



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN ÓPTIMA PARA LA
ELABORACIÓN DE LADRILLOS PRENSADOS EN SECO (DRY-
PRESS) COMO ALTERNATIVA AL PROCESO DE MOLDEO
CONVENCIONAL (SOFT-MUD)”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO QUÍMICO

AUTOR: BRYAN ISRAEL YUQUILEMA ALVARADO

DIRECTOR: Ing. DARIO FERNANDO GUAMÁN LOZADA MSc.

Riobamba – Ecuador

2021

©2021, Bryan Israel Yuquilema Alvarado

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: el Trabajo de Integración Curricular: Tipo Proyecto de Investigación. “**DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN ÓPTIMA PARA LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS PRENSADOS EN SECO (DRY-PRESS) COMO ALTERNATIVA AL PROCESO DE MOLDEO CONVENCIONAL (SOFT-MUD)**”, realizado por el señor **BRYAN ISRAEL YUQUILEMA ALVARADO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

FIRMA

FECHA

Ing. Marco Raúl Chuiza Rojas.Msc.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



10 de septiembre de 2021

Ing. Dario Fernando Guamán Lozada
MSc.
DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR



10 de septiembre de 2021

Ing. Adrián Alejandro Rodríguez
Pinos MSc.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



10 de septiembre de 2021

DEDICATORIA

La constancia, sacrificio, dedicación y perseverancia siempre son importantes para alcanzar alguna meta y no la hubiera alcanzado sin el cariño y apoyo de ustedes. A Dios por darme fortaleza, sabiduría y permitirme concluir con esta etapa de mi vida. A mis padres César y Janeth, quienes con su amor y apoyo incondicional han sido mi pilar fundamental en cada logro de mi vida, gracias por sus consejos, paciencia y palabras de aliento en los momentos más difíciles, sin ustedes esto no hubiese sido posible. A mis hermanos, por sus valiosos consejos y palabras que me ayudaron y motivaron durante toda esta etapa de formación académica. A mis amigos, y a todas aquellas personas que durante este tiempo me brindaron su apoyo y aportaron de una u otra forma a que este sueño se haga realidad.

El presente trabajo se los dedico con todo mi corazón y eterno agradecimiento.

Bryan

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres y hermanos por apoyarme en cada etapa de mi vida, su apoyo y consejos han sido fundamentales en esta etapa de superación personal.

Al Ing. Dario Guamán y al Ing. Adrián Rodríguez por su predisposición y apoyo en el desarrollo y culminación de este proyecto de investigación, ya que, gracias a sus conocimientos y guía contribuyeron a que se cumpla con las expectativas planteadas para el presente trabajo.

También mi gratitud con cada una de las personas, amigos y familiares que contribuyeron y formaron parte de este logro.

Bryan

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xii
RESUMEN	xiii
SUMMARY	xiv

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Identificación del problema.....	1
1.2. Justificación del proyecto	1
1.3. Objetivos de la investigación	2
1.3.1. <i>Objetivo general</i>	2
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i>	2

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO	3
2.1. Antecedentes de la investigación	3
2.2. Marco Conceptual.....	4
2.2.1. <i>Ladrillo</i>	4
2.2.1.1. <i>Propiedades del ladrillo</i>	5
2.2.1.2. <i>Características y normativas del ladrillo en el país</i>	5
2.2.1.3. <i>Proceso de producción de Ladrillos Artesanales</i>	7
2.2.1.4. <i>Demanda de ladrillos</i>	9
2.2.1.5. <i>Ventajas y desventajas del ladrillo en contraste al bloque</i>	10
2.2.1.6. <i>Fabricación del ladrillo por prensado</i>	10
2.2.1.7. <i>Usos del ladrillo</i>	12
2.2.2. <i>Arcilla</i>	12
2.2.2.1. <i>Propiedades Físico-Químicas</i>	12
2.2.2.2. <i>Composición química de la arcilla</i>	13
2.2.2.3. <i>Tipos de Arcillas</i>	14

2.2.3.	<i>Diseño de experimentos</i>	15
2.2.3.1.	<i>Selección de un diseño de experimentos</i>	16
2.2.4.	<i>Diseño experimental de mezclas</i>	17
2.2.4.1.	<i>Tipos de diseños de mezclas</i>	18
2.2.4.2.	<i>Modelos matemáticos del diseño de mezclas</i>	18
2.2.5.	<i>Diseño Experimental de un solo factor categórico</i>	18

CAPÍTULO III

3.	METODOLOGÍA	19
3.1.	Hipótesis y Variables	19
3.1.1.	<i>Hipótesis general</i>	19
3.1.2.	<i>Hipótesis específicas</i>	19
3.2.	Identificación de variables	19
3.3.	Operacionalización de variables	19
3.4.	Matriz de consistencia	20
3.5.	Tipo y diseño de investigación	22
3.5.1.	<i>Tipo de investigación</i>	22
3.5.2.	<i>Diseño de la investigación</i>	23
3.5.3.	<i>Unidad de análisis</i>	23
3.5.4.	<i>Población de estudio</i>	24
3.5.5.	<i>Tamaño de muestra</i>	24
3.5.6.	<i>Selección de la muestra</i>	24
3.5.7.	<i>Técnica de recolección de datos</i>	25
3.5.7.1.	<i>Análisis químico de las arcillas por fluorescencia de rayos x</i>	26
3.5.7.2.	<i>Diseño de experimentos</i>	26
3.5.7.3.	<i>Ensayo de resistencia a la compresión</i>	27
3.5.7.4.	<i>Diseño de mezclas y análisis estadístico</i>	28
3.5.7.5.	<i>Diseño de un solo factor categórico y análisis estadístico en Statgraphics</i>	29

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
4.1.	Análisis y Discusión de Resultados	30
4.1.1.	<i>Caracterización Química de la Tierra Negra y Tierra Blanca</i>	30

4.1.2.	<i>Ensayos de compresión</i>	31
4.1.3.	<i>Análisis estadístico para el diseño de mezclas – resistencia</i>	32
4.1.3.1.	<i>Modelo cúbico especial ajustado para la resistencia a la compresión</i>	34
4.1.4.	<i>Análisis estadístico del diseño de experimentos de un solo factor categórico</i>	36
4.1.4.1.	<i>Verificación de los supuestos del modelo</i>	41
4.2.	Prueba de Hipótesis	44
4.2.1.	<i>Hipótesis Específicas</i>	44
4.2.2.	<i>Hipótesis General</i>	45
CONCLUSIONES		46
RECOMENDACIONES		47
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Requisitos que deben cumplir los ladrillos cerámicos.....	6
Tabla 2-2: Proyección de la demanda del ladrillo en el cantón Cuenca (2020-2022).....	10
Tabla 3-2: Proyección de la demanda de ladrillos en el cantón Loja (2020-2025).....	10
Tabla 4-2: Selección del método según el objetivo perseguido.....	16
Tabla 5-2: Guía para la selección de experimentos.....	17
Tabla 1-3: Identificación de las variables.....	19
Tabla 2-3: Operacionalización de Variables.....	19
Tabla 3-3: Matriz de Consistencia.....	20
Tabla 4-3: Técnica de Recolección de Datos.....	25
Tabla 5-3: Porcentajes de los componentes en la mezcla.....	28
Tabla 1-4: Composición química de la Tierra Negra y Tierra Blanca.....	30
Tabla 2-4: Resultados de los ensayos de compresión.....	31
Tabla 3-4: Efectos Estimados del Modelo Completo para Resistencia (MPa).....	32
Tabla 4-4: Resultados del Modelo Completo.....	33
Tabla 5-4: ANOVA para Resistencia a la compresión.....	33
Tabla 6-4: Ajuste de modelo para resistencia.....	33
Tabla 7-4: Optimizar el diseño.....	34
Tabla 8-4: Datos para el diseño un solo factor Categórico.....	36
Tabla 9-4: Resumen Estadístico para Resistencia a la compresión.....	36
Tabla 10-4: ANOVA para Resistencia a la compresión por Presión.....	37
Tabla 11-4: Tabla de Medias para Resistencia a la compresión por Presión con intervalos de confianza del 95,0%.....	37
Tabla 12-4: Pruebas de Múltiple Rangos para Resistencia a la compresión por Presión.....	38
Tabla 13-4: Verificación de Varianza.....	38
Tabla 14-4: Prueba de Kruskal-Wallis para Resistencia a la compresión por Presión.....	39
Tabla 15-4: Prueba de la Mediana de Mood para Resistencia a la compresión por Presión.....	39
Tabla 16-4: Residuos del diseño experimental de un solo factor categórico.....	41
Tabla 17-4: Pruebas de Normalidad para Residuos.....	41
Tabla 18-4: Resumen del análisis de varianza de un factor.....	44
Tabla 19-4: Análisis de varianza.....	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2: Diagrama de bloques de fabricación de ladrillos.	7
Figura 2-2: Diagrama de bloques de fabricación de ladrillos prensado.....	11
Figura 3-2: Variables de un proceso y preguntas a responderes al diseñar un experimento.	16
Figura 1-3: Diagrama de Flujo del Procedimiento para elaborar ladrillos.....	23
Figura 2-3: Diagrama de selección de la muestra.....	25
Figura 3-3: Gráfico para obtener las composiciones de las mezclas.	29

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-4: Contornos de la superficie de respuesta estimada.	35
Gráfico 2-4: Gráfica de traza para la resistencia a la compresión.	35
Gráfico 3-4: Dispersión por Código de Nivel.....	40
Gráfico 4-4: Gráfico de Medias.....	40
Gráfico 5-4: Probabilidad Normal.....	42
Gráfico 6-4: Residuos para resistencia a la compresión	43
Gráfico 7-4: Residuos vs Secuencia.	43

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: MODELOS MATEMÁTICOS DEL DISEÑO DE MEZCLAS

ANEXO B: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE COMPRESIÓN PARA EL DISEÑO DE
MEZCLAS

ANEXO C: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE COMPRESIÓN PARA EL DISEÑO DE
EXPERIMENTOS DE UN SOLO FACTOR CATEGÓRICO

ANEXO D: IMAGEN DE LOS RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE LA
TIERRA NEGRA

ANEXO E: IMAGEN DE LOS RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE LA
TIERRA BLANCA

ANEXO F: LADRILLOS TERMINADOS

ANEXO G: IMAGEN DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue determinar la composición y presión óptima para la elaboración de ladrillos prensados en seco (Dry-Press) como alternativa al proceso de moldeo convencional (Soft-Mud). Para ello, primero se realizó la caracterización de la materia prima (tierra negra y tierra blanca) por fluorescencia de rayos x. Segundo, se procedió a establecer nueve puntos de diseño con la ayuda del programa Geogebra para hacer el diseño de mezclas. Luego, se realizaron veintisiete muestras de estudio, variando su presión de moldeo (500, 1000 y 1500 psi). Una vez realizadas las muestras, se cocieron en una mufla a 900 grados Celsius por veinticinco horas. Con las muestras ya cocidas, se llevaron a cabo ensayos de compresión necesarios para realizar el primer análisis estadístico en el programa Statgraphics, con el fin de conseguir la mezcla óptima para maximizar la resistencia a la compresión de los ladrillos. Después, se realizó un diseño de experimentos de un solo factor categórico en el programa estadístico con la mezcla óptima obtenida anteriormente, con la cual, se realizaron nueve muestras más, variando la presión de moldeo (500, 1000 y 1500 psi). Estas muestras, se cocieron y ensayaron de la misma forma que las primeras, para finalmente, realizar el análisis estadístico del segundo diseño. Del primer diseño se obtuvo que la composición óptima es 95% tierra negra y 5% agua, ya que, da un valor de resistencia de 8,01438 MPa, el cual, cumple con la NTE INEN 297; en tanto que, del segundo diseño la mejor presión de moldeo es la de 1000psi. Concluyendo que, se presentan los mejores resultados de resistencia, con mezclas con un 95% de tierra negra y 5% agua, y con una presión de moldeo de 1000 psi. Se recomienda realizar más muestras variando la presión de moldeo entre 1000 y 1500 psi.

Palabras clave: <DISEÑO DE MEZCLAS>, <STATGRAPHICS (SOFTWARE)>, <LADRILLO>, <CARACTERIZACIÓN QUÍMICA>, <COMPRESIÓN>.



