



¡ POSGRADOS !

MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN Y OPERACIONES INDUSTRIALES

RPC-S0-41-No.689-2018

OPCIÓN DE
TITULACIÓN:

PROPUESTAS METODOLÓGICAS Y TECNOLÓGICAS
AVANZADAS

TEMA:

FACTIBILIDAD DE USAR CERÁMICA SIN ESMALTE COMO BASE
PARA ELABORAR CERÁMICA DE TERCER FUEGO

AUTOR:

WILLIAM HERNANDO ALVAREZ OTAVALO

PABLO ANDRES BRAVO ESPINOZA

DIRECTOR:

LUIS EDUARDO GARZON MUÑOZ

CUENCA - ECUADOR

2021

Autores:



William Hernando Alvarez Otavalo

Ingeniero Industrial

Candidato a Magíster en Producción y Operaciones Industriales por la Universidad Politécnica Salesiana - Sede Cuenca.

willy_323@hotmail.com



Pablo Andres Bravo Espinoza

Ingeniero Industrial

Candidato a Magíster en Producción y Operaciones Industriales por la Universidad Politécnica Salesiana - Sede Cuenca.

pabloelpropio-777@hotmail.com

Dirigido por:



Luis Eduardo Garzon Muñoz

Físico

Máster Universitario en Biofísica

Doctorado en Ciencia de Materiales

lgarzon@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

©2021 Universidad Politécnica Salesiana.

CUENCA – ECUADOR – SUDAMÉRICA

ALVAREZ OTAVALO WILLIAM HERNANDO

BRAVO ESPINOZA PABLO ANDRES

FACTIBILIDAD DE USAR CERÁMICA SIN ESMALTE COMO BASE PARA ELABORAR CERÁMICA DE TERCER FUEGO

DEDICATORIA

*Este trabajo está dedicado con amor a mi madre
y a mi sobrino Elías Josué.*

Pablo Bravo

*Dedicado a la memoria de mi madre quien estaría orgullosa de su hijo, a mi padre quien es mi
ejemplo a seguir, a mi esposa Gabriela Jiménez por demostrarme su cariño y apoyo
incondicional y a mis hijos Ian y Dylan.*

William Alvarez

RESUMEN

En la actualidad las baldosas cerámicas a Tercer Fuego se realizan sobre una base vitrificada, donde se depositan el esmalte, las tintas y los productos especiales propios del proceso. El propósito de este trabajo fue usar una base no vitrificada, es decir, eliminar el esmalte de la base partiendo únicamente de una superficie engobada y quemada para luego analizar que sucede con las características finales del producto terminado. Para el análisis se realizó un diseño de experimentos en parcelas divididas de dos niveles con cuatro factores, con cinco y diez replicas. Los factores que se consideraron en este diseño fueron la temperatura del calentador, la viscosidad del esmalte, la masa del esmalte y la masa del engobe. Las variables respuesta que se analizaron fueron: la resistencia a la flexión, planaridad, absorción de agua, calidad superficial, resistencia a las manchas y resistencia a los químicos. Los resultados mostraron que si es factible usar cerámica sin esmalte como base para elaborar cerámica de Tercer Fuego. Además, se demostró que existe una relación real entre los factores escogidos y las variables respuesta; calidad superficial y planaridad, reduciéndose esta última notablemente. El eliminar el esmalte base no influyó en absorción, resistencia a las manchas y resistencia a los agentes químicos. Finalmente, el costo de elaborar piezas a tercer fuego con este nuevo procedimiento se proyecta en la reducción del 7,56% sin afectar la calidad del producto terminado.

Palabras clave: Tercer Fuego, cerámica sin esmalte, engobe.

ABSTRACT

Nowadays, ceramic tiles to Third Fire (Tercer Fuego) are made on a vitrified base, where enamel, inks and special products typical of the process are deposited. The purpose of this work was to use a non-vitrified base, that is, to remove the enamel from the base starting only from a gummed and burned surface and then to analyze what happens with the final characteristic of the finished product. For the analysis, a design of experiments was carried out in divided plots of two levels with four factors, with five and ten replications. Factors considered in this design were heater temperature, enamel viscosity, enamel mass, and slip mass. The response variables that were analyzed were: flexural strength, planarity, water absorption, surface quality, resistance to stain and resistance to chemicals. The results showed that it is feasible to use unglazed ceramic as a base to make Third Fire ceramic. It was shown that there is a real relationship between the chosen factors and the response variables; surface quality and planarity, the latter being notably reduced. Removing the base enamel did not influence absorption, stain resistance and resistance to chemical agents. Finally, the cost of making pieces with a Third Fire with this new procedure is projected to reduce 7.56% without affecting the quality of the finished product.

Keywords: Third Fire, ceramic without enamel, engobe

TABLA DE CONTENIDOS.

1. CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.....	3
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.	3
1.2.1. Problema general.	3
1.2.2. Problemas específicos.....	4
1.3. JUSTIFICACIÓN.	4
1.4. OBJETIVOS.....	5
1.4.1. Objetivo general.	5
1.4.2. Objetivos específicos.....	6
2. CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN.	6
2.2. BASES TEÓRICAS.....	8
2.2.1. Baldosas cerámicas.....	8
2.2.2. Tercer Fuego.....	8
2.2.3. Materias primas usadas en la fabricación de piezas a Tercer Fuego.	10
2.2.4. Maquinaria utilizada.	12
2.2.5. Propiedades físicas de las materias primas a considerar durante el proceso de esmaltado.	18
2.2.6. Equipos utilizados para determinar las propiedades físicas de las materias primas....	19
2.2.7. Controles de producción sobre el producto terminado.....	21
3. CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA.....	25
3.1. TIPO, DISEÑO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN.	25
3.2. DETERMINACIÓN, SELECCIÓN Y TAMAÑO DE LA MUESTRA.	26
3.2.1. Determinación de la muestra.	26
3.2.2. Selección de la muestra.	26
3.2.3. Tamaño de la muestra.....	26
3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.	26

3.4. DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL PRODUCTO MILE GRIS EN CONDICIONES NORMALES DE PRODUCCIÓN.	30
3.4.1. Condiciones normales de producción.....	31
3.4.2. Características finales del producto terminado.....	34
3.5. COSTOS DE ESMALTACIÓN EN CONDICIONES NORMALES DE PRODUCCIÓN.	39
3.6. PARÁMETROS IDÓNEOS DEL NUEVO PROCESO DE PRODUCCIÓN DE TERCER FUEGO.	40
3.6.1. Diseño de experimentos.....	41
3.6.2. Ejecución de los experimentos.	42
4. CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	45
4.1. CARACTERÍSTICAS FINALES DEL PRODUCTO TERMINADO EN CONDICIONES NORMALES DE PRODUCCIÓN.	45
4.1.1. Resistencia a la flexión en condiciones normales de producción.....	45
4.1.2. Planaridad en condiciones normales de producción.....	46
4.1.3. Absorción en condiciones normales de producción.	47
4.1.4. Calidad superficial en condiciones normales de producción.....	48
4.1.5. Resistencia a las manchas en condiciones normales de producción.	49
4.1.6. Resistencia a los químicos en condiciones normales de producción.....	49
4.2. CARACTERÍSTICAS FINALES DEL PRODUCTO TERMINADO DE LOS DIFERENTES EXPERIMENTOS.	50
4.2.1. Análisis de la resistencia a la flexión de los experimentos.....	50
4.2.2. Análisis de la planaridad de los experimentos.....	53
4.2.3. Análisis de la absorción de los experimentos.....	61
4.2.4. Análisis de la calidad superficial de los experimentos.	64
4.2.5. Análisis de la resistencia a las manchas de los experimentos.	67
4.2.6. Análisis de la resistencia química de los experimentos.....	67
4.3. CARACTERÍSTICAS FINALES DEL PRODUCTO TERMINADO EN CONDICIONES NORMALES DE PRODUCCIÓN VS LAS CARACTERÍSTICAS FINALES DEL PRODUCTO TERMINADO DE LOS DISTINTOS EXPERIMENTOS.	68
4.3.1. Comparación entre la resistencia a la flexión en condiciones normales de producción con la resistencia a la flexión de los experimentos.....	68

4.3.2. Comparación entre la planaridad en condiciones normales de producción con la planaridad de los experimentos.	70
4.3.3. Comparación de la absorción en condiciones normales de producción con la absorción de los experimentos.	71
4.3.4. Comparación de la calidad superficial en condiciones normales de producción con la calidad superficial de los experimentos.	72
4.3.5. Comparación de la resistencia a las manchas en condiciones normales de producción con la resistencia a las manchas de los experimentos.	73
4.3.6. Comparación de la resistencia química en condiciones normales de producción con la resistencia química de los experimentos.	73
4.4. PARÁMETROS DEL NUEVO PROCESO DE PRODUCCIÓN.	74
4.5. COSTOS DEL NUEVO PROCESO DE PRODUCCIÓN.	75
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	76
5.1. CONCLUSIONES.	76
5.2. RECOMENDACIONES.	77

LISTA DE TABLAS.

Tabla 1 Operacionalización de las variables independientes. Fuente: Autores.	27
Tabla 2 Operacionalización de la variable dependiente. Fuente: Autores.	29
Tabla 3 Condiciones normales de producción del producto Mile Gris. Fuente Italpisos.	32
Tabla 4 Norma interna para valores de planaridad para el formato 200mm x 600 mm. Fuente: Italpisos.	38
Tabla 5 Costeo de esmaltes y engobe monoquema. Fuente: Italpisos S.A. (Año 2021).	39
Tabla 6 Costos actuales de producción. Fuente: Autores.	40
Tabla 7 Valores de la resistencia a la flexión en condiciones normales de producción. Fuente: Autores.	45
Tabla 8 Valores de planaridad en condiciones normales de producción. Fuente: Autores.	47
Tabla 9 Valores de absorción en condiciones normales de producción. Fuente: Autores.	48

Tabla 10 Defectos Superficiales en la cerámica en condiciones normales de producción. Fuente: Autores.....	48
Tabla 11 Especificación de la clase para el ensayo resistencia a las manchas en condiciones normales de producción. Fuente: Autores.	49
Tabla 12 Especificación de la clase para el ensayo resistencia a los químicos en condiciones normales de producción. Fuente: Autores.	50
Tabla 13 Resumen de análisis de la calidad superficial de los experimentos. Fuente: Autores. .	65
Tabla 14 Calidad superficial del experimento F con 30 réplicas. Fuente: Autores.	66
Tabla 15 Parámetros del nuevo proceso de producción. Fuente: Autores.	74
Tabla 16 Costos nuevos de producción. Fuente: Autores. Fecha: julio 2021.....	75
Tabla C1 Valores de la resistencia a la flexión para los experimentos A-D. Fuente: Autores....	93
Tabla C2 Valores de la resistencia a la flexión para los experimentos E-H. Fuente: Autores. ...	94
Tabla C3 Valores de la resistencia a la flexión para los experimentos I-L. Fuente: Autores.....	94
Tabla C4 Valores de la resistencia a la flexión para los experimentos M-P. Fuente: Autores....	95
Tabla D1 Valores de planaridad para el experimento A. Fuente: Autores.	96
Tabla D2 Valores de planaridad para el experimento B. Fuente: Autores.	97
Tabla D3 Valores de planaridad para el experimento C. Fuente: Autores.	97
Tabla D4 Valores de planaridad para el experimento D. Fuente: Autores.	98
Tabla D5 Valores de planaridad para el experimento E. Fuente: Autores.....	98
Tabla D6 Valores de planaridad para el experimento F. Fuente: Autores.	99
Tabla D7 Valores de planaridad para el experimento G. Fuente: Autores.	99
Tabla D8 Valores de planaridad para el experimento H. Fuente: Autores.	100
Tabla D9 Valores de planaridad para el experimento I. Fuente: Autores.....	100
Tabla D10 Valores de planaridad para el experimento J. Fuente: Autores.....	101
Tabla D11 Valores de planaridad para el experimento K. Fuente: Autores.	101

Tabla D12 Valores de planaridad para el experimento L. Fuente: Autores.....	102
Tabla D13 Valores de planaridad para el experimento M. Fuente: Autores.....	102
Tabla D14 Valores de planaridad para el experimento N. Fuente: Autores.	103
Tabla D15 Valores de planaridad para el experimento O. Fuente: Autores.	103
Tabla D16 Valores de planaridad para el experimento P. Fuente: Autores.	104
Tabla E1 Valores de absorción de los experimentos A-D. Fuente: Autores.	105
Tabla E2 Valores de absorción de los experimentos E-H. Fuente: Autores.....	105
Tabla E3 Valores de absorción de los experimentos I-L. Fuente: Autores.	105
Tabla E4 Valores de absorción de los experimentos M-P. Fuente: Autores.	106
Tabla F1 Valores de la clase para la resistencia a las manchas de los diferentes experimentos.	107

LISTA DE FIGURAS.

Figura 1 Fragmento del Mural Betto realizado a Tercer Fuego.	9
Figura 2 Máquina de esmaltar.	12
Figura 3 Secadero continuo de cadena para piezas piezas cerámicas.....	13
Figura 4 Impresora industrial Kerajet para decoración de baldosas cerámicas.	14
Figura 5 Horno monoestrato de rodillos para piezas cerámicas	16
Figura 6 Horno monoestrato pequeño para Tercer Fuego.	17
Figura 7 Dispositivo para la medida de la viscosidad (Copa Ford).....	19
Figura 8 Balanza digital.	20
Figura 9 Pirómetro óptico utilizado para determinar la temperatura de las placas cerámicas.....	21
Figura 10 Representación gráfica de los defectos superficiales más comunes en baldosas cerámicas.....	22
Figura 11 Tipo, diseño y nivel de investigación.....	25

Figura 12 Elementos que conforman una baldosa cerámica a Tercer Fuego.	31
Figura 13 Esquema general de la elaboración del producto Mile Gris en condiciones normales.	33
Figura 14 Equipo utilizado para determinar la resistencia a la flexión.	35
Figura 15 Equipo utilizado para realizar el ensayo de absorción de agua.	36
Figura 16 Dispositivo de control de la planaridad.	37
Figura 17 Elementos necesarios para realizar el diseño de experimentos de la investigación. ...	41
Figura 18 Esquema de la asignación de los distintos experimentos.	42
Figura 19 Proceso de engobado para las piezas a Tercer Fuego.	43
Figura 20 Producto Mile Gris a la salida del horno.	44
Figura 21 Diagrama de cajas de la resistencia a la flexión con los datos experimentales.	51
Figura 22 Diagrama de Pareto de los efectos estandarizados para la resistencia a la flexión.	52
Figura 23 Gráfica de cubos para la resistencia a la flexión.	53
Figura 24 Distribución de los datos del SP+ para cada experimento.	54
Figura 25 Gráfica de intervalos para el SP+ de cada experimento.	55
Figura 26 Diagrama de Pareto de los efectos estandarizados para el SP+.	56
Figura 27 Gráfica de cubos para los SP+.	56
Figura 28 Distribución de los datos del SP- para cada experimento.	57
Figura 29 Gráfica de intervalos para los SP-.	58
Figura 30 Diagrama de Pareto de los efectos estandarizados para el SP-.	58
Figura 31 Distribución de los datos de CVDiag para cada experimento.	59
Figura 32 Gráfica de intervalos para la CVDiag.	60
Figura 33. Diagrama de Pareto para la CVDiag.	60
Figura 34 Gráfica de cubos para la CVDiag.	61

Figura 35 Diagrama de cajas de la absorción con los datos experimentales.	62
Figura 36 Diagrama de Pareto para la variable absorción.	63
Figura 37 Gráfica de probabilidad normal de los residuos para la variable absorción.....	64
Figura 38 Gráfica de distribución normal de los residuos para la variable resistencia a la flexión.	69
Figura 39 Gráfica post hoc de Dunnett para la resistencia a la flexión.	70
Figura 40 Gráfica de intervalos para la CVDiag de los experimentos y el patrón de referencia	71
Figura 41 Gráfica post hoc de Dunnett para la absorción.....	72
Figura 42 Calidad superficial de los experimentos Vs las condiciones normales de producción.	73

1. CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.

La historia de la cerámica está relacionada con el eterno deseo del hombre de combinar la belleza con la utilidad y se remonta a los principios de la civilización. Egipto, China y Babilonia han sido nombradas por múltiples historiadores como las localidades en donde surgieron las artes cerámicas (Restrepo O., 2011).

Según Galán E. y Aparicio P., (2020) el término "cerámica" proviene de la palabra griega "Kerameikos", que significa "de barro". Los productos cerámicos son artículos hechos por el hombre, que han sido primero moldeados o modelados usando minerales y rocas, y luego permanentemente endurecidos por el calor. Esta definición clásica de producto cerámico se puede simplificar como: "objeto moldeado con materias primas naturales plásticas y endurecido permanentemente por el calor" (Africa H., 2007).

La riqueza estética de una baldosa cerámica se ve complementada en la mayor parte de los casos mediante la aplicación de otro tipo de materiales que aportan efectos diferentes del propio color, siendo especialmente importante en las piezas de Tercer Fuego, donde los efectos metálicos, lustres, productos muy diferentes (granillas, vitrosas, pastas serigráficas, etc.), adquieren una destacada relevancia (Torrecid, 2012).

La técnica de Tercer Fuego cuyos orígenes se da con los reflejos metálicos, se remontan al siglo IX (Echarri I., González A., Ródenas M., Olivares J., 2016) (Pradell T., Molera J., Bayes C., Roura P., 2020). Recibe este nombre debido a la necesidad de una cocción adicional a una temperatura inferior a la de cocción habitual (1100-1200 °C), sobre los 700-800 °C.

Que se llame Tercer Fuego no significa que sea la tercera vez que las piezas entran en el horno, aunque en la actualidad la mayoría de los materiales cerámicos son cocidos en una sola etapa (monococción), en el momento de dar nombre a esta técnica, el proceso de cocción consistía en 2 etapas (1° soporte y 2° esmalte) por lo que la etapa adicional a la que se refiere el título ocupaba

un tercer lugar. En este tipo de cerámica decorativa, por lo general se aplican diferentes tonos o materiales preciosos que no funden todos a la misma temperatura, por lo que, si es necesario, se quemaran las piezas varias veces, empezando siempre por el producto que requiera mayor temperatura hasta llegar al que requiera menos, entonces se puede hablar de piezas de cuarto o quinto fuego (África H., 2007), (Escobedo, 2013), (Pérez de León, 2017).

En la actualidad las piezas cerámicas a Tercer Fuego se realizan sobre una base vitrificada, es decir al soporte en un proceso anterior ya se le ha engobado, esmaltado y quemado, para luego aplicar nuevamente un esmalte donde se depositan las tintas y los productos especiales propios del Tercer Fuego, finalmente se las lleva al horno a una temperatura entre 900 a 950 °C aproximadamente según los requerimientos (Torrecid, 2012), (Echarri I. y colaboradores, 2016), (Pradell T. y colaboradores, 2020), (Tezza V., Bernardin A., 2012).

Usar cerámica sin esmalte como base para producir decorados a Tercer Fuego consiste en eliminar el esmalte inicial, es decir utilizar como base la cerámica engobada para luego aplicar el esmalte y las tintas de Tercer Fuego. Es importante mencionar que este nuevo método de producción no ha sido estudiado. Sin embargo, se considera que el eliminar una materia prima del proceso implica posibles variaciones en las características finales del producto terminado, como una disminución en su resistencia a las manchas y a los agentes químicos, disminución en su resistencia a la flexión, variaciones en su planaridad, aparición de defectos superficiales, etc., por tal motivo es de vital importancia determinar los parámetros idóneos de las variables que intervienen en este nuevo proceso a fin de evitar que las características antes mencionadas se vean afectadas.

En tal sentido este trabajo se centra en determinar si existe una diferencia significativa al comparar las características finales del producto terminado cuando se usa una base cerámica con esmalte versus sin esmalte en la producción de decorados a Tercer Fuego.

1.1. Situación Problemática.

El sector cerámico ha tenido un crecimiento notable en los últimos años llegando a convertirse en un potente sector industrial, desde hace 20 años se está viviendo una auténtica revolución de la cerámica gracias a una elevada inversión en el proceso de fabricación unido a una elevada calidad en el diseño de producto (Echarri I. y colaboradores 2016). Sin embargo, la producción nacional durante los últimos años atraviesa una situación crítica ante el incremento desmedido de las importaciones de estos productos, esta decreció un 9% en los últimos cuatro años, mientras que las importaciones crecieron un 217%, situación que ha puesto en grave riesgo el futuro de esta actividad productiva. En la actualidad los productos importados están ingresando a puerto ecuatoriano al 150% a precios sub facturados, es decir a precios muy por debajo del costo de producción nacional, resultando imposible a las industrias nacionales competir contra estos precios.

La empresa Italdeco S.A como productor de decorados a Tercer Fuego para mantenerse competitivo en el mercado y hacer frente a las condiciones injustas de competencia, se esfuerza no solo en mejorar sus productos en cuanto a diseños se refiere, sino también en reducir sus costos de producción a través de la innovación de sus productos. Este factor de innovación es un elemento clave en su estrategia para recuperar parte del mercado, el aporte de nuevas materias primas, nuevas técnicas, nuevas soluciones formales a sus productos le permitirá optimizar sus recursos garantizándole la competitividad y el acceso a nuevos mercados.

1.2. Formulación del Problema.

1.2.1. Problema general.

¿Es posible usar cerámica del formato 200 mm x 600 mm sin esmalte, como base para elaborar cerámica de Tercer Fuego?

1.2.2. Problemas específicos.

- ¿Es posible analizar la Calidad del producto Mile Gris en el formato 200 mm x 600 mm, en condiciones normales de producción?
- ¿Es posible determinar los parámetros idóneos del nuevo proceso de producción de Tercer Fuego para obtener la Calidad requerida del producto Mile Gris en el formato 200 mm x 600 mm?
- ¿Es posible realizar un análisis de costos de esmaltación, en el proceso de producción de Tercer Fuego del formato 200 mm x 600 mm en base a los resultados de la investigación?

1.3. Justificación.

El sector cerámico se ha caracterizado por la rápida evolución tecnológica (Quintela J. 2020). En la actualidad la industria cerámica está dirigiendo la investigación al desarrollo de nuevos diseños, nuevos pigmentos, colorantes, realización de piezas especiales, pintados a mano, aplicaciones de calcas, alternativas de materias primas y nuevos métodos de producción que permitan abaratar costos (Orts J., Enrique E., Gozalbo A., Negre F., 1991) (Canillada A., 2007) (Mestre S., Chiva C., Palacios M., Amorós J., 2012).

La gran oferta existente en el mercado no solo de pavimentos y revestimientos cerámicos sino también de piezas especiales y decorados a Tercer Fuego, unida a la creciente exigencia por parte de los clientes, hacen que la calidad final de las baldosas cerámicas se convierta en un elemento fundamental que garantiza la competitividad (Diéguez A., Payá M., Rodríguez E., Iranzo C., 2020).

Hoy en día es de vital importancia dirigir la investigación a mejorar la calidad del producto, pero no dejar de lado la innovación, pues esta es el motor económico crucial en la fijación de la posición competitiva de la empresa. La innovación involucra a todo cambio, basado en conocimiento de cualquier tipo, genera beneficios asociados a los costes, la productividad o el acceso a nuevos

mercados y representa un aspecto clave de la competitividad y el crecimiento, es decir, tiene consecuencias económicas directas (Segarra M., Peiró A., Miret L., Albors J.,2011), (Delgado, 2012).

Esta investigación se realiza con el propósito de determinar nuevas y sofisticadas técnicas de decoraciones a Tercer Fuego con miras a encontrar alternativas al proceso tradicional, que permitan reducir los costos sin afectar la calidad del producto. El prescindir del esmalte base significa menos etapas del proceso, ahorro del 50% de esmalte, aumento de la calidad en el producto base y mejora en la calidad de la imagen debido a que las tintas ya no se depositan sobre la superficie vitrificada sino sobre el material base que se encuentra más poroso permitiendo absorber la parte líquida de las mismas fácilmente, etc.

Esta investigación también permitirá conocer en mayor medida la variación de las características finales del producto terminado cuando se suprime una materia prima importante, y como se reduce esta variación modificando las variables de entrada del proceso. Es importante mencionar que este estudio se realizará inicialmente en el producto Mile Gris del formato 200 mm x 600 mm, con los resultados obtenidos se decidirá si se implementa dicho estudio en los otros productos y formatos.

1.4. Objetivos.

1.4.1. Objetivo general.

Analizar la factibilidad de usar cerámica del formato 200 mm x 600 mm sin esmalte, como base para elaborar cerámica de Tercer Fuego.

