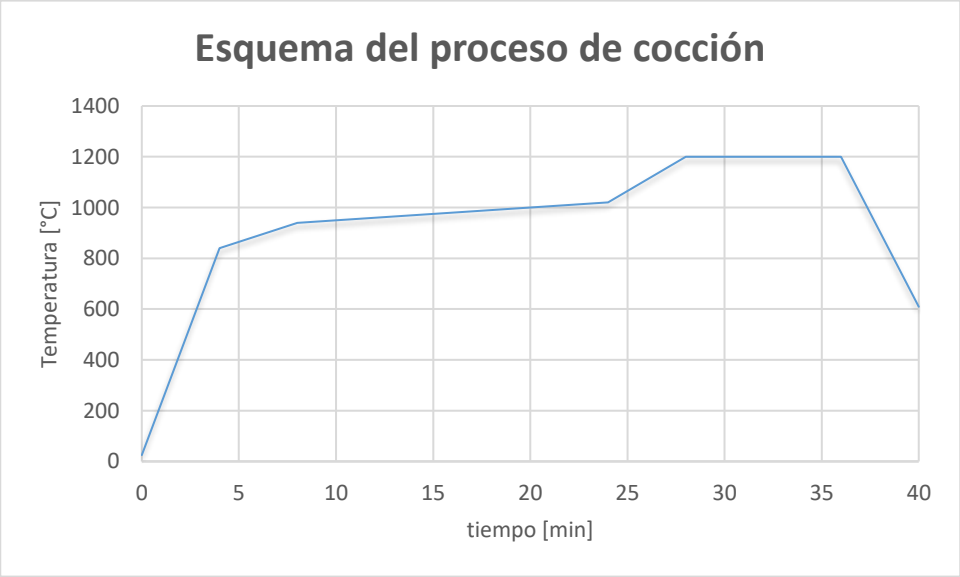
el tiempo de residencia para garantizar el desarrollo óptimo de las propiedades físico-mecánicas del producto cerámico.

Para el producto de piso, se utilizó una temperatura máxima de 1200 °C con un tiempo total de ciclo de 40 minutos. Estas condiciones permiten alcanzar la densificación adecuada de la pasta y la maduración del esmalte, asegurando buena resistencia mecánica, baja porosidad y estabilidad dimensional. La curva térmica fue diseñada para garantizar una subida progresiva de temperatura, una meseta de maduración suficiente y un enfriamiento controlado, evitando tensiones internas.

En el caso del producto de pared, se aplicó una temperatura máxima de 1110 °C con un ciclo de 35 minutos, lo cual se debe a los requerimientos de una pasta más porosa y liviana. Esta temperatura más baja y ciclo ligeramente más corto permiten una cocción eficiente sin sobremadurar el esmalte ni deformar la pieza.

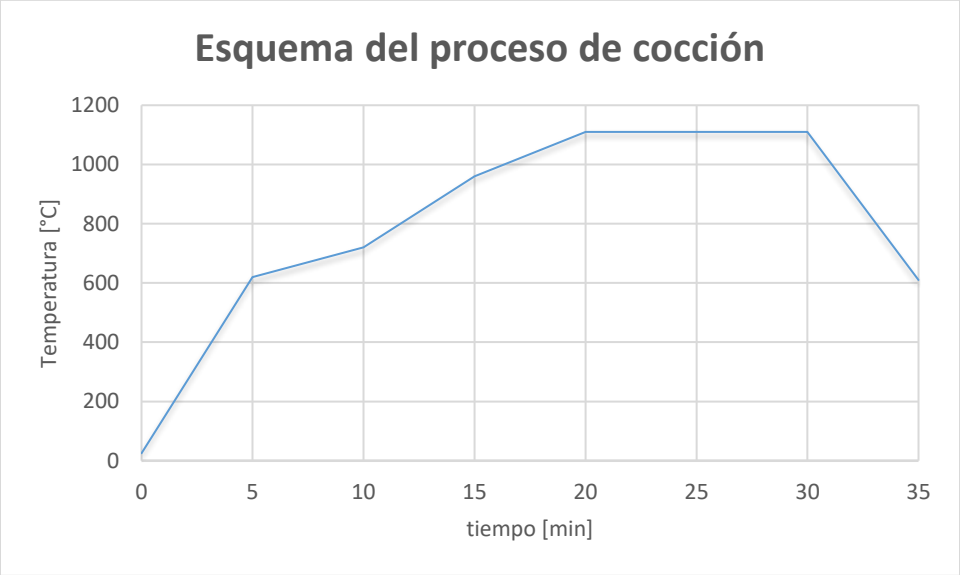
Figura 1

Esquema del proceso de cocción del piso



Entre los [0-24] min se da el precalentamiento, entre los [24-36]min se da la cocción y entre los [36-40]min se da el enfriamiento

Figura 2
Esquema del proceso de cocción de la pared



Entre los [0-20] min se da el precalentamiento, entre los [20-30]min se da la cocción y entre los [30-35]min se da el enfriamiento

Empaques

Se identificó que la unidad de venta corresponde a una caja con un peso neto de 6,16 kg y un peso de empaque de 0,14 kg, lo que garantiza su manipulación dentro de los límites ergonómicos establecidos por la norma ISO 11228. El empaque presenta dimensiones de 21 x 13,7 x 13,3 cm, permitiendo un transporte y almacenamiento eficiente. Asimismo, se estableció que cada unidad de empaque contiene 28 unidades, y la configuración de estiba corresponde a 120 x 100 x 15 cm, optimizando la distribución logística en cumplimiento con la NTC 4321.