1702-DBRA-UTP-2021

SUMMARY

The objective of this research was to determine the optimal composition and pressure for the production of dry-pressed bricks (Dry-Press) as an alternative to the conventional molding process (Soft-Mud). For this, first the characterization of the raw material (black earth and white earth) by x-ray fluorescence was carried out. Second, nine design points were established with the help of the Geogebra program to make the design of mixtures. Then, twenty-seven study samples were made, varying their molding pressure (500, 1000 and 1500 psi). Once the samples were made, they were fired in a muffle at 900 degrees Celsius for twenty-five hours. With the samples already fired, the necessary compression tests were carried out to perform the first statistical analysis in the Statgraphics program, in order to achieve the optimal mixture to maximize the compressive strength of the bricks. Afterwards, a single categorical factor design of experiments was carried out in the statistical program with the optimal mixture obtained previously, in which nine more samples were made, varying the molding pressure (500, 1000 and 1500 psi). These samples were cooked and tested in the same way as the first ones, to finally carry out the statistical analysis of the second design. From the first design, it was obtained that the optimal composition is 95% black earth and 5% water, since it gives a resistance value of 8.01438 MPa, which complies with the NTE INEN 297; while, of the second design, the best molding pressure is 1000psi. Concluding that, the best resistance results are presented, with mixtures with 95% black earth and 5% water, and with a molding pressure of 1000 psi. It is recommended to make more samples by varying the molding pressure between 1000 and 1500 psi.

Keywords: <MIX DESIGN>, <STATGRAPHICS (SOFTWARE)>, <BRICK>, <CHEMICAL CHARACTERIZATION>, <COMPRESSION>

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Identificación del problema

Determinar la composición óptima para la elaboración de ladrillos prensados en seco (dry-press) como alternativa al proceso de moldeo convencional (soft-mud) nace de la necesidad de mejorar la calidad y la optimización del proceso de fabricación de ladrillos. Actualmente, en el Ecuador, la mayor parte de ladrillos que se utilizan en la construcción son elaborados artesanalmente, obviando normas que permitan alcanzar estándares internacionales, como los especificados en la Norma de albañilería E.0.70. que es mencionada por (MAMANI RUIZ, 2015) en su tesis sobre el estudio y evaluación de formulación de mezclas para la obtención de ladrillos de arcilla en la ciudad de Cusco, además, de que no se realizan las principales pruebas de calidad como la de resistencia siendo una de la más importantes a cumplir dentro del área de la construcción. En el Ecuador la norma que rige los parámetros mínimos de calidad de los ladrillos es la norma INEN 297.

Es por ello que en el presente trabajo se busca optimizar la resistencia a la compresión, identificando las cantidades idóneas de los diferentes componentes del ladrillo prensado, para luego compararlo con los fabricados artesanalmente.

Al utilizar la compactación mecánica se reduce considerablemente la porosidad de la mezcla evitando así una gran retención de agua en su interior, al igual que, se incrementa su resistencia a la compresión, tal como lo afirma (INDRA, 2018): “en términos de propiedades mecánicas de resistencia a la compresión aumenta con la adición de presión de compactación, con un aumento del 36% (el ladrillo se vuelve fuerte)”.

1.2. Justificación del proyecto

Debido a que la industria del ladrillo es una de las más importantes del país y de la provincia de Chimborazo, es necesario mejorar y optimizar su proceso de producción, debido a que, los ladrillos, son productos con diversos usos en el área de la construcción, gracias a su gran resistencia y capacidad aislante termoacústica.

Con la determinación de la composición óptima para la elaboración de ladrillos prensados en seco (dry-press) como alternativa al proceso de moldeo convencional (soft-mud) también se busca optimizar los recursos (materia prima) no renovables que intervienen en la fabricación de los ladrillos, evitando altos índices de contaminación y degradación ambiental; además de, generar un ahorro económico.

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

- Determinar la composición óptima para la elaboración de ladrillos prensados en seco (dry-press) como alternativa al proceso de moldeo convencional (soft-mud).

1.3.2. Objetivos específicos

- Realizar la caracterización de las arcillas que intervienen en la elaboración de un ladrillo mediante análisis instrumental.
- Elaborar un diseño de mezclas considerando la presión del moldeo, el número de componentes y sus respectivas composiciones en las diferentes mezclas con el fin de llevar a cabo ensayos de compresión.
- Realizar el análisis estadístico para determinar la combinación óptima de factores (presión, composición) que maximicen la resistencia a la compresión.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

En América Latina, existen alrededor de 41.000 productores ladrilleros, con una alta heterogeneidad de niveles de producción, tecnología y rentabilidad, que difiere de país a país, así como también dentro de cada uno de ellos, particular que guarda estrecha relación con aspectos tecnológicos, culturales, sociales y económicos, entre los más relevantes. Los países con bajo nivel de tecnología son Ecuador, Argentina, México y países de América Central (SWISSCONTACT, 2014).

Según (INEC, 2016), uno de los materiales más utilizados para la fabricación de mamposterías en el Ecuador es el ladrillo, con un porcentaje del 41.4%, siendo el segundo material en utilización después del bloque.

Actualmente existen trabajos de investigación enfocados en buscar la composición idónea de la mezcla para elaborar ladrillos artesanales, o en el proceso de prensado como una alternativa al proceso de moldeo convencional para la fabricación de ladrillos.

En el trabajo de (JARA ECHEVERRÍA, 2018), se realizó la caracterización de las propiedades fisicoquímicas de minerales arcillosos de la provincia de Chimborazo, utilizando fluorescencia de rayos X (XRF), estos datos servirán como referencia para validar los resultados obtenidos en el análisis químico de los diferentes tipos de arcillas (tierra negra y tierra blanca) utilizadas en la presente investigación.

Por su parte, (GAVILANES & SANTELLÁN, 2016), exponen los requisitos que debe cumplir un ladrillo según la norma INEN para que pueda competir dentro del mercado industrial de la construcción. Los resultados de pruebas de laboratorio de dicho trabajo se realizaron a ladrillos fabricados en el cantón Chambo.

La Nota Técnica de (BRICK INDUSTRY ASSOCIATION, 2006), presenta los procedimientos fundamentales para la fabricación de ladrillos de arcilla. Se discuten los tipos de arcilla utilizados, los tres procesos principales para formar ladrillos y las diversas fases de fabricación, desde la extracción hasta el almacenamiento. Además, se proporciona información sobre las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo. Es así, que esta nota sirve para conocer el proceso industrial de elaboración de ladrillos y los rangos en los cuales debe variar la presión para realizar el moldeo por compresión.

(INDRA, EDISON & NOFRIANTO, 2018) afirma que: “en términos de propiedades mecánicas de Resistencia a la compresión esta aumenta con la adición de presión de compactación, dando un

aumento del 36% (el ladrillo se vuelve fuerte)”. Es por esto que este trabajo aporta con información de cómo influye la presión del moldeo en la resistencia a la compresión que presentan los ladrillos terminados.

Según (ÁLVAREZ, 2014), realizar un diseño experimental de mezclas permite conocer la proporción óptima de componentes que deben ingresar en la formulación del ladrillo, y cómo estos componentes influyen en las propiedades del producto final, por lo que, este trabajo es tomado como referencia para poder realizar un diseño de mezclas con la finalidad, de llegar a obtener la combinación óptima de componentes que permita que el ladrillo cumpla con la normativa de resistencia a la compresión.

De acuerdo con (MAMANI RUIZ, 2015), realizar un diseño experimental para mezclas en el programa STATGRAPHICS Centurión XVI permite optimizar una mezcla con un valor óptimo de resistencia, además, expone que la temperatura de cocción para ladrillos elaborados de manera artesanal. Es así, que la información expuesta en dicho trabajo sirve como una guía para poder obtener una mezcla ideal con el mayor valor de resistencia, al igual que, permite conocer la temperatura ideal a la cual se debe cocer los ladrillos.

2.2. Marco Conceptual

2.2.1. Ladrillo

Jiménez (2005) afirma que: “el ladrillo es una pieza cerámica empleada en albañilería, de forma ortoédrica, fabricada por moldeo, secado y cocción de una pasta arcillosa de acuerdo con la norma UNE 6701 9-86/2R, según se especifica en el Pliego general de condiciones para la Recepción de Ladrillos cerámicos en las obras de construcción.”

Además, (JIMÉNEZ, 2005) establece que los tipos de ladrillos son los siguientes:

- Macizo, que se designa con la letra M, y este es completamente sólido, cuyo volumen no sobrepasa el 10 por ciento.
- Perforado, que se designa con la letra P, y es todo aquel ladrillo con taladros en tabla de volumen superior al 10%.
- Hueco, que se designa con la letra H, siendo el ladrillo con taladros en canto o testa.
- Prensados: los ladrillos de caras muy finas, fabricados por prensas de estampa y cocidos en hornos fijos.
- Refractarios: los fabricados con arcilla rica en alúmina o sílice, mezclada con arena de sílice muy fina, cromita, magnesita, etc., que se moldean por prensado generalmente a temperaturas muy altas (aireador de los 1600°C), con lo cual se obtienen unos ladrillos especiales para soportar grandes temperaturas, para hornos, chimeneas, etc.

2.2.1.1. Propiedades del ladrillo

Las características del ladrillo varían de acuerdo a como está constituida la materia prima y su técnica de elaboración. Según BRICK INDUSTRY ASSOCIATION (2006), las propiedades más importantes del ladrillo son:

- Durabilidad: Depende de lograr una fusión incipiente y una vitrificación parcial durante la cocción.
- Color: El color que presenta la arcilla una vez que se ha cocido depende de sus componentes químicos, además, de su temperatura de cocción y el método de control de la cocción.
- Textura: Varios ladrillos pueden ser lisos o con acabados de arena, ocasionados por las matrices o moldes utilizados en la formación.
- Variación de tamaño: Debido a que las arcillas tienden a reducir su tamaño durante los procesos de secado y cocción, se llevan a cabo concesiones dentro del proceso de conformado, para de esta forma conseguir el tamaño requerido en el ladrillo terminado.

Además, en el trabajo de Zúñiga (2018) se mencionan estas otras propiedades:

- Dimensión: Estas son variadas, dependerán del empleo que se le vaya a dar al ladrillo, la correspondencia entre la soga y el tizón debe ser 2 a 1.
- Resistencia a la compresión: Se realiza con la ayuda de un ensayo técnico específico, el cual permite medir la resistencia de estos al aplicar un esfuerzo de compresión.
- Peso: Debe ser liviano, reduciendo cargas muertas, para aligerar estructuras.
- Absorción de humedad: Expresada en porcentaje bajo la norma INEN 296, 2015.
- Resistencia al fuego: No sufre daños sometido a altas temperaturas.
- Aislamiento térmico: Produce baja conductividad térmica, evitando la transmisión de calor.

2.2.1.2. Características y normativas del ladrillo en el país

Según Reverte (1972) las características generales que todo buen ladrillo cerámico debe cumplir son: un moldeado perfecto, homogeneidad en toda la masa (ausencia de fisuras y defectos), buena cocción y por consiguiente tener un sonido claro y metálico a la percusión, aristas sólidas y superficies que sean lisas y regulares, resistir cargas pesadas, presentan una estructura porosa, no contar con sales solubles, ser absorbentes al agua.

La calidad de los productos cerámicos en nuestro país está controlada por la normativa del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), misma que indica las condiciones para ladrillos y tejas cerámicas.

Ladrillos Cerámicos. - Determinación de la resistencia a la compresión (INEN, 294, 1977).

Romero (2021) expone que “la normativa INEN 293 tiene por objeto indicar los tipos, definiciones y condiciones generales del uso de los ladrillos cerámicos empleados en la construcción. Esta norma comprende a los ladrillos cerámicos, fabricados de arcilla moldeada y cocida.”

De acuerdo con la normativa INEN 297 (1977), los ladrillos macizos son de tres tipos: A, B y C y deberán cumplir con las siguientes características fundamentales:

- El A, será reprensado, de color rojizo uniforme, con ángulos rectos y aristas rectas. No tendrá manchas, eflorescencias, quemados, ni desconchados aparentes en caras y aristas (INEN, 1977b).
- El B, será de máquina, de color rojizo, con ángulos rectos y aristas rectas, diferenciándose del tipo A en que puede tener pequeñas imperfecciones en sus caras exteriores, así como variaciones de rectitud en sus aristas hasta de 5mm (INEN, 1977b).
- El C, será semejante al tipo B, diferenciándose del él en que puede, además, ser fabricado a mano y tener imperfecciones en sus caras exteriores, así como variaciones de rectitud en sus aristas hasta de 8mm (INEN, 1977b).

De acuerdo a la clasificación, los ladrillos cerámicos deberán cumplir con los requisitos que se indican en la siguiente tabla:

Tabla 1-2: Requisitos que deben cumplir los ladrillos cerámicos.

Tipo de Ladrillo	Resistencia mínima a la compresión MPa*		Resistencia mínima a la flexión MPa*	Absorción máxima de humedad %
	Promedio de 5 unidades	Individual	Promedio de 5 unidades	Promedio de 5 unidades
Macizo tipo A	25	20	4	16
Macizo tipo B	16	14	3	18
Macizo tipo C	8	6	2	25
Hueco tipo D	6	5	4	16
Hueco tipo E	4	4	3	18
Hueco tipo F	3	3	2	25
Método de ensayo	INEN 294		INEN 295	INEN 296

Fuente: (INEN 297, 1977).