1.4.2. Objetivos específicos.

- Analizar la Calidad del producto Mile Gris en el formato 200 mm x 600 mm, en condiciones normales de producción.
- Determinar los parámetros idóneos del nuevo proceso de producción de Tercer Fuego para obtener la Calidad requerida del producto Mile Gris en el formato 200 mm x 600 mm.
- Realizar un análisis de costos de esmaltación, en el proceso de producción de Tercer Fuego, del formato 200 mm x 600 mm en base a los resultados de la investigación.

2. CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.

2.1. Antecedentes de investigación.

El Tercer Fuego representa una parte muy importante del sector cerámico, no solamente por el volumen de negocio que maneja, sino también por el valor añadido que aporta a la baldosa cerámica base y que hace que en muchos casos la cerámica sea el material elegido como

recubrimiento frente a otro tipo de opciones. La riqueza estética de una baldosa cerámica se ve complementada en la mayor parte de los casos mediante la aplicación de otro tipo de materiales que aportan efectos diferentes del propio color, siendo especialmente importante en las piezas de Tercer Fuego, donde los efectos metálicos con oro y platino, lustres basados en Titanio, granillas, vitrosas, pastas serigráficas, etc., adquieren una destacada relevancia (Torrecid, 2012).

Son innumerables los trabajos que se realizan dentro del campo del Tercer Fuego, todos ellos parten de un material base con la superficie ya vitrificada, por ejemplo, según Pérez de León (2017) en la antigüedad existía una técnica de dorar con oro que se empleaba en Alcora, esta técnica decorativa consistía en aplicar este escaso y valioso metal, mezclado con un vehículo adecuado, directamente sobre la superficie vidriada de la cerámica y, posteriormente, someterla a una tercera cocción a baja temperatura.

En un trabajo de Echarri Iribarren y colaboradores (2016) denominado “Cerámica y vibración de la luz. Nuevas técnicas de nacarado e irisado y caracterización colorimétrica” determinaron que para lograr el efecto iridiscente en las piezas cerámicas se tenía que llevar a cabo un proceso de tres cocciones: la primera es a 950 °C para bizcocharla, la segunda para cocer el esmalte base blanco, y vitrificar el bizcocho a 1180 °C en ciclo rápido, y la última la que consigue multiplicar el efecto irisado-nacarado o reflejo metálico entre 650 y 780 °C, pudiendo ser ésta oxidante o reductora. Es justamente antes de esta tercera cocción cuando se aplica sobre los esmaltes vitrificados el bálsamo formado por disoluciones de sales metálicas en resinatos u otros vehículos según a qué tipo de cocción se someta a la pieza.

En otro trabajo desarrollado por Mestre y colaboradores (2012) denominado “Desarrollo de un pigmento cerámico amarillo a base de nanopartículas de Plata” determinaron un pigmento amarillo para cerámica de Tercer Fuego, este pigmento se aplicó directamente sobre el vidriado cocido para luego quemarse nuevamente a una temperatura de 700 °C generando un color amarillo intenso. En fin, se puede citar innumerables trabajos realizados a Tercer Fuego, todos ellos parten sobre una superficie esmaltada y vitrificada como base, sin embargo, no existen estudios ni trabajos previos realizados sobre una superficie sin el esmalte base.

Con este proyecto se pretende determinar si es factible usar cerámica base sin esmalte para elaborar piezas a Tercer Fuego y establecer como afecta este método a las propiedades del producto terminado.

2.2. Bases Teóricas.

2.2.1. Baldosas cerámicas.

Los revestimientos y pavimentos cerámicos son conocidos como baldosas. Son piezas que constan de un soporte, de naturaleza arcillosa y porosidad variable, que pueden tener un recubrimiento de naturaleza esencialmente vítrea (Cardona, 2013).

Según la norma ISO 13006 (2018) una baldosa cerámica es una placa delgada, fabricadas con arcillas y otras materias primas inorgánicas, generalmente utilizados como revestimiento para pisos y paredes. Se fabrican mediante molturación, tamizado, amasado, humidificación, etc. Y se moldean por prensado, extracción, colado u otro procedimiento generalmente a la temperatura ambiente, seguidamente son secadas y cocidas a altas temperaturas. Pueden ser esmaltadas, no esmaltadas o engobadas y son incombustibles e inalterables a la luz.

2.2.2. Tercer Fuego.

Es una técnica decorativa que recibe este nombre debido a la necesidad de una cocción adicional a una temperatura inferior a la de cocción habitual (1100-1200 °C), sobre los 700-800 °C. El motivo de cocer a estas temperaturas inferiores siempre ha sido conseguir una serie de efectos decorativos muy bien valorados, los cuales desaparecen cuando se somete el material a una temperatura superior. Esta circunstancia siempre ha condicionado la necesidad de esta etapa. Esta técnica se emplea para piezas complementarias, no es una producción en serie, si no un determinado número de piezas, que bien forman parte de la decoración de un panel, junto con la base que se elija, o bien para un panel completo con decoración personalizada (Escobedo M., 2013).

Figura 1

Fragmento del Mural Betto realizado a Tercer Fuego.



Nota: se aprecia un fragmento del mural Betto realizado a Tercer Fuego en la empresa Italdeco S.A., Arte del Sr. Betto Villacis Noboa, 2021

Tercer Fuego no necesariamente quiere decir que sea la tercera vez que las piezas entran en el horno, en este tipo de piezas especiales muchas veces se aplican diferentes tonos o materiales preciosos que no funden todos a la misma temperatura, por lo que, si es necesario, se pasan las piezas varias veces por el horno, empezando siempre por el producto que requiera mayor temperatura hasta llegar al que requiera menos, entonces podemos hablar de piezas de cuarto o quinto fuego (Canillada A., 2007).

Escobedo M. (2013) afirma que, aunque en la actualidad la mayoría de los materiales cerámicos son cocidos en una sola etapa (monococción), en el momento de dar nombre a esta técnica, el proceso de cocción consistía en 2 etapas (1° soporte y 2° esmalte) por lo que la etapa adicional a la que se refiere el presente trabajo ocupaba un tercer lugar.

2.2.3. Materias primas usadas en la fabricación de piezas a Tercer Fuego.

Las piezas a Tercer Fuego están constituidas por materias primas como engobe, esmalte, productos especiales como pigmentos, granillas, vitrosas, pastas serigráficas, efectos metálicos y lustres, etc. A continuación, se definen de manera general los utilizados en este estudio.

2.2.3.1. Engobe. Según Sharma K. (1990) engobe es una capa intermedia que se utiliza en el proceso de mono cocción, que adopta el cuerpo rojo o blanco mate e incluso a veces para el cuerpo blanco, para enmascarar el color del cuerpo y también para servir como una capa intermedia refractaria de protección que suprime la evolución de los gases e impide los defectos superficiales generados por el bizcocho. De igual manera Heras M. (2020), Reyes J. (2020) y Cardona L. (2013) indican que engobe es una finísima capa de arcilla muy diluida cuyas funciones principales son: ocultar el tono rojizo del soporte arcilloso, eliminar o disminuir cualquier defecto o imperfección del soporte, proteger al esmalte de la humedad final, etc.

2.2.3.2. Esmalte. Los esmaltes cerámicos son suspensiones concentradas con un contenido en sólidos en torno al 70% en peso, estando este compuesto sólido mayoritariamente (80-95%) formado por un material vítreo (feldespatos, cuarzo, carbonatos, etc.) denominado fritas, y pequeñas adiciones de materiales arcillosos (caolines, arcillas blancas, bentonitas) y otros aditivos (Serrano J., y colaboradores., 2019).

Los esmaltes son los responsables del aspecto (color y brillo) de las cerámicas, pero también tienen una función, la de ser impermeables. Los esmaltes aportan valor a los objetos cerámicos, y mediante la elección de los diseños y colores los puso de moda, y en algunos casos incluso los convirtió en un producto de lujo (Pradell T., Molera J., 2020). El término esmalte se aplica a la delgada capa de vidrio sobre el cuerpo cerámico que resulta del proceso de aplicación y posterior fusión a alta temperatura de una masa especial de materiales, con la finalidad de protección o decoración del producto cerámico final (Pradell T., Molera J., 2020). Esencialmente, un esmalte es un vidrio de silicatos revistiendo un cuerpo cerámico. La diferencia principal entre un vidrio industrial y un esmalte cerámico está en que el esmalte funde para formar una delgada capa con una fuerte unión al soporte, mientras que la fusión del vidrio no está ligada a ningún soporte (Nebot I., Marchal M., Irún M., Carda J., 2000),(Reyes J., 2020).

2.2.3.3. Tintas. El uso del tipo de tinta en concreto va a depender de los requerimientos del producto final, por ejemplo, la tinta que genera el efecto micro relieve se caracteriza principalmente por presentar una temperatura fluidez, medida por microscopía de calefacción, muy inferior a la temperatura de reblandecimiento de los esmaltes base, de forma que cuando estos comienzan a reblandecer, la tinta ya se encuentra totalmente fundida, originando las correspondientes depresiones (Torrecid, 2012).

Sin embargo, la relación entre la cantidad de tinta y el color obtenido no es directa. En ocasiones, como consecuencia de la disolución del pigmento en el vidriado, no se obtiene ningún color hasta que se supera una determinada cantidad de pigmento (ej. amarillo). En el otro extremo, existen pigmentos (ej. azul) que dan la máxima saturación (100%) con menor cantidad que la que puede aplicar el sistema. Además, en el rango intermedio, la respuesta frecuentemente no es lineal, lo que desequilibra el balance cromático de las imágenes. Como consecuencia, es imprescindible linealizar la respuesta cromática de las impresoras respecto a la señal de entrada.

El exceso de tinta causa distintos problemas, como el emborronado de los puntos, que los tiempos de secado sean más prolongados y que el coste sea mayor. Cuando se genera un perfil, debe utilizarse la cantidad adecuada de negro y de límite de tinta. En cerámica, el límite de tinta puede variar con las características del esmalte, la tinta y las condiciones de trabajo, aunque suele

encontrarse sobre el 250 %, siendo 400% el máximo alcanzable en el caso de que use cuatro tintas (Sanz V., 2014).

2.2.4. Maquinaria utilizada.

Las máquinas utilizadas en la producción de piezas especiales a Tercer Fuego generalmente son las mismas que se utilizan para la producción de pavimentos y revestimientos cerámicos, pudiendo variar únicamente su capacidad y tamaño. Se presenta a continuación una definición de estas.

2.2.4.1. Máquina de esmaltado. Está constituida por una tolva de sección triangular, sobre cuyo ángulo más agudo está montada una hilera con ranura para el paso del esmalte, de espesor ajustable. La hilera posee una longitud diferente en función del formato a esmaltar. El funcionamiento regular del equipo puede verse obstaculizado especialmente en la fluencia de la cortina por grumos de esmalte y la presencia de burbujas de aire (Asociación Española de Técnicos Cerámicos, 2004). En la Figura 2 se observa la máquina de esmaltar antes de arrancar el proceso de producción.

Figura 2

Máquina de esmaltar.



Nota: Extraído de la empresa Italpisos, línea de Tercer Fuego.

2.2.4.2. Secadero (calentador). Los secaderos más utilizados en el sector de las baldosas cerámicas son tanto del tipo vertical como horizontal. Aunque los principios tecnológicos básicos inherentes al secado son equivalentes, la dinámica es ciertamente diferente, ya que, al modificar los ciclos, varían notablemente los tiempos en los cuales las mismas tensiones (contracción, aumento de la resistencia mecánica, etc.) se desarrollan. Por lo tanto, las condiciones de trabajo de la máquina y las condiciones físicas del aire (temperatura máxima, velocidad, volumen y estado higrométrico) deben ser necesariamente diferentes para los dos tipos de secadero (Asociación Española de Técnicos Cerámicos, 2004).

En la producción de piezas a Tercer Fuego la función principal del secadero no es evaporar el exceso de agua de las piezas sino más bien calentar las piezas a una temperatura adecuada antes de aplicar el segundo esmalte, a fin de garantizar un acople perfecto entre la base, el esmalte y las tintas. En la Figura 3 se observa un secadero continuo que se utiliza para calentar las piezas cerámicas antes de aplicar el segundo esmalte.

Figura 3

Secadero continuo de cadena para piezas cerámicas.



Nota: Extraído de la empresa Italpisos, línea de Tercer Fuego.

2.2.4.3. Máquina de impresión. Inicialmente, las técnicas más generalizadas para decorar baldosas cerámicas fueron la serigrafía plana, que empezó a utilizarse en la década de los sesenta, y la serigrafía rotativa, que apareció en la década de los setenta. Esta técnica era relativamente sencilla y barata, aunque la calidad de las imágenes era baja y su robustez no era la necesaria para un producto industrial (pegados, tonos, etc.).

En la actualidad se utilizan sistemas de impresión por chorro de tinta, es un sistema de decoración digital que apareció en el año 2000, presentado por la empresa Kerajet. Este sistema de impresión de piezas cerámicas está basado en la utilización de cuatro tintas básicas (cian, magenta, amarillo y negro), que, junto con un proceso electrónico de transferencia de imágenes permite decorar la pieza con los motivos y tonalidades deseadas. La impresión se realiza sin necesidad de detener la pieza y sin entrar en contacto con ella, ya que la tinta se deposita mediante inyectores, por lo que permite la decoración total de la pieza, incluso de aquellas con relieves y aristas redondeadas (Sanz V., 2014). En la Figura 4 se observa una impresora industrial marca Kerajet utilizada en la industria cerámica.

Figura 4

Impresora industrial Kerajet para decoración de baldosas cerámicas.



Nota: Extraído de la empresa Italpisos, línea de Tercer Fuego.

Este sistema presenta numerosas ventajas tanto desde el punto de vista técnico como económico, siendo estas: impresión sin contacto, decoración hasta el borde, decoración de relieves, resolución de la imagen elevada, control y corrección online del diseño, lo que reduce los tonos, variaciones ilimitadas (aleatorias) de los diseños, cambios de modelo inmediatos, simplifica la gestión de tintas, menor tiempo de desarrollo de producto, reducción en mano de obra (Sanz V., 2014).

2.2.4.4. Hornos de cocción. La cocción es la operación fundamental del proceso tecnológico, ya que da origen al material cerámico, transformando las materias primas de la pasta en nuevos compuestos cristalinos y vítreos que confieren al producto cocido unas propiedades concretas: insolubilidad y solidez que garantizan el mantenimiento de la forma, resistencia mecánica, porosidad o impermeabilidad, resistencia química, etc.

En la actualidad los hornos más utilizados son los monoestratos, estos se denominan así porque la cocción se realiza en una sola capa, y no aplicado en casillas como los tradicionales, facilitando así la transmisión del calor a las piezas y reduciendo en mucho tiempo los ciclos de cocción, a este tipo de hornos también se les conoce como de cocción rápida (África H., 2007). La Figura 5 muestra un horno monoestrato de rodillos utilizado en la industria cerámica.

Durante la cocción, el material crudo avanza por el horno, encontrando sectores cada vez más calientes (zona de precalentamiento), hasta alcanzar la temperatura máxima (zona de cocción), que se extiende durante un cierto tramo (tiempo); el material continúa su desplazamiento encontrando una zona de fuerte y repentino enfriamiento, que se suaviza ligeramente para obviar los problemas debidos a la presencia de cuarzo, para luego, ser retomado de manera turbulenta hasta la salida del horno, a una temperatura que oscila entre 40 y 60 °C. El tiempo empleado por el material a recorrer el canal corresponde a la duración del ciclo de cocción y, junto con el caudal de la sección transversal del horno y el número de capas de material, contribuye a determinar su productividad. La velocidad de avance del material es, de hecho, generalmente constante (Asociación Española de Técnicos Cerámicos, 2004).

Figura 5

Horno monoestrato de rodillos para piezas cerámicas



Nota: Extraído de la empresa Italpisos, línea de Tercer Fuego.

En la técnica de Tercer Fuego el ciclo de cocción es la parte más difícil del proceso de fabricación, pues hay que tener en cuenta las transformaciones físicas y químicas que se realizan durante ellas, si no están bien delimitadas y estudiadas, pueden producirse bajas en calidad, e incluso grietas, deformaciones o roturas.

El estudio del ciclo de cocción se hace para cada tipo de producto y vendrá dado en función de la composición de la pasta y del esmalte, así como de la tecnología utilizada. Es importante saber cómo actuará el calor sobre las materias primas cerámicas, para poder darle el ciclo de cocción óptimo. Para tener un poco de idea sobre cómo actúa el calor sobre las materias primas cerámicas, hay que ver las diferentes reacciones químicas: a) en silicatos y aluminosilicatos b) con las impurezas c) con la oxidación y la reducción. Y también las transformaciones físicas a las que están sometidas las piezas durante su paso por el horno: a) dilatación b) sinterización c) densificación d) pirolasticidad (África H., 2007).

Las ventajas de este tipo de hornos son las siguientes: cocción rápida, uniformidad de cocción, automatización y control, flexibilidad para cambiar los ciclos de cocción o parar y emprender la producción, consumos energéticos: al ser la carga útil mucho mayor, el consumo es menor y menor la contaminación atmosférica. El horno monoestrato más usado es el de rodillos, en él las piezas circulan sobre los rodillos que están en constante movimiento giratorio (África H., 2007), (Gras M., 2010).

En la Figura 6 se observa un horno monoestrato de rodillos para piezas cerámicas a Tercer Fuego.

Figura 6

Horno monoestrato pequeño para Tercer Fuego.



Nota: Extraído de la empresa Itaipisos, línea de Tercer Fuego, por Álvarez (2021)

2.2.5. Propiedades físicas de las materias primas a considerar durante el proceso de esmaltado.

2.2.5.1. Masa. Es la propiedad de un cuerpo de fluido que se mide por su inercia o resistencia a un cambio de movimiento. Es también una medida de la cantidad de fluido (Mott R, 1996).

2.2.5.2. Temperatura. Es una magnitud escalar relacionada con la energía interna de un sistema termodinámico. Más concretamente está relacionada directamente con la parte de la energía interna "sensible" asociada a los movimientos de las partículas del sistema. A medida que aumenta la energía sensible de un sistema se observa que está más "caliente", esto es, su temperatura es mayor. En el sistema internacional de unidades la unidad de temperatura absoluta es el Kelvin (K). Sin embargo, también son de uso otras escalas relativas como la escala Celsius (centígrada) y la escala Fahrenheit (Fernández J. y Corrochano C., 2014).

2.2.5.3. Densidad. La densidad es la cantidad de masa por unidad de volumen de una sustancia, y se denota con la letra griega ρ (rho). En el sistema Internacional la unidad de medida es el Kilogramo por metro cúbico (Martínez J. y Estornell G., 2014).

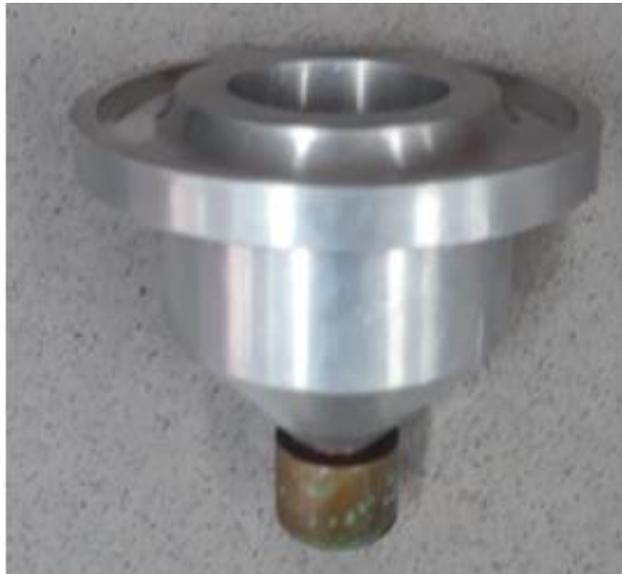
2.2.5.4. Viscosidad. La facilidad con la que un líquido se derrama es una indicación de su viscosidad. Se define a la viscosidad como la propiedad de un fluido que ofrece resistencia al movimiento relativo de sus moléculas (Ramírez J., 2006).

2.2.6. Equipos utilizados para determinar las propiedades físicas de las materias primas.

2.2.6.1. Viscosímetro Copa Ford. Permite determinar de manera rápida y fácil la viscosidad del engobe, esmalte, pinturas y otros fluidos similares, consiste en una copa de medidas determinadas, la medida de la viscosidad se la lleva a cabo llenando la copa hasta el rebosadero, y dejando caer el fluido, se cronometra el tiempo de caída hasta que se produce por primera vez la ruptura del hilo líquido (Ramírez J., 2006). En la Figura 7 se observa un viscosímetro Copa Ford número 4 generalmente utilizado para determinar la viscosidad del engobe y del esmalte en la línea de producción de baldosas cerámicas.

Figura 7

Dispositivo para la medida de la viscosidad (Copa Ford).

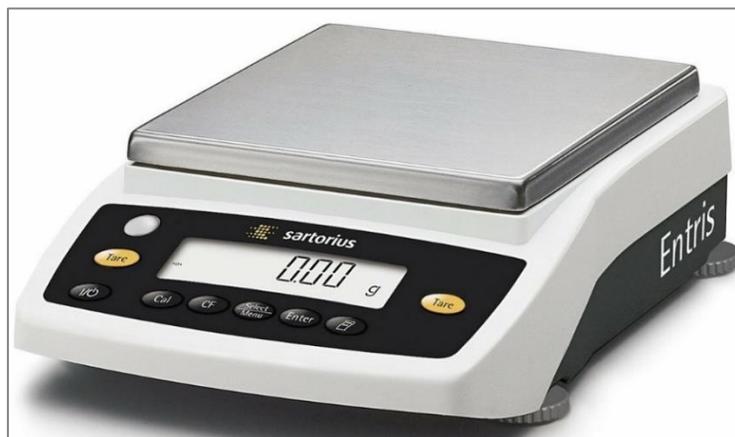


Nota: Extraído de la empresa Italtipis, línea de Tercer Fuego.

2.2.6.2. Balanza digital. Se conoce como balanza analítica a un tipo de balanza que se caracteriza por dar datos exactos y muy específicos respecto del peso de un objeto o elemento particular. La balanza digital es mucho más exacta que otras balanzas en un principio pesando un rango menor del miligramo (y que hoy día, las digitales, llegan hasta la diezmilésima de gramo 0,0001 g o 0,1 mg) (Pérez S., 2014). En la Figura 8 se muestra una balanza digital similar a las utilizadas en la industria cerámica.

Figura 8

Balanza digital.



Nota: Adaptado de <https://elicrom.com/>

2.2.6.3. Pirómetros ópticos. Es un instrumento utilizado para medir la temperatura a partir de la radiación proveniente de los cuerpos, esta se deduce mediante la relación que existe entre la densidad de energía emitida, la longitud de onda y la temperatura de este. Estos instrumentos miden la temperatura a gran distancia, incluyendo los objetos en movimiento, son ideales para altas temperaturas ya que detectan la longitud de onda con facilidad (Hoyos M. y Hurtado A., 2004).

Figura 9

Pirómetro óptico utilizado para determinar la temperatura de las placas cerámicas.



Nota: Adaptado de <https://materialdelaboratorio.top/pirometro/>

2.2.7. Controles de producción sobre el producto terminado.

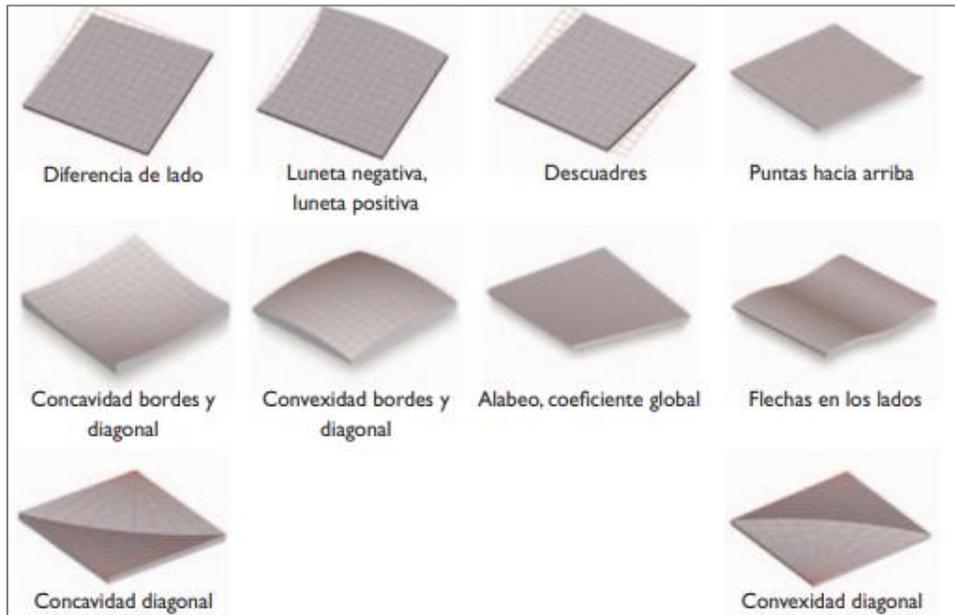
Al final de la cadena de fabricación quedan todavía por hacer los últimos controles que son los de las piezas terminadas, pues hay que asegurar que estos cumplan con las especificaciones de calidad requeridas, a continuación, se da una breve definición de los controles a realizar en el producto terminado.