4.3 Fase 3: Evaluación técnica del producto

En esta fase se llevó a cabo la evaluación técnica del prototipo de piso, con el fin de conocer su comportamiento frente a las exigencias físicas propias de este tipo de producto. Las pruebas realizadas, conocidas como pruebas de producto terminado, permitieron verificar si el diseño

desarrollado cumplía con los estándares de calidad establecidos por la norma. En total, se evaluaron cinco aspectos clave: la resistencia al cuarteo (Norma NTC 4321-11), que permite identificar posibles fisuras en el esmalte provocadas por variaciones térmicas; la absorción de agua (Norma NTC 4321-3), que determina el nivel de porosidad de la pieza y su clasificación técnica; la expansión térmica lineal (Norma NTC 4321-8), que indica cómo reacciona la baldosa ante cambios de temperatura; la resistencia a la abrasión (Norma NTC 4321-7), esencial para garantizar la durabilidad del acabado superficial frente al uso; y finalmente, el módulo de rotura y resistencia a la flexión (Norma NTC 4321-4), que mide la capacidad estructural de la baldosa para soportar cargas sin fracturarse.

4.3.1 Proceso de realización de pruebas técnicas:

a. Absorción de Agua: Norma NTC 4321-3

- Se seleccionó 1 piezas de cada uno de los prototipos de piso obtenidos
- Se secaron en una estufa a 120°C durante una (1) hora
- Se dejaron enfriar y se pesaron (P_1)
- Se introdujeron las piezas en agua hirviendo durante dos horas
- Se pasaron a agua fría durante una hora
- Se escurrieron y se pesaron (P_2)
- Por diferencia de pesos, se obtuvo el porcentaje de absorción de agua de cada pieza

b. Expansión térmica lineal: Norma NTC 4321-8

- Se seleccionó 1 piezas de cada uno de los prototipos de piso obtenidos
- Se tomaron las muestras y se cortaron del centro de la pieza hasta obtener barras de 2 pulgadas de longitud

- Se secaron las barras obtenidas a una temperatura de 110°C durante 20 minutos
- Se realizó la curva de dilatación en el dilatómetro

c. Resistencia al cuarteo de las baldosas: Norma NTC 4321-11

- Se seleccionó 1 piezas de cada uno de los prototipos de piso obtenidos
- Se observó que las piezas a chequear no tuvieran defectos visibles
- Se colocaron las piezas en el equipo autoclave, se selló y encendió el equipo
- Se incrementó la presión hasta alcanzar 125 psi, las piezas se sometieron a esta presión durante 2 horas
- Se dejó enfriar la autoclave y se retiraron las piezas
- Se hizo prueba con tinta para sellos
- Se examinaron las piezas para detectar posibles cuarteos

d. Resistencia a la abrasión superficial para baldosas vidriadas: Norma NTC 4321-7

- Se seleccionó 1 piezas de cada uno de los prototipos de piso obtenidos
- Se realizó la carga de 70g de bolas de acero de un diámetro de 5mm
- Se realizó la carga de 52,5g de bolas de acero de un diámetro de 3mm
- Se realizó la carga de 43,75g de bolas de acero de un diámetro de 2mm
- Se realizó la carga de 8,75g de bolas de acero de un diámetro de 1mm
- Se cargaron 3g de corindón blanco de granulometría 185 micras malla 80
- 20 ml de agua desionizada
- Se realizaron los ciclos de abrasión en las muestras. Con una velocidad de rotación de 300rpm
- Se secaron las piezas a 110 °C

e. Módulo de rotura y resistencia a la flexión: Norma NTC 4321-4

- Se seleccionó 1 piezas de cada uno de los prototipos de piso obtenidos
- Se midió el espesor, ancho y lado más largo
- Se ingresaron las medidas de cada pieza en el equipo
- Se accionó la maquina hasta que se rompieron las piezas
- Se tomó el valor de la resistencia

3) Resultados y análisis

5.1. Prototipos desarrollados para paredes

- **Prototipo 1**

Como resultado del desarrollo experimental para productos tipo pared, se obtuvo el Prototipo 1, compuesto por un conjunto de 12 piezas con variaciones cromáticas en tonos naranja, azul, verde y rosa. Estas piezas fueron elaboradas mediante la aplicación de esmaltes coloreados y el uso de serigrafía a pantalla como técnica decorativa, lo que permitió generar una propuesta estética con diversidad visual y coherencia compositiva, manteniendo los parámetros técnicos definidos en el proceso.

Figura 3

Prototipo 1 con aplicación serigráfica a pantalla antes de la quema

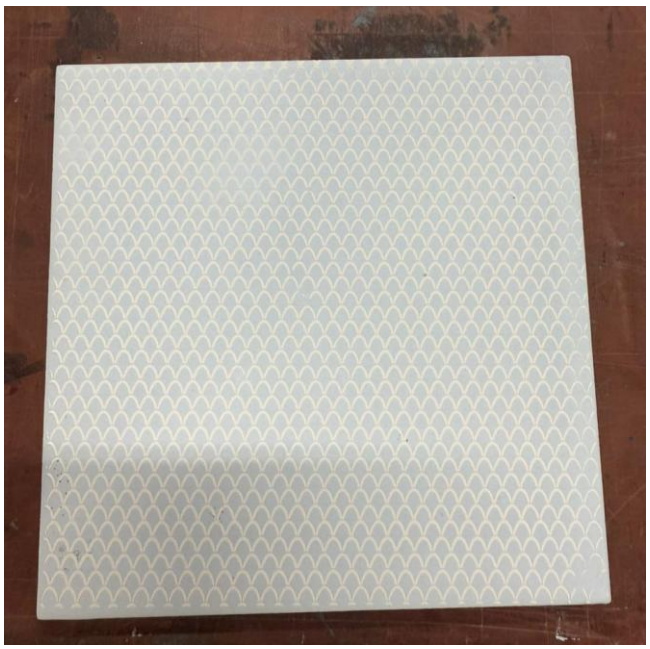


Figura 4
Prototipo 1 con aplicación serigráfica a pantalla después de la quema



- **Prototipo 2**

Como parte del desarrollo del Prototipo 2, se obtuvieron nueve piezas decoradas mediante la aplicación de fundente en máquina digital, sobre una base de esmaltes coloreados en tonalidades rosa, azul y naranja. Esta combinación permitió explorar interacciones visuales y efectos de fusión entre el fundente y los esmaltes, generando superficies con variaciones cromáticas y potencial decorativo, bajo condiciones reproducibles en línea industrial.