Realizado por: Yuquilema, B. 2021.

Para poder cumplir con estos requerimientos, se deben controlar algunas variables como la calidad y cantidad de componentes en la mezcla, porcentaje de humedad en el secado y temperatura de cocción.

Las ladrilleras artesanales no cuentan con ningún tipo de control sobre las variables antes mencionadas razón por la cual es muy probable que sus productos no cumplan con las normas de calidad mínimas; es por ello que tampoco se lleva a cabo ensayos de calidad al producto terminado.

2.2.1.3. Proceso de producción de Ladrillos Artesanales

De acuerdo con Casado (2010), el proceso para elaborar ladrillos consta de las siguientes etapas:

- Extracción de arcilla y tierras
- Mezcla y preparación
- Moldeo o Labranza
- Secado
- Carga del Horno
- Cocción
- Descarga del Horno
- Clasificación

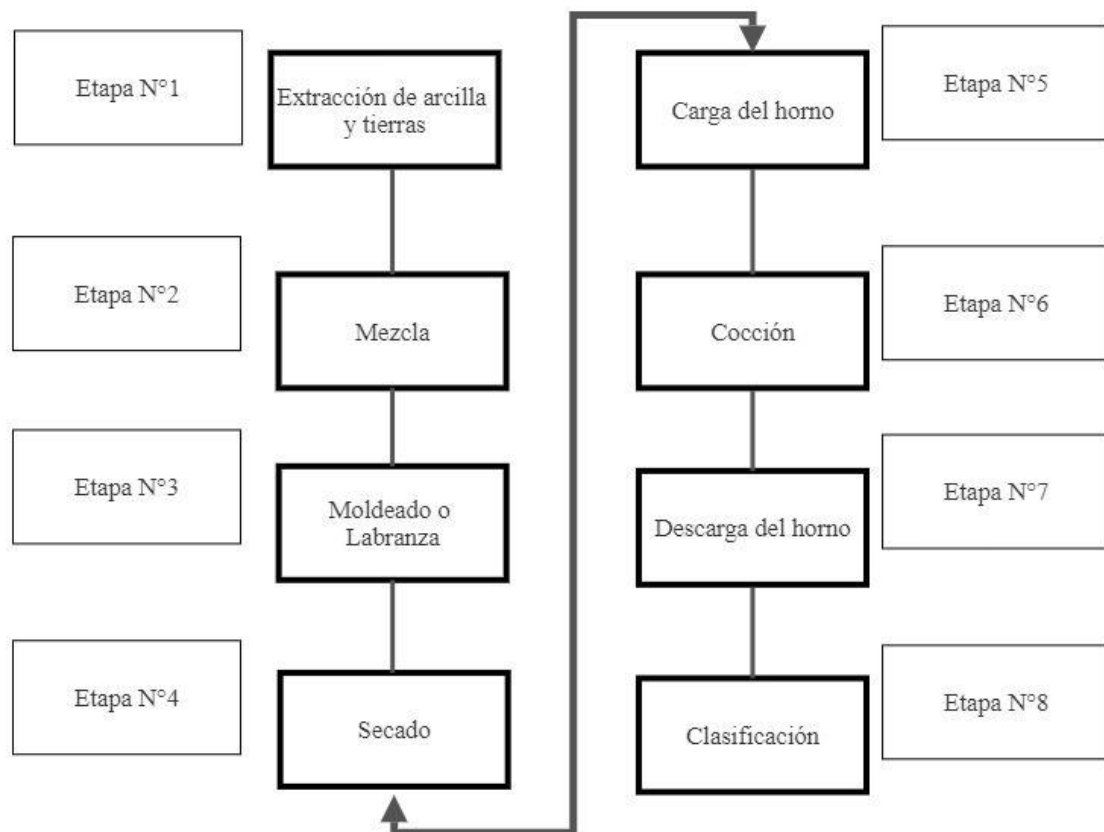


Figura 1-2: Diagrama de bloques de fabricación de ladrillos.

Fuente: (CASADO, 2010).

De acuerdo con el Ministerio de la Producción (2010), las definiciones para cada una de las etapas de la fabricación de ladrillos son las siguientes:

- **Extracción de Arcilla y Tierras**

Se realiza en sitios distantes del lugar de producción o en el mismo lugar de producción. El proceso de extracción que llevan a cabo los artesanos, es de forma manual de canteras. El resto de la industria que elaboran ladrillos extrae la materia prima de canteras con denuncia minera con la ayuda de equipo pesado para remover tierras. El material extraído se carga en camiones y se transporta al lugar donde se encuentran los hornos de cocción.

- **Mezcla**

- Mezclado a Mano

Se realiza una premezcla de arcilla y arena humedecida, amasando hasta que se eliminen los pedazos más grandes de arcilla. Las impurezas de estas son separadas manualmente. La materia prima no es escogida ni molida. La dosificación y propiedades finales de la mezcla las establece cada artesano en base a su consistencia.

- Mezclado mecánico

Para este mezclado se usa un equipo (mezcladora) que puede ser eléctrico, mecánico o de tracción animal, reduciendo de esta manera el tiempo de amasado y elevando el rendimiento. La premezcla de arcilla y arena humedecida, junto con otros componentes si fuera necesario, se coloca en la tolva de entrada del equipo donde se amasa hasta obtener la consistencia deseada.

- **Moldeo o Labranza**

Según Ministerio de la Producción (2010) el material mezclado se moldea con la finalidad de darle la forma requerida al ladrillo. Se puede hacer en forma manual o con la ayuda de extrusoras mecánicas.

- Moldeo manual: Se realiza con la ayuda de moldes ya sean metálicos o de madera. Estos no son de tamaños estandarizados, cambian de un productor a otro y de un lugar a otro.
- Moldeo mecánico: Incrementa la densidad del ladrillo y su resistencia. Se emplean prensas de moldeo manuales, extrusoras industriales. Pequeñas máquinas extrusoras manuales representan el punto intermedio, ya que, pueden producir entre 120 y 400 ladrillos por hora (MINISTERIO DE LA PRODUCCIÓN, 2010).

- **Secado**

Los ladrillos crudos recién moldeados se colocan en terrenos planos que normalmente están lo más cerca al lugar de moldeo. Estos se secan utilizando la luz solar y el viento. Cuando llueve y no se encuentran bajo cubierta, se tapan con mantas que generalmente son de plástico, aunque esto no garantiza que se dañen.

El tiempo de secado depende de las condiciones climáticas y está en un promedio que va desde los 5 a 7 días. A partir del día 3 o 4 se voltean las piezas para un secado uniforme.

- **Carga del horno**

Primero se acomodan las piezas secas de tal manera que formen una especie de cúpula que se encuentre sobre del canal de encendido a todo lo largo del horno.

En la parte superior de los lados de la bóveda, se ubican briquetas de carbón en una disposición apropiada a casi todo lo largo y ancho de la sección del horno para lograr un fuego horizontal.

Por encima de la bóveda se colocan los ladrillos horizontalmente en forma de capas sucesivas cada una transversal respecto a la anterior, descansando sobre su lado más largo hasta llenar en su totalidad la altura del horno (MINISTERIO DE LA PRODUCCIÓN, 2010).

- **Cocción**

Se lleva a cabo en los hornos ladrilleros. La quema es una operación que en su totalidad es artesanal, mismas en la que, el maestro hornero va ajustando la temperatura según se van obteniendo los resultados.

Las partes de la cocción son:

Encendido: El objetivo es hacer encender las briquetas con la finalidad de generar suficiente calor para encender el cisco de carbón colocado en las capas sucesivas.

Quema: El objetivo es que la llama ascienda de manera uniforme a través de las capas horizontales de ladrillos, encendiendo de esta forma las respectivas capas de carbón hasta alcanzar la cocción de toda la carga.

- **Descarga del Horno**

Una vez que el calor ha llegado a la parte superior y se ha consumido por completo el carbón, se procede a abrir las ventilaciones del horno para lograr que este se enfríe, esto puede durar entre cuatro y seis días. El enfriamiento se da de forma ascendente a causa de las corrientes de aire que han aportado a la combustión. Antes de descargar se espera a que el horno se enfríe.

- **Clasificación y Despacho**

En los alrededores del horno se clasifican los ladrillos de acuerdo con el resultado de su cocción:

- Bien cocidos: presentan un color rojo intensa y sonido metálico, son duros y compactos, sus aristas son duras y su superficie lisa y regular.
- Medianamente cocidos: color menos rojizo.
- Crudos o no cocidos (Ministerio de la Producción, 2010, p.9).

2.2.1.4. Demanda de ladrillos

De acuerdo con la información proporcionada por (Tenesaca and Rasco, 2017, p.84), la demanda de ladrillos en el cantón Cuenca para los años 2020, 2021 y 2022 es la siguiente:

Tabla 2-2: Proyección de la demanda del ladrillo en el cantón Cuenca (2020-2022)

Año	Demanda	% crecimiento
2020	28.551.304	2,48%
2021	29.242.450	2,42%
2022	29.933.596	2,36%

Fuente: (TENESACA & RASCO, 2017).

Realizado por: Yuquilema, B. 2021.

Según (Flores Paz, 2016, p.83), la proyección de la demanda de ladrillos en el cantón Loja para el periodo 2020-2025 es la siguiente:

Tabla 3-2: Proyección de la demanda de ladrillos en el cantón Loja (2020-2025)

PROYECCIÓN DE LA DEMANDA EN LADRILLOS	
AÑOS	DEMANDA PROYECTADA REAL
2020	17.833.348
2021	18.154.543
2022	18.475.738
2023	18.796.934
2023	19.118.129
2025	19.439.324

Fuente: (FLORES PAZ, 2016).

Realizado por: Yuquilema, B. 2021.

2.2.1.5. Ventajas y desventajas del ladrillo en contraste al bloque

De acuerdo con Ingeniería Real (2020), las ventajas y desventajas que presenta el ladrillo en contraste al bloque son las siguientes:

- **Ventajas**

Funciona mucho mejor que el bloque como aislante de temperaturas.

Presenta un mayor aislamiento de humedad que el bloque de concreto.

Aísla mucho mejor el ruido.

- **Desventajas**

En comparación con el ladrillo el bloque se construye bastante rápido y es más fácil para alinearlos.

Con bloque se reducen costos y se realiza la obra en menos tiempo.

En cuanto a economía se opta por el bloque ya que es más barato.

2.2.1.6. Fabricación del ladrillo por prensado

Según (Gr and Bioambientales, 2009, p.32) el ladrillo prensado se comenzó a fabricar como un paralelepípedo macizo, de medidas similares a las del ladrillo común.

El proceso de elaboración de ladrillos por prensado de acuerdo con (STROM), incluye secar la arcilla en un secador de tambor durante aproximadamente 10 a 15 minutos, luego usar una trituradora para molerla en polvo y luego, finalmente, ponerla en una prensa de palanca para hacer los ladrillos terminados.

Además, (STROM) dice que las ventajas de utilizar este método son las siguientes:

Dado que el prensado se realiza con un 8 a 10 por ciento de humedad del polvo, los ladrillos prensados no requieren más secado y se introducen directamente en el horno inmediatamente después del prensado. Esto elimina los costos de energía asociados con el secado de ladrillos verdes y los costos adicionales de los aditivos que normalmente se utilizan para mejorar las propiedades de secado de los ladrillos.

El tamaño de la fábrica en sí es mucho menor; no hay sección de secado de ladrillos, que suele ocupar un espacio considerable.

Los costos por ladrillo se pueden reducir en un 300 por ciento, lo que brinda mayores ganancias al productor.