2.2.7.1. Planaridad. Consiste en determinar la curvatura de las piezas cerámicas. Para establecer la no conformidad de la planaridad de las superficies, se trabaja por medio de sensores telemétricos con calibrado mediante una muestra patrón, y se construye un plano ideal de referencia: la comparación con el plano tomado de la baldosa en tránsito permite detectar sus defectos y desviaciones (tanto de tipo estadístico como de tipo local), determinando por consiguiente la clase de calidad de esta. En este caso el análisis es meramente cualitativo, en otras palabras, la desviación del plano ideal constituye un defecto. La imposición del umbral por encima del cual la presencia de este defecto conduce a la salida de la clase de calidad con la que el producto se introduce en el mercado puede fijarse por el operador (Asociación Española de Técnicos Cerámicos, 2004).

En la Figura 10 se presenta los defectos más habituales detectados por el equipo de control descrito anteriormente.

Figura 10

Representación gráfica de los defectos superficiales más comunes en baldosas cerámicas.



Nota: Adaptado de (Asociación Española de Técnicos Cerámicos, 2004).

2.2.7.2. Resistencia a la flexión. Es una propiedad relacionada con las características inherentes de los materiales y su procesado, la resistencia a la flexión representa el nivel de esfuerzo requerido para producir la fractura del material, a la resistencia a la flexión se denomina también módulo de rotura, se obtiene dividiendo la fuerza de rotura por el cuadrado del grosor mínimo (N/mm^2), en la línea de rotura de la baldosa (Restrepo O., 2011), (Novaes P. y Manfredini, 2020).

2.2.7.3. Resistencia a las manchas. La resistencia a las manchas de las baldosas cerámicas se determinan empleando tres agentes de manchado y eliminándolos de la superficie cerámica tras 24 horas mediante diferentes métodos: agua caliente, detergente débil o fuerte, o con un disolvente adecuado, se realiza una inspección visual del aspecto superficial transcurrido el tiempo de ensayo, clasificándolas en diferentes niveles según los resultados (Mazzanti B., Rambaldi E., Prete F.,2020).

2.2.7.4. Resistencia a los químicos. La resistencia química de las baldosas cerámicas esmaltadas se realiza con soluciones acuosas que contienen un componente activo, como un ácido, base o sal. En el método normalizado para las baldosas cerámicas, los esmaltes se dividen en diferentes clases en base a una inspección visual del aspecto superficial, después de su exposición a las soluciones de ensayo. Este método es apropiado para el control diario de la calidad en la producción, sin embargo, cuando se están desarrollando nuevas y mejores composiciones, o estudiando la causa de un daño superficial observado, son necesarios métodos más exactos (Tempest S., Kronberg T., Froberg L., Hupa L.,2004).

2.2.7.5. Absorción de agua. El ensayo tiene como objetivo determinar la capacidad de absorción de agua de las baldosas cerámicas, relacionando la masa de la pieza en seco y la masa saturada en agua e inmersión. La prueba consiste en someter un número determinado de baldosas a impregnación en agua, determinando la cantidad de agua que ha sido capaz de absorber cada una de ellas. Para llevar a cabo el ensayo se tiene que secar las baldosas hasta alcanzar una masa constante (diferencia inferior a 0,02 % entre dos pesadas en un intervalo de 24 horas) y enfriarlas a temperatura ambiente. Pesadas las piezas y secadas, con precisión 0,01 g, se colocan en un calentador lleno de agua sin que se lleguen a tocar unas con las otras, de manera que el nivel del agua, por encima y por debajo de las baldosas, sea de 5 cm. El agua alcanza la ebullición y se mantiene por dos horas. Retirar la fuente de calor y dejar enfriar las piezas a temperatura ambiente, manteniéndolas completamente sumergidas durante $4h \pm 15$ minutos. A continuación, se extraen y se secan con una manta húmeda. Acto seguido se procede a pesar cada baldosa con una balanza con precisión 0,01 g (Vieira A., y colaboradores 2017).

2.2.7.6. Calidad superficial. Para el análisis de los defectos superficiales en las placas cerámicas se considerará en esta descripción únicamente aquellos que guardan relación con las variables independientes.

- Ondulado: (Hoyuelo). Depresión no intencionada en la superficie de la baldosa.
- Poros: Diminutos hoyos o agujeros en la superficie de la pieza esmaltada (Orts y colaboradores, 1991).
- Pinchados en los vidriados: El defecto de los pinchados en los vidriados se encuentra entre los más frecuentes y al mismo tiempo entre los más difíciles a eliminar. Las baldosas con defectos que se manifiestan después de la cocción presentan una superficie cubierta más o menos intensamente de minúsculas depresiones (Asociación Española de Técnicos Cerámicos, 2004).
- Tonos por diferencia de peso de esmalte: La constancia de peso del esmalte aplicado y el aspecto estirado que el mismo adquiere es el origen de diferencias de color y de aspecto superficial que obliga a una subdivisión en la fase de clasificación (Asociación Española de Técnicos Cerámicos, 2004).
- Falta de esmalte: Pequeñas áreas en la cara esmaltada que no tienen esmalte (Orts y colaboradores, 1991).

3. CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA.

3.1. Tipo, diseño y nivel de investigación.

Este trabajo desarrolla una investigación de tipo aplicada porque se efectúa en la planta de Tercer Fuego de la empresa Italtipis S. A, con la finalidad de resolver los problemas antes descritos, tiene un enfoque cuantitativo, ya que se recolectan datos de la producción de decorados del formato 200 mm x 600 mm que servirán para probar las hipótesis planteadas con base al análisis estadístico, posee además un diseño experimental puro ya que se manipula de forma intencional las variables independientes para determinar los resultados sobre las dependientes. La Figura 11 describe brevemente el tipo, diseño, enfoque y el alcance que posee esta investigación.

Figura 11

Tipo, diseño y nivel de investigación.



3.2. Determinación, selección y tamaño de la muestra.

3.2.1. Determinación de la muestra.

Para el desarrollo de esta tesis se ha considerado como unidad de estudio los productos decorados de la planta de Tercer fuego, se decidió que la unidad de análisis será el formato 200 mm x 600 mm ya que un 90% de los decorados que allí se producen son realizados en dicho formato, la unidad de observación es la calidad del producto y la unidad de experimentación es la línea de esmaltación.

3.2.2. Selección de la muestra.

Para este estudio se utilizó una muestra no probabilística en el producto Mile Gris.

3.2.3. Tamaño de la muestra.

Para determinar el tamaño de la muestra se tomó como referencia la norma NTE INEN 645:2000 “Baldosas cerámicas. Muestreo y bases para aceptación”, con el cual se estableció el tamaño de la muestra en 10 piezas.

3.3. Operacionalización de variables.

En la Tabla 1 y Tabla 2 se descomponen deductivamente las variables que conforman el problema de investigación, donde se define la manera como se observará y medirá cada característica de estudio.

Tabla 1*Operacionalización de las variables independientes.*

VARIABLE INDEPENDIENTE: Condiciones normales de producción.				
Definición conceptual: Hace referencia al proceso actual de producción de cerámica de Tercer Fuego, es decir, sin eliminar ni modificar ninguna materia prima.				
Definición operacional: Producción sin eliminar el esmalte 1.				
Dimensiones	Definiciones	Indicador	Magnitud	Instrumento de recolección de datos
Masa del esmalte 1	Definición conceptual: Es la cantidad de materia o sustancia, en este caso esmalte, que se aplica inicialmente sobre el soporte engobado sin quemar. Definición operacional: Cantidad de esmalte aplicado al soporte engobado sin quemar.	Masa de la placa luego de aplicar el esmalte.	g	Balanza BE/95.
Viscosidad del esmalte 1.	Definición conceptual: Es la propiedad del esmalte 1 que ofrece resistencia al movimiento relativo de sus moléculas. Definición operacional: Rapidez con la que el esmalte 1 atraviesa la copa Ford.	Tiempo de caída del fluido hasta que se produce por primera vez la ruptura del hilo líquido.	s	Viscosímetro Copa Ford número 4.
Masa del engobe.	Definición conceptual: Es la propiedad del engobe que se mide por su inercia o resistencia a un cambio de movimiento. Definición operacional: Cantidad de engobe aplicado en el soporte sin quemar.	Masa del soporte luego de aplicar el engobe	g	Balanza BE/95.
Masa del esmalte 2.	Definición conceptual: Es la cantidad de materia o sustancia, en este caso esmalte, que se aplica sobre la base ya vitrificada, en el cual se aplican las tintas para Tercer Fuego. Definición operacional: Cantidad de esmalte aplicado sobre un esmalte vitificado.	Masa de la placa luego de aplicar el esmalte.	g	Balanza BE/95.
Viscosidad del esmalte 2.	Definición conceptual: Es la propiedad del esmalte 2 que ofrece resistencia al movimiento relativo de sus moléculas. Definición operacional: Rapidez con la que el esmalte 2 atraviesa la copa Ford.	Tiempo de caída del fluido hasta que se produce por primera vez la ruptura del hilo líquido.	s	Viscosímetro Copa Ford número 4.

Continuación Tabla 1

Operacionalización de las variables independientes.

Temperatura del calentador.	Definición conceptual: Rango de temperaturas en las cuales funciona el calentador. Definición operacional: Temperatura a la cual se calientan las placas.	Temperatura de las placas a la salida del calentador.	°C	Pirómetro.
VARIABLE INDEPENDIENTE: Nuevo proceso de producción de Tercer Fuego.				
Definición conceptual: Proceso de producción que permite elaborar cerámica de Tercer Fuego sin utilizar el esmalte 1 y con la calidad requerida.				
Definición operacional: Proceso de producción sin el esmalte 1.				
Dimensiones	Definiciones	Indicador	Magnitud	Instrumento de recolección de datos
Masa del esmalte 2.	Definición conceptual: Es la cantidad de materia o sustancia, en este caso esmalte, que se aplica sobre la base ya vitrificada, en el cual se aplican las tintas para Tercer Fuego. Definición operacional: Cantidad de esmalte aplicado sobre un esmalte vitificado.	Masa de la placa luego de aplicar el esmalte.	g	Balanza BE/95.
Viscosidad del esmalte 2	Definición conceptual: Es la propiedad del esmalte 2 que ofrece resistencia al movimiento relativo de sus moléculas. Definición operacional: Rapidez con la que el esmalte 2 atraviesa la copa Ford.	Tiempo de caída del fluido hasta que se produce por primera vez la ruptura del hilo líquido.	s	Viscosímetro Copa Ford número 4.
Masa del engobe.	Definición conceptual: Es la propiedad del engobe que se mide por su inercia o resistencia a un cambio de movimiento. Definición operacional: Cantidad de engobe aplicado en el soporte sin quemar.	Masa del soporte luego de aplicar el engobe.	g	Balanza BE/95.
Temperatura del calentador.	Definición conceptual: Rango de temperaturas en las cuales funciona el calentador. Definición operacional: Temperatura a la cual se calientan las placas.	Temperatura de las placas a la salida del calentador.	°C	Pirómetro.

Tabla 2*Operacionalización de la variable dependiente.***VARIABLE DEPENDIENTE:** Calidad requerida.**Definición conceptual:** Conjunto de propiedades inherentes a una cosa que permite caracterizarla y valorarla con respecto a las restantes de su especie.**Definición operacional:** Características finales que debe cumplir el producto terminado.

Dimensiones	Definiciones	Indicador	Magnitud	Instrumento de recolección de datos
Planaridad.	Definición conceptual: Curvatura homogénea hacia arriba o hacia abajo con un perfil de deformación parecido en los cuatro lados. Definición operacional: Curvatura de las piezas.	N ° Clase		Medidor de planaridad.
Absorción.	Definición conceptual: Proceso de toma de líquido por parte de un cuerpo permeable y Definición operacional: Capacidad que tiene una baldosa cerámica para absorber agua.	Cantidad de agua que absorbe la pieza cerámica.		Balanza BE/95.
Resistencia a las manchas.	Definición conceptual: Dificultad de eliminar cualquier sustancia en contacto con la superficie sin llegar a reaccionar con ella. Definición operacional: Dificultad de limpieza.	Presencia de manchas luego de limpiar la superficie		
Resistencia a los químicos	Definición conceptual: Capacidad de un material de resistir la impregnación, la erosión o la corrosión causada por ácidos, bases o disolventes químicos. Definición operacional: Variación de color o pérdida de brillo a causa de los químicos.	Presencia de una agresión química en la superficie.		
Resistencia a la flexión.	Definición conceptual: La resistencia a la flexión representa el nivel de esfuerzo requerido para producir la fractura del material. Definición operacional: Ensayo para determinar la resistencia de las placas cerámicas.	El módulo de rotura.	N/mm ²	MOR/5

Continuación Tabla 2

Operacionalización de las variables dependientes.

Calidad superficial.	Definición conceptual: Son imperfecciones en la superficie de la baldosa derivados del proceso de producción. Definición operacional: Defectos en la superficie relacionados con las variables independientes.	Presencia de imperfecciones en la superficie.		
VARIABLE DEPENDIENTE: Costos de esmaltación.				
Definición conceptual: Suma de esfuerzos y recursos que se han invertido durante el proceso de esmaltación.				
Definición operacional: Costo que genera esmaltar las piezas cerámicas.				
Dimensiones	Definiciones	Indicador	Magnitud	Instrumento de recolección de datos
Esmalte ahorrado.	Definición conceptual: Esmalte sobrante luego del proceso de esmaltado. Definición operacional: Cantidad de esmalte ahorrado con el nuevo proceso de producción.	Cantidad de esmalte utilizado en condiciones normales de producción menos la cantidad de esmalte utilizado con el nuevo proceso de producción. .	1	

3.4. Determinación de la calidad del producto Mile Gris en condiciones normales de producción.

El punto de partida para el desarrollo de este proyecto fue determinar las características finales que debe cumplir el producto terminado (Mile Gris) en condiciones normales de producción, con la

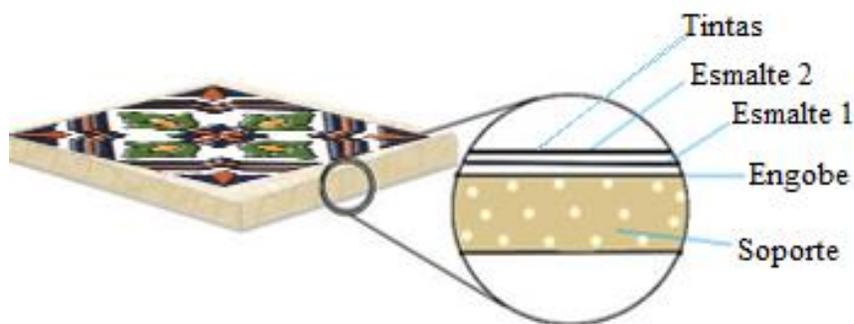
finalidad de generar un patrón contra el cual comparar los distintos experimentos a realizarse y así establecer si existe o no diferencia significativa entre ellos, permitiendo determinar si es factible o no el proyecto. Las normas internas de producción también se utilizarán como referencia para comparar los distintos experimentos.

3.4.1. Condiciones normales de producción.

El proceso para la producción de decorados a Tercer Fuego en condiciones normales inicia con las piezas cerámicas ya vitrificadas, es decir en un paso anterior al soporte ya se le ha engobado, esmaltado y quemado. Antes de aplicar una segunda capa de esmalte (esmalte 2) sobre la superficie vidriada es necesario calentar las piezas a unos 68°C aproximadamente para evitar defectos como poros, hoyuelos, recogido de esmalte, etc. Aplicado el esmalte se depositan las tintas que darán el efecto estético buscado, posterior a esto se quema a unos 975 °C, el porqué de cocer a estas temperaturas inferiores es para conseguir una serie de efectos decorativos muy bien valorados, los cuales desaparecen cuando se somete el material a una temperatura superior, finalmente se empaqueta el producto terminado. En la Figura 12 se indican los elementos principales que conforman una pieza cerámica a Tercer Fuego con el proceso actual de producción.

Figura 12

Elementos que conforman una baldosa cerámica a Tercer Fuego.



En la Tabla 3 se detallan las condiciones actuales de trabajo (condiciones normales de producción) para el producto Mile Gris.

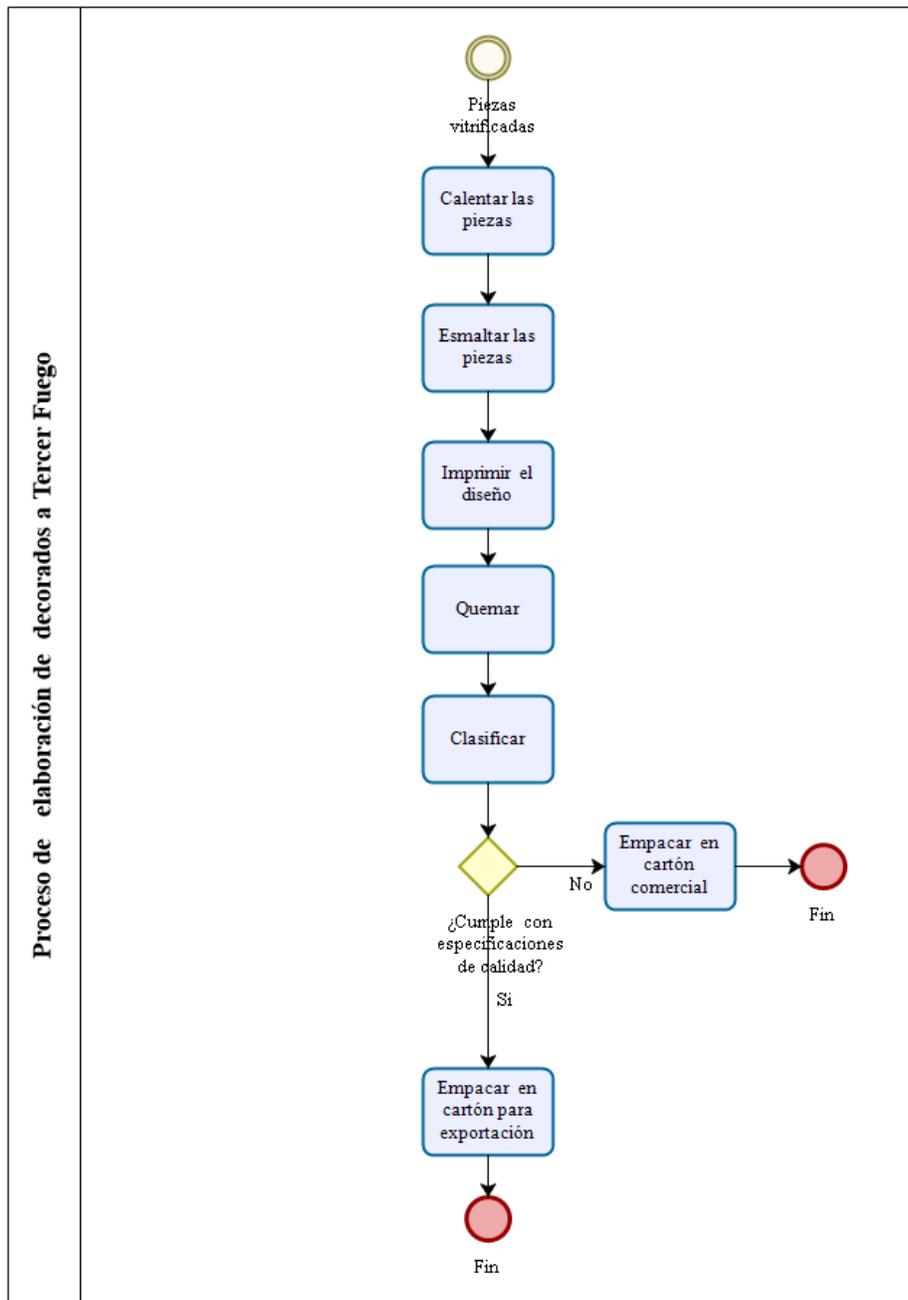
Tabla 3

Condiciones normales de producción del producto Mile Gris.

Masa del engobe	Viscosidad del engobe	Masa del esmalte 1	Viscosidad del esmalte 1	Masa del esmalte 2
50 g	25 s	40 g	60 s	70 g
Viscosidad del esmalte 2	Temperatura del calentador	Presión de trabajo	Temperatura de quema 1	Temperatura de quema 2
55 s	68 °C	130 bares	1140 °C	975 °C

Figura 13

Esquema general de la elaboración del producto Mile Gris en condiciones normales.



Nota: El gráfico explica de manera general el proceso para la elaboración del producto Mile Gris (producto a Tercer Fuego) en condiciones normales de producción.

3.4.2. Características finales del producto terminado.

Para establecer las características finales que el producto terminado debe cumplir, se determinó lo siguiente:

3.4.2.1. La resistencia a la flexión. Se realizó según la norma NTE INEN- ISO 10545-4. Este ensayo consiste en colocar las piezas una por una sobre los apoyos del equipo de tal modo que sus bordes extremos sobrepasan por lo menos 10mm a cada lado de la distancia entre los ejes de los apoyos. La distancia entre las barras de apoyo dependerá de la medida del lado mayor de la pieza.

La pieza debe estar bien colocada de tal forma que la aplicación de la carga sea en el centro, luego de aplicar la carga, en la sección en la que se rompió la pieza determinar el espesor y registrar este dato como (e) y su ancho midiendo el lado paralelo a la rotura, registrar este dato como (b).

Según Bannier E. (2017) el módulo de rotura expresado en N/mm² se calcula con la siguiente fórmula:

$$MR = \frac{3FL}{2be^2} \quad (1)$$

Siendo: F= Carga aplicada (Lectura en el equipo) en Newtons.

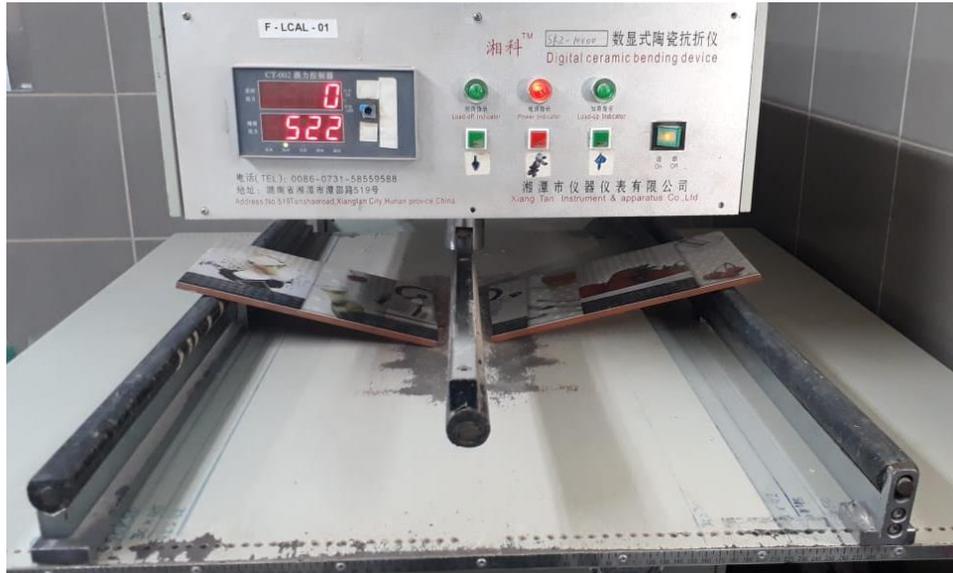
L= Distancia entre apoyos en cm.

b= Ancho de la baldosa en cm.

e= Espesor mínimo de la baldosa en mm.

Figura 14

Equipo utilizado para determinar la resistencia a la flexión.



Nota: Extraído de la empresa Italtipis, línea de Tercer Fuego, por Bravo (2021)

3.4.2.2. La absorción de agua. Se utilizó como referencia la norma NTE INEN - ISO 10545-3. Este ensayo consiste en pesar cada una de las piezas y registrar este peso como M1, introducir en agua a ebullición, mantener las piezas sumergidas durante 2 horas en agua a ebullición. Enfriar las piezas introduciendo agua al ambiente, eliminar el exceso de agua de la superficie de la pieza con un paño húmedo, finalmente pesar cada una de las piezas, y registrar este peso como M2. El porcentaje de absorción se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Absorción} = \frac{M2 - M1}{M1} \times 100 \quad (2)$$

Siendo: M1= Masa de la baldosa seca en g.