Figura 5

Prototipo 2 con aplicación de fundente en esmalte coloreado antes de la quema



Figura 6
Prototipo 2 con aplicación de fundente en esmalte coloreado después de la quema



- **Prototipo 3**

En el desarrollo del Prototipo 3 se obtuvieron seis piezas decoradas, de las cuales tres fueron intervenidas con serigrafía digital 1 y las otras tres con serigrafía digital 2. En ambas variaciones se empleó granilla tipo 1 como componente decorativo y se utilizó el esmalte de pared E1 como base. Esta configuración permitió evaluar el comportamiento estético y técnico de diferentes serigrafías digital en combinación con esmalte y granilla, bajo condiciones de aplicación comparables.

Figura 7
Prototipo 3 con aplicación serigráfica digital



Figura 8

Prototipo 3 con aplicación serigráfica digital 1

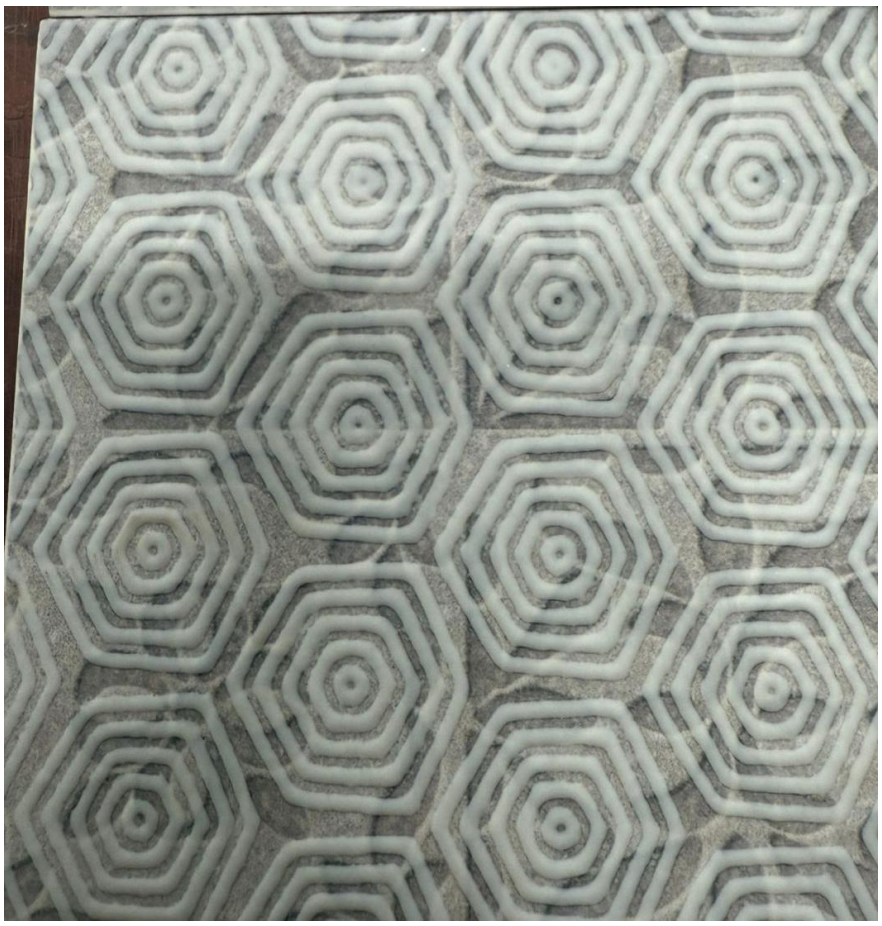


Figura 9
Prototipo 3 con aplicación serigráfica digital 2



- **Prototipo 4**

El Prototipo 4 estuvo conformado por seis piezas a las cuales se aplicó un fundente digital, seguido de un esmalte reactivo como capa final. Esta combinación fue evaluada por su nivel decorativo y comportamiento en cocción. Sin embargo, este fue el único ensayo en el que se presentó un defecto visible en el producto final: craquelado, caracterizado por la aparición de microfisuras en la superficie del esmalte, atribuibles a incompatibilidades en los coeficientes de expansión térmica entre el cuerpo cerámico y el recubrimiento vítreo. Este resultado permitió

identificar limitaciones en la combinación específica de materiales utilizados para este prototipo, cabe aclarar que este esmalte reactivo empleado se encuentra actualmente en fase de investigación por parte del área técnica, y es posible que la aparición del defecto también esté relacionada con la curva y ciclo de quema utilizados ya que son diferente a las utilizadas en estas investigaciones.