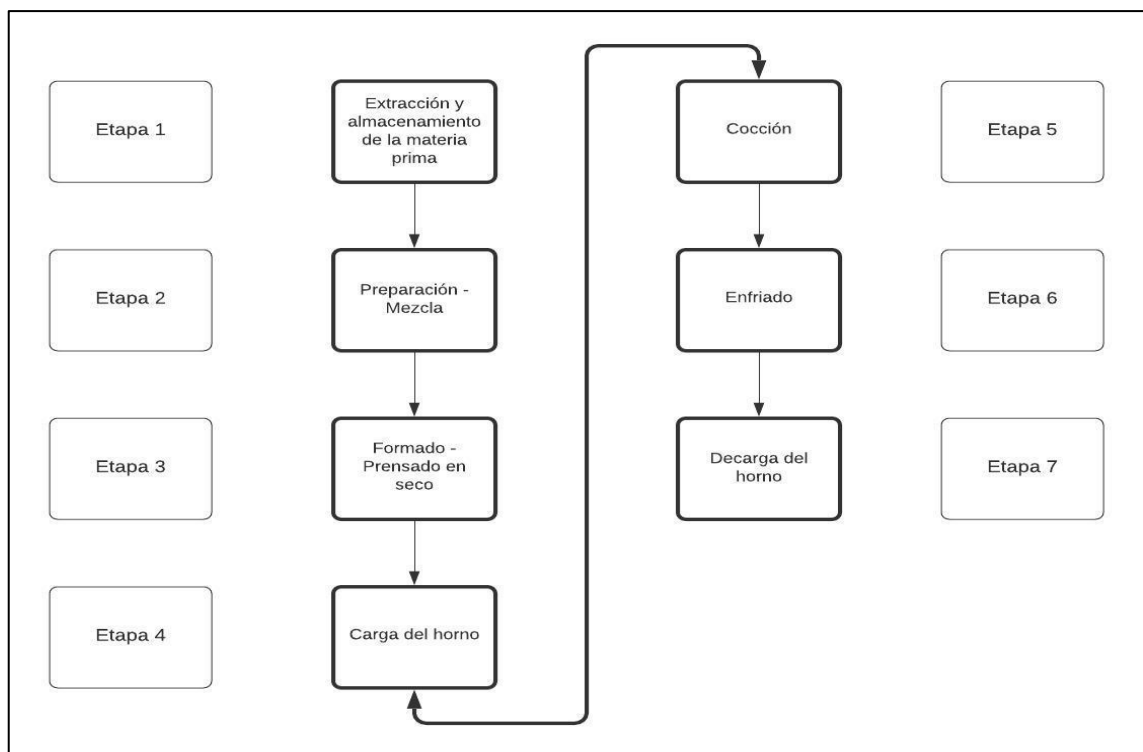


Figura 2-2: Diagrama de bloques de fabricación de ladrillos prensado.

Fuente: (BRICK INDUSTRY ASSOCIATION, 2006).

2.2.1.7. Usos del ladrillo

Los ladrillos son utilizados en la construcción de viviendas, edificios, muros, vías y para revestimientos decorativos (Sacoto, 2013).

2.2.2. Arcilla

Según la (INEN 685, 1982), define a la arcilla como: *Suelo cohesivo de grano fino que presenta plasticidad, en el que sus partículas tienen diámetros equivalentes menores que 75 μm y cuyas características de consistencia lo ubican sobre la línea A en la carta de plasticidad Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).*

Las arcillas, al igual que el resto de los filosilicatos, presentan una estructura basada en el apilamiento de planos de iones oxígeno e hidroxilos. Los grupos tetraédricos $(\text{SiO})_4^{4-}$ se unen compartiendo tres de sus cuatro oxígenos con otros vecinos formando capas, de extensión infinita y fórmula $(\text{Si}_2\text{O}_5)^{2-}$, que constituyen la unidad fundamental de los filosilicatos. En ellas los tetraedros se distribuyen formando hexágonos. El silicio tetraédrico puede estar, en parte, sustituido por Al^{3+} o Fe^{3+} (GARCÍA & SUARÉZ, 2014).

2.2.2.1. Propiedades Físico-Químicas

Según García y Suarez (2014), las principales propiedades que presenta la arcilla son:

- **Superficie específica**

Una elevada superficie específica, es de suma importancia para poder emplearlas en procesos industriales en los que, la interacción del sólido con el fluido depende de la misma.

- **Capacidad de Intercambio catiónico**

(CEC) se puede definir como la suma de todos los cationes de cambio que un mineral puede adsorber a un determinado Ph.

- **Capacidad de absorción**

Está directamente ligada con las características texturales y se habla de dos tipos de procesos que raramente se dan de forma separada: absorción y adsorción (GARCÍA & SUARÉZ, 2014).

- **Hidratación e hinchamiento**

Son propiedades que caracterizan a las esmectitas, y cuya importancia se refleja en los diferentes usos industriales. La absorción de agua en el espacio interlaminar tiene como consecuencia la separación de las láminas dando lugar al hinchamiento (García and Suárez, 2014, p.6).

- **Plasticidad**

Esta propiedad se debe a que el agua forma una envuelta sobre las partículas laminares provocando un efecto lubricante que ayuda al deslizamiento de unas partículas sobre otras al ejercer un esfuerzo sobre ellas. La elevada plasticidad es consecuencia, de su forma laminar, tamaño de partícula sumamente pequeño y alta capacidad de hinchamiento (GARCÍA & SUARÉZ, 2014).

2.2.2.2. Composición química de la arcilla

La composición química de la arcilla cambia de acuerdo con el lugar del cual se ha extraído el material distinguiéndose tres elementos principales que son sílice, alúmina y agua.

De acuerdo con lo citado en el trabajo de (SOLÍS GARCÍA, 2014), se tiene los siguientes compuestos químicos en la arcilla:

- **Sílice: (SiO₂)**

La sílice puede encontrarse formando parte del mineral arcilloso o como sílice libre, en forma de cuarzo normalmente. Presenta las siguientes características: gran dureza (7 Mohs, lo cual le confiere un elevado poder abrasivo) y refractariedad (funde a 1.460°C). En arcillas para ladrillos el porcentaje en SiO₂ suele oscilar entre el 45 y 55%. Por encima del 60%, el porcentaje de cuarzo libre puede resultar excesivo y peligroso.

- **Alúmina: (Al₂O₃)**

Después de la sílice, el compuesto más abundante es la alúmina (Al₂O₃). Al contrario de lo que sucede con la sílice, la alúmina (Al₂O₃) se encuentra casi siempre formando parte de la arcilla. Durante la cocción, la alúmina da lugar a la formación de mullita, compuesto que cristaliza formando agujas que elevan notablemente la resistencia mecánica y química de la pieza. En arcillas para ladrillos, el contenido de Al₂O₃ suele estar comprendido entre el 10 y 20%. Las arcillas refractarias pueden presentar contenidos en Al₂O₃ superiores al 20% (20 - 40%).

- **Óxido de hierro (Fe₂O₃)**

El hierro es uno de los elementos más extendidos en la naturaleza y constituye una de las impurezas más frecuentes asociadas a las arcillas. El hierro puede presentarse en dos estados de oxidación: como ferroso FeO (menos oxidado) y como férrico Fe₂O₃ (más oxidado). La suma de ambos puede alcanzar un porcentaje máximo de un 10%.

- El hierro férrico (Fe³⁺): Es la forma más constante y más estable encontrando raras veces las condiciones necesarias para su solubilidad. En el ladrillo cocido por debajo de los 1.050°C se presenta en forma de Fe₂O₃ (hematites), siendo éste el colorante que confiere al ladrillo su color rojo característico. El poder colorante del óxido férrico es mucho mayor que el del óxido ferroso.

- **El dióxido de titanio: (TiO₂)**

Todas las arcillas contienen titanio, que se encuentra en porcentajes del orden de 0,1 a 4% de TiO₂ (rutilo). El TiO₂ no puede considerarse como un colorante desde el punto de vista cerámico. Su importancia estriba en el hecho curioso de que aumenta la intensidad del color amarillento producido por el Fe₂O₃, color no deseable, sobre todo en porcelana y en arcillas para engobe.

- **Los óxidos de calcio y magnesio: (CaO y MgO)**

Se encuentran en las arcillas como carbonato de calcio, carbonato de magnesio o carbonato doble de calcio y magnesio. El más abundante es el carbonato de calcio. Durante la cocción, el MgCO₃ se descompone a partir de los 600°C, mientras que el CaCO₃ lo hace a partir de los 900°C, liberando CO₂ y quedando en el interior de la pieza un residuo blanco de CaO (óxido de calcio) u MgO (óxido de magnesio). El MgO y CaO así formados reaccionan con la sílice presente en la arcilla, dando MgSiO₃ (silicato de magnesio) y CaSiO₃ (silicato de calcio). Los cristales de silicato de calcio o magnesio constituyen una especie de esqueleto o estructura cristalina interna que aumenta la resistencia a la deformación a la pieza cocida, así como su resistencia mecánica en frío.

El porcentaje total de óxidos de calcio y magnesio contenidos en las arcillas utilizadas en la industria ladrillera raramente supera el 20 %.

- **Los óxidos de sodio y potasio: (Na₂O y K₂O)**

Son fundentes muy activos. El óxido de sodio es el más escaso, raramente supera el 0,5%; mientras que el K₂O suele oscilar entre el 1,5 y el 4%, pudiendo alcanzar el 6-7% en arcillas illíticas (micas). El contenido en óxidos alcalinos (Na₂O y K₂O) determina la temperatura necesaria para lograr un determinado grado de cocción de la pieza, es decir, la resistencia y absorción deseadas.

2.2.2.3. Tipos de Arcillas

Existen varios criterios para clasificar a los diferentes tipos de arcillas, éstos pueden ser por su origen geológico, por su composición, por sus propiedades (color, plasticidad, punto de fusión, etcétera) o bien de acuerdo a su uso (VÁZQUEZ MALAGÓN, 2005).

Algunas de las clasificaciones más importantes de las arcillas son:

- **Clasificación por su origen geológico**

- Primarias o residuales: Según (VÁZQUEZ MALAGÓN, 2005) estas son: “formadas en el lugar de origen de la roca madre, ya sea a nivel superficial o en la profundidad. Por lo general solo los caolines pertenecen a este grupo, es por esto que la mayoría de estas están compuestas por caolinita y no contienen otro mineral arcilloso”.

- Arcillas secundarias o sedimentarias: Secundarias o sedimentarias: Según (VÁZQUEZ MALAGÓN, 2005) “son arrastradas y depositadas lejos de la roca madre de que proceden sedimentándose por la acción del agua, lo cual causa que las partículas sean extremadamente finas, presentando a consecuencia de ello, una alta plasticidad. A causa de los arrastres producidos durante su formación, generalmente se encuentran mezcladas con otros materiales, entre ellos: sílice, feldespatos y óxido de hierro en mayor o menor porcentaje”.
- **Clasificación según su plasticidad**
- Arcillas grasas: Son de tacto graso y debido a sus partículas finas son muy plásticas, por lo cual se necesita de una gran cantidad de agua para poder trabajarlas, ocasionando un elevado encogimiento al momento de secarse (VÁZQUEZ MALAGÓN, 2005).
- Arcillas magras: Su grano no es tan fino como el de las otras, por lo que su plasticidad es menor, así como su encogimiento (VÁZQUEZ MALAGÓN, 2005).

2.2.3. Diseño de experimentos

Según Gutiérrez y Salazar (2008) el diseño de experimentos es la aplicación del método científico para generar conocimiento acerca de un sistema o proceso, por medio de pruebas planeadas adecuadamente. Esta metodología con el tiempo se ha consolidado como un conjunto de técnicas estadísticas y de ingeniería, que permiten entender mejor las situaciones complejas de relación causa-efecto.

- **Variables, factores y niveles**

Según Gutiérrez y Salazar (2008) en su trabajo define a las variables, factores y niveles de la siguiente manera:

- Variable(s) de respuesta. A través de esta(s) variable(s) se conoce el efecto o los resultados de cada prueba experimental, por lo que pueden ser características de la calidad de un producto y/o variables que miden el desempeño de un proceso.

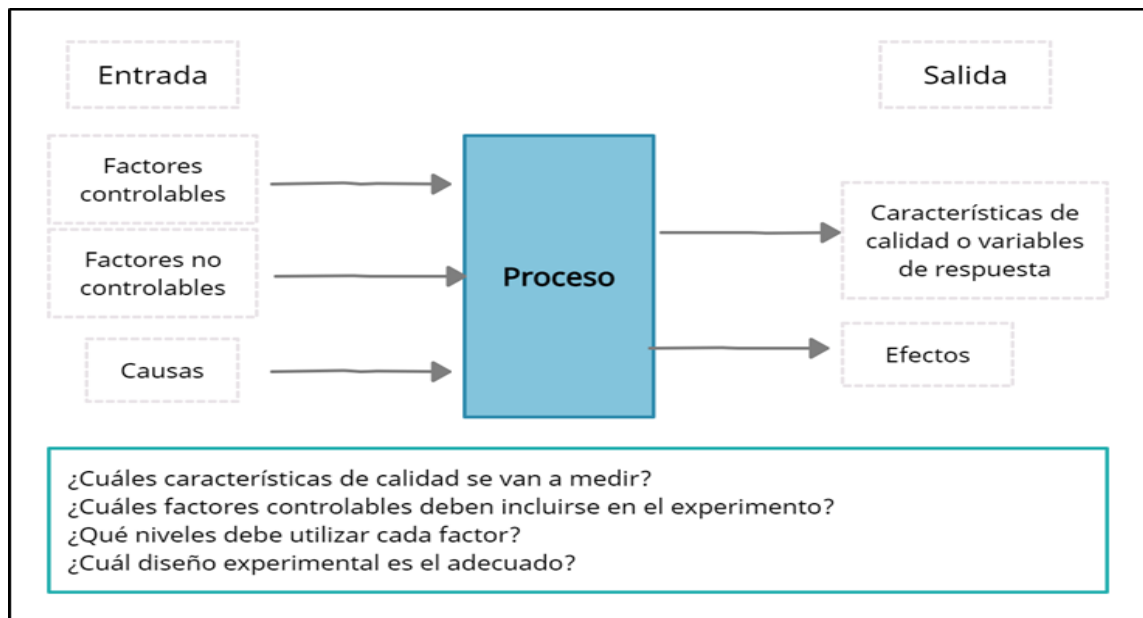


Figura 3-2: Variables de un proceso y preguntas a respuestas al diseñar un experimento.