M2 = Masa de la baldosa húmeda en g.

El resultado obtenido de la fórmula representa el porcentaje de absorción de las baldosas o placas sometidas a la prueba. En la Figura 15 se observa el equipo utilizado para realizar el ensayo

de absorción de las piezas cerámicas.

Figura 15

Equipo utilizado para realizar el ensayo de absorción de agua.



Nota: Extraído de la empresa Italpisos, línea de Tercer Fuego, por Álvarez (2021)

3.4.2.3. La Planaridad. Este ensayo consiste en pasar las baldosas cerámicas a través del Dico liner, este equipo electrónico lee la curvatura de las placas mediante sensores ópticos sin necesidad de hacer contacto con la superficie, con una placa patrón se calibra el sistema obteniendo resultados con una precisión de décimas de milímetro. El equipo proporciona datos de:

Curvatura al centro. - Toma como referencia la diagonal y determina si la placa se encuentra cóncava (CCDiag) o convexa (CVDiag).

Curvatura al borde. – Toma como referencia los lados y según el eje cartesiano los clasifica en lados X o lados Y, luego determina si la placa se encuentra cóncava para cada lado (CCX, CCY) o convexa para cada lado (CVX, CVY).

Alabeos. – Determina si las puntas se encuentran caídas (SP-) o levantadas (SP+). Los resultados obtenidos por el equipo se compararon con la norma interna para valores de planaridad del formato 200 mm x 600 mm, para luego tabularlos según su clase.

En la Figura 16 se observa un Dico liner utilizados para controlar la planaridad en las piezas cerámicas.

Figura 16

Dispositivo de control de la planaridad.



Nota: Adaptado de <https://www.systemceramics.com/es/productos/control-del-calidad>

En la Tabla 4 se detalla los valores de planaridad para el formato 200 mm x 600 mm liso que se utiliza actualmente en la empresa Italpisos S.A.

Tabla 4

Norma interna para valores de planaridad para el formato 200mm x 600 mm. Fuente: Italpisos.

Tamaño nominal 200mm x 600 mm								
	SP +	SP-	CCX	CVX	CCY	CVY	CvDia	CcDia
Clase 1	8	6	5	6	6	6	10	9
Clase 2	8	8	9	10	10	11	14	13
Clase 3	11	10	13	14	14	14	16	15

3.4.2.4. Resistencia a las manchas. Se realizó en base a la norma NTE INEN -ISO 10545-14. Este ensayo consiste en someterles a las baldosas cerámicas a cuatro agentes de manchado como yodo, aceite de oliva, verde cromo y óxido de hierro durante 24 horas, luego las superficies son sometidas a métodos de limpieza como son agua caliente, un agente débil de limpieza (sin abrasivos PH de 6.5 a 7.5), un agente fuerte de limpieza (con abrasivos PH de 9 a 10) y solventes apropiados (HCl al 3%). Los resultados se expresaron en clases, siendo clase 5 a la mayor facilidad para remover la mancha y clase 1 a la imposibilidad de remover la mancha.

3.4.2.5. Resistencia a los agentes químicos. Se efectuó utilizando como referencia la norma NTE INEN -ISO 10545-13. Consiste en someter a las baldosas cerámicas a ciertos químicos como son: Cloruro de Amonio, Hipoclorito de Sodio, Ácido Cítrico, Ácido láctico al 5%, durante un tiempo de 24 horas y Ácido clorhídrico al 3%, Hiperóxido potásico de 30 g/l, Ácido clorhídrico al 18%, Hidróxido potásico de 100 g/l, durante un tiempo de 96 horas, para luego determinar el aspecto superficial luego de la exposición a dichas soluciones. Los resultados se expresaron en clases, asignándose como clase 1 cuando se tiene un efecto no visible (GA, GLA, GHA), clase 2 cuando existe un cambio definitivo en apariencia (GB, GLB, GHB), y clase 3 cuando existe una pérdida parcial o completa de la superficie original (GC, GLC, GHC).

3.4.2.6. Determinación de la calidad superficial. Se realizó utilizando como referencia la norma NTE INEN -ISO 10545-2. Este ensayo consiste en identificar si la superficie de las baldosas se encuentra con defectos, para ello se colocan las piezas cerámicas a una distancia de un metro y se observa a simple vista si tiene o no defectos en su superficie. Los resultados se expresaron en clases, siendo clase 1 cuando no contiene ningún defecto, clase 2 cuando posee un defecto o más.

3.5. Costos de esmaltación en condiciones normales de producción.

En la actualidad el sistema contable de la empresa obtiene el coste de los Esmaltes y engobes, a partir de ordenes específicas, también conocido como costos por órdenes de producción, por lotes o por pedidos, ya que los requerimientos de materiales varían según las especificaciones de los clientes. Al entrar en términos de costos se revisó el costo – beneficio que se obtendrá con el nuevo proceso de producción, determinándose no solo los beneficios de calidad sino también los económicos. En la Tabla 5 se detalla los costos de materiales directos, mano de obra directa y costos indirectos de fabricación para el producto Mile Gris.

Tabla 5

Costeo de esmaltes y engobe monoquema. Fuente: Italpisos S.A. (Año 2021).

Tipo de esmalte	MPD	MOD	CIF	Costo total (kg)
Esmalte brillante.	\$0,85	\$0,0659	\$0,0255	\$0,94
Esmalte mate	\$1,11	\$0,0659	\$0,0255	\$1,20
Engobe monoquema	\$0,40	\$0,0659	\$0,0255	\$0,49

El esmalte más económico y utilizado como base para la producción de piezas a Tercer Fuego es el brillante, con el esmalte mate se obtiene los mismos resultados, pero a un costo mayor. En la actualidad para la elaboración del producto Mile Gris se utiliza alrededor de 110g en cada pieza, lo que significa un costo unitario de 0.10 dólares, de ser factible este estudio con el nuevo proceso de producción se obtendrá un ahorro significativo alrededor del 50% en esmalte.

A continuación, en la Tabla 6, se muestra los costes actuales para la producción de decorados a Tercer Fuego, donde se ha considerado los costes del proceso de elaboración de la base, que es donde se piensa eliminar una materia prima y de hecho un proceso completo.

Tabla 6

Costos actuales de producción.

	PROCESO		TOTAL, COSTO M2	% COSTO
CERÁMICA BASE	Molienda	y	\$1,86	15,15%
	Atomizado			
	Prensado y secado		\$0,25	2,00%
	Engobado		\$0,49	4,00%
	Esmaltado		\$0,94	7,67%
	HORNO		\$0,68	5,54%
	Empaque		\$0,35	2,85%
TERCER FUEGO	Transporte		\$0,03	0,20%
	Calentamiento		\$0,07	0,57%
	Esmaltado		\$1,30	10,59%
	KERAJET		\$0,56	4,56%
	Pasta de Vidrio		\$2,30	18,74%
	HORNO		\$2,25	18,33%
	Empaque		\$1,20	9,78%
			\$12,27	100,00%

3.6. Parámetros idóneos del nuevo proceso de producción de Tercer Fuego.

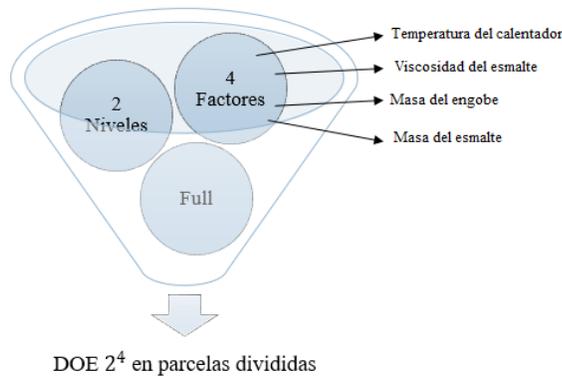
El análisis de las características finales que debe cumplir el producto terminado (calidad requerida) del diseño experimental planteado será determinante para establecer si es viable este proyecto y así fijar los parámetros idóneos del nuevo proceso de producción de Tercer Fuego.

3.6.1. Diseño de experimentos.

El primer paso para determinar los parámetros idóneos del nuevo proceso de producción de cerámica de Tercer Fuego fue realizar dos diseños de experimentos a través de un software estadístico, para ello se utilizó el diseño experimental en parcelas divididas, de dos niveles y cuatro factores, con cinco y diez replicas. Se escogió realizarlo de dos niveles basados en la experiencia, es decir se estableció dos límites en el cual se pueden modificar las variables sin que llegue a generarse defectos visibles durante el proceso, de cuatro factores ya que son cuatro las variables independientes que intervienen en el experimento. Debido a que este estudio experimental se tiene que correr de manera aleatoria y que cuenta con dos factores que son difíciles de cambiar de un nivel a otro, como son la temperatura del calentador y la viscosidad del esmalte y dos factores que son fáciles de cambiar como la masa del engobe y la masa del esmalte, se decidió realizarlo a través de parcelas divididas, estos factores que son difíciles de manipular dificultan el trabajo experimental en un diseño factorial, por tal razón en el diseño de parcelas divididas los factores difíciles de mover se asignaron a las parcelas y los fáciles de mover a las subparcelas, minimizando de esta manera los cambios de nivel de los factores difíciles durante el experimento. La Figura 17 representa gráficamente los elementos necesarios para realizar el DOE (diseño de experimentos) y los factores a tomar en cuenta.

Figura 17

Elementos necesarios para realizar el diseño de experimentos de la investigación.



Finalmente debido al tamaño de la muestra requerida se realizó el primer diseño experimental con diez réplicas para determinar las variables respuesta resistencia a la flexión, planaridad y calidad superficial y el segundo diseño experimental con cinco réplicas para determinar las variables respuesta absorción, resistencia a las manchas y resistencia a los agentes químicos. La Figura 18 representa un esquema de la manera en la que se asignaron los distintos experimentos y los valores de los respectivos factores.

Figura 18

Esquema de la asignación de los distintos experimentos.

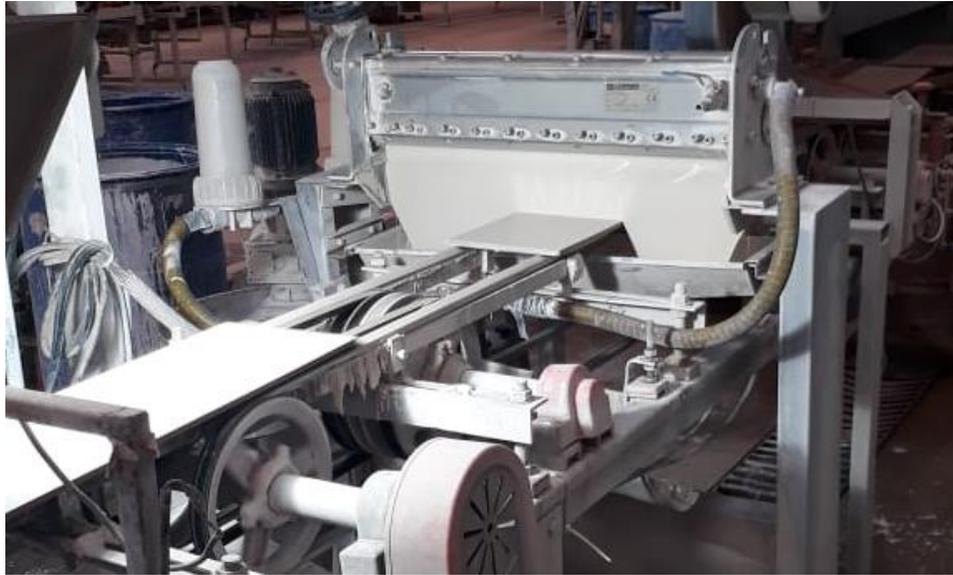
				Viscosidad del Esmalte (s)			
				47		37	
				Temperatura del Calentador (°C)			
				50	35	50	35
Masa del Engobe (g)	50	Masa del Esmalte (g)	48	A	B	I	J
			38	D	C	L	K
	40		48	E	F	M	N
			38	H	G	P	O

3.6.2. Ejecución de los experimentos.

Este proceso inicia con las placas cerámicas engobadas y cocidas, es decir en un paso anterior se aplicó los 40 y 50 g de engobe requeridos para realizar los experimentos y se los llevó a quema a unos 1140/1140 °C aproximadamente. En la Figura 19 se observa el proceso de engobado de las piezas cerámicas que se utilizaron para el desarrollo de los diferentes experimentos.

Figura 19

Proceso de engobado para las piezas a Tercer Fuego.



Nota: Extraído de la empresa Italtipis, línea de Tercer Fuego.

Los experimentos se ejecutaron de acuerdo con el orden propuesto por el software estadístico garantizando la aleatoriedad, en los Anexos A y B se detallan las matrices del diseño experimental en parcelas divididas utilizadas.

En un primer paso se calibró el calentador a una temperatura de 35°C y la viscosidad del esmalte en 37s, manteniendo estas variables constantes se esmaltaron el mayor número de piezas posibles modificando únicamente la masa del engobe y la masa del esmalte. Variar la masa del esmalte no fue problema, se lo realizó con el reductor de velocidades de la línea de esmaltación.

El siguiente paso fue subir la temperatura del calentador a 50°C y la viscosidad del esmalte a 47s y así mismo manteniendo constantes estas variables se esmaltaron el mayor número de piezas posibles modificando únicamente la masa del engobe y la masa del esmalte. Cabe mencionar que para bajar la viscosidad del esmalte se adicionó pequeñas cantidades de agua, mientras que para aumentar la viscosidad se agregó esmalte de mayor viscosidad.

El tercer paso fue mantener constante la temperatura del calentador en 50°C, modificar la viscosidad del esmalte en 37s y esmaltar el mayor número de placas modificando únicamente la masa del engobe y la del esmalte. Finalmente se bajó la temperatura del calentador a 35°C y se subió la viscosidad del esmalte a 47s para esmaltar el sobrante de piezas de igual manera modificando la masa del engobe y la del esmalte.

Una vez que se esmaltó las 240 piezas se aplicó el diseño en la Kerajet y se trasladó al horno. Todas las piezas se cocieron juntas a fin de garantizar que tengan las mismas condiciones de quema, esto es a una temperatura de 975/975°C con un ciclo del horno de 67 minutos. En la Figura 20 se observa las piezas cerámicas experimentales a la salida del horno.

Figura 20

Producto Mile Gris a la salida del horno.



Nota: Extraído de la empresa Italpisos, línea de Tercer Fuego.

4. CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1. Características finales del producto terminado en condiciones normales de producción.

Las características finales del producto terminado en condiciones normales de producción se determinaron con el fin de establecer un punto de partida de información, también generar un patrón de referencia con el cual comparar los distintos experimentos realizados y determinar si existe diferencia significativa entre los mismos.

4.1.1. Resistencia a la flexión en condiciones normales de producción.

En la Tabla 7 se detallan los valores de la resistencia a la flexión para las baldosas que se utilizaron como modelo de referencia, un breve análisis estadístico revela que esta se encuentra entre 25.10 y 34.74 N/mm², con una media de 29.38 N/mm² resultando superior a la norma interna de producción que es mínimo 22 N/mm². Estos valores altos obtenidos dan a suponer que el trabajar con una segunda capa de esmalte en la producción de piezas a Tercer Fuego influye en la resistencia a la flexión, supuesto que se corroborará con los resultados del diseño experimental.

Tabla 7

Valores de la resistencia a la flexión en condiciones normales de producción.

Nº Baldosa	Resistencia a la flexión N/mm²
1	33,86
2	27,69
3	26,6
4	31,94
5	25,1
6	26,81
7	28,36
8	34,74
9	29,87
10	28,88

4.1.2. Planaridad en condiciones normales de producción.

Al analizar los valores de planaridad de las baldosas que se utilizaron como patrón de referencia se observa que las placas presentan una curvatura homogénea hacia abajo con un perfil de deformación parecido en los cuatro lados, es decir las piezas cerámicas se encuentran convexas.

Si bien es cierto, la convexidad es uno de los problemas más frecuentes de la planaridad, también son los más difíciles, porque en el origen está un defecto de compatibilidad entre el soporte y el esmalte por el desarrollo de sus correspondientes curvas dilatómicas (Asociación Española de Técnicos Cerámicos, 2004). En los valores de planaridad obtenidos se evidencia que el utilizar esmalte sobre una base vidriada contribuye a obtener valores excesivamente altos de convexidad (CVX, CvDiag) y por ende valores altos del alabeo (SP-), el engobe y el espesor de la capa del esmalte están influyendo en la planaridad. El problema en este caso es que estos valores de planaridad obtenidos CVX, SP- y CvDiag según la Norma interna de la empresa para valores de planaridad del formato 200mm x 600 mm (Tabla 4) pertenecen a la clase 2 y algunos de ellos están al límite de pertenecer a la clase 3.

En la Tabla 8 se detallan los valores de planaridad de las baldosas que se utilizaron como patrón de comparación, es decir, en condiciones normales de producción.

Tabla 8*Valores de planaridad en condiciones normales de producción.*

Patrón								
Nº Baldosa	SP +	SP-	CCX	CVX	CCY	CVY	Cc Diag	CvDiag
1	0	8	0	8	2	0	0	13
2	0	7	0	9	2	0	0	13
3	0	7	0	10	1	0	0	13
4	0	6	0	8	4	0	0	12
5	0	5	0	8	4	0	0	12
6	0	6	0	8	2	0	0	12
7	0	7	0	9	2	0	0	13
8	0	6	0	7	3	0	0	9
9	0	7	0	8	2	1	0	12
10	0	6	0	7	1	0	0	11

4.1.3. Absorción en condiciones normales de producción.

Los datos obtenidos de la absorción se detallan en la Tabla 9, donde se observa que estos se encuentran dentro de las especificaciones internas de producción que es de 3 a 6%, sin embargo, mantienen una tendencia hacia el límite superior, con una media de 5.80%. Si bien es cierto la absorción en las piezas cerámicas dependen en gran medida de las materias primas, de la presión de prensado y de la temperatura de quema, en un estudio realizado por Vera B. y Lazo L., (2020) denominado “Engobe borosilicatado como recubrimiento impermeable en mobiliario sanitario obtenido de altas concentraciones de ácido bórico residual” se demostró que las composiciones del engobe y del vidriado permiten mejorar los niveles de absorción y de permeabilidad, razón por la cual se consideró importante el análisis de esta variable.

Tabla 9

Valores de absorción en condiciones normales de producción.

Nº Baldosa	Absorción
1	5.74%
2	5.89%
3	5.63%
4	5.83%
5	5.94%

4.1.4. Calidad superficial en condiciones normales de producción.

Los defectos superficiales en la cerámica plana son muy diversos, pero los que están directamente relacionados con el esmalte es el ondulado y pinchado. La Tabla 10 refleja la inexistencia de defectos de ondulaciones y resalta la aparición de una pieza con pinchado, por lo tanto, del ensayo de 10 piezas en condiciones normales se determina un valor de 90% como clase 1.

Tabla 10

Defectos Superficiales en la cerámica en condiciones normales de producción

Nº Baldosa	Ondulado	Pinchado	Clase
1	-	-	1
2	-	-	1
3	-	-	1
4	-	SI	2
5	-	-	1
6	-	-	1
7	-	-	1
8	-	-	1
9	-	-	1
10	-	-	1
TOTAL	0	1	90%

Según los criterios de muestreo y bases de aceptación de la Norma INEN 645:2000, este resultado conlleva una pieza no conforme, lo que significa que se debe considerar aceptado el lote de donde se extrajo la muestra.

4.1.5. Resistencia a las manchas en condiciones normales de producción.

En la Tabla 11 se detallan los resultados obtenidos del ensayo y los agentes para manchar empleados en las baldosas que se utilizaron como patrón de referencia, todas las baldosas pertenecen a la clase 5, es decir las manchas fueron removidas con facilidad a través de agua caliente.

Tabla 11

Especificación de la clase para el ensayo resistencia a las manchas en condiciones normales de producción.

Nº Baldosa	Verde Cromo	Fe₂O₃	Yodo	Aceite de oliva
1	5	5	5	5
2	5	5	5	5
3	5	5	5	5
4	5	5	5	5
5	5	5	5	5

4.1.6. Resistencia a los químicos en condiciones normales de producción.

En la Tabla 12 se observa los resultados del ensayo resistencia a los químicos y los reactivos empleados en las baldosas que se usaron como patrón de referencia, donde se evidencia que estas son resistentes químicamente tanto a los productos de limpieza y a las sales para agua de piscina

GA, como a los ácidos y bases de baja y alta concentración, GLA y GHA respectivamente, ya que no se observó ningún efecto visible en la parte expuesta al químico.

Tabla 12

Especificación de la clase para el ensayo resistencia a los químicos en condiciones normales de producción.

Nº baldosa	Cloruro de amonio	Hipoclorito de sodio	Ácido clorhídrico al 3%	Ácido Cítrico	Hiperóxido potásico de 30 g/l	Ácido clorhídrico al 18%	Ácido láctico al 5%	Hidróxido potásico de 100 g/l
1	GA	GA	GLA	GLA	GLA	GHA	GHA	GHA
2	GA	GA	GLA	GLA	GLA	GHA	GHA	GHA
3	GA	GA	GLA	GLA	GLA	GHA	GHA	GHA
4	GA	GA	GLA	GLA	GLA	GHA	GHA	GHA
5	GA	GA	GLA	GLA	GLA	GHA	GHA	GHA

4.2. Características finales del producto terminado de los diferentes experimentos.

Después de realizar los 16 experimentos, se midieron las variables respuesta (resistencia a la flexión, planaridad, calidad superficial, absorción, resistencia a las manchas y a los agentes químicos), y se analizó los datos por medio de la metodología de diseño de experimentos (DOE). Los resultados de las mediciones de las variables respuesta para cada experimento se encuentran en los Anexos 3 al 7.

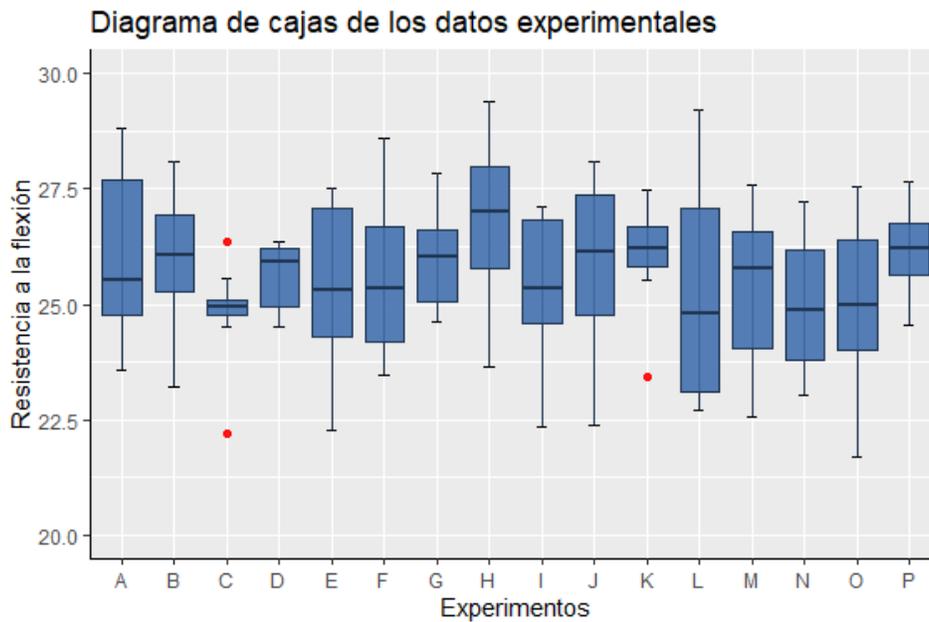
4.2.1. Análisis de la resistencia a la flexión de los experimentos.

Se realizó un análisis exploratorio de los datos obtenidos de la variable respuesta resistencia a la flexión, en el diagrama de caja de la Figura 21 se observa que en la mayoría de los ensayos los datos se encuentran dispersos, distribuidos de forma asimétrica, con un valor mínimo de 21.7 N/mm² y un máximo de 30.1 N/mm². Se evidencia la presencia de datos atípicos en los

experimentos C y K, estos no se eliminaron para los análisis pues se desconoce las causas de su origen o procedencia. Se muestran también los resultados del ANOVA y la influencia de los factores escogidos sobre la resistencia a la flexión, dado que las medias no son significativamente diferentes, las cajas de cada experimento se solapan, lo que significa que los cambios realizados en los factores no influyen de modo relevante en la resistencia a la flexión.

Figura 21

Diagrama de cajas de la resistencia a la flexión con los datos experimentales.