Figura 10

Prototipo 4 con aplicación de fundente digital y esmalte reactivo

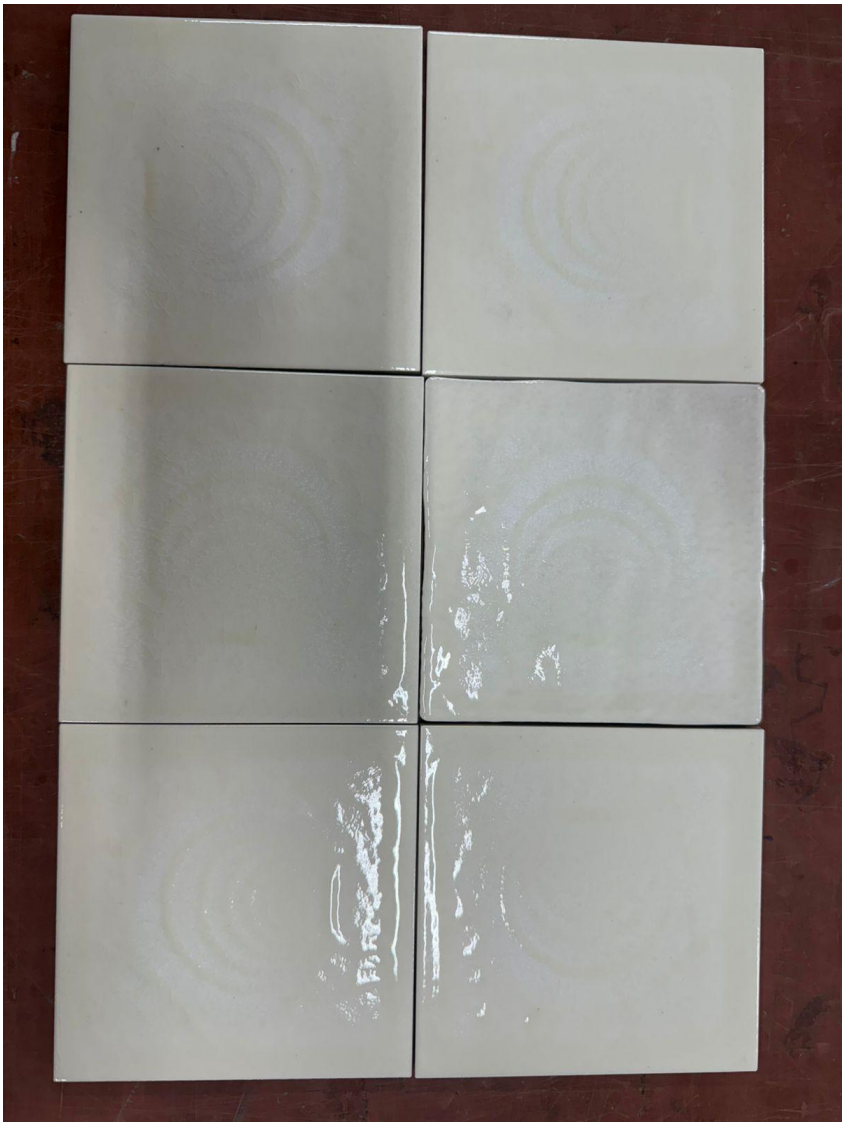


Figura 11
Prototipo 4 con defecto de craquelado



5.2 Prototipos desarrollados para pisos

- **Prototipo 5**

El Prototipo 5 estuvo conformado por 24 piezas a las cuales se les aplicó el engobe E1 y el esmalte E0, ambos insumos utilizados en productos de piso. A todas las piezas se les aplicó una

misma gráfica digital, con el fin de mantener una base visual constante para evaluar el comportamiento de diferentes cubiertas. Posteriormente, se aplicaron tres cubiertas distintas: C0, C1 y C2, cada una sobre ocho piezas. Tras la cocción, se observaron diferencias notables en el acabado superficial. En términos de brillo, las cubiertas presentaron un comportamiento progresivo, siendo la C0 la de menor brillo y la C2 la de mayor, evidenciando un gradiente ascendente. En cuanto a textura y tacto, la cubierta C0 se caracterizó por una superficie más rígida y opaca, mientras que la C1 ofreció una sensación más suave al tacto en comparación con la C0, y la C2 fue la que presentó la mayor suavidad entre las tres. Estos resultados permitieron evaluar el impacto del tipo de cubierta en las propiedades estéticas del producto final.

Figura 12
Prototipo 5 con aplicación de grafica digital y cubiertas, antes de la quema