Fuente: (GUTIÉRREZ PULIDO, HUMBERTO SALAZAR, 2008).

- Factores controlables. Son variables de proceso o características de los materiales experimentales que se pueden fijar en un nivel dado.
- Factores no controlables o de ruido. Son variables o características de materiales y métodos que no se pueden controlar durante el experimento o la operación normal del proceso.
- Factores estudiados. Son las variables que se investigan en el experimento, respecto de cómo influyen o afectan a la(s) variable(s) de respuesta.
- Niveles y tratamientos. Los diferentes valores que se asignan a cada factor estudiado en un diseño experimental se llaman niveles (GUTIÉRREZ PULIDO, HUMBERTO SALAZAR, 2008).

2.2.3.1. Selección de un diseño de experimentos

La existencia de una gran variedad de métodos de diseño de experimentos genera la necesidad de un exhaustivo análisis previo con el fin de seleccionar el método más conveniente, en función del objetivo perseguido. Luego, la elección del diseño de experimentos se define con la cantidad de factores involucrados en el proceso (MENÉNDEZ, 2008).

Tabla 4-2: Selección del método según el objetivo perseguido

Tipos de métodos	Objetivo perseguido
Comparativos	Elección entre alternativas
Efectos principales	Selección del factor principal que afecta la respuesta
Superficie de respuesta	Obtener una determinada respuesta

	Reducir la variabilidad del experimento Maximizar o minimizar una respuesta Crear un proceso robusto Hallar múltiples respuestas
Diseño de mezclas	Optimizar las proporciones de una mezcla
Modelos de regresión	Obtener una función matemática que represente el fenómeno

Fuente: (MENÉNDEZ, Bonavetti & Irassar, 2008).

Realizado por: Yuquilema, B. 2021.

Tabla 5-2: Guía para la selección de experimentos

Número de factores	Métodos comparativos	Efectos principales	Superficie de respuesta	Diseño de mezclas
1	Diseño completamente aleatorio	---	---	---
2-4	Diseño por bloque aleatorio	Método factorial fraccionario o completo	Central compuesto o Box-Behnken	Simplex o vértices extremos
5 ó más	Diseño por bloque aleatorio	Método factorial fraccionario o Plackett Burman	Reducción del número de variables (efectos importantes)	---

Fuente: (MENÉNDEZ, Bonavetti & Irassar, 2008).

Realizado por: Yuquilema, B. 2021.

2.2.4. Diseño experimental de mezclas

Según (GUTIÉRREZ PULIDO, HUMBERTO SALAZAR, 2008): “Una mezcla está compuesta por dos o más componentes, teniendo en cuenta que la proporción de estos componentes no son independientes unos de otros. En este diseño experimental las proporciones de los componentes de la mezcla pueden ser considerados como factores. Además, estas proporciones deben ser no negativas y se expresan como fracciones de la mezcla, sumando todas éstas la unidad”.

- **Objetivos del diseño experimental de mezclas**

Entre los objetivos de un experimento con mezclas se encuentran:

- Determinar cuáles de los ingredientes de la mezcla o interacciones entre ellos tienen mayor influencia sobre una o varias respuestas de interés.
- Modelar las respuestas de interés en función de las proporciones de los componentes de la mezcla (GUTIÉRREZ PULIDO, HUMBERTO SALAZAR, 2008).

Usar dichos modelos para determinar en qué porcentaje debe participar cada uno de los ingredientes para lograr que la fórmula tenga las propiedades deseadas (Gutiérrez Pulido, Humberto Salazar, 2008, p.482).

2.2.4.1. Tipos de diseños de mezclas

Según (STATPOINT, 2006b) los diseños de mezclas del catálogo en STATGRAPHICS son lo que se mencionan a continuación:

1. Simplex-Lattice - Un conjunto de puntos uniformemente espaciados sobre un simplex, donde el simplex es regularmente el lado de una figura con q vértices en $q-1$ dimensiones (ej., un triángulo en un espacio bi-dimensional). Dependiendo de las restricciones, estos diseños pueden no estar disponibles.
2. Simplex-Centroide – Un diseño que consiste de $2q - 1$ corridas en todas las mezclas primarias, binarias, terciarias, etc., hasta el diseño centroide. Dependiendo de las restricciones, estos diseños pueden no estar disponibles (STATPOINT, 2006b).
3. Vértices Extremos – Un diseño que consiste de una corrida por cada vértice de la región factible. Este diseño siempre está disponible.
4. Especificado-Usuario – Las columnas son creadas en la base de datos para cada componente y la variable respuesta, pero el usuario debe definir las corridas a ser desarrolladas.

2.2.4.1. Modelos matemáticos del diseño de mezclas

Los modelos matemáticos para el diseño de mezclas se encuentran detallados en el Anexo A.

2.2.5. Diseño Experimental de un solo factor categórico

La selección de Diseños de un Solo Factor Categórico sobre el menú de Crear un Diseño crea diseños experimentales para situaciones donde el interés primario se centra sobre la comparación de niveles de un simple factor categórico. El procedimiento puede generar corridas en cada nivel del factor. En adicción, uno o más factores de bloque pueden incluirse en el diseño (STATPOINT, 2006a).

Además, según (STATPOINT, 2006a) el procedimiento es capaz de generar:

1. Diseño Completamente al Azar: Es un diseño en el cuál una muestra aleatoria de mediciones es tomada de cada nivel q , sin la tentativa de explicar los efectos de cualquier otro factor.
2. Diseño por Bloques al Azar
3. Diseño por Bloques Balanceados Incompletos (BIB)
4. Diseño Cuadrado Latino
5. Diseño Cuadrado Grego-Latino
6. Diseño Cuadrado Hiper-Grego-Latino

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1. Hipótesis y Variables

3.1.1. *Hipótesis general*

- Al variar los porcentajes de los diferentes componentes de un ladrillo, se podrá identificar la composición que maximice sus propiedades como la resistencia a la compresión, homogeneidad, porosidad.

3.1.2. *Hipótesis específicas*

- Al variar la mezcla, la resistencia a la compresión varía.
- Al variar la presión de moldeo, la resistencia a la compresión varía.

3.2. Identificación de variables

Tabla 1-3: Identificación de las variables

Variables Independientes	Variables Dependientes
<ul style="list-style-type: none">• Porcentaje de los componentes en la mezcla.	<ul style="list-style-type: none">• Resistencia a la compresión
<ul style="list-style-type: none">• Cantidad de Tierra negra	<ul style="list-style-type: none">• Resistencia a la compresión
<ul style="list-style-type: none">• Presión de moldeo	<ul style="list-style-type: none">• Resistencia a la compresión

Realizado por: Yuquilema, B. 2021.

3.3. Operacionalización de variables

Tabla 2-3: Operacionalización de Variables

VARIABLES	CONCEPTO	INDICADOR	RANGO	INSTRUMENTO
Cantidad de materia prima	Tierra negra tipo de arcilla necesaria para elaborar ladrillos	Gramo (g)	31-133	Balanza
	Tierra blanca tipo de arcilla necesaria para mezclar con la tierra negra	Gramo (g)	31-133	Balanza

	Agua necesaria para poder realizar la mezcla	mililitros (ml)	7-22	Pipeta
Porcentaje de sílice, alúmina y óxidos metálicos.	Sílice permite al ladrillo mantener su forma y le da durabilidad	Porcentaje (%)	50-60	Espectrómetro XRF
	Alúmina eleva notablemente la resistencia mecánica y química del ladrillo,	Porcentaje (%)	20-30	Espectrómetro XRF
	Óxidos metálicos sirven como fundentes y además le dan el color característico al ladrillo.	Porcentaje (%) o Partes por millón (ppm)		Espectrómetro XRF
Resistencia a la compresión	Presión que resisten los ladrillos antes de deformarse.	MegaPascal (MPa)	6-20	Equipo de compresión
Presión de moldeo	Presión a la que se realiza el moldeo.	MegaPascal (MPa)	3,4-10,3	Equipo de compresión

Realizado por: Yuquilema, B. 2021.

3.4. Matriz de consistencia

Tabla 3-3: Matriz de Consistencia

<p>TEMA: “DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN ÓPTIMA DE LA MATERIA PRIMA UTILIZADA EN LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS PRENSADOS EN SECO (DRY-PRESS) COMO ALTERNATIVA AL</p>	<p>ASPECTOS GENERALES</p>	<p>Problema general</p>	<ul style="list-style-type: none"> La mala composición de la mezcla del ladrillo genera un gasto innecesario de materia prima, al igual que el molde convencional causa que los ladrillos presente defectos en su calidad.
		<p>Objetivo general</p>	<ul style="list-style-type: none"> Determinar la composición óptima para la elaboración de ladrillos prensados en seco (dry-press) como alternativa al proceso de moldeo convencional (soft-mud).

<p>PROCESO DE MOLDEO CONVENCIONAL (SOFT-MUD) EN EL CANTÓN CHAMBO.”</p>		<p>Hipótesis general</p>	<ul style="list-style-type: none"> Al variar los porcentajes de los diferentes componentes de un ladrillo, se podrá identificar la composición que maximice sus propiedades como la resistencia a la compresión, homogeneidad, porosidad.
	<p>ASPECTOS ESPECÍFICOS</p>	<p>Problemas específicos</p>	<ul style="list-style-type: none"> Los artesanos que elaboran ladrillos desconocen las cantidades óptimas para la elaboración de ladrillos de calidad. El número de muestras no podría ser el suficiente para realizar los ensayos de compresión necesarios. Desconocimiento de que combinación será la más óptima para tener una mayor resistencia. El modelo estadístico se ajustará correctamente a las necesidades del problema a resolver
		<p>Objetivos específicos</p>	<ul style="list-style-type: none"> Realizar la caracterización de las arcillas que intervienen en la elaboración de un ladrillo mediante análisis instrumental. Elaborar un diseño de mezclas considerando la presión del moldeo, el número de componentes y sus respectivas composiciones en las diferentes mezclas con el fin de llevar a cabo ensayos de compresión. Realizar el análisis estadístico para determinar la combinación óptima de factores (presión,

			composición) que maximicen la resistencia a la compresión.
		Hipótesis específicas	<ul style="list-style-type: none"> • Al variar la mezcla, la resistencia a la compresión varía. • Al variar la presión de moldeo, la resistencia a la compresión varía.
		Variables de las Hipótesis específicas	Primera hipótesis: <ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de Tierra negra • Porcentajes de los componentes en la mezcla • Resistencia a la compresión
		Técnicas de recolección de datos	<ul style="list-style-type: none"> • Caracterización de arcillas por fluorescencia de rayos x. • Revisión bibliográfica. • Elaboración de un diseño de experimentos. • Moldeo por prensado. • Ensayos de compresión. • Modelo estadístico en Statgraphics.

Realizado por: Yuquilema, B. 2021.

3.5. Tipo y diseño de investigación

3.5.1. Tipo de investigación

La investigación que se llevará a cabo en el presente trabajo será de tipo experimental, ya que, se realizará la caracterización de las arcillas utilizadas en la elaboración de ladrillos, además, de una serie de experimentos con diferentes mezclas, mismas en las que se variará su composición y presión de moldeo, con el propósito de determinar qué relación entre las variables antes mencionadas es la ideal para obtener tener una mejor resistencia a la compresión en los ladrillos.

3.5.2. *Diseño de la investigación*

En esta investigación se elaborará un diseño de mezclas en donde se variará las cantidades de los componentes y la presión del moldeo, al igual que, un diseño de experimentos de un solo factor categórico variando la presión de moldeo, para obtener diferentes resultados y poder afirmar o refutar las hipótesis que han sido planteadas.