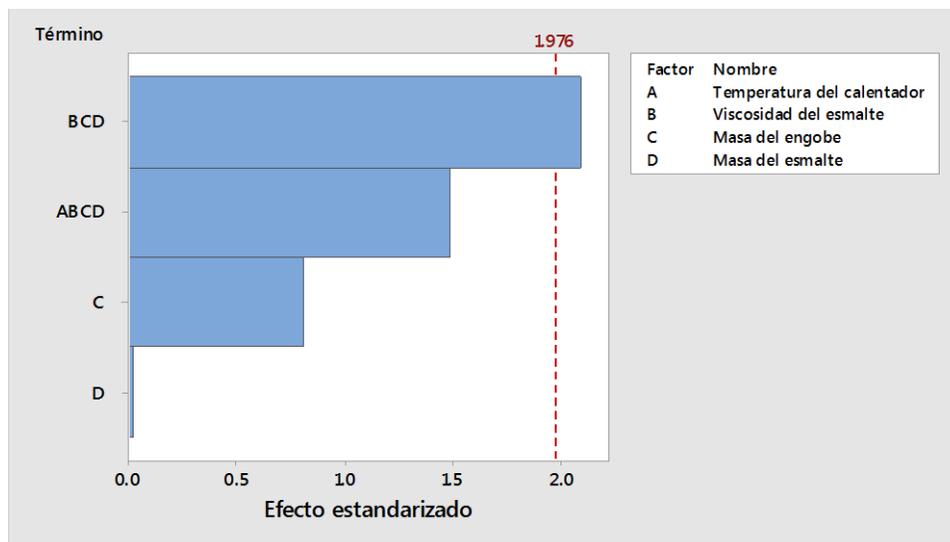


El análisis ANOVA del diseño en parcelas divididas, revela que los factores escogidos por sí solos no influyen en la resistencia a la flexión, el p valor obtenido para cada factor es mayor al nivel de significancia de 0.05, resultando únicamente significativa la interacción entre la viscosidad del esmalte, masa del engobe y masa del esmalte, con un p valor de 0.038. Se graficó un diagrama de Pareto para mostrar los valores absolutos de los efectos estandarizados desde el efecto más grande hasta el más pequeño. En la Figura 22 se observa que solo la interacción de estos tres factores sobrepasa la línea de referencia, por lo que se considera estadísticamente significativa sobre la variable respuesta.

El valor obtenido del R^2 ajustado es bajo, lo que muestra que el modelo explica poco la variabilidad de la respuesta, al momento de realizar las predicciones para la resistencia a la flexión, estas van a ser poco precisas, pero dado que el objetivo de este estudio no es realizar predicciones, se considera el modelo como válido. Aunque el R^2 ajustado sea bajo, el p valor obtenido indica que hay una relación real entre la interacción de los tres factores y la variable respuesta.

Figura 22

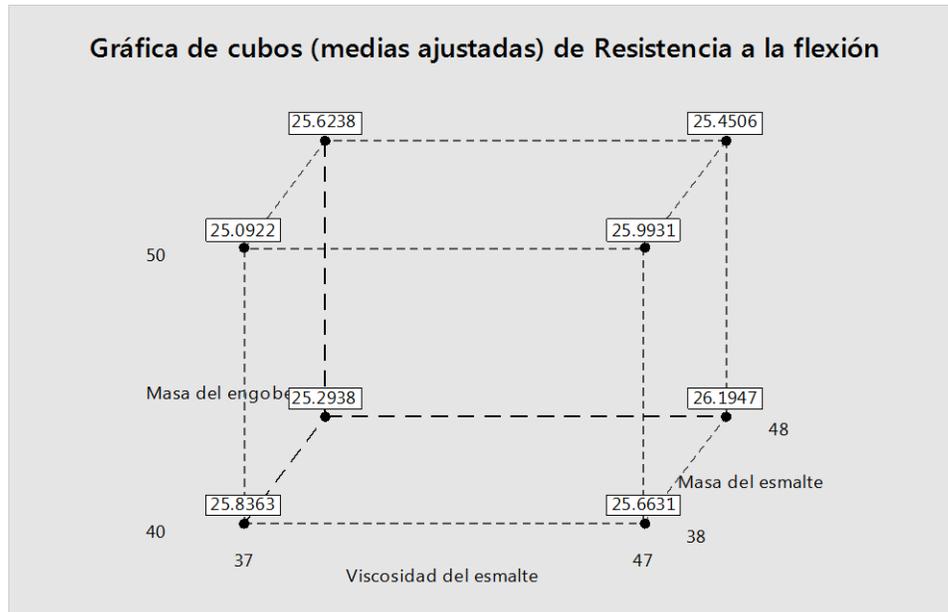
Diagrama de Pareto de los efectos estandarizados para la resistencia a la flexión.



En la gráfica de cubos de la Figura 23 se muestra la relación entre los factores y la variable respuesta, en ella se observa que la combinación que permite obtener una mayor resistencia a la flexión es cuando se tiene la viscosidad del esmalte en 47s, la masa del engobe en 40g y la masa del esmalte en 48g, mientras que un valor mínimo se da cuando la viscosidad del esmalte se encuentra en 37s, la masa del engobe en 50g y la masa del esmalte en 38g.

Figura 23

Gráfica de cubos para la resistencia a la flexión.



En la gráfica de cubos se observa que existe un cambio mínimo en la resistencia a la flexión con cada nivel de factor, seguramente debido a la mínima variación en los niveles escogidos. Con este gráfico se demuestra que no solamente la presión de prensado y la temperatura de quema influyen en la resistencia a la flexión, sino también la interacción entre estos tres factores.

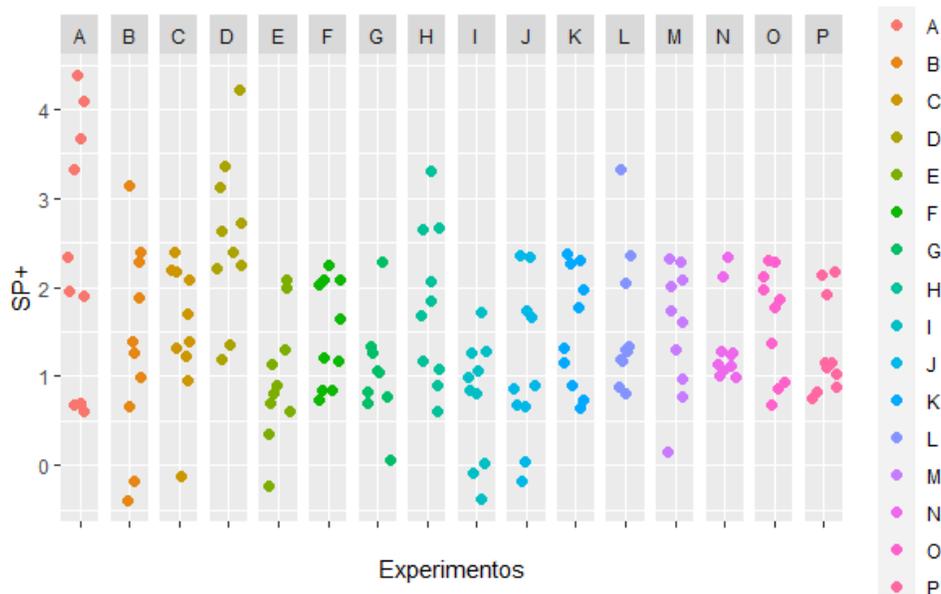
4.2.2. Análisis de la planaridad de los experimentos.

Para el análisis de la variable respuesta planaridad se estudió únicamente tres de las dimensiones que la conforman SP+, SP-, CVDiag pues fueron suficientes para determinar si existe una relación real entre los factores escogidos y la planaridad de las piezas cerámicas, y así alcanzar los objetivos descritos en un inicio. Se comenzó realizando una exploración de los valores del SP+ (alabeo de las puntas hacia arriba), en la Figura 24 se muestra como están distribuidos los datos para cada experimento, se observa que estos están en un rango entre 0 y 4 mm, sin embargo, la mayoría de los datos se encuentran concentrados entre 1 y 2 mm, lo que significa que existe una deformación

mínima de las puntas hacia arriba. Se observa también la existencia de un patrón de comportamiento en los ensayos M, N, O y P, con valores de SP+ entre 1 y 2 mm, teniendo en común la temperatura del calentador en 50°C y la viscosidad del esmalte en 37s.

Figura 24

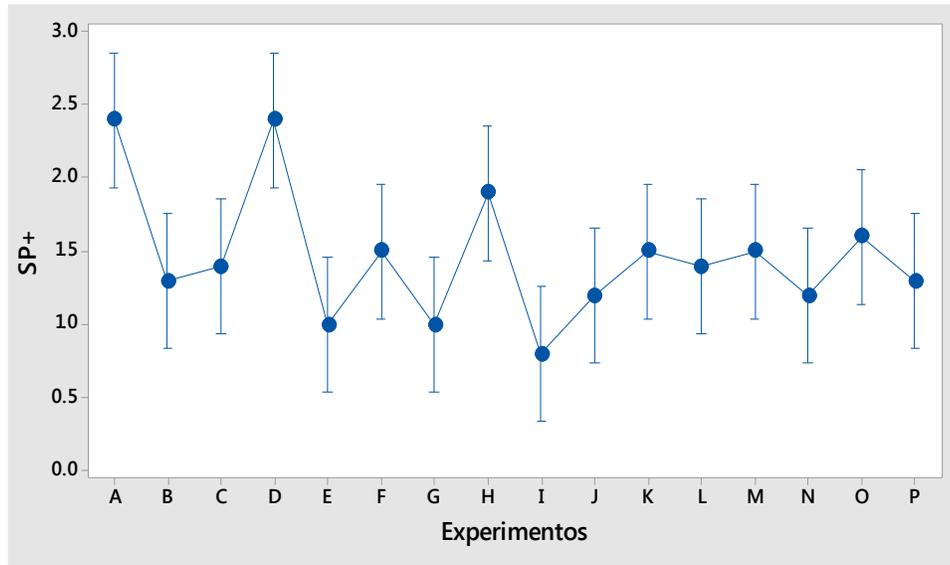
Distribución de los datos del SP+ para cada experimento.



En la Figura 25 se observa una gráfica de intervalos donde se muestra la influencia de los factores escogidos en cada experimento sobre los valores de los SP+, se observa también las medias y los intervalos según la desviación estándar que presentan los datos para cada ensayo. Dado que los datos no siguen una distribución normal y que no es posible realizar una transformación de estos, se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis para comparar si las medianas de cada experimento son iguales, donde el p valor ajustado obtenido de 0.001 indica que son significativamente diferentes, corroborando que los niveles en los factores escogidos para el análisis de la variable planaridad fueron los adecuados.

Figura 25

Gráfica de intervalos para el SP+ de cada experimento.



El análisis del diseño en parcelas divididas revela que los factores principales como la masa del engobe y la masa del esmalte tienen un efecto significativo sobre el SP+, con un p valor de 0.011 y 0.006 respectivamente, siendo estos menores al nivel de significancia escogidos. La interacción entre los factores también es importante, los resultados revelan que, al interactuar la masa del esmalte con la viscosidad, la temperatura del calentador con la masa del engobe y la interacción entre la temperatura del calentador, la masa del esmalte y su viscosidad tienen un efecto significativo, con un p valor menor a 0.05. Esta información se corrobora a través del diagrama de Pareto de la Figura 26 en ella los factores principales y sus interacciones que contribuyen significativamente en el SP+ sobrepasan la línea de referencia.

En la Figura 25 y en la gráfica de cubos de la Figura 27 se confirma lo que sucede en la práctica, cuando se trabaja con la masa del engobe mayor a la del esmalte, la deformación de las piezas cerámicas se da en forma cóncava con valores altos de SP+, mientras que, cuando la masa del esmalte es mayor a la del engobe la deformación se da en forma convexa, con valores bajos o nulos de los SP+, obviamente descartando la posibilidad de que dichas deformaciones sea debido a una falta de limpieza en los rodillos del horno.

Figura 26

Diagrama de Pareto de los efectos estandarizados para el SP+.

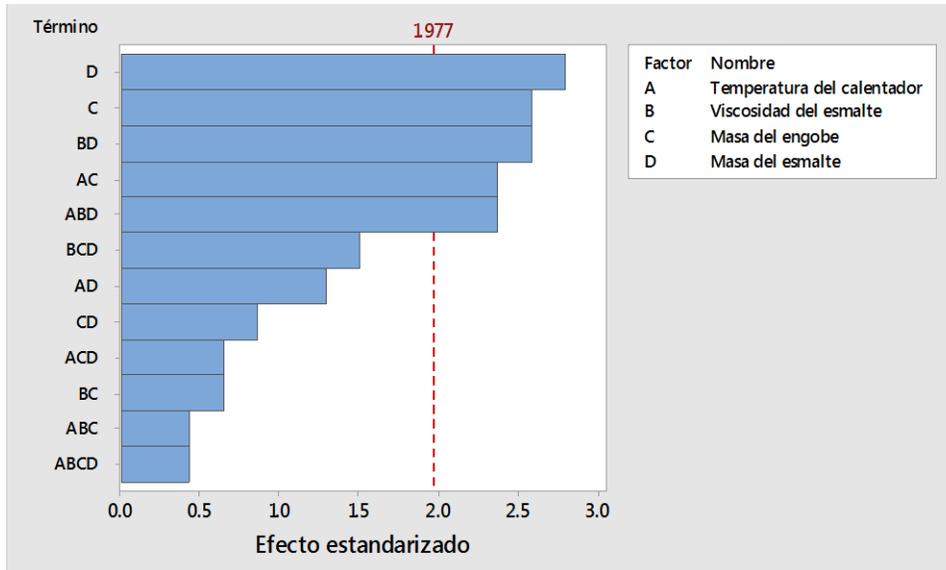
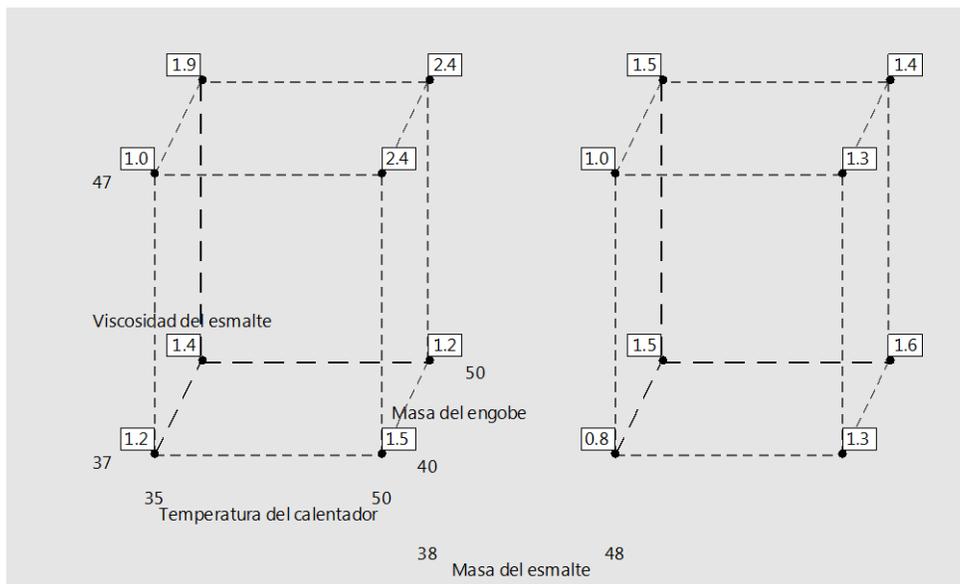


Figura 27

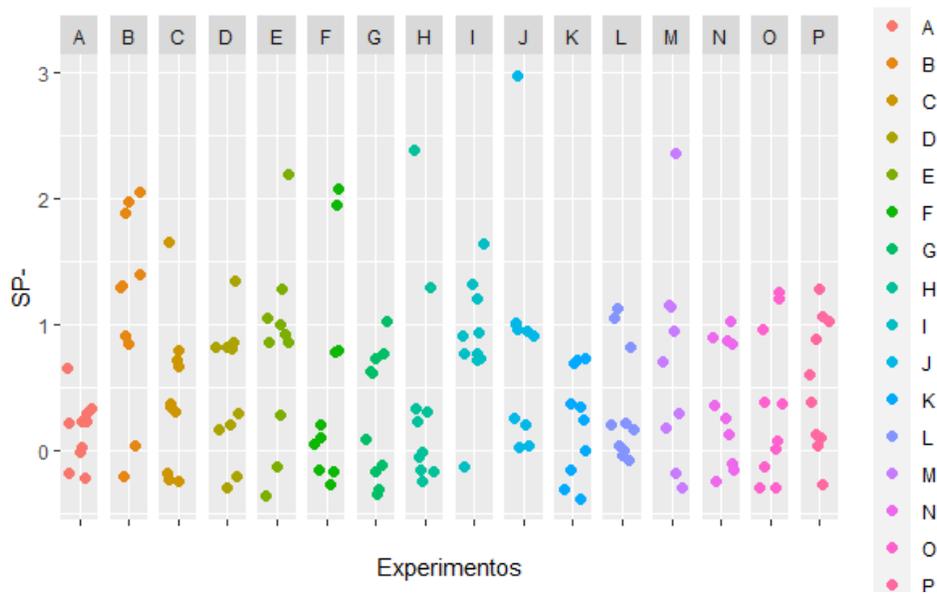
Gráfica de cubos para los SP+.



Los datos del SP- (alabeo de las puntas hacia abajo) para cada experimento se muestran en la Figura 28, estos valores se encuentran bastante concentrados entre 0 y 1 mm, con un dato atípico de 3 mm que corresponde al experimento J, lo que indica que existe una deformación mínima en las puntas.

Figura 28

Distribución de los datos del SP- para cada experimento.



En la Figura 29 se observa una gráfica de intervalos, donde se muestran la influencia de los factores sobre los SP- de cada experimento, con el p valor ajustado obtenido de la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis de 0.022 se verifica que existe diferencia significativa entre las medianas, esto indica que los factores escogidos influyen en la planaridad de las baldosas cerámicas, en este caso sobre la deformación de las puntas hacia abajo (SP-).

El análisis del diseño en parcelas divididas para el SP- indica que el único factor importante a considerar es la masa del engobe con un p valor obtenido de 0.00 siendo menor al nivel de significancia estadístico de 0.05. En la Figura 30 se observa el diagrama de Pareto donde el componente principal que se extiende más allá de la línea de referencia es la masa del engobe.

Figura 29

Gráfica de intervalos para los SP-.

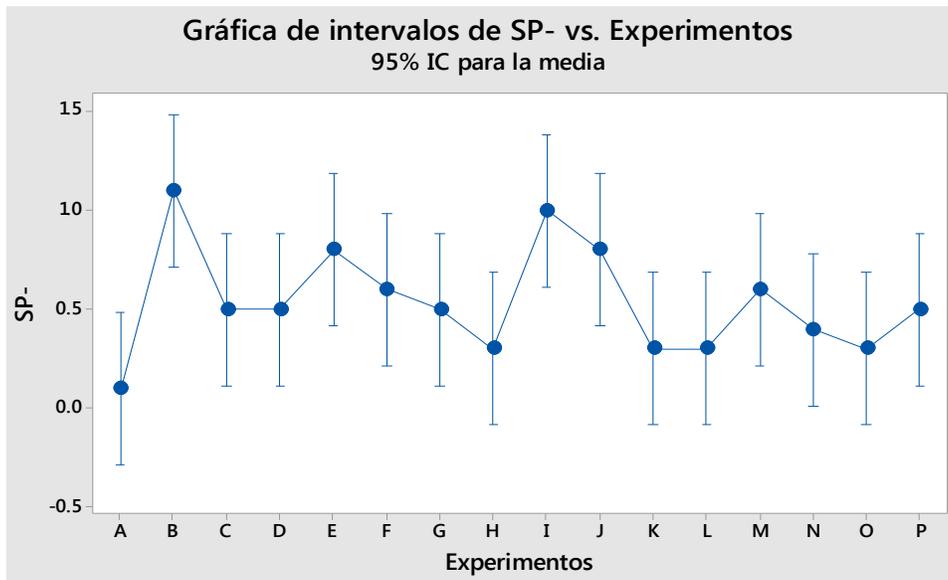
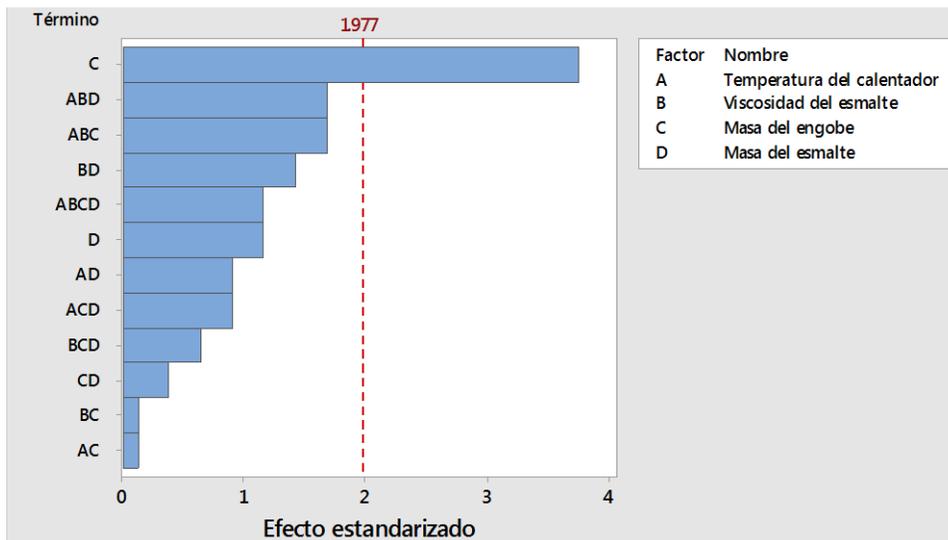


Figura 30

Diagrama de Pareto de los efectos estandarizados para el SP-.



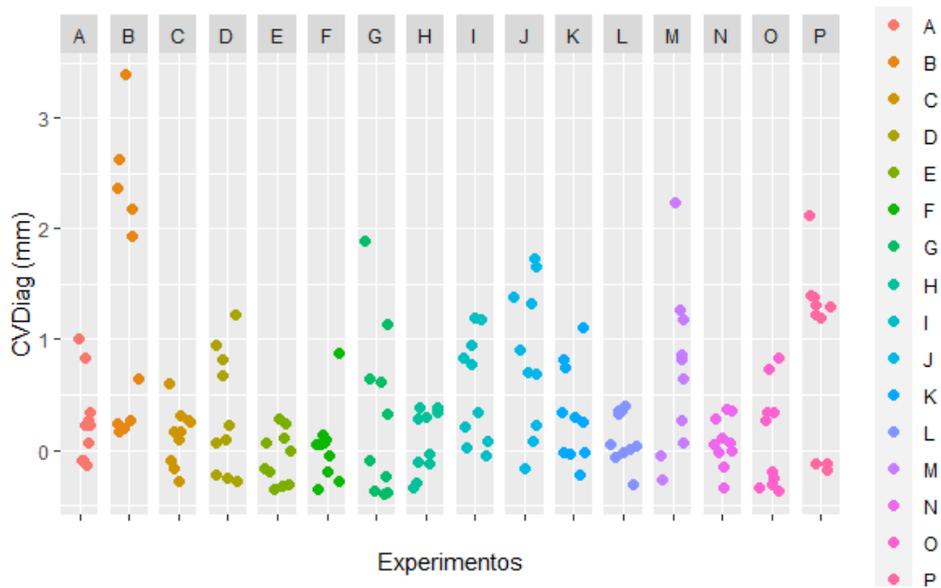
La Figura 29 y Figura 30 explican lo que en realidad sucede durante la producción de decorados a Tercer Fuego, a mayor cantidad de engobe utilizado, se genera una deformación tipo cóncava y

por ende una menor deformación de los SP-. Todos los experimentos que presentan valores altos de SP- tienen en común que la masa del esmalte es mayor a la del engobe.

Los valores obtenidos para la convexidad en la diagonal (CVDiag) de cada experimento se observan en la Figura 31, con un rango entre 0 y 2 mm, el experimento B presenta dos datos atípicos en el límite superior con un valor de 3 mm. Estos datos derivados de los experimentos son significativamente bajos, muy similares a los SP+ y SP-, lo que significa que existe una deformación mínima de la planaridad.

Figura 31

Distribución de los datos de CVDiag para cada experimento.



Se realizó una prueba de Kruskal Wallis entre los experimentos, con la finalidad de determinar si los niveles escogidos en cada factor ejercen una influencia importante en la CVDiag de las piezas cerámicas, el p valor ajustado de 0.000 indican que existe una diferencia significativa entre las medianas, comprobándose que los factores escogidos son los correctos. La gráfica de intervalos de la Figura 32 tiene similar comportamiento que la obtenida para los SP-, los valores altos de CVDiag se dan cuando se trabaja con una masa de esmalte superior a la masa del engobe, aquellos experimentos con valores de CVDiag bajos tienen en común una cantidad engobe es superior a la del esmalte, estos resultados son un reflejo de lo que realmente sucede durante la producción de piezas a Tercer Fuego.