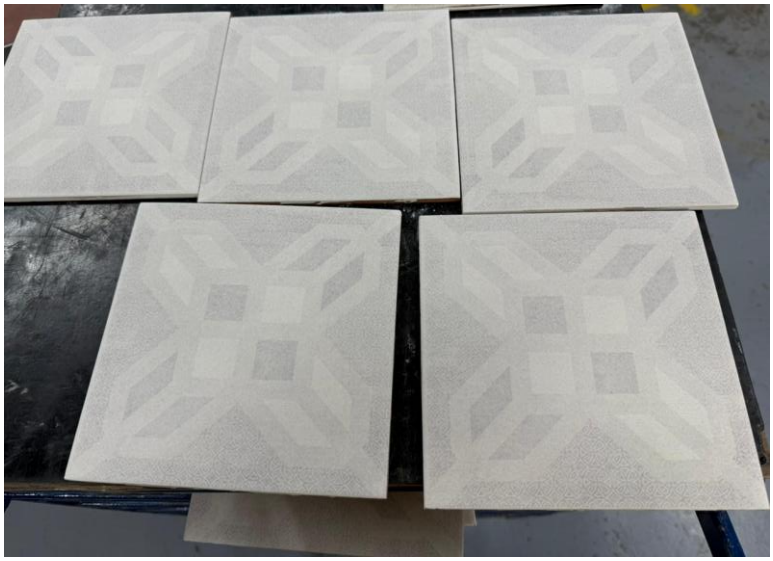


Figura 13

Prototipo 5 con aplicación de grafica digital y cubiertas después de la quema



5.3 Fichas técnicas de los productos

Tabla 1

Ficha técnica del producto de piso

FICHA TECNICA DE PRODUCTOS			
INFORMACIÓN			
NOMBRE	PROTOTIPO 5	FECHA	5/07/2025
LADO CORTO (cm)	-	MARCA	CORONA
LADO LARGO (cm)	-	EMPAQUE	19281
REFERENCIA	1	TECNICA	DIGITAL
UNIDADES BALDOSA	1	CARA MURO	CORONA
VENTA	m2	N° PIEZAS	8
PRENSADO		**ESMALTE**	
FORMATO	-	TIPO	E0
HUMEDAD	1	TECNICA	CAMPANA
PESO PIEZA CRUDA	-	CANTIDAD [g]	20
PRESION MANOMETRICA KgF/cm2		**ENGOBE**	
PRIMERA PRENSADA	-	TIPO	E1
SEGUNDA PRENSADA	-	TECNICA	CAMPANA
TERCERA PRENSADA	214,83	CANTIDAD [g]	20
TEMPERATURA DE SECADERO [C]	95	**CUBIERTA**	
QUEMA		TIPO	1
CURVA [C]	1200	TECNICA	-
CICLO [min]	35	CANTIDAD [g]	5

Tabla 2

Ficha técnica de producto de pared

FICHA TECNICA DE PRODUCTOS			
INFORMACIÓN			
NOMBRE	PROTOTIPO 1	FECHA	5/07/2025
LADO CORTO (cm)	-	MARCA	CORONA
LADO LARGO (cm)	-	EMPAQUE	19280
PASTA	PASTA PARED	TECNICA	DIGITAL
UNIDADES BALDOSA	1	CARA MURO	CORONA
VENTA	m2	N° PIEZAS	12
PRENSADO		**ESMALTE**	
FORMATO	-	TIPO	E7
HUMEDAD	4	TECNICA	CAMPANA
PESO PIEZA CRUDA	-	CANTIDAD [g]	20
PRESION MANOMETRICA KgF/cm2		**ENGOBE**	
PRIMERA PRENSADA	-	TIPO	E3
SEGUNDA PRENSADA	-	TECNICA	CAMPANA
TERCERA PRENSADA	241,68	CANTIDAD [g]	20
TEMPERATURA DE SECADERO [C]	95	**CUBIERTA**	
QUEMA		TIPO	0
CURVA [C]	1110	TECNICA	-
CICLO [min]	40	CANTIDAD [g]	5

Tabla 3

Ficha técnica de empaque

FICHA TECNICA DE EMPAQUE					
INFORMACION					
NOMBRE	Nuevo Formato		**CODIGO**	123456789	
FORMATO [cmxcm]	-		**PESO NETO CAJA [Kg]**	6,16	
MARCA	CORONA		**PESO EMPAQUE [Kg]**	0,14	
UNIDAD DE VENTA	CAJA		**UNIDAD DE EMPAQUE**	28	
DIMENSIONES DE ESTIBA			**DIMENSIONES DE EMPAQUE**		
LARGO [cm]	**ANCHO [cm]**	**ALTO [cm]**	**LARGO [cm]**	**ANCHO [cm]**	**ALTO [cm]**
120	100	15	21	13,7	13,3

5.4 Resultados pruebas técnicas

5.4.1 Absorción de agua

Para la realización de esta prueba se tomó una muestra representativa de cada tipo de cubierta, utilizando únicamente un fragmento de cada baldosa y no la pieza completa. Esta condición explica las variaciones observadas en los pesos registrados durante el ensayo.

$$Absorción\ [\%] = \left(\frac{m_h - m_s}{m_s}\right) x\ 100 \qquad Ecuación\ 10$$

Donde,

m_h: masa de la muestra saturada con agua (después de la prueba), en gramos.

m_s: masa de la muestra seca (antes de la prueba), en gramos.

Tabla 4

Clasificación del gres porcelánico de acuerdo con la norma ISO 13006-NTC 919

Conformado	Absorción de Agua							
	GRUPO I ≤ 3%	Antigua En	GRUPO IIA 3% - 6%	Antigua En	GRUPO IIB 6% - 10%	Antigua En	GRUPO III >10%	Antigua EN
A Extrusión	GRUPO AI	En 121	GRUPO AIIa$_1$	EN 186/1	GRUPO AIIb$_1$	EN 187/1	GRUPO AIII	EN 188
			GRUPO AIIa$_2$	EN 186/2	GRUPO AIIb$_2$	EN 187/2		
B Prensado en seco	GRUPO BIa ≤ 0,5%	EN 176	GRUPO BIIa	EN 177	GRUPO BIIb	EN 178	GRUPO BIII	EN 159
	GRUPO BIb 0,5% - 3%							

Nota: Fuente https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3406 (Ríos Rendón, 2009, p. 58).

Tabla 5
Resultados de la prueba de abrasión

Tipo de cubierta	Peso de la pieza antes de la prueba [g]	Peso de la pieza después de la prueba[g]	Porcentaje de absorción [%]	Clasificación
Cubierta 0	194,13	211,86	9.13	Grupo BIIb
Cubierta 1	293,66	316,50	7,77	Grupo BIIb
Cubierta 2	257,80	279,07	8,25	Grupo BIIb

5.4.2 Expansión térmica lineal

La prueba de expansión térmica lineal, establecida por la Norma Técnica Colombiana NTC 4321-8 (equivalente a la ISO 10545-8), permite evaluar el comportamiento dimensional de una baldosa cerámica frente a incrementos de temperatura. En este estudio, dicha prueba se aplicó a una muestra representativa por cada tipo de cubierta en los pisos.