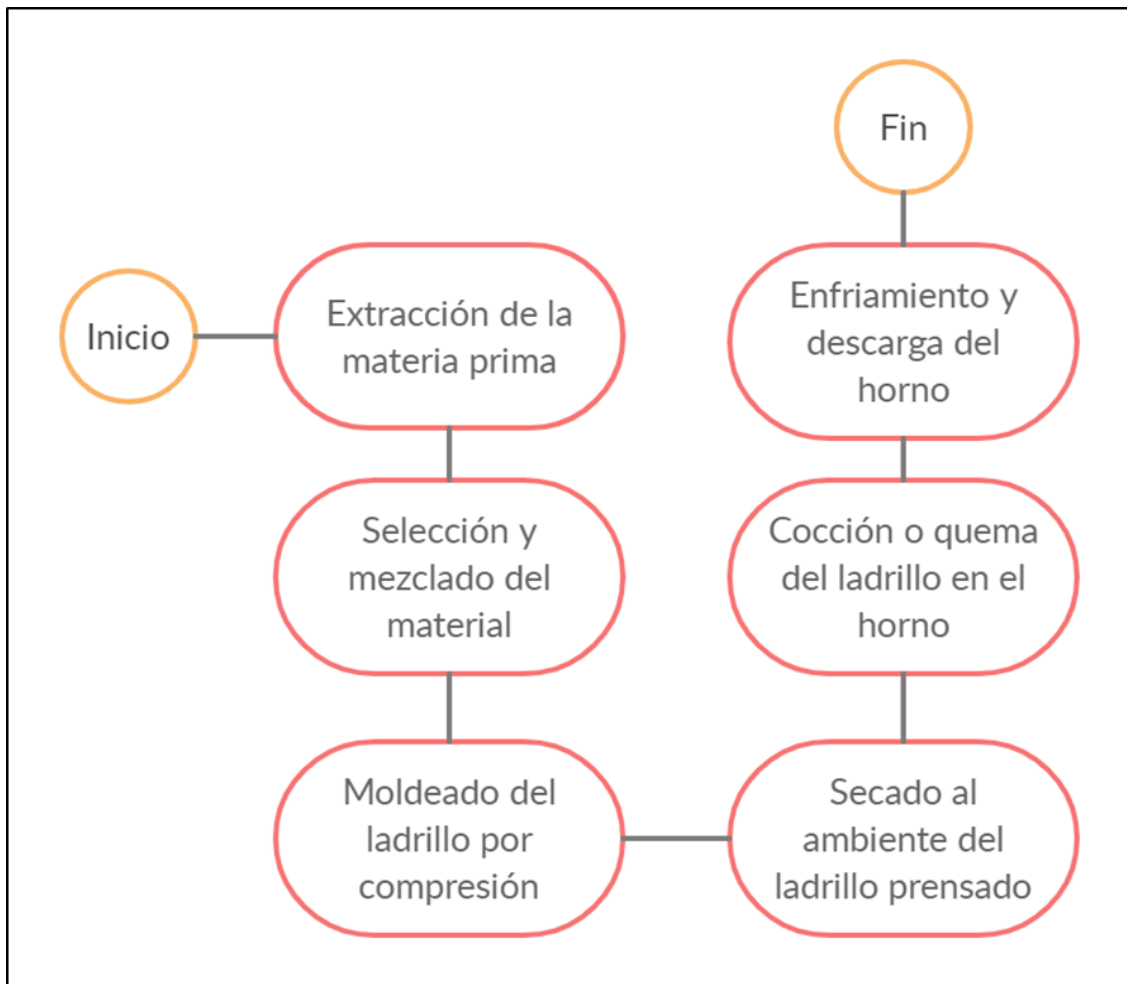


Figura 1-3: Diagrama de Flujo del Procedimiento para elaborar ladrillos.

Realizado por: Yuquilema, B. 2021.

3.5.3. *Unidad de análisis*

En la presente investigación se tiene 8 unidades de análisis que son las diferentes mezclas en las que se variará los porcentajes de sus componentes, tanto de arcilla es decir la tierra negra y la tierra blanca como de agua, mismos que son la base para elaborar ladrillos.

3.5.4. Población de estudio

La población de estudio para la presente investigación corresponde a los productores de ladrillos mismos que habitan en el cantón Chambo provincia de Chimborazo, brindándoles la opción de que aumenten sus ingresos y disminuyan sus egresos con el desperdicio de la materia prima y la implementación de un método alternativo de moldeo.

Además, en esta investigación se tendrán 27 muestras que serán estudiadas, mismas que se obtendrán aplicando un diseño de experimentos específicamente un diseño de mezclas, con la finalidad de obtener resultados más exactos y realistas de la influencia que tiene la composición de cada mezcla y las presiones de moldeo sobre la resistencia a la compresión de los ladrillos.

3.5.5. Tamaño de muestra

Para el tamaño de muestra en esta investigación, se adquirirá 30 kilogramos tanto de tierra negra como de tierra blanca, estos tipos de arcilla o también llamadas tierras se obtendrán de una cantera ubicada en el poblado de Guayllabamba, con la finalidad de tener la cantidad suficiente de materia prima para realizar el número de diseños de muestras necesarios para cumplir con los objetivos de esta investigación.

3.5.6. Selección de la muestra

Para la selección de la muestra se lo realizará mediante la observación, y utilizando las operaciones unitarias de tamizado y molienda, ya que lo más importante es que las arcillas o tierras estén pulverizadas y sin presencia de cuerpos con gran tamaño como el de rocas.

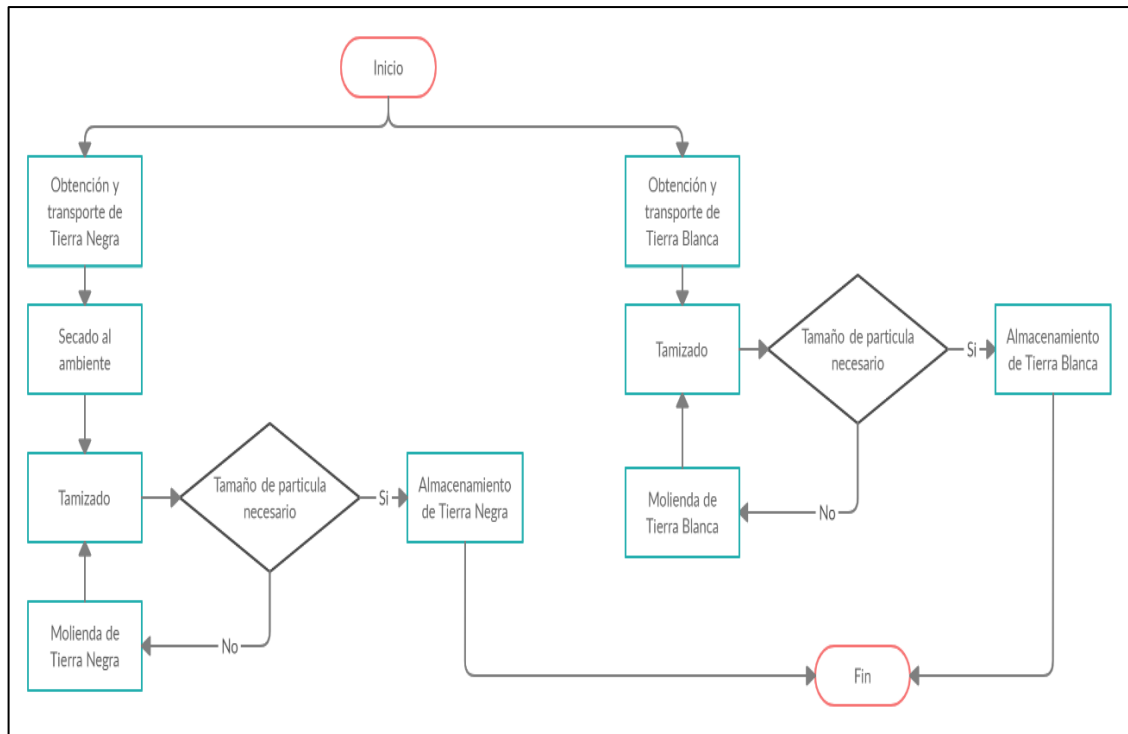


Figura 2-3: Diagrama de selección de la muestra.

Realizado por: Yuquilema, B. 2021.

3.5.7. Técnica de recolección de datos

La presente investigación tendrá como fundamento documentos o publicaciones en revistas científicas, así mismo, en trabajos de investigación que se hayan realizado antes y que tenga relación directa con la investigación.

Para recolectar los datos de la investigación, se presenta la siguiente tabla en la que se detallan los instrumentos y las técnicas que ayudarán a este fin.

Tabla 4-3: Técnica de Recolección de Datos

Técnicas de recolección de datos	Instrumento
Recolección de información	<ul style="list-style-type: none"> • Libros • Internet • Revistas y artículos científicos • Trabajos de investigación previos al actual • Consulta a los productores de ladrillos
Análisis y tratamiento de resultados	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis químico de las arcillas por fluorescencia de rayos x. • Ensayos de resistencia a la compresión. • Programa de análisis estadístico Statgraphics.

Realizado por: Yuquilema, B. 2021.

3.5.7.1. Análisis químico de las arcillas por fluorescencia de rayos x

FLUORESCENCIA DE RAYOS X
Fundamento
XRF (<u>fluorescencia de rayos X</u>) es una técnica analítica no destructiva que se utiliza para determinar la composición elemental de los materiales. <u>Los analizadores XRF</u> determinan la química de una muestra midiendo los rayos X fluorescentes (o secundarios) emitidos por una muestra cuando es excitada por una fuente de rayos X primaria. Cada uno de los elementos presentes en una muestra produce un conjunto de rayos X fluorescentes característicos (“una huella dactilar”) que es único para ese elemento específico, por lo que la espectroscopia XRF es una tecnología excelente para el análisis cualitativo y cuantitativo de la composición del material.
El proceso de fluorescencia de rayos X
<ul style="list-style-type: none">• Una muestra sólida o líquida se irradia con rayos X de alta energía desde un tubo de rayos X controlado.• Cuando un átomo de la muestra recibe un rayo X de energía suficiente (mayor que la energía de unión de la capa K o L del átomo), se desprende un electrón de una de las capas orbitales internas del átomo.• El átomo recupera la estabilidad, llenando la vacante que queda en la capa orbital interna con un electrón de una de las capas orbitales de mayor energía del átomo.• El electrón desciende al estado de menor energía al liberar una radiografía fluorescente. La energía de este rayo X es igual a la diferencia específica de energía entre dos estados cuánticos del electrón. La medición de esta energía es la base del análisis XRF

Fuente: (THERMOFISHER, 2020).

Realizado por: Yuquilema, B. 2021.

3.5.7.2. Diseño de experimentos

DISEÑO DE EXPERIMENTOS
Procedimiento
<ul style="list-style-type: none">• Planeación y realización<ol style="list-style-type: none">1. Entender y delimitar el problema u objeto de estudio.2. Elegir la(s) variable(s) de respuesta que será medida en cada punto del diseño y verificar que se mide de manera confiable.3. Determinar cuáles factores deben estudiarse o investigarse, de acuerdo a la supuesta influencia que tienen sobre la respuesta.4. Seleccionar los niveles de cada factor, así como el diseño experimental adecuado a los factores que se tienen y al objetivo del experimento.5. Planear y organizar el trabajo experimental.6. Realizar el experimento.• Análisis Realizar el análisis de varianza ANOVA.• Interpretación Aquí, con el respaldo del análisis estadístico formal, se debe analizar con detalle lo que ha pasado en el experimento, desde contrastar las conjeturas iniciales con los resultados del experimento, hasta observar los nuevos aprendizajes que sobre el proceso se lograron, verificar supuestos y elegir el tratamiento ganador, siempre con apoyo de las pruebas estadísticas.• Control y conclusiones finales Organizar una presentación para difundir los resultados.

Fuente: (GUTIÉRREZ PULIDO, HUMBERTO SALAZAR, 2008).

Realizado por: Yuquilema, B. 2021.

3.5.7.3. Ensayo de resistencia a la compresión

De acuerdo con (INEN, 1977a) este ensayo se realiza de la siguiente manera:

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
Método	<ul style="list-style-type: none">• Instrumental <p>Puede usarse cualquier máquina de compresión provista de plato con rótula de segmento esférico, siempre que las superficies de contacto de los apoyos sean iguales o mayores que las muestras de prueba.</p> <ul style="list-style-type: none">• Preparación de las muestras <p>Las muestras a utilizarse consisten en mitades de ladrillos con caras planas y paralelas, obtenidas de cinco ladrillos secos, enteros y sin defectos apreciables, cortados mediante herramientas adecuadas, para evitar que se deterioren las aristas.</p> <p>En caso de que las muestras presentes irregularidades de forma o sus caras tengan estrías o ranuras, se someterán al siguiente tratamiento de preparación:</p> <ol style="list-style-type: none">a) Se recubren las caras de la muestra, que van a estar en contacto con la máquina, con una capa compuesta por una mezcla que contenga azufre en proporción de 40 a 60% o (en masa) con arcilla, ceniza volcánica u otro material inerte. La aplicación de esta capa se hará de la manera indicada en el Anexo A.b) Una vez aplicadas las capas de la mezcla de azufre, se dejará enfriar durante un tiempo mínimo dos horas.c) Cuando la superficie de la muestra presente oquedades, se llenarán con pasta de cemento Portland, que se dejará fraguar durante 24 horas, después de las cuales se procederá a la aplicación de la capa. <ul style="list-style-type: none">• Procedimiento <p>Las muestras se ensayan centrándolas con respecto a la rótula y de manera que la carga se aplique en la dirección de su menos dimensión.</p> <p>Aproximadamente hasta la mitad de la carga máxima probable, se aplica ésta a cualquier velocidad. La carga restante se aplica gradualmente, en un tiempo no inferior a un minuto ni superior a dos.</p>
Cálculos	<ul style="list-style-type: none">• La resistencia a la compresión se calcula por la ecuación siguiente: $C = P/A$ Siendo: C= La resistencia a la compresión, en Megapascales. P= La carga de rotura, en Newtones. A= Área de la seccionen milímetros cuadrados.• La superficie A se calcula por la ecuación siguiente: $A = a \times l$ Siendo: a= ancho de la muestra, en milímetros. l= largo de la muestra, en milímetros.