El análisis del diseño experimental indica que los factores principales que ejercen influencia sobre la CVDiag son: la masa del engobe, la masa del esmalte y también la interacción entre la viscosidad del esmalte y su masa con la masa del engobe, los p valor obtenidos al ser menores al nivel de significancia indican que existe una relación real entre dichos factores y CVDiag. En el diagrama de Pareto de la Figura 33 se observa que únicamente los factores antes mencionados atraviesan la línea de referencia, por lo que se consideran estadísticamente significativos.

Figura 32

Gráfica de intervalos para la CVDiag.

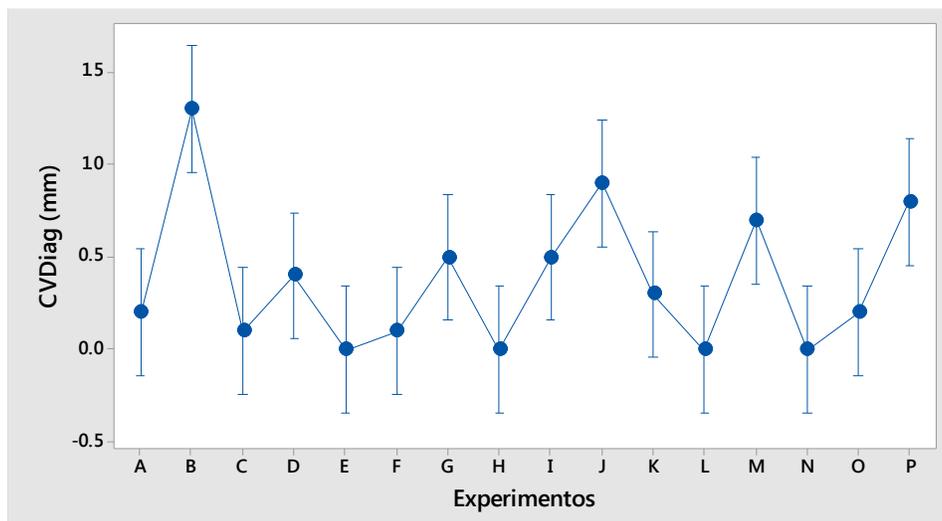
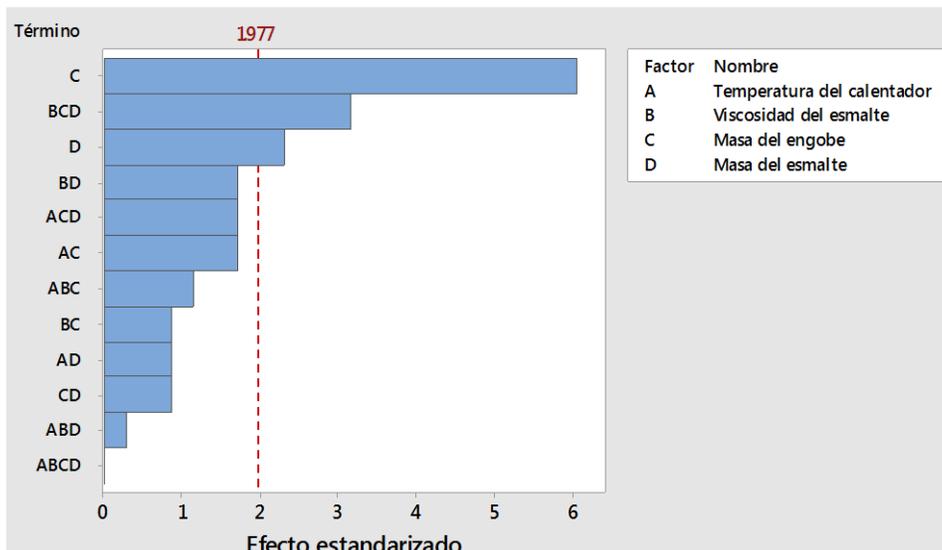


Figura 33.

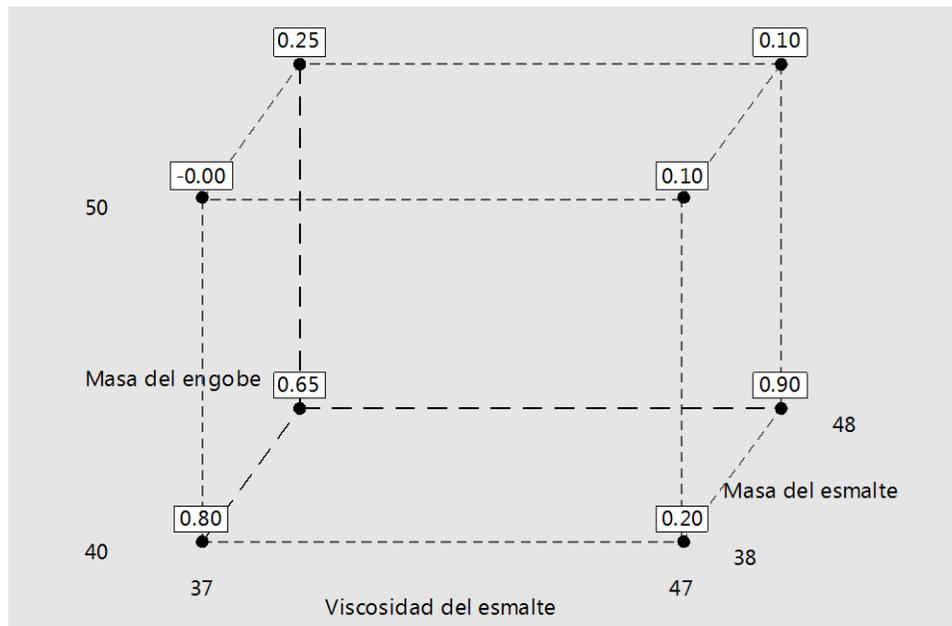
Diagrama de Pareto para la CVDiag.



En la gráfica de cubos de la Figura 34 se corrobora lo dicho anteriormente, para obtener un valor mínimo en la convexidad de la diagonal se necesita trabajar con la viscosidad del esmalte en 37s, la masa del engobe en 50g y la masa del esmalte en 38g, mientras al trabajar con la Viscosidad del esmalte en 47s, la masa del engobe en 40g y la masa del esmalte en 48g se obtienen los valores más altos para la CVDiag.

Figura 34

Gráfica de cubos para la CVDiag.



4.2.3. Análisis de la absorción de los experimentos.

El análisis exploratorio de los datos indica que los valores para la absorción se encuentran en un rango entre 5.4 y 6.0%, cumpliendo la norma interna de producción. En la Figura 35 se observa que en casi la totalidad de los ensayos los datos se encuentran bastante dispersos. Esta variación en la dispersión de los datos se considera propia del ensayo de absorción y a los pocos datos obtenidos. En los experimentos A y B existe una menor dispersión de los datos.

Se realizó un análisis ANOVA entre los experimentos para determinar si existe una diferencia importante entre ellos, el p valor obtenido de 0.44 indica que no existe evidencia significativa para

rechazar la hipótesis nula de que las medias de los experimentos son iguales, concluyendo que la variación en los factores escogidos para el diseño experimental no fueron los correctos, ya que estos no afectan a la variable respuesta absorción.

Lo dicho en el párrafo anterior se corroboró con el diagrama de Pareto de la Figura 36 obtenida del diseño experimental en parcelas divididas donde se observa que ninguno de los factores ni sus interacciones atraviesa la línea de referencia, es decir no son estadísticamente significativos en la absorción.

Figura 35

Diagrama de cajas de la absorción con los datos experimentales.

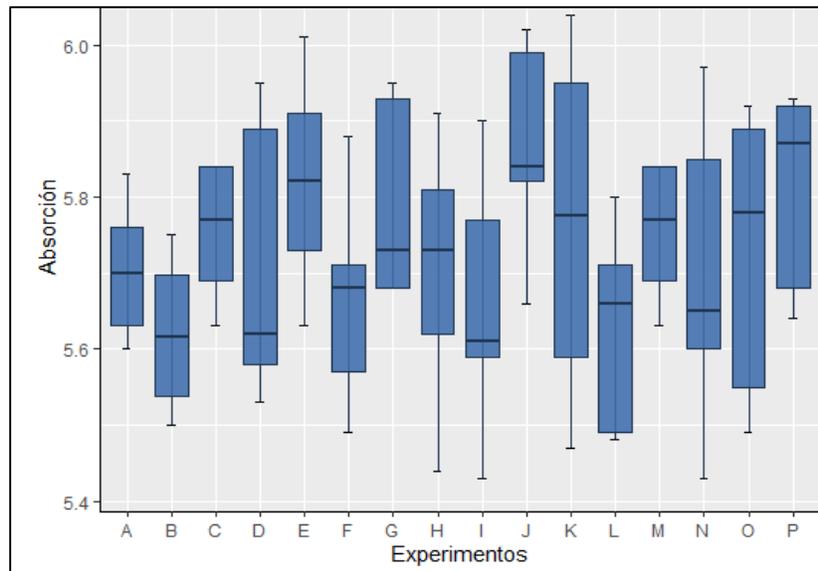
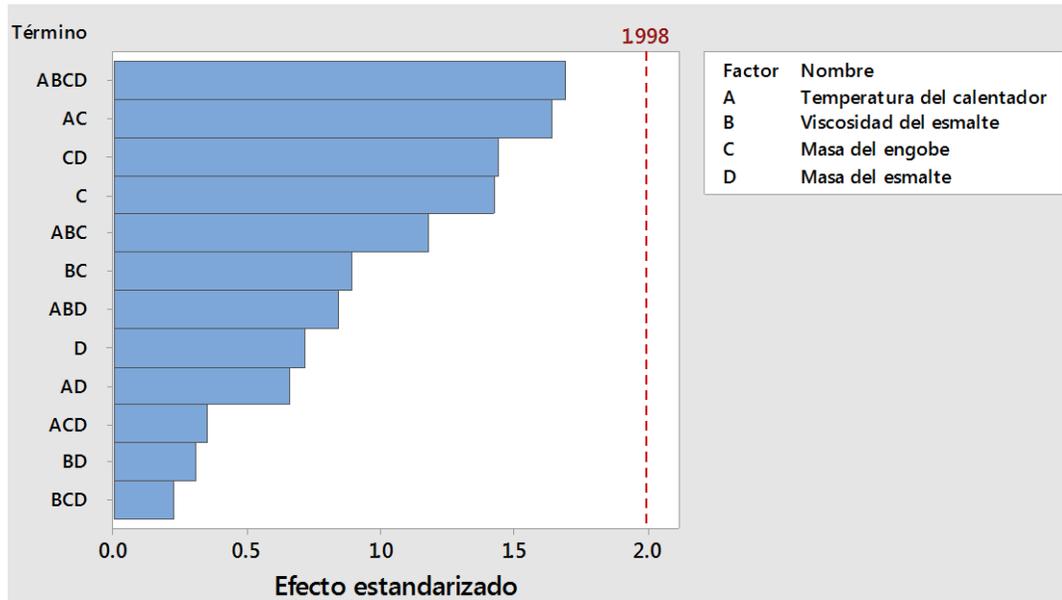


Figura 36

Diagrama de Pareto para la variable absorción.

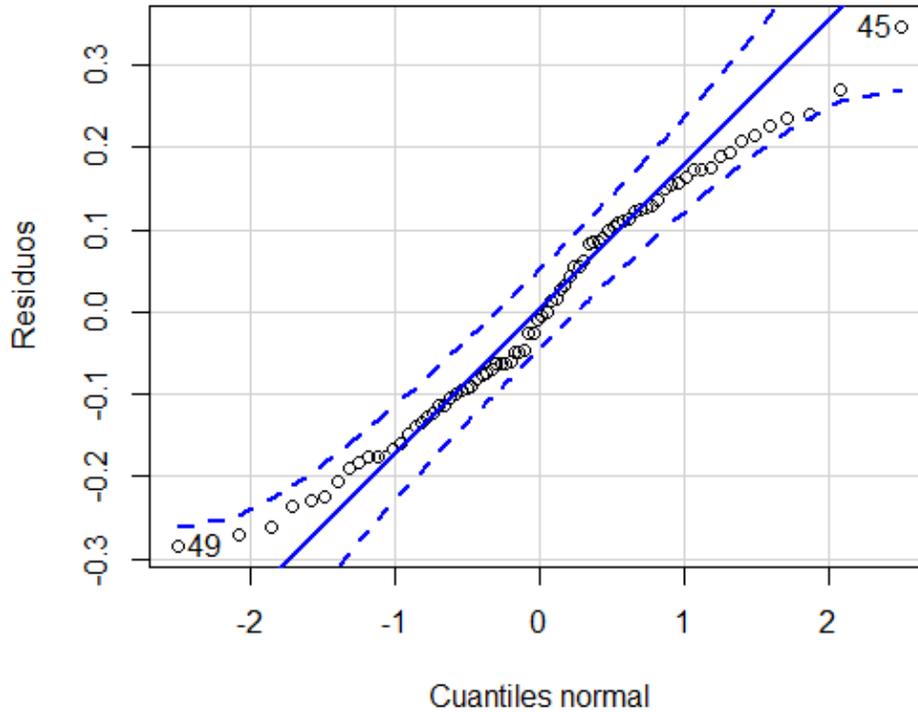


Se comprobaron los supuestos del ANOVA, a través de la prueba de Anderson Darling se obtuvo un p valor de 0.09 mayor a 0.05, evidenciando la normalidad de los residuos. En el gráfico de la Figura 37 se puede observar que los datos están alineados con la recta de probabilidad.

Por medio de la prueba de Bartlett se verificó el supuesto de homocedasticidad de los residuos, obteniendo un p valor de 0.87 siendo mayor al nivel de significancia de 0.05, lo que indica que todas las varianzas de la población son iguales. Finalmente, a través del estadístico de Durbin Watson se comprobó el supuesto de independencia de los residuos, obteniendo un valor de 2.2, concluyendo que no existe dependencia de estos.

Figura 37

Gráfica de probabilidad normal de los residuos para la variable absorción.



4.2.4. Análisis de la calidad superficial de los experimentos.

En este análisis no se aplicó métodos estadísticos, sin embargo, el dato cualitativo recolectado de cada defecto se cuantificó sumando los 10 ensayos de cada experimento y se los determinó como clase 1 las piezas sin defectos y clase 2 las piezas con uno o más defectos, en la Tabla 13 se observa el resumen de análisis la calidad superficial donde cada experimento tiene como resultado un valor porcentual que representa la cantidad de piezas sin defectos o clase 1, finalmente se puede observar varias piezas con defectos de ondulado y pinchado.

Tabla 13*Resumen de análisis de la calidad superficial de los experimentos.*

EXPERIMENTO	Ondulado	Pinchado	Clase 1 (%)
A	6	8	10%
B	4	5	30%
C	0	4	50%
D	7	10	0%
E	3	9	10%
F	0	2	80%
G	1	4	60%
H	4	6	20%
I	3	5	50%
J	1	10	0%
K	0	4	60%
L	5	7	10%
M	3	10	0%
N	2	8	10%
O	0	3	70%
P	4	6	30%

El experimento **F** tiene el valor más alto de Clase 1, es decir el 80% de piezas no tienen defectos, seguido del experimento **O** con el 70% de piezas sin defectos. Estos 2 experimentos tienen una similitud y es en el peso del esmalte y el peso del engobe cuyos niveles son los más altos, estos parámetros hacen que el defecto superficial aumente o disminuya sobre todo en defectos de ondulaciones y de pinchado. A si mismo se puede observar experimentos con 0% de clase 1, es decir todas las piezas de los ensayos tienen más de 2 defectos de ondulación y/o pinchado en la superficie. Estos experimentos son el **D**, **J** y **M** en los cuales se usa el nivel más bajo en Esmalte y Engobe.

Tabla 14

Calidad superficial del experimento F con 30 réplicas. Fuente: Autores.

N° Baldosa	Ondulado	Pinchado	Clase
1	-	-	1
2	-	-	1
3	-	-	1
4	-	-	1
5	-	-	1
6	-	-	1
7	-	-	1
8	-	-	1
9	-	-	1
10	-	-	1
11	-	-	1
12	-	-	1
13	-	-	1
14	-	-	1
15	-	-	1
16	-	-	1
17	-	-	1
18	-	-	1
19	-	-	1
20	-	-	1
21	-	-	1
22	-	-	1
23	-	-	1
24	-	-	1
25	-	-	1
26	-	-	1
27	-	-	1
28	-	-	1
29	-	-	1
30	-	-	1
TOTAL	0	0	100%

Según los criterios de muestreo y bases de aceptación de la Norma INEN 645:2000, debido a la cantidad de piezas ensayadas no fueron aceptados los lotes, ya que superaron la cantidad de no conformidades, por ello se amplió la muestra del experimento F que es la más próxima al valor de aceptación. No se extendió las muestras a los otros experimentos por el costo que conlleva. En la Tabla 14 se detalla las 30 réplicas del experimento F, donde se puede observar que ya no existen defectos de ondulaciones y pinchado, aceptándose el lote como clase 1.

4.2.5. Análisis de la resistencia a las manchas de los experimentos.

Antes de realizar los experimentos se creía que al eliminar el esmalte base, la resistencia a las manchas iba a disminuir, debido a que la superficie de la baldosa cerámica quedaría recubierta únicamente con el esmalte para Tercer Fuego quemado a bajas temperaturas, sin embargo, según los resultados obtenidos, detallados en la Tabla 41 del Anexo 8 basándose en la norma NTE INEN-ISO 10545-14, se observó que todos los experimentos son resistentes al manchado cuando se aplica Verde Cromo, Fe_2O_3 , Yodo, aceite de Oliva, etc., perteneciendo todos a la clase 5 pues estas fueron removidas fácilmente sin dejar ningún efecto visible sobre la zona atacada. Entonces se concluye que ni la supresión del esmalte base, ni la variación en los factores escogidos influyen en la resistencia al manchado en baldosas cerámicas a Tercer Fuego.

4.2.6. Análisis de la resistencia química de los experimentos.

Se presumía que al eliminar el esmalte base de las baldosas cerámicas a Tercer Fuego, su resistencia química disminuiría considerablemente, sin embargo, según los resultados obtenidos, basados en la norma NTE INEN ISO 10545-13 demuestran que todos los ensayos realizados corresponden a la clase GA, GLA y GHA de dicha norma, siendo resistente químicamente tanto a los productos de limpieza y a las sales de piscina como a los ácidos y bases de baja y alta concentración, puesto que en ningún caso la observación visual revelo el más tenue cambio de aspecto, por lo que se concluye que los factores escogidos y la variación en sus niveles no fueron significativos para el análisis de esta variable.

4.3. Características finales del producto terminado en condiciones normales de producción Vs las características finales del producto terminado de los distintos experimentos.

A través del análisis ANOVA y de la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis, se determinó si existen diferencias estadísticas significativas entre los experimentos realizados y el patrón de referencia para cada variable respuesta, para determinar que grupos específicos son diferentes en algunos de ellos se utilizó la prueba post hoc de Dunnett. Esta prueba permitió realizar comparaciones planeadas, se utilizó fundamentalmente para comparar cada experimento con el patrón de referencia. Este procedimiento permitió detectar todos los experimentos que son tan buenos como el patrón o mejores que él.

4.3.1. Comparación entre la resistencia a la flexión en condiciones normales de producción con la resistencia a la flexión de los experimentos.

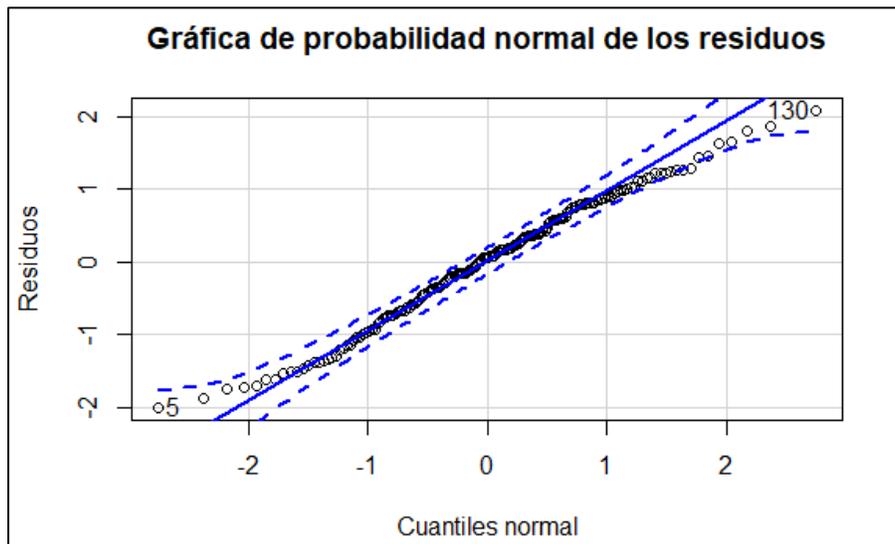
Realmente todos los experimentos tienen resultados válidos si se compara estos con la norma interna de producción que es mínimo 22N/mm², todos estos tienen una mediana superior a 24N/mm², sin embargo, resultó interesante el haber realizado una comparación con las piezas cerámicas en condiciones normales de producción (patrón), y así evidenciar la influencia de eliminar el esmalte base sobre la resistencia a la flexión.

Para efectuar el análisis ANOVA se realizó una transformación de los datos, ya que los residuos de estos no cumplían con los supuestos de normalidad, para ello se utilizó el método de Johnson, esta transformación selecciona de forma óptima una función entre tres familias de distribuciones de una variable, las cuales se transforman fácilmente en una distribución normal estándar. Con los datos transformados se verificaron los supuestos del ANOVA, a través de la prueba de Anderson Darling se obtuvo un p valor de 0.227 mayor a 0.05, comprobándose la normalidad de los residuos. En el gráfico de la Figura 38 se puede observar que los datos están alineados con la recta de probabilidad.

A través de la prueba de Bartlett se verificó el supuesto de homocedasticidad de los residuos, resultando un p valor de 0.175 mayor al nivel de significancia de 0.05, lo que indica que todas las varianzas de la población son iguales. Finalmente, por medio de la prueba de Durbin Watson se verificó el supuesto de independencia de los residuos, dando un valor de 2.003, concluyendo que no existe dependencia de estos.

Figura 38

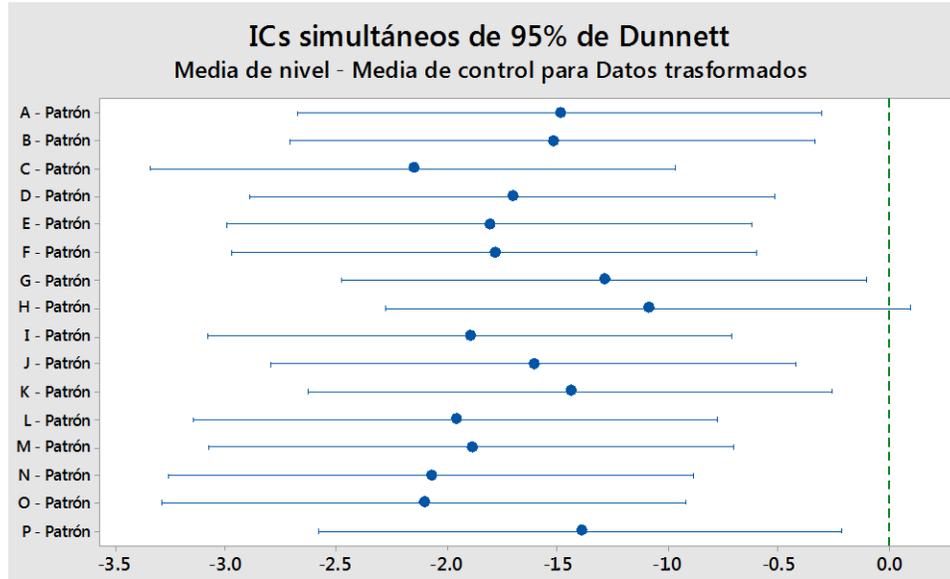
Gráfica de distribución normal de los residuos para la variable resistencia a la flexión.



En el análisis del ANOVA el p valor obtenido es menor al nivel de significancia (0.05) razón por la cual se rechazó la hipótesis nula de que todas las medias son iguales, al menos una es diferente, sin embargo el análisis de la varianza no indica entre cuál de las medias hay una diferencia estadística significativa, por ello se realizó la gráfica post hoc de Dunnett, que se observa en la Figura 39 donde se evidenció que la media del experimento H no es significativamente diferente de la media del patrón.

Figura 39

Gráfica post hoc de Dunnett para la resistencia a la flexión.