Figura 14
Gráfico de la prueba de dilatometría al ensayo 0

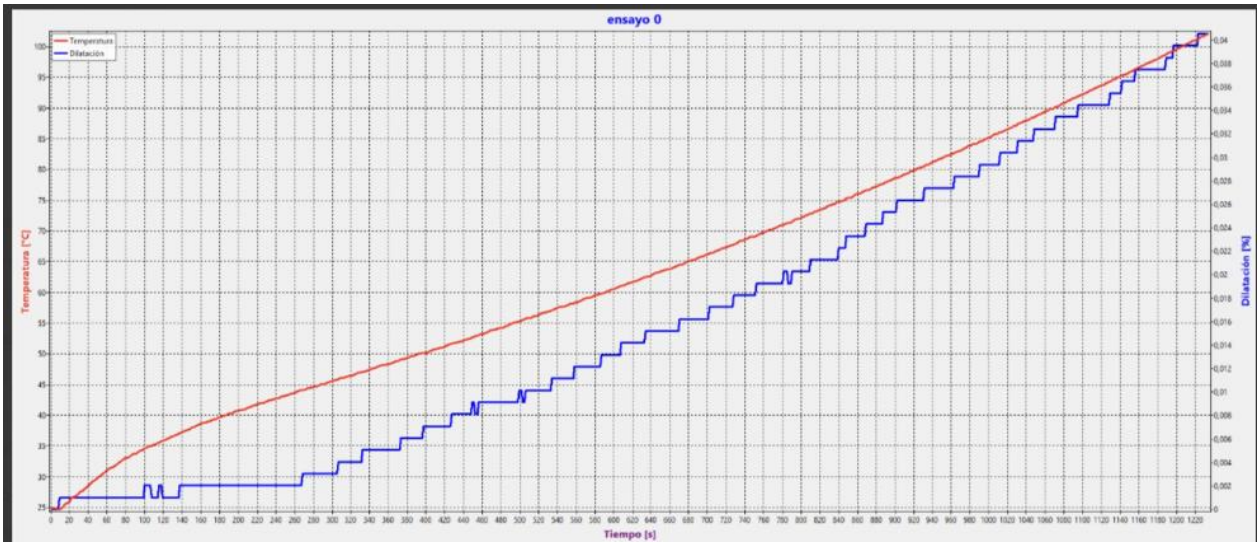


Tabla 6
Resultados de la prueba de expansión térmica lineal

Tipo de cubierta	Longitud inicial [mm]	[%] expansión	Longitud final [mm]	Temperatura inicial [°C]	Temperatura final [°C]	Coef. exp térmica líneal [10-6/°C]
Cubierta 0	49,90	0,0395	49,92	25	100	5,26E-06
Cubierta 1	48,95	0,034	48,96	25	100	4,53E-06
Cubierta 2	48,97	0,04237	48,9	25	100	5,65E-06

Los coeficientes de expansión térmica lineal obtenidos para las cubiertas evaluadas se encuentran dentro del rango esperado $[4 \cdot 10^{-6}, 9 \cdot 10^{-6}]$ para baldosas de tipo poroso o semiporoso, estos resultados indican un comportamiento térmico estable durante el incremento de temperatura de 25 °C a 100 °C.

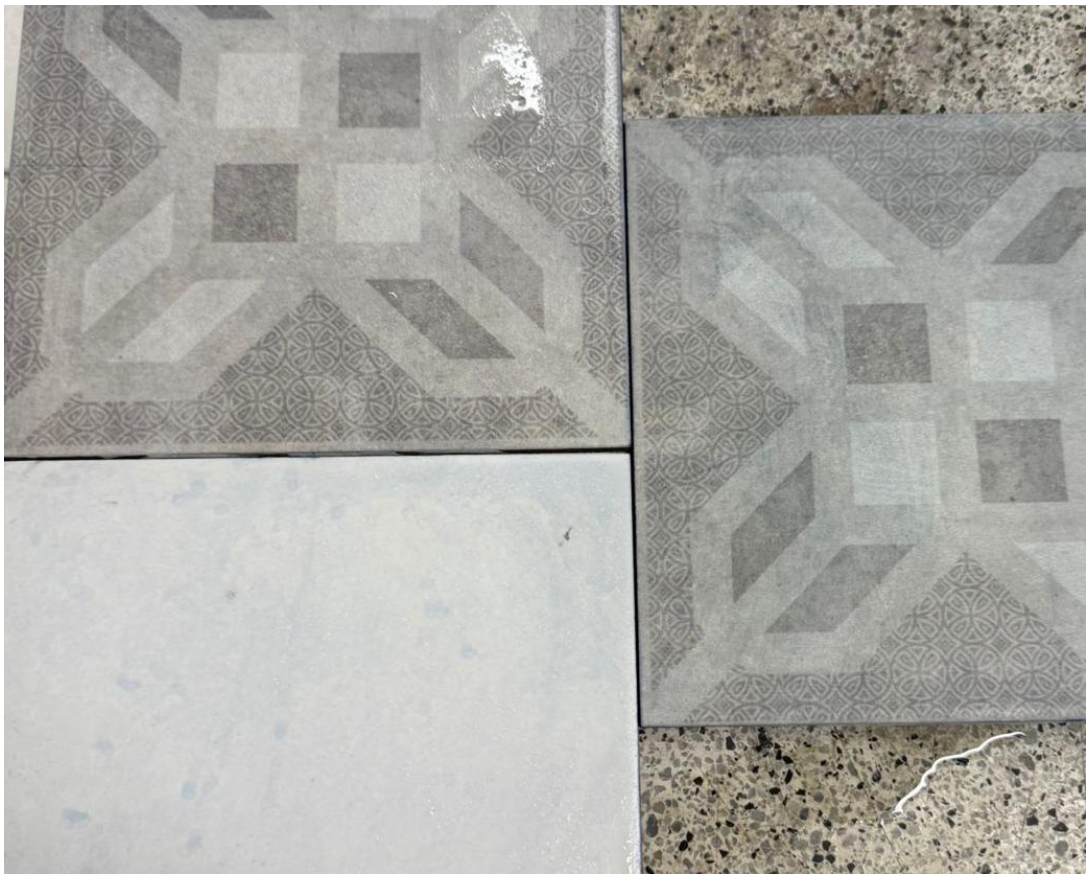
5.4.3 Resistencia al cuarteo de las baldosas

La prueba de resistencia al cuarteo permitió evaluar el comportamiento de las piezas frente a condiciones críticas de presión y temperatura. Se tomó una muestra por tipo de cubierta (C0, C1 y C2), sometida a dos ciclos controlados de ensayo. En todos los casos, no se presentaron fisuras ni microgrietas, lo que indica buena compatibilidad entre el cuerpo cerámico y los recubrimientos aplicados.