Fuente: (LABORATORIOS DECTC ESPE, 2015).
Realizado por: Yuquilema, B. 2021.

ANEXO A
A.1 Colocación de las capas de mezclas de azufre
A.1.1 Colocar cuatro barras de acero de sección transversal cuadrada de 25 mm de lado, sobre una lámina metálica previamente impregnada en aceite, para formar un molde rectangular, aproximadamente 12 mm mayor que las dimensiones de las aristas de la muestra.
A.1.2 Calentar la mezcla de azufre en un recipiente controlado termostáticamente, hasta una temperatura suficiente para mantener la fluidez por un periodo de tiempo razonable, después del contacto con la superficie que se está cubriendo. Debe evitarse el subcalentamiento y agitarse el líquido en el recipiente inmediatamente antes de usarlo.

A.1.3 Llenar el molde con la mezcla derretida. Colocar rápidamente la cara de la muestra que se esté alisando en el líquido y acomodarla de tal manera que sus ejes formen ángulos rectos con la superficie cubierta. Repetir la operación para la cara opuesta.

A.1.4 El espesor de las dos capas deberá ser aproximadamente el mismo y deberá permitirse que la muestra permanezca sin perturbaciones hasta la solidificación completa de las mismas.

Fuente: (LABORATORIOS DECTC ESPE, 2015)

Realizado por: Yuquilema, B. 2021.

3.5.7.4. Diseño de mezclas y análisis estadístico

DISEÑO DE MEZCLAS Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO EN STATGRAPHICS

Creación del Diseño

1. Seleccionar del Tipo de Diseño
2. Insertar el número de variables de respuesta y el número de componentes
3. Insertar la información de cada uno de los componentes a ser variados
4. Colocar la información acerca de cada una de las variables respuestas
5. Seleccionar el tipo de diseño de mezclas
6. Seleccionar las opciones del diseño
7. Observar los atributos del diseño
8. Guardar el archivo de diseño

Análisis de Resultados

Para analizar los resultados se lo realizará con la ayuda del software Statgraphics.

Fuente: (STATPOINT, 2006b)

Realizado por: Yuquilema, B. 2021.

Tabla 5-3 Porcentajes de los componentes en la mezcla

Número de mezcla	Porcentaje de Tierra Negra	Porcentaje de Agua	Porcentaje de Tierra Blanca
1	0	0,15	0,85
2	0	0,05	0,95
3	0,85	0,15	0
4	0,95	0,05	0
5	0,42	0,15	0,42
6	0,47	0,05	0,47
7	0,22	0,11	0,67
8	0,67	0,11	0,22
9	0,45	0,1	0,45

Realizado por: Yuquilema, B.2021.

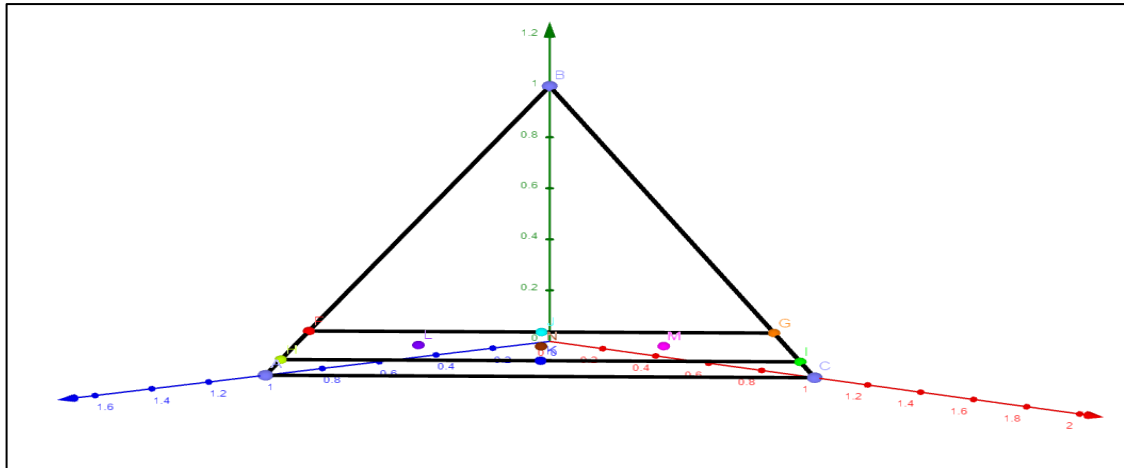


Figura 3-3: Gráfico para obtener las composiciones de las mezclas.
Realizado por: Yuquilema, B. 2021.

En la figura 3-3, se muestra el número mezclas obtenidos en el programa Geogebra para poder realizar el diseño de mezclas.

3.5.7.5. Diseño de un solo factor categórico y análisis estadístico en Statgraphics

DISEÑO PARA UN SOLO FACTOR CATEGÓRICO Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO EN STATGRAPHICS	
Creación del Diseño	
1.	Seleccionar del Tipo de Diseño
2.	Insertar el número de variables de respuesta
3.	Insertar la información del factor experimental
4.	Colocar la información acerca de cada una de las variables respuestas
5.	Seleccionar las opciones del diseño
6.	Observar los atributos del diseño
7.	Guardar el archivo de diseño
Análisis de Resultados	
Para analizar los resultados se lo realizará con la ayuda del software Statgraphics.	
Fuente: (STATPOINT, 2006a)	
Realizado por: Yuquilema, B. 2021.	

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis y Discusión de Resultados

4.1.1. Caracterización Química de la Tierra Negra y Tierra Blanca

En la siguiente tabla se presenta la composición química de la Tierra Negra y Tierra Blanca extraídas de la localidad de Guayllabamba perteneciente al cantón Chambo; estas composiciones se expresan en porcentajes y ppm de óxidos metálicos, obtenidos a través de fluorescencia de rayos x (XRF).

Tabla 1-4: Composición química de la Tierra Negra y Tierra Blanca

Óxidos metálicos	Tierra Negra	Tierra Blanca
SiO ₂	56,42 %	56,17 %
Al ₂ O ₃	14,99 %	15,35 %
Fe ₂ O ₃	6,35 %	6,33 %
CaO	4,84 %	4,76 %
Na ₂ O	1,85 %	1,80 %
K ₂ O	1,24 %	1,28 %
MgO	1,04 %	1,42 %
TiO ₂	0,88 %	0,84 %
P ₂ O ₅	0,42 %	0,21 %
BaO	0,15 %	0,11 %
SO ₃	0,11 %	0,09 %
MnO	0,10 %	0,10 %
SrO	0,09 %	0,08 %
Cl	0,03 %	0,02 %
ZrO ₂	0,03 %	0,03 %
CuO	0,01 %	0,01 %
Cr ₂ O ₃	0,01 %	94 ppm
ZnO	0,01 %	91 ppm

Realizado por: Yuquilema, B. 2021.

Los resultados presentados en la Tabla 1-4 indican que el óxido de silicio (SiO₂) es el componente mayoritario, seguido por el óxido de aluminio (Al₂O₃), el óxido férrico (Fe₂O₃), el óxido de calcio (CaO), el óxido de sodio (Na₂O), el óxido de potasio (K₂O), el óxido de magnesio (MgO) y el óxido de titanio (TiO₂). Siendo estos los principales componentes a tener en cuenta para elaborar ladrillos, ya que, en la cocción estos le aportan al ladrillo resistencia mecánica- estructural y su color característico.

Además, estos porcentajes de óxidos metálicos se encuentran dentro del rango admisible para que la materia prima pueda ser utilizada en la elaboración de ladrillos, ya que, de acuerdo con lo expuesto por (SOLÍS GARCÍA, 2014), los rangos para óxidos metálicos son: óxido de silicio (SiO_2) entre 45 y 60%, óxido de aluminio (Al_2O_3) entre 10 y 20%, óxido férrico (Fe_2O_3) $\leq 10\%$, juntos el óxido de calcio (CaO) y óxido de magnesio (MgO) raramente superan el 20%, óxido de sodio (Na_2O) raramente supera el 0,5%, óxido de potasio (K_2O) entre 1,5 y 4%, y óxido de titanio (TiO_2) entre 0,1 y 4%.

A pesar, de que los resultados del análisis químico tanto de la tierra negra y tierra blanca son muy similares, se tienen mejores resultados de compactación de la mezcla solo con la tierra negra, debido a la presencia de materia orgánica en su composición. De acuerdo con (PORTALFRUTICOLA, 2019), la presencia de materia orgánica le permite a este tipo de tierra retener altas cantidades de agua y mejor la textura del suelo lo que ayuda a compactar de mejor manera la tierra cuando se seca.

4.1.2. Ensayos de compresión

En la siguiente tabla se dan a conocer los resultados de los ensayos de compresión realizados a las 27 muestras de estudio en la presente investigación, siendo estas, ladrillos de Tipo C.

Tabla 2-4: Resultados de los ensayos de compresión

Número de mezcla	Número de Muestra	Presión de moldeo (psi)	Resistencia a la compresión (MPa)	Estado
1	1	500	1,41	No cumple
	2	1000	1,00	No cumple
	3	1500	0,94	No cumple
2	4	500	0,78	No cumple
	5	1000	1,00	No cumple
	6	1500	1,11	No cumple
3	7	500	0,00	No cumple
	8	1000	0,00	No Cumple
	9	1500	0,00	No Cumple
4	10	500	4,65	No cumple
	11	1000	9,25	Cumple
	12	1500	9,14	Cumple
5	13	500	3,54	No cumple
	14	1000	2,93	No cumple
	15	1500	5,47	No cumple
6	16	500	1,00	No cumple
	17	1000	2,71	No cumple
	18	1500	1,99	No cumple
7	19	500	2,38	No cumple
	20	1000	2,06	No cumple

	21	1500	1,54	No cumple
8	22	500	6,55	Cumple
	23	1000	5,60	No cumple
	24	1500	7,95	Cumple
	25	500	3,93	No cumple
9	26	1000	4,44	No cumple
	27	1500	3,54	No cumple

Realizado por: Yuquilema, B. 2021.

En base a los resultados presentados en esta tabla, se puede apreciar que al variar la composición y la presión de moldeo varia la resistencia a la compresión de los ladrillos. De acuerdo con la (INEN 297, 1977), la resistencia mínima a la compresión para ladrillos de tipo c es de 6 MPa, por lo que, únicamente 4 muestras cumplen con lo establecido en dicha norma, siendo estas: la muestra número 11 con un valor de resistencia de 9,25 MPa, seguida por la muestra número 12 con un valor de 9,14 MPa, seguido por la muestra 22 con un valor del 6,55 MPa y finalmente la muestra número 24 con un valor de 7,95 MPa.

Además, se puede apreciar que para las muestras 7, 8 y 9 no se obtuvieron resultados, esto debido a que, las tres muestras no pudieron ser compactadas a ninguna de las tres presiones establecidas para esta investigación, ya que, al ser únicamente una mezcla de tierra negra y agua, y al poseer un alto contenido de agua, la mezcla presentó una alta plasticidad por lo que al intentar ser compactada se esparció del molde.

4.1.3. Análisis estadístico para el diseño de mezclas – resistencia

Los datos utilizados para llevar a cabo este diseño se encuentran detallados en la Tabla 2-4.

A continuación, se presentan las tablas de resultados para el diseño de mezclas.

Tabla 3-4: Efectos Estimados del Modelo Completo para Resistencia (MPa)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón - F	Valor - P
Media	267,02	1	267,03		
Bloques	3,15	1	1,58	0,20	0,8191
Lineal	58,92	2	29,46	5,02	0,0160
Cuadrático	48,11	3	16,04	3,76	0,0283
Cúbico	42,03	1	42,03	19,41	0,0003
Especial					
Error	38,98	18	2,17		
Total	458,21	27			

Fuente: STATGRAPHICS Centurion XVII.I.

Realizado por: Yuquilema, B. 2021.

La Tabla 3-4 muestra los resultados de ajustar diferentes modelos a los datos de Resistencia. El modelo medio está formado solamente por la constante. El modelo de bloques agrega términos para diferenciar entre los 3 bloques. El modelo lineal consiste en términos de primer orden para cada uno de los componentes. El modelo cuadrático agrega productos cruzados entre pares de componentes. El modelo cúbico especial agrega términos que involucran productos de tres componentes.