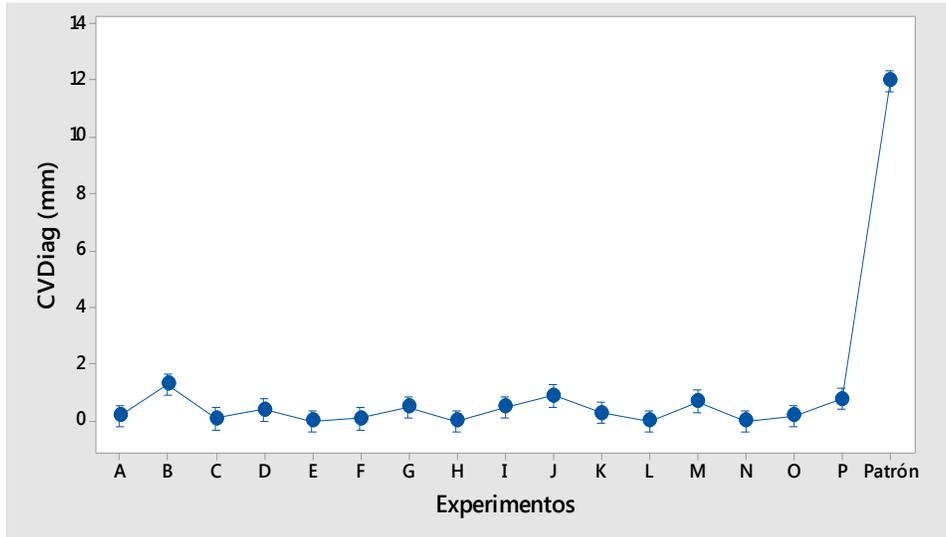


4.3.2. Comparación entre la planaridad en condiciones normales de producción con la planaridad de los experimentos.

Los resultados obtenidos en todos los experimentos son favorables, pues indican que existe una leve deformación de la planaridad en las piezas cerámicas cuando se elimina el esmalte base, todos ellos corresponden a la clase 1 según la norma interna para valores de planaridad de la Tabla 4. No fue necesario realizar un análisis ANOVA entre el patrón y los experimentos pues la diferencia es evidente. La gráfica de intervalos para valores de convexidad de la diagonal de la Figura 40 permitió comparar los distintos ensayos con el patrón de referencia donde se observa que existe una diferencia exorbitante entre ellos. El eliminar el esmalte base permitió reducir la deformación de la planaridad en la producción de las piezas a Tercer Fuego, sin la necesidad de modificar la curva de quema en el horno, ni aumentar la presión de prensado.

Figura 40

Gráfica de intervalos para la CVDiag de los experimentos y el patrón de referencia.

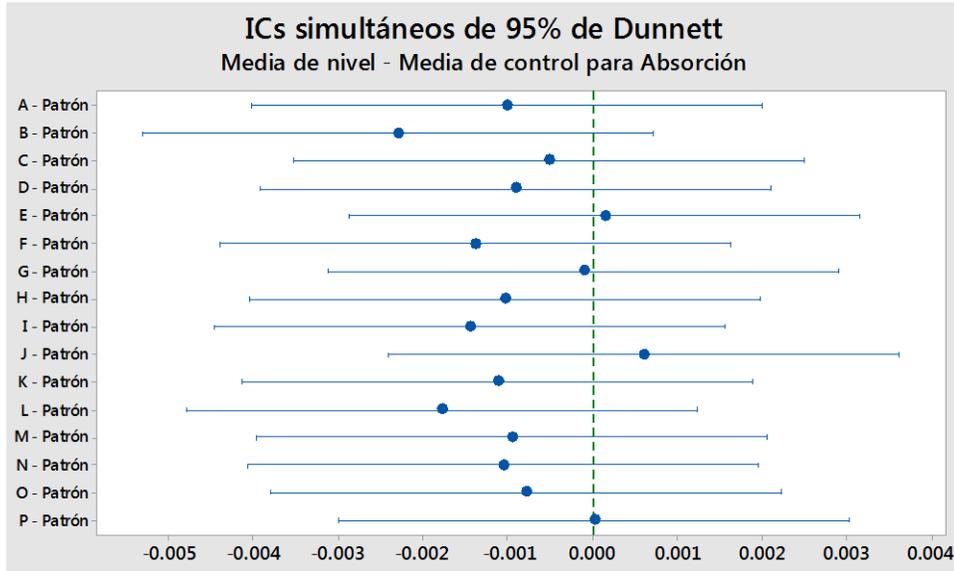


4.3.3. Comparación de la absorción en condiciones normales de producción con la absorción de los experimentos.

Los resultados obtenidos de los experimentos para la variable absorción son aceptables, si bien es cierto se encuentran hacia el límite superior en un rango entre 5 y 6%, estos cumplen la norma interna de producción, sin embargo, se consideró también importante comparar estos resultados con las placas utilizadas como patrón de referencia, para determinar si existe una variación significativa en la absorción al momento de eliminar el esmalte base, para ello se realizó un análisis ANOVA con la prueba post hoc de Dunnett, donde el p valor obtenido de 0.40 indica que las medias de los experimentos y de las placas patrón son iguales. En la prueba de Dunnett de la Figura 41 se observa que todos los intervalos contienen a cero, es decir las medias correspondientes no son significativamente diferentes del patrón de control.

Figura 41

Gráfica post hoc de Dunnett para la absorción.

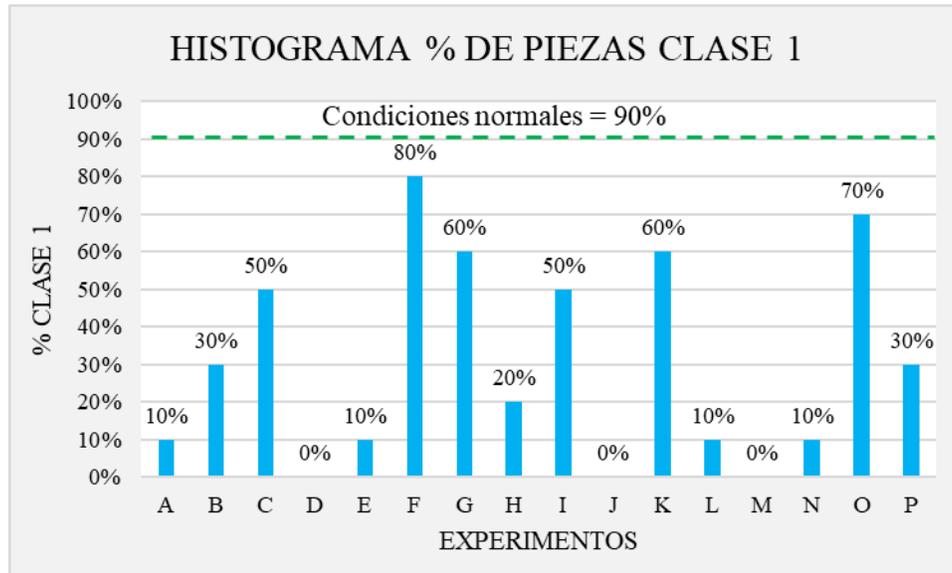


4.3.4. Comparación de la calidad superficial en condiciones normales de producción con la calidad superficial de los experimentos.

En la Figura 42 se observa un histograma de los resultados de los experimentos y el valor en condiciones normales de producción, donde se aprecia la gran variación de los defectos superficiales en cada caso, el experimento F es el más aproximado a cumplir la norma interna de producción.

Figura 42

Calidad superficial de los experimentos Vs las condiciones normales de producción.



Es importante indicar que estos resultados apenas se obtienen de 10 ensayos en cada experimento, por lo que en la producción normal estos valores dependerán de las mejoras que se podrían ir implementando en el proceso.

4.3.5. Comparación de la resistencia a las manchas en condiciones normales de producción con la resistencia a las manchas de los experimentos.

Al hacer una comparación la resistencia a las manchas en condiciones normales de producción con los diferentes experimentos los resultados son los mismos, es decir no hay diferencias, todos ellos pertenecen a la clase 5, lo que significa que el eliminar el esmalte base no afecta a la variable respuesta resistencia a las manchas.

4.3.6. Comparación de la resistencia química en condiciones normales de producción con la resistencia química de los experimentos.

Los resultados obtenidos de la variable resistencia química en todos los experimentos son favorables, cumpliendo las características solicitadas de las baldosas cerámicas a Tercer Fuego, al

compararlos con el patrón de referencia, se evidenció que no existe diferencia alguna, todos pertenecen a la clase GA, GLA y GHA, lo que significa que el eliminar el esmalte base no influye en la resistencia química.

4.4. Parámetros del nuevo proceso de producción.

La elección de los parámetros idóneos del nuevo proceso de producción se realizó considerando únicamente las variables respuesta que fueron significativas como la resistencia a la flexión, planaridad y calidad superficial. Los resultados de la variable planaridad, si bien es cierto fueron significativos, diferentes al modelo de referencia, pero con valores bajos de deformación cercanos a cero, sin embargo, estos no influyeron para determinar los parámetros del nuevo proceso dado que todos ellos son muy similares. En lo que respecta a la resistencia a la flexión, el experimento H fue la mejor opción, siendo muy similar al patrón de referencia, sin embargo, en calidad superficial este apenas alcanzó el 20% de clase 1, razón por la cual no se consideró. La variable respuesta que influyó en la determinación de los parámetros del nuevo proceso de producción fue la calidad superficial, con el experimento F como mejor opción. Si bien es cierto con el experimento O también se obtuvieron buenos resultados, por tema de costos no se consideró, pues con esta se incrementa el consumo de combustible al subir la temperatura del calentador de 35 a 50 °C. En la Tabla 15 se detallan los parámetros del nuevo proceso de producción.

Tabla 15

Parámetros del nuevo proceso de producción.

Factores	Cantidad
Temperatura del calentador	35 ° C
Viscosidad del esmalte	47 s
Masa del engobe	40 g
Masa del esmalte	48 g

4.5. Costos del nuevo proceso de producción.

Una mejora en la productividad va relacionada directamente con la disminución del coste de producción ya sea porque se hace más cantidad de producto con los mismos recursos o como en el caso en estudio actual, misma cantidad con menos recursos. A continuación, se detalla en la Tabla 16 el nuevo costo del producto:

Tabla 16

Costos nuevos de producción.

	PROCESO	TOTAL, COSTO M2	% COSTO
CERÁMICA BASE	Molienda y Atomizado	\$1,86	16,41%
	Prensado y secado	\$0,25	2,17%
	Engobado	\$0,49	4,34%
	Esmaltado	\$0,00	0,00%
	HORNO	\$0,68	6,00%
	Empaque	\$0,35	3,09%
	TERCER FUEGO	Transporte	\$0,03
Calentamiento		\$0,07	0,62%
Esmaltación		\$1,30	11,47%
KERAJET		\$0,56	4,94%
Pasta de Vidrio		\$2,30	20,30%
HORNO		\$2,25	19,85%
Empaque		\$1,20	10,59%
		\$11,33	100,00%

Comparando el valor del costo actual que se mostró en el Capítulo 3, equivalente a \$12,27, se puede ver que disminuye el costo nuevo en un 7,67%.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1. CONCLUSIONES.

Con el análisis de la Calidad del producto Mile Gris en el formato 200 mm x 600 mm, en condiciones normales de producción fijó un punto de referencia para los distintos experimentos, con ello se verificó que el producto cumple con las especificaciones técnicas de producción para todas las variables respuesta excepto para la variable planaridad, pues en condiciones normales los valores obtenidos de CCX, SP- y CvDiag según la Norma interna de producción pertenecen a la clase 2 y algunos de ellos están al límite de pertenecer a la clase 3.

Usar cerámica sin esmalte como base para elaborar baldosas a Tercer Fuego si es posible, la calidad requerida del producto Mile Gris no se vio afectada sino más bien mejoró, pues la variable planaridad se redujo a casi cero. De las seis variables respuesta analizadas solamente en la resistencia a la flexión, planaridad y calidad superficial existió una variación al eliminar el esmalte base, siendo esta última la que incidió en la elección de los parámetros del nuevo proceso de producción, los cuales son: Temperatura del calentador = 35 ° C, Viscosidad del esmalte = 47 s, Masa del engobe = 40 g y Masa del esmalte = 48 g.

En lo que respecta a costos se ha analizado un beneficio económico en dos sentidos:

- Al eliminar el esmalte de la cerámica base, se elimina directamente el costo que le corresponde, este valor llega a ser del 7,67% por cada metro cuadrado.
- Además, se elimina la clasificación de este producto antes de ser transformado en la línea de Tercer Fuego, por lo que se contara con una mayor cantidad de piezas para este proceso. Pasando a tener del 60%-65% a tener el 100% del producto de base.

5.2. RECOMENDACIONES.

Se recomienda para investigaciones futuras lo siguiente:

- Ampliar el rango de variación entre los niveles de cada factor a fin de evidenciar de mejor manera la relación existente entre los factores escogidos y las variables respuesta.
- Replicar los experimentos en productos en donde se utilice un esmalte mate, a fin de determinar si existe una variación en las variables respuesta resistencia a las manchas y resistencia a los agentes químicos.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por llenarnos de bendiciones, guiarnos por un camino lleno de sabidurías, darnos fortaleza y salud.

Gracias al Dr. Daniel Cueva, Gerente General de la empresa Italpisos S.A. por darnos la apertura y la oportunidad de desarrollar el trabajo de titulación en la línea de Tercer fuego, así mismo un agradecimiento a cada miembro de esta prestigiosa empresa que aportaron en el proceso de este trabajo.

Esta tesis fue desarrollada con el apoyo y orientación como tutor el Dr. Luis Eduardo Garzón, a quién agradecemos infinitamente por ayudarnos a crecer de forma profesional y también personal.

Agradecemos a todos los Docentes de esta Maestría que han compartido gran parte de su experiencia, en especial al Dr. Hernán Lara por la asesoría brindada.

Finalmente, y no por ello menos importante, damos las gracias por contar con las mejores herramientas de la vida, nuestras familias, que han estado y estarán dispuestos todos los días.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- África Canillada Huerta. (2007). *Cerámica: Origen, evolución y técnicas*.
http://literacias.net/bibliodigital/download/453/Ceramica_%20Origen%2C%20Evolucon%20y%20Te%20-%20Africa%20Canillada%20Huerta.pdf
- Asociación Española de Técnicos Cerámicos. (2004). *Tecnología cerámica aplicada* (Vol. 2). SACMI Ibérica ATC.
- Bannier, E. M. Y. (2017). *Curvaturas diferidas en piezas de gres procelánico*.
- Cardona, L. (2013). *Estudio del mecanismo de opacificación de un recubrimiento cerámico* [Universidad Nacional de Colombia].
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/49621?show=full>
- Delgado, P. R. (2012). *La innovación tecnológica en las empresas del sector cerámico del área metropolitana de Cúcuta*. 17(1), 12.
- Echarri Iribarren, V., González Avilés, A. B., Ródenas, M., & Olivares, J. (2016b). *Cerámica y vibración de la luz. Nuevas técnicas de nacarado e irisado y caracterización colorimétrica*. *Informes de la Construcción*, 68(544), e164.
<https://doi.org/10.3989/ic.15.162.m15>
- Escobedo, M. (2013). *Oro Cerámico*.
http://boletines.secv.es/upload/20130512150654.201352_2_notas_tec_13.pdf
- Fernández Benítez, J. A., & Corrochano, C. (2014). *Fundamentos de transmisión de calor* (Vol. 1-2). Dextra editorial S.L.
<https://bibliotecas.ups.edu.ec:3488/es/ereader/bibliotecaups/43834>

- Galan Emilio & Aparicio Patricia. (2020, febrero 27). *Materias Primas para la industria ceramica*. 2006, 2, 31-49.
- Gras Llopis Matias. (2010). *Estimación estadística, modelado y análisis de la transmisión y coste de la variabilidad en procesos multi-etapa. Aplicación en la fabricación de baldosas cerámicas* [Doctoral, Universitat Jaume].
<https://www.tdx.cat/handle/10803/42926#page=1>
- HERAS, C. M. (2020). *Glosario terminológico para el estudio de las cerámicas arqueológicas*. 26.
- Hoyos, M., & Hurtado, A. (2004). *Nuevo modelo para un termómetro de alta temperatura*.
<https://www.redalyc.org/pdf/849/84911640017.pdf>
- ISO 13006. (2018). *Ceramic tiles. Definitions, classification, characteristics and marking*.
<https://www.sis.se/api/document/preview/80006504>
- Martínez, J. L. G. S., & Estornell, G. C. (2014). *Fundamentos de Mecánica de Fluidos*. Editorial Club Universitario. <https://books.google.es/books?id=dAqnBAAAQBAJ>
- Mazzanti, B., Rambaldi, E., & Prete, F. (2020). *El ataque químico como tratamiento antideslizante para baldosas de gres porcelánico*. 12.
- Mestre, S., Chiva, C., Palacios, M. D., & Amorós, J. L. (2012). *Development of a yellow ceramic pigment based on silver nanoparticles*. Journal of the European Ceramic Society, 32(11), 2825-2830. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2011.12.006>
- Mott, R. (1996). *Mecánica de Fluidos aplicada*. (Cuarta). Prentice Hall Hispanoamericana S.A.
bit.ly/3jEGypz

- Nebot I., Marchal M., Irún M., & Carda J. (2000). *Nuevas tecnologías para el sector cerámico*. (Publicaciones de la Universitat Jaume I). Publicaciones de la Universitat Jaume I. bit.ly/2HEY6EN
- Negre F., Jarque J., Feliu C., & Enrique E. (1994). *Estudio de la operación de secado por atomización de polvos cerámicos a escala industrial, su control y automatización*. <https://www.qualicer.org/recopilatorio/ponencias/pdfs/9423071s.pdf>
- Novaes de Oliveira, P., & Manfredini, T. (2020). *Un modelo para predecir la resistencia mecánica de una pieza cerámica en crudo*. <http://www.qualicer.org/recopilatorio/ponencias/pdfs/9623031s.pdf>
- Orts J, Enrique E, Gozalbo A, & Negre F. (1991). *Defectos de fabricación de pavimentos y revestimientos cerámicos*. <https://www.qualicer.org/recopilatorio/ponencias/pdfs/9003032s.pdf>
- Pérez de León, X. T. (2017). *Cerámicas de reflejo metálico en Alcora: Una producción singular*. Además de. Revista on line de artes decorativas y diseño, 3, 55-78. <https://doi.org/10.46255/add.2017.3.35>
- Pérez, S. (2014). *Análisis físico-químicos de suelos y sedimentos*. 27.
- Pradell, T., & Molera, J. (2020). *Ceramic technology. How to characterise ceramic glazes*. Archaeological and Anthropological Sciences, 12(8), 189. <https://doi.org/10.1007/s12520-020-01136-9>
- Quintela Cortes Jose luis. (2020). *El sector industrial cerámico fragmentado análisis y estrategias*. bit.ly/2SAHscn

- Ramírez, A. D., Saez, M. P., Collado, E. R., & Reig, C. I. (2020). *La gestión del diseño en el sector cerámico*. 19.
- Ramírez, J. (2006). *Introducción a la reología de los alimentos*. 2006, 6, 45.
- Restrepo Baena Oscar. (2011). *Baldosas cerámicas y gres porcelánico: Un mundo en permanente evolución*. Facultad de Minas.
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/47252>
- Reyes Juan A. (2020). *Ceramica Industrial: Produccion de pavimento y revestimiento ceramico*.
bit.ly/2vz20Jj
- Sanz Solana, V. (2014). *Tecnología de impresión por chorro de tinta para la decoración de baldosas cerámicas*. Presentado en Qualicer, 14.
<https://www.qualicer.org/recopilatorio/ponencias/pdfs/CONF%20SANZ%20ESP.pdf>
- Segarra-Oña, M., Peiró-Signes, A., Miret-Pastor, L., & Albors-Garrigós, J. (2011). *¿Eco-innovación, una evolución de la innovación? Análisis empírico en la industria cerámica española*. Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio, 50(5), 253-260.
<https://doi.org/10.3989/cyv.332011>
- Serrano-Mira, J., Guaita-Delgado, L., Abellan Nebot, J. V., & Bruscas-Bellido, G. M. (2019). *Influencia de la geometría superficial en la calidad del proceso de pulido de baldosas cerámica porosa esmaltadas*. <http://dspace.aepro.com/xmlui/handle/123456789/2394>
- Sharma K. (1990). *Génesis de la variación de tonalidades en las baldosas cerámicas y algunos remedios que se recomiendan*.
<http://www.qualicer.org/recopilatorio/ponencias/pdfs/9003061s.pdf>

- Tempest, S., Kronberg, T., Froberg, L., & Hupa, L. (2004). *Resistencia química de las composiciones de esmaltes sin fritar, sometidas a cocción rápida, en soluciones con agentes de limpieza, ácidos o bases*. 10.
- Tezza, V. B., & Bernardin, A. M. (2012). *Desarrollo de esmaltes cerámicos con actividad fotocatalítica: Humectabilidad del esmalte*. 12.
- Tian, T., Liu, S., Wang, R., Lei, Y., & Zheng, C. (2020). *Study on the influence of test solution concentration on the chemical corrosion resistance of ceramic tiles*. En Yang L. & Xu Z. (Eds.), *E3S Web Conf.* (Vol. 185). EDP Sciences; Scopus. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202018504042>
- Torrecid, G. (2012). *Nuevas tintas digitales para la obtención de innovadores efectos cerámicos con los que generar nuevas posibilidades y tendencias de futuro*. Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio, 51(2), V-VIII. <https://doi.org/10.3989/cyv.2012.v51.i2.1122>
- Vera-Barrios, B. S., & Lazo-Alarcón, L. A. (2020). *Engobe borosilicatado como recubrimiento impermeable en mobiliario sanitario obtenido de altas concentraciones de ácido bórico residual*. Información tecnológica, 31(4), 125-138. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642020000400125>
- Vieira, A. W., De Mello Innocentini, M. D., Mendes, E., Gomes, T., Demarch, A., Montedo, O. R. K., & Angioletto, E. (2017). *Comparison of methods for determining the water absorption of glazed porcelain stoneware ceramic tiles*. Materials Research, 20, 644-650. Scopus. <https://doi.org/10.1590/1980-5373-mr-2017-0089>

ANEXOS

Anexo A: Matriz del diseño experimental en parcelas divididas con diez réplicas para las variables respuesta resistencia a la flexión, planaridad y calidad superficial.