Tabla 7
Resultados de la prueba de resistencia al cuarteo

Tipo de cubierta	Temperatura [°C]	Presión [Psi]	Tiempo [h]	Ciclos de cuarteo	Resultado
Cubierta 0	160	125	2	2	Sin cuarteo
Cubierta 1					
Cubierta 2					

Figura 15
Resultado de la prueba de cuarteo



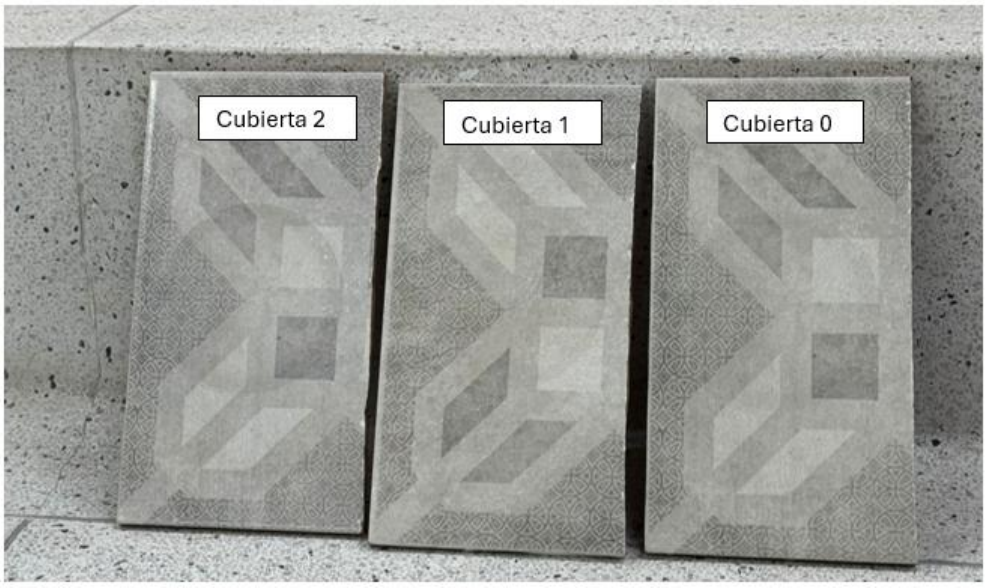
5.4.4 Resistencia a la abrasión superficial para baldosas vidriadas

Aunque los tres ensayos con diferentes cubiertas presentaron un rango similar en cuanto al número total de ciclos soportados, al alcanzar los 2100 ciclos se evidenció una mayor resistencia al desgaste superficial en el recubrimiento con cubierta 0, seguida por cubierta 1, mientras que cubierta 2 mostró el menor desempeño frente a la abrasión. En consecuencia, se concluye que la cubierta 0 presentó el mejor comportamiento técnico, lo que la posiciona como la opción más adecuada para aplicaciones que requieren mayor resistencia al tránsito o fricción.

Tabla 8
Resultado prueba de abrasión

Tipo de cubierta	Ciclos soportados sin desgaste visible	Clase PEI	Nivel de uso recomendado
Cubierta 0	2100	4	Comercial moderado(Locales comerciales sin entrada directa de la calle)
Cubierta 1			
Cubierta 2			

Figura 16
Comparación entre cubiertas sometidas a abrasión



5.4.5 Modulo de rotura y resistencia a la flexión

Las baldosas evaluadas presentaron módulos de ruptura entre 28,46 y 33,99 MPa, superando los requisitos mínimos establecidos en la norma NTC 4321-4, que exige al menos 27 MPa para baldosas de piso prensadas en seco con espesor menor o igual a 7,5 mm. Con un espesor constante de 6,7 mm, soportaron cargas de flexión entre 851 y 1017 N, lo que evidencia una buena resistencia mecánica y uniformidad estructural, haciéndolas aptas para aplicaciones de tránsito moderado a alto.

Tabla 9
Resultados prueba de resistencia mecánica

Tipo de cubierta	Módulo de rotura [Mpa]	Espesor [mm]	Resistencia a la Flexión [N]
Cubierta 0	28,455	6,7	851,563
Cubierta 1	28,941	6,7	866,107
Cubierta 2	33,986	6,7	1017,087

6 Conclusiones y recomendaciones

- Los resultados obtenidos en los prototipos 1, 2 y 3 fueron positivos, ya que no se presentaron defectos durante el proceso y se evidenció una buena compatibilidad entre los esmaltes, fundentes y técnicas decorativas utilizadas. Estos prototipos demostraron viabilidad técnica y estética para su aplicación en productos tipo pared, lo que refuerza su potencial de escalabilidad industrial.
- El desarrollo del prototipo 4 presentó un defecto visible de craquelado en el esmalte, manifestado por la aparición de microfisuras en la superficie. Este resultado evidenció limitaciones en la combinación específica de materiales utilizados, particularmente entre el fundente digital y el esmalte reactivo aplicado como capa final. Cabe resaltar que dicho esmalte aún se encuentra en fase de investigación por parte del área técnica, y que la curva y ciclo de cocción empleados en este ensayo difieren de los utilizados en estudios previos, lo que pudo influir en la aparición del defecto. En conjunto, estos factores limitan la viabilidad del prototipo en las condiciones actuales.
- El prototipo 5 permitió analizar el comportamiento estético de tres cubiertas diferentes (C0, C1 y C2) aplicadas sobre una misma base decorativa. Se observó un gradiente progresivo de brillo y suavidad al tacto, siendo la cubierta C2 la de mejor percepción estética. Estos resultados son valiosos para futuras decisiones en diseño y desarrollo de acabados para productos de piso, considerando preferencias del mercado y diferenciación visual.
- Se cumplió con el objetivo de elaborar las fichas técnicas de los productos, documentando detalladamente sus variables de operación y los ajustes requeridos para su posible fabricación. Como parte del proceso, se desarrollaron cálculos específicos y se consolidó información clave del proceso productivo. Estas fichas se constituyen en una herramienta fundamental para respaldar la viabilidad técnica de los prototipos y facilitar su futura implementación en escala industrial.
- Con base en los resultados de absorción, las piezas desarrolladas para piso se clasifican dentro del grupo BIIb según la norma ISO 13006 – NTC 919, correspondiente a baldosas prensadas de absorción media. Adicionalmente, las tres cubiertas (C0, C1 y C2) fueron

evaluadas mediante la prueba de abrasión, obteniendo clasificación PEI 4, lo que confirma su resistencia al desgaste y su idoneidad para aplicaciones interiores de uso comercial moderado.

- Las pruebas técnicas realizadas en pisos evidenciaron un comportamiento técnico adecuado en todas las cubiertas evaluadas (C0, C1 y C2). No se presentaron defectos estructurales ni incompatibilidades críticas, lo que demuestra la viabilidad de los productos desarrollados para su posible escalado a nivel industrial.
- El prototipo 5 permitió comparar tres cubiertas aplicadas sobre una misma base decorativa. Aunque la cubierta C2 presentó mejor apariencia estética (mayor brillo y suavidad), la cubierta C0 mostró la mayor resistencia al desgaste en la prueba de abrasión. En conjunto, C0 se posiciona como la opción más adecuada para aplicaciones que requieren alta durabilidad frente al tránsito o fricción mientras que C2 podría ser preferida en contextos donde prime el valor estético sobre la resistencia.
- En general, este proyecto demuestra que es posible adaptar un nuevo formato cerámico en la planta con buenos resultados, tanto desde lo técnico como desde lo estético. La experiencia aportó aprendizajes importantes que pueden ser aprovechados en futuras fases de diseño, validación o incluso producción.

7. Referencias

Abad Jaramillo, M. P. (2013). *Guía del proceso industrial para la fabricación de baldosas cerámicas* (Tesis de grado, Universidad Internacional del Ecuador). Facultad de Arquitectura y Diseño.

Barba, A., Beltrán, V., García-Ten, J., & Sánchez, E. (2005). *Procesado de soportes y recubrimientos cerámicos*. Instituto de Tecnología Cerámica.

Corona. (s. f.). ¿Quiénes somos? *Corona Colombia*. Recuperado el 7 de julio de 2025, de https://empresa.corona.co/quienes-somos/

Hamer, F., & Hamer, J. (2004). *The potter's dictionary of materials and techniques* (5th ed.). A & C Black.

ICONTEC. (2021). *NTC 4321-9: Baldosas cerámicas - Parte 9: Determinación de la expansión térmica lineal*. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.

ICONTEC. (2022). *NTC 4321:2022. Baldosas cerámicas (Serie completa)*. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.

ICONTEC. (2024). *NTC 919:2024. Revestimientos cerámicos – Baldosas cerámicas – Definiciones, clasificación, características y marcado*. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.

Kempen, D., Piccolroaz, A., & Bigoni, D. (2019). A constitutive model for the compaction of ceramic powders accounting for friction and cohesion evolution. *International Journal of Solids and Structures, 161*, 226–240. https://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2018.11.017

Kingery, W. D., Bowen, H. K., & Uhlmann, D. R. (1976). *Introduction to ceramics* (2nd ed.). John Wiley & Sons.

Martínez V., J. (2004). *Análisis del proceso de clasificación cerámico*. Universidad Jaume I. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/28304014_Analisis_del_proceso_de_clasificacion_ceramico

Meng, Q., Zhang, K., He, R., & Qu, Z. (2024). A review of thermal shock behavior of ceramics: Fundamental theory, experimental methods, and outlooks. *International Journal of Applied Ceramic Technology*. https://doi.org/10.1111/ijac.14846

Penasa, M., Argani, L., Misseroni, D., Dal Corso, F., Cova, M., & Piccolroaz, A. (2016). A study on the optimal pressure profile in ceramic powder compaction. *Powder Technology, 301*, 1185–1193. https://doi.org/10.1016/j.powtec.2016.08.013

Reed, J. S. (1995). *Principles of ceramics processing* (2nd ed.). John Wiley & Sons.

Restrepo Baena, O. J. (2011). *Cerámica blanca para revestimientos y porcelana sanitaria*. Editorial Universidad Nacional de Colombia.

Ríos Rendón, C. M. (2009). Uso de materias primas colombianas para el desarrollo de baldosas cerámicas con alto grado de gresificación [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín]. Repositorio Institucional UNAL. https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3406

SACMI. (2004). *Tecnología cerámica aplicada* (A. van Gelder, Trans.; 2 vols.). Faenza Editrice Ibérica.

Singer, F., & Singer, S. S. (1979). *Industrial ceramics*. Chapman and Hall.

Tuberquia Giraldo, M. F. (2023). *Desarrollo de esmaltes especiales y decoraciones para nueva colección institucional de Vajillas Corona 2022-2023* [Trabajo de grado, Universidad de Antioquia]. Repositorio Institucional Universidad de Antioquia. http://bibliotecadigital.udea.edu.co