Orden Est.	Orden Corrida	Tipo Pt	Bloques	PC	Temperatura del calentador	Viscosidad del esmalte	Masa del engobe	Masa del esmalte
138	1	1	1	4	50	47	50	38
158	2	1	1	4	50	47	50	38
123	3	1	1	4	50	47	40	48
148	4	1	1	4	50	47	50	48
134	5	1	1	4	50	47	50	38
125	6	1	1	4	50	47	40	38
156	7	1	1	4	50	47	50	48
132	8	1	1	4	50	47	50	48
160	9	1	1	4	50	47	50	48
152	10	1	1	4	50	47	50	48
157	11	1	1	4	50	47	40	38
122	12	1	1	4	50	47	50	38
155	13	1	1	4	50	47	40	48
133	14	1	1	4	50	47	40	38
146	15	1	1	4	50	47	50	38
139	16	1	1	4	50	47	40	48
145	17	1	1	4	50	47	40	38
147	18	1	1	4	50	47	40	48
137	19	1	1	4	50	47	40	38
121	20	1	1	4	50	47	40	38
151	21	1	1	4	50	47	40	48
126	22	1	1	4	50	47	50	38
143	23	1	1	4	50	47	40	48
141	24	1	1	4	50	47	40	38

Orden Est.	Orden Corrida	Tipo Pt	Bloques	PC	Temperatura del calentador	Viscosidad del esmalte	Masa del engobe	Masa del esmalte
149	25	1	1	4	50	47	40	38
153	26	1	1	4	50	47	40	38
128	27	1	1	4	50	47	50	48
131	28	1	1	4	50	47	40	48
144	29	1	1	4	50	47	50	48
135	30	1	1	4	50	47	40	48
140	31	1	1	4	50	47	50	48
136	32	1	1	4	50	47	50	48
150	33	1	1	4	50	47	50	38
142	34	1	1	4	50	47	50	38
154	35	1	1	4	50	47	50	38
127	36	1	1	4	50	47	40	48
130	37	1	1	4	50	47	50	38
159	38	1	1	4	50	47	40	48
129	39	1	1	4	50	47	40	38
124	40	1	1	4	50	47	50	48
105	41	1	1	3	35	47	40	38
120	42	1	1	3	35	47	50	48
85	43	1	1	3	35	47	40	38
96	44	1	1	3	35	47	50	48
83	45	1	1	3	35	47	40	48
100	46	1	1	3	35	47	50	48
112	47	1	1	3	35	47	50	48
104	48	1	1	3	35	47	50	48
118	49	1	1	3	35	47	50	38
99	50	1	1	3	35	47	40	48
91	51	1	1	3	35	47	40	48
103	52	1	1	3	35	47	40	48

Orden Est.	Orden Corrida	Tipo Pt	Bloques	PC	Temperatura del calentador	Viscosidad del esmalte	Masa del engobe	Masa del esmalte
110	53	1	1	3	35	47	50	38
111	54	1	1	3	35	47	40	48
117	55	1	1	3	35	47	40	38
102	56	1	1	3	35	47	50	38
98	57	1	1	3	35	47	50	38
101	58	1	1	3	35	47	40	38
95	59	1	1	3	35	47	40	48
115	60	1	1	3	35	47	40	48
88	61	1	1	3	35	47	50	48
81	62	1	1	3	35	47	40	38
84	63	1	1	3	35	47	50	48
114	64	1	1	3	35	47	50	38
109	65	1	1	3	35	47	40	38
82	66	1	1	3	35	47	50	38
90	67	1	1	3	35	47	50	38
93	68	1	1	3	35	47	40	38
116	69	1	1	3	35	47	50	48
86	70	1	1	3	35	47	50	38
107	71	1	1	3	35	47	40	48
119	72	1	1	3	35	47	40	48
94	73	1	1	3	35	47	50	38
89	74	1	1	3	35	47	40	38
108	75	1	1	3	35	47	50	48
113	76	1	1	3	35	47	40	38
106	77	1	1	3	35	47	50	38
97	78	1	1	3	35	47	40	38
87	79	1	1	3	35	47	40	48
92	80	1	1	3	35	47	50	48

Orden Est.	Orden Corrida	Tipo Pt	Bloques	PC	Temperatura del calentador	Viscosidad del esmalte	Masa del engobe	Masa del esmalte
3	81	1	1	1	35	37	40	48
39	82	1	1	1	35	37	40	48
17	83	1	1	1	35	37	40	38
7	84	1	1	1	35	37	40	48
37	85	1	1	1	35	37	40	38
35	86	1	1	1	35	37	40	48
9	87	1	1	1	35	37	40	38
28	88	1	1	1	35	37	50	48
20	89	1	1	1	35	37	50	48
6	90	1	1	1	35	37	50	38
40	91	1	1	1	35	37	50	48
19	92	1	1	1	35	37	40	48
4	93	1	1	1	35	37	50	48
38	94	1	1	1	35	37	50	38
8	95	1	1	1	35	37	50	48
16	96	1	1	1	35	37	50	48
36	97	1	1	1	35	37	50	48
31	98	1	1	1	35	37	40	48
11	99	1	1	1	35	37	40	48
26	100	1	1	1	35	37	50	38
27	101	1	1	1	35	37	40	48
24	102	1	1	1	35	37	50	48
33	103	1	1	1	35	37	40	38
21	104	1	1	1	35	37	40	38
30	105	1	1	1	35	37	50	38
2	106	1	1	1	35	37	50	38
34	107	1	1	1	35	37	50	38
15	108	1	1	1	35	37	40	48

Orden Est.	Orden Corrida	Tipo Pt	Bloques	PC	Temperatura del calentador	Viscosidad del esmalte	Masa del engobe	Masa del esmalte
14	109	1	1	1	35	37	50	38
32	110	1	1	1	35	37	50	48
25	111	1	1	1	35	37	40	38
18	112	1	1	1	35	37	50	38
5	113	1	1	1	35	37	40	38
1	114	1	1	1	35	37	40	38
23	115	1	1	1	35	37	40	48
29	116	1	1	1	35	37	40	38
10	117	1	1	1	35	37	50	38
13	118	1	1	1	35	37	40	38
12	119	1	1	1	35	37	50	48
22	120	1	1	1	35	37	50	38
73	121	1	1	2	50	37	40	38
78	122	1	1	2	50	37	50	38
49	123	1	1	2	50	37	40	38
53	124	1	1	2	50	37	40	38
61	125	1	1	2	50	37	40	38
66	126	1	1	2	50	37	50	38
56	127	1	1	2	50	37	50	48
59	128	1	1	2	50	37	40	48
60	129	1	1	2	50	37	50	48
52	130	1	1	2	50	37	50	48
47	131	1	1	2	50	37	40	48
55	132	1	1	2	50	37	40	48
64	133	1	1	2	50	37	50	48
44	134	1	1	2	50	37	50	48
54	135	1	1	2	50	37	50	38
45	136	1	1	2	50	37	40	38

Orden Est.	Orden Corrida	Tipo Pt	Bloques	PC	Temperatura del calentador	Viscosidad del esmalte	Masa del engobe	Masa del esmalte
67	137	1	1	2	50	37	40	48
51	138	1	1	2	50	37	40	48
43	139	1	1	2	50	37	40	48
70	140	1	1	2	50	37	50	38
50	141	1	1	2	50	37	50	38
42	142	1	1	2	50	37	50	38
62	143	1	1	2	50	37	50	38
69	144	1	1	2	50	37	40	38
79	145	1	1	2	50	37	40	48
65	146	1	1	2	50	37	40	38
63	147	1	1	2	50	37	40	48
71	148	1	1	2	50	37	40	48
74	149	1	1	2	50	37	50	38
75	150	1	1	2	50	37	40	48
77	151	1	1	2	50	37	40	38
68	152	1	1	2	50	37	50	48
72	153	1	1	2	50	37	50	48
57	154	1	1	2	50	37	40	38
80	155	1	1	2	50	37	50	48
76	156	1	1	2	50	37	50	48
48	157	1	1	2	50	37	50	48
46	158	1	1	2	50	37	50	38
41	159	1	1	2	50	37	40	38
58	160	1	1	2	50	37	50	38

Anexo B: Matriz del diseño experimental en parcelas divididas con cinco réplicas para las variables respuesta absorción, resistencia a las manchas y resistencia a los agentes químicos.

Orden Est	Orden Corrida	Tipo Pt	Bloques	PC	Temperatura del calentador	Viscosidad del esmalte	Masa del engobe	Masa del esmalte
78	1	1	1	4	50	47	50	38
76	2	1	1	4	50	47	50	48
62	3	1	1	4	50	47	50	38
69	4	1	1	4	50	47	40	38
68	5	1	1	4	50	47	50	48
71	6	1	1	4	50	47	40	48
61	7	1	1	4	50	47	40	38
64	8	1	1	4	50	47	50	48
66	9	1	1	4	50	47	50	38
72	10	1	1	4	50	47	50	48
77	11	1	1	4	50	47	40	38
65	12	1	1	4	50	47	40	38
73	13	1	1	4	50	47	40	38
79	14	1	1	4	50	47	40	48
74	15	1	1	4	50	47	50	38
75	16	1	1	4	50	47	40	48
70	17	1	1	4	50	47	50	38
80	18	1	1	4	50	47	50	48
63	19	1	1	4	50	47	40	48
67	20	1	1	4	50	47	40	48
35	21	1	1	2	50	37	40	48
28	22	1	1	2	50	37	50	48
33	23	1	1	2	50	37	40	38
22	24	1	1	2	50	37	50	38
39	25	1	1	2	50	37	40	48
25	26	1	1	2	50	37	40	38

Orden Est	Orden Corrida	Tipo Pt	Bloques	PC	Temperatura del calentador	Viscosidad del esmalte	Masa del engobe	Masa del esmalte
37	27	1	1	2	50	37	40	38
38	28	1	1	2	50	37	50	38
36	29	1	1	2	50	37	50	48
34	30	1	1	2	50	37	50	38
27	31	1	1	2	50	37	40	48
32	32	1	1	2	50	37	50	48
24	33	1	1	2	50	37	50	48
40	34	1	1	2	50	37	50	48
30	35	1	1	2	50	37	50	38
26	36	1	1	2	50	37	50	38
23	37	1	1	2	50	37	40	48
21	38	1	1	2	50	37	40	38
31	39	1	1	2	50	37	40	48
29	40	1	1	2	50	37	40	38
4	41	1	1	1	35	37	50	48
5	42	1	1	1	35	37	40	38
7	43	1	1	1	35	37	40	48
3	44	1	1	1	35	37	40	48
12	45	1	1	1	35	37	50	48
19	46	1	1	1	35	37	40	48
18	47	1	1	1	35	37	50	38
6	48	1	1	1	35	37	50	38
8	49	1	1	1	35	37	50	48
16	50	1	1	1	35	37	50	48
20	51	1	1	1	35	37	50	48
17	52	1	1	1	35	37	40	38
13	53	1	1	1	35	37	40	38
14	54	1	1	1	35	37	50	38

Orden Est	Orden Corrida	Tipo Pt	Bloques	PC	Temperatura del calentador	Viscosidad del esmalte	Masa del engobe	Masa del esmalte
9	55	1	1	1	35	37	40	38
10	56	1	1	1	35	37	50	38
15	57	1	1	1	35	37	40	48
1	58	1	1	1	35	37	40	38
11	59	1	1	1	35	37	40	48
2	60	1	1	1	35	37	50	38
42	61	1	1	3	35	47	50	38
47	62	1	1	3	35	47	40	48
43	63	1	1	3	35	47	40	48
53	64	1	1	3	35	47	40	38
46	65	1	1	3	35	47	50	38
60	66	1	1	3	35	47	50	48
57	67	1	1	3	35	47	40	38
48	68	1	1	3	35	47	50	48
50	69	1	1	3	35	47	50	38
45	70	1	1	3	35	47	40	38
51	71	1	1	3	35	47	40	48
49	72	1	1	3	35	47	40	38
41	73	1	1	3	35	47	40	38
58	74	1	1	3	35	47	50	38
44	75	1	1	3	35	47	50	48
54	76	1	1	3	35	47	50	38
52	77	1	1	3	35	47	50	48
56	78	1	1	3	35	47	50	48
59	79	1	1	3	35	47	40	48
55	80	1	1	3	35	47	40	48

Anexo C: Valores de la resistencia a la flexión de los diferentes experimentos.

Los valores de la resistencia a la flexión para cada experimento se encuentran detallados desde la Tabla 17 a la 20. Los valores de las variables de entrada a las que hace referencia cada experimento están explicados en la Figura 18.

Tabla C1

Valores de la resistencia a la flexión para los experimentos A-D.

Réplica	Experimento A	Experimento B	Experimento C	Experimento D
1	27.07	26.78	22.19	24.53
2	28.31	28.10	24.99	24.68
3	25.40	26.46	24.71	26.36
4	25.61	26.96	24.89	26.24
5	24.55	24.19	25.15	25.98
6	27.88	27.38	24.50	26.25
7	23.94	23.23	24.94	25.24
8	23.59	25.15	25.56	26.13
9	28.80	25.67	24.94	25.88
10	25.45	25.67	26.35	24.87

Tabla C2*Valores de la resistencia a la flexión para los experimentos E-H.*

Réplica	Experimento E	Experimento F	Experimento G	Experimento H
1	24.42	24.11	24.63	28.15
2	27.28	24.37	25.04	28.58
3	24.18	24.84	24.68	26.85
4	27.20	28.58	26.03	23.64
5	26.63	25.87	27.01	27.47
6	24.84	26.79	30.18	27.01
7	24.27	26.94	26.60	24.37
8	25.77	26.41	26.19	25.40
9	27.52	23.48	27.84	26.99
10	22.29	23.64	25.98	29.40

Tabla C3*Valores de la resistencia a la flexión para los experimentos I-L.*

Réplica	Experimento I	Experimento J	Experimento K	Experimento L
1	24.62	22.40	25.82	25.46
2	26.74	25.50	27.15	23.85
3	25.19	26.78	26.19	26.25
4	22.35	25.30	26.24	22.87
5	27.12	27.55	27.48	24.16
6	26.86	26.86	26.70	27.36
7	27.04	28.09	23.44	27.36
8	24.57	27.84	26.55	22.81
9	25.49	24.57	25.82	22.71
10	22.81	23.18	25.51	29.22

Tabla C4

Valores de la resistencia a la flexión para los experimentos M-P.

Réplica	Experimento M	Experimento N	Experimento O	Experimento P
1	26.86	23.33	26.34	24.55
2	25.93	25.56	26.50	25.93
3	23.84	23.02	25.25	24.97
4	26.81	26.36	21.91	25.53
5	25.61	24.07	26.41	27.20
6	25.93	24.18	23.75	26.19
7	27.57	26.24	24.73	27.66
8	23.13	25.98	27.53	26.58
9	24.66	27.23	21.71	26.83
10	22.57	23.70	24.73	26.25

Anexo D: Valores de planaridad de los diferentes experimentos.

De la Tabla D1 a la Tabla D16 se muestran los valores de planaridad obtenidos por el equipo (Dico Liner) para los diferentes experimentos con sus respectivas réplicas. El valor de los parámetros de las variables de entrada para cada experimento se observa en la Figura 18.

Tabla D1

Valores de planaridad para el experimento A.

Experimento A								
Réplica	SP +	SP-	CCX	CVX	CCY	CVY	Cc Diag	CvDiag
1	2	0	0	1	1	0	3	0
2	4	0	3	0	2	0	6	0
3	1	0	2	0	1	0	3	0
4	4	1	3	1	2	1	3	1
5	1	0	0	1	1	0	1	0
6	1	0	1	1	1	0	3	0
7	2	0	1	0	1	0	2	0
8	3	0	1	2	1	1	1	1
9	2	0	1	0	1	1	4	0
10	4	0	2	0	2	0	6	0

Tabla D2*Valores de planaridad para el experimento B.*

Experimento B								
Réplica	SP+	SP-	CCX	CVX	CCY	CVY	Cc Diag	CvDiag
1	2	1	0	2	2	0	1	3
2	2	1	1	1	1	0	4	0
3	0	2	0	2	0	2	0	2
4	1	1	0	3	1	0	0	2
5	0	2	0	2	0	2	0	2
6	1	1	1	0	0	1	2	0
7	1	0	1	1	0	0	2	0
8	3	1	2	0	1	0	4	0
9	1	2	0	3	1	0	0	3
10	2	0	1	1	1	0	4	1

Tabla 17*Valores de planaridad para el experimento C.*

Experimento C								
Réplica	SP+	SP-	CCX	CVX	CCY	CVY	Cc Diag	CvDiag
1	2	0	0	1	2	0	2	0
2	1	0	0	0	1	0	1	0
3	2	1	1	2	2	0	3	0
4	0	2	0	2	1	0	0	1
5	2	1	0	1	1	0	1	0
6	1	1	0	1	1	0	0	0
7	2	0	1	0	2	0	6	0
8	1	0	1	0	1	0	3	0
9	1	0	0	2	2	0	2	0
10	2	0	1	1	2	0	2	0

Tabla 18

Valores de planaridad para el experimento D.

Experimento D								
Réplica	SP+	SP-	CCX	CVX	CCY	CVY	Cc Diag	CvDiag
1	2	0	1	0	1	1	1	0
2	4	0	2	0	1	0	3	0
3	1	1	0	1	0	1	1	1
4	2	1	0	1	1	0	2	1
5	3	1	1	1	1	0	4	1
6	1	1	0	1	0	0	2	1
7	2	0	1	1	1	0	2	0
8	3	0	1	0	1	0	1	0
9	3	0	1	1	1	0	3	0
10	3	1	1	0	1	0	4	0

Tabla 19

Valores de planaridad para el experimento E.

Experimento E								
Réplica	SP+	SP-	CCX	CVX	CCY	CVY	Cc Diag	CvDiag
1	0	1	0	1	0	1	0	0
2	1	1	1	1	1	1	1	0
3	1	1	1	1	1	0	3	0
4	1	0	1	1	0	0	2	0
5	1	2	1	0	2	1	1	0
6	1	0	0	1	1	0	1	0
7	2	1	1	2	1	0	4	0
8	1	0	1	0	1	0	3	0
9	0	1	0	0	0	1	1	0
10	2	1	2	0	1	0	3	0

Tabla D6*Valores de planaridad para el experimento F.*

Experimento F								
Réplica	SP +	SP-	CCX	CVX	CCY	CVY	Cc Diag	CvDiag
1	2	2	1	2	2	0	5	0
2	2	1	0	2	1	0	2	0
3	1	0	0	2	1	0	0	1
4	1	0	0	1	1	0	2	0
5	1	1	0	1	1	0	3	0
6	2	0	2	0	2	0	4	0
7	2	0	1	0	1	0	3	0
8	2	0	1	0	2	0	4	0
9	1	0	0	1	2	0	1	0
10	1	2	0	3	1	0	2	0

Tabla 20*Valores de planaridad para el experimento G.*

Experimento G								
Réplica	SP +	SP-	CCX	CVX	CCY	CVY	Cc Diag	CvDiag
1	1	0	1	1	1	1	2	1
2	1	1	0	2	0	1	0	2
3	1	0	1	1	0	0	2	0
4	1	1	1	0	1	0	3	0
5	1	1	1	1	0	1	2	1
6	1	0	0	1	1	0	0	1
7	1	1	0	1	1	2	2	0
8	2	0	1	1	1	0	3	0
9	1	0	1	0	0	1	1	0
10	0	1	0	1	0	1	0	0

Tabla 21*Valores de planaridad para el experimento H.*

Experimento H								
Réplica	SP+	SP-	CCX	CVX	CCY	CVY	Cc Diag	CvDiag
1	3	0	1	1	1	0	2	0
2	3	0	1	0	0	1	2	0
3	2	0	2	0	0	0	1	0
4	1	1	2	0	1	1	4	0
5	1	0	1	0	0	1	3	0
6	2	0	2	0	1	0	4	0
7	2	0	1	1	1	1	2	0
8	1	0	2	0	1	0	3	0
9	3	0	2	0	1	0	4	0
10	1	2	1	2	1	1	2	0

Tabla 22*Valores de planaridad para el experimento I.*

Experimento I								
Réplica	SP+	SP-	CCX	CVX	CCY	CVY	Cc Diag	CvDiag
1	0	2	0	1	0	1	2	0
2	1	1	0	1	1	1	2	1
3	1	1	0	1	0	1	0	1
4	1	1	0	1	1	0	1	0
5	1	1	0	0	0	1	3	0
6	0	1	0	2	0	2	0	1
7	2	0	0	1	1	0	3	1
8	0	1	0	1	0	1	2	0
9	1	1	0	1	0	1	0	1
10	1	1	0	2	1	0	3	0

Tabla 23

Valores de planaridad para el experimento J.

Experimento J								
Réplica	SP +	SP-	CCX	CVX	CCY	CVY	Cc Diag	CvDiag
1	2	1	0	2	0	1	0	2
2	0	1	0	1	0	1	0	1
3	1	0	0	1	0	0	2	1
4	2	0	1	1	0	0	3	1
5	1	1	0	1	0	1	0	2
6	0	3	0	2	0	2	1	1
7	1	1	0	2	0	1	3	0
8	1	0	0	1	1	0	1	1
9	2	1	1	1	1	1	2	0
10	2	0	1	1	1	0	3	0

Tabla 24

Valores de planaridad para el experimento K.

Experimento K								
Réplica	SP +	SP-	CCX	CVX	CCY	CVY	Cc Diag	CvDiag
1	1	0	0	1	1	0	2	0
2	1	1	1	1	1	0	4	1
3	2	0	2	1	1	0	4	1
4	2	0	0	1	1	1	1	0
5	1	1	0	2	1	1	1	0
6	2	0	0	1	1	0	3	0
7	2	1	1	1	1	1	5	1
8	2	0	1	0	1	0	3	0
9	1	0	0	1	2	0	2	0
10	1	0	1	1	1	0	2	0

Tabla 25*Valores de planaridad para el experimento L.*

Experimento L								
Réplica	SP+	SP-	CCX	CVX	CCY	CVY	Cc Diag	CvDiag
1	3	0	2	0	2	0	5	0
2	1	0	1	1	1	1	1	0
3	1	1	0	1	0	1	2	0
4	1	0	0	1	1	0	1	0
5	1	1	1	1	1	1	2	0
6	2	0	2	0	2	0	4	0
7	1	0	0	0	1	0	1	0
8	2	0	2	0	1	0	4	0
9	1	1	1	1	2	1	2	0
10	1	0	0	0	1	1	1	0

Tabla 26*Valores de planaridad para el experimento M.*

Experimento M								
Réplica	SP+	SP-	CCX	CVX	CCY	CVY	Cc Diag	CvDiag
1	1	0	0	1	1	0	1	0
2	2	1	1	2	1	0	3	1
3	1	1	0	1	1	1	2	1
4	2	0	1	0	1	1	3	0
5	2	2	1	2	1	1	1	0
6	2	0	1	0	1	1	2	0
7	2	0	1	0	1	0	3	1
8	0	1	0	3	0	0	0	2
9	1	1	0	1	0	2	1	1
10	2	0	1	1	0	0	2	1

Tabla D14*Valores de planaridad para el experimento N.*

Experimento N								
Réplica	SP+	SP-	CCX	CVX	CCY	CVY	Cc Diag	CvDiag
1	1	0	1	1	2	0	4	0
2	1	0	0	1	1	0	2	0
3	1	0	0	1	1	0	1	0
4	1	1	0	2	1	0	1	0
5	1	0	0	1	1	0	1	0
6	1	1	1	1	1	0	1	0
7	1	0	0	0	1	0	2	0
8	2	1	1	1	2	1	2	0
9	2	1	1	1	1	0	4	0
10	1	0	0	0	1	0	2	0

Tabla 27*Valores de planaridad para el experimento O.*

Experimento O								
Réplica	SP+	SP-	CCX	CVX	CCY	CVY	Cc Diag	CvDiag
1	1	1	0	2	1	1	1	0
2	2	1	1	2	1	0	3	1
3	1	0	0	2	1	0	2	0
4	2	0	1	1	1	0	4	0
5	2	0	0	1	0	0	3	1
6	1	1	1	2	2	0	4	0
7	2	0	0	1	2	0	2	0
8	1	0	0	2	1	0	2	0
9	2	0	0	1	2	0	3	0
10	2	0	1	1	1	0	4	0

Tabla 28*Valores de planaridad para el experimento P.*

Experimento P								
Réplica	SP+	SP-	CCX	CVX	CCY	CVY	Cc Diag	CvDiag
1	1	0	0	1	1	0	3	1
2	1	1	0	1	1	1	1	0
3	1	0	0	1	1	1	1	0
4	2	1	0	1	1	1	1	1
5	1	0	0	1	1	1	1	1
6	1	0	0	2	1	0	3	1
7	2	1	1	1	1	0	4	1
8	1	1	1	2	1	1	3	0
9	1	0	0	1	0	1	0	1
10	2	1	1	1	1	0	4	2

Anexo E: Valores de la absorción para los distintos experimentos.

De la Tabla E1 a la E4 se detalla los valores de absorción para los diferentes experimentos.

Tabla E1

Valores de absorción de los experimentos A-D.

Réplica	Experimento A	Experimento B	Experimento C	Experimento D
1	5.83%	5.55%	5.84%	5.89%
2	5.76%	5.50%	5.63%	5.62%
3	5.70%	5.75%	5.77%	5.53%
4	5.60%	5.40%	5.69%	5.95%
5	5.63%	5.68%	5.84%	5.58%

Tabla E2

Valores de absorción de los experimentos E-H.

Réplica	Experimento E	Experimento F	Experimento G	Experimento H
1	5.82%	5.68%	5.68%	5.44%
2	6.01%	5.57%	5.68%	5.91%
3	5.63%	5.88%	5.93%	5.62%
4	5.91%	5.49%	5.73%	5.73%
5	5.73%	5.71%	5.95%	5.81%

Tabla E3

Valores de absorción de los experimentos I-L

Réplica	Experimento I	Experimento J	Experimento K	Experimento L
1	5.61%	5.99%	5.63%	5.71%
2	5.43%	5.66%	6.04%	5.66%
3	5.90%	5.84%	5.41%	5.49%
4	5.77%	5.82%	5.47%	5.48%
5	5.59%	6.02%	5.92%	5.80%

Tabla E429

Valores de absorción de los experimentos M-P.

Réplica	Experimento M	Experimento N	Experimento O	Experimento P
1	5.84%	5.97%	5.49%	5.87%
2	5.65%	5.85%	5.89%	5.68%
3	5.70%	5.43%	5.92%	5.93%
4	5.55%	5.60%	5.78%	5.92%
5	5.81%	5.65%	5.55%	5.64%

Anexo F. Valores de la clase para la resistencia a las manchas para los distintos experimentos.

A continuación, se especifica la clase a la que pertenecen los distintos experimentos como resultado del ensayo resistencia a las manchas.

Tabla F1

Valores de la clase para la resistencia a las manchas de los diferentes experimentos.

Agente manchador	Experimentos															
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
Verde Cromo	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Fe ₂ O ₃	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Yodo	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Aceite de oliva	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5