De todos los modelos, el modelo cúbico especial es el adecuado para este diseño, ya que, presenta un Valor-P = 0.0003, mismo que, es menor a 0,05; lo cual prueba que este modelo es estadísticamente significativo, en comparación con los otros.

Tabla 4-4: Resultados del Modelo Completo

Modelo	ES	R-Cuadrada	R-Cuadrada Ajd.
Lineal	2,42	32,47	20,19
Cuadrático	2,06	57,63	42,02
Cúbico Especial	1,47	79,61	70,55

Fuente: STATGRAPHICS Centurion XVI.I.

Realizado por: Yuquilema, B. 2021

Con los resultados del modelo completo (Tabla 4-4), se selecciona el modelo cúbico especial por presentar un R-Cuadrada Ajd. = 70,55, siendo este el valor más alto entre todos los modelos.

Tabla 5-4: ANOVA para Resistencia a la compresión

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo Cúbico Especial	152,17	8	19,02	8,77	0,0001
Error total	39,02	18	2,17		
Total (corr.)	191,19	26			

Fuente: STATGRAPHICS Centurion XVI.I.

Realizado por: Yuquilema, B. 2021.

Tabla 6-4: Ajuste de modelo para resistencia

Parámetro	Estimado	Error Estándar	Estadístico T	Valor-P
A: Tierra Negra	8,01	0,84		
B: Agua	-308,39	197,32		
C: Tierra Blanca	0,67	0,84		
AB	274,52	220,83	1,24	0,2298
AC	-10,06	4,19	-2,40	0,0275
BC	344,94	220,83	1,56	0,1357
ABC	278,30	63,27	4,40	0,0003

Fuente: STATGRAPHICS Centurion XVI.I.

Realizado por: Yuquilema, B. 2021.

R-cuadrada = 79,59%

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 70,52%

Error estándar del est. = 1,4723

Error absoluto medio = 0,885086

Estadístico Durbin-Watson = 2,67286 (P=0,9600)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0,37425

La Tabla 5-4 muestra un análisis de varianza para el modelo cúbico especial. Dado que el valor-P para este modelo es menor que 0,05, existe una relación estadísticamente significativa entre Resistencia y los componentes, con un nivel de confianza del 95,0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 79,59% de la variabilidad en Resistencia. El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 70,52%.

El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 1,4723. El error medio absoluto (MAE) de 0,885086 es el valor promedio de los residuos.

4.1.3.1. Modelo cúbico especial ajustado para la resistencia a la compresión

A continuación, se muestra la ecuación del modelo cúbico especial ajustado.

$$\text{Resistencia} = 8,01 * \text{Tierra negra} - 308,39 * \text{Agua} + 0,67 * \text{Tierra blanca} + 274,52 * \text{Tierra negra} * \text{Agua} - 10,06 * \text{Tierra negra} * \text{Tierra blanca} + 344,94 * \text{Agua} * \text{Tierra blanca} + 278,30 * \text{Tierra negra} * \text{Agua} * \text{Tierra blanca}$$

en donde los valores de los componentes se especifican en pseudocomponentes.

Tabla 7-4: Optimizar el diseño

Factor	Bajo	Alto	Óptimo	Valor óptimo de resistencia
Tierra negra	0,00	0,95	0,95	8,01
Agua	0,05	0,15	0,05	
Tierra blanca	0,00	0,95	0,00	

Fuente: STATGRAPHICS Centurion XVI.I

Realizado por: Yuquilema, B. 2021.

La Tabla 7-4 muestra la combinación ideal de componentes, con la que se obtendrá el valor de resistencia a la compresión más alto, siendo este un valor de 8,01 MPa.

Además, de las tablas de resultados expuestas anteriormente, se presentan a continuación, los gráficos obtenidos del análisis estadístico del diseño de mezclas utilizado en el presente trabajo.

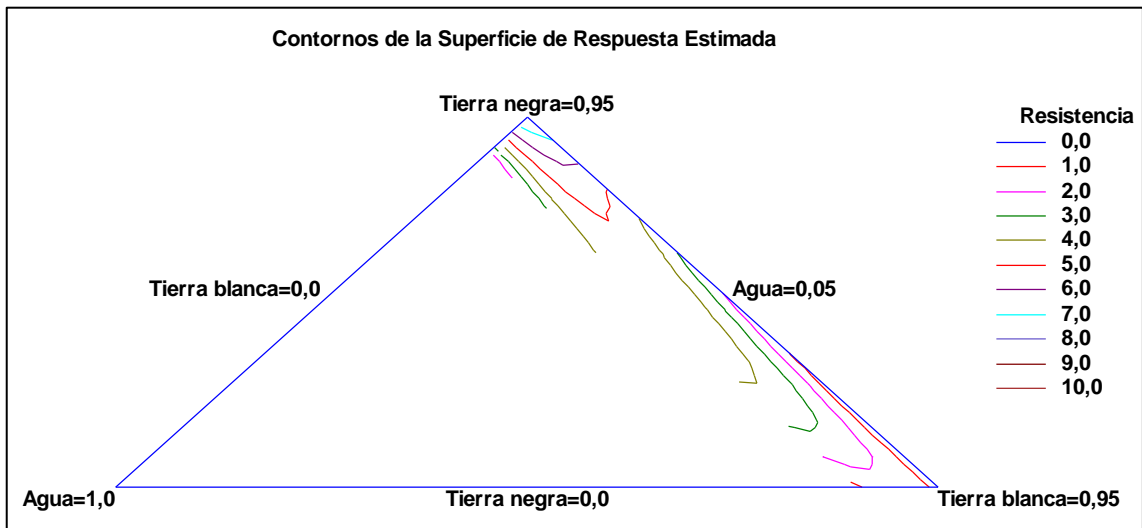


Gráfico 1-4: Contornos de la superficie de respuesta estimada.

Realizado por: Yuquilema, B. 2021.

El Gráfico 1-4 muestra que, cuando la mezcla está compuesta únicamente por tierra negra y agua se alcanzarán los valores más altos de resistencia a la compresión.

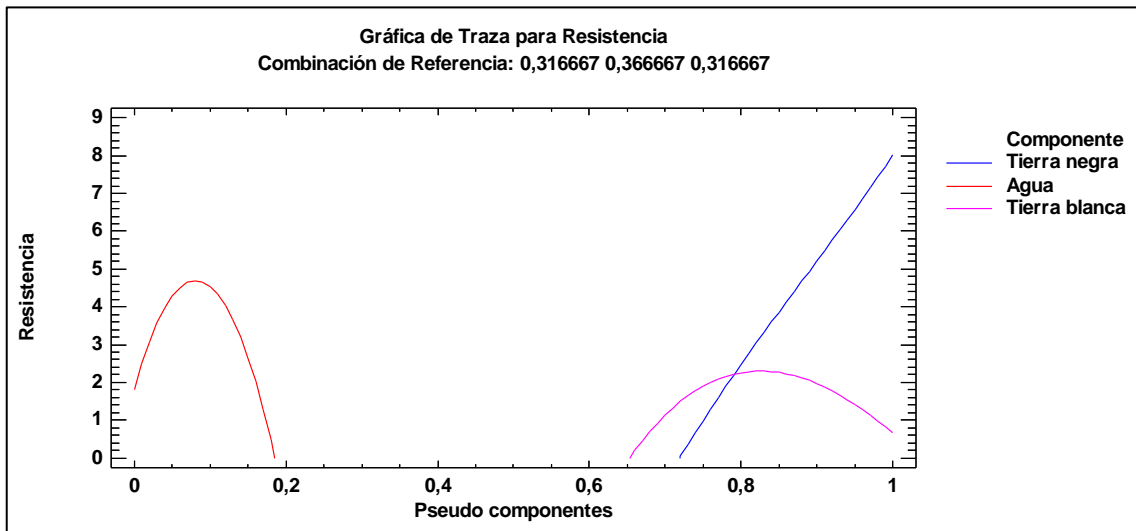


Gráfico 2-4: Gráfica de traza para la resistencia a la compresión.

Realizado por: Yuquilema, B. 2021.

El Gráfico 2-4 indica que, al aumentar la cantidad de tierra negra en la mezcla y disminuir los otros dos componentes (tierra blanca y agua), se alcanza los valores más altos de resistencia.

Con los resultados obtenidos del análisis estadístico se puede interpretar lo siguiente:

- Los valores de resistencia a la compresión serán más altos en aquellas mezclas que la proporción de tierra negra sea mayor que los demás componentes.

- El análisis estadístico plantea un escenario donde la composición de 0,95% tierra negra, 0,05% agua y 0,00% tierra blanca tendrá una resistencia a la compresión de 8,01 MPa.
- El modelo estadístico tiene una aceptación del 79,59%, que nos indica una correlación muy fuerte entre las variables. Además, tiene un valor P de 0,0001, por lo que existe una relación estadísticamente significativa entre resistencia y los componentes.

De acuerdo con (GAVILANES & SANTELLÁN, 2016) la mezcla óptima para elaborar ladrillos contiene 86,72% tierra negra, 1,32% aserrín, 1,80% polvo de ladrillos y 10,17% agua; es decir que la tierra negra es el componente principal, lo que comprueba que el resultado obtenido en este análisis es correcto.

4.1.4. Análisis estadístico del diseño de experimentos de un solo factor categórico

En la siguiente tabla se muestran los datos utilizados para realizar el diseño de un solo factor categórico.

Tabla 8-4: Datos para el diseño un solo factor Categórico

Presiones	Resistencia a la compresión
1	3,18
1	3,39
1	4,02
2	7,54
2	7,82
2	7,96
3	5,92
3	6,65
3	6,94

Realizado por: Yuquilema, B. 2021.

En donde los valores de presiones son: 1 = 500 psi; 2 = 1000 psi; 3 = 1500 psi

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para este diseño.

Tabla 9-4: Resumen Estadístico para Resistencia a la compresión

Presión	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo	Rango
1	3	3,53	0,44	12,38%	3,18	4,02	0,84
2	3	7,77	0,21	2,75%	7,54	7,96	0,42
3	3	6,50	0,53	8,08%	5,92	6,94	1,02
Total	9	5,94	1,92	32,34%	3,18	7,96	4,78

Fuente: STATGRAPHICS Centurion XVI.I.

Realizado por: Yuquilema, B. 2021.

Esta tabla muestra diferentes estadísticos de la resistencia a la compresión para cada uno de los 3 niveles de presión.

Tabla 10-4: ANOVA para Resistencia a la compresión por Presión

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	28,46	2	14,23	83,20	0,0000
Intra grupos	1,03	6	0,17		
Total (Corr.)	29,49	8			

Fuente: STATGRAPHICS Centurion XVII.I.

Realizado por: Yuquilema, B. 2021.

La tabla ANOVA descompone la varianza de la resistencia a la compresión en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 83,20; es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05; existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de la resistencia a la compresión entre un nivel de presión y otro, con un nivel del 95,0% de confianza.

Tabla 11-4: Tabla de Medias para Resistencia a la compresión por Presión con intervalos de confianza del 95,0%

			Error Est.		
Presión	Casos	Media	(s agrupada)	Límite Inferior	Límite Superior
1	3	3,53	0,24	3,11	3,94
2	3	7,77	0,24	7,36	8,19
3	3	6,50	0,24	6,09	6,92
Total	9	5,94			

Fuente: STATGRAPHICS Centurion XVII.I.

Realizado por: Yuquilema, B. 2021.

La Tabla 11-4 muestra la media de Resistencia a la compresión para cada nivel de presión. También muestra el error estándar de cada media, el cual es una medida de la variabilidad de su muestreo. El error estándar es el resultado de dividir la desviación estándar mancomunada entre el número de observaciones en cada nivel.

La tabla también muestra un intervalo alrededor de cada media. Los intervalos mostrados están basados en el procedimiento de la diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Están contruidos de tal manera que, si dos medias son iguales, sus intervalos se traslaparán un 95,0% de las veces.

Tabla 12-4: Pruebas de Múltiple Rangos para Resistencia a la compresión por Presión

Presión	Casos	Media	Grupos Homogéneos
1	3	3,53	X
2	3	7,77	X
3	3	6,50	X
Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1-2	*	-4,24	0,83
1-3	*	-4,97	0,83
2-3	*	1,27	0,83

Fuente: STATGRAPHICS Centurion XVI.I.

Realizado por: Yuquilema, B. 2021.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 3 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza.

El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

Tabla 13-4: Verificación de Varianza

	Prueba	Valor-P	Comparación	Sigma 1	Sigma 2	F-Ratio	P-Valor
Levene's	0,37	0,71	1/2	0,44	0,21	4,18	0,3862
			1/3	0,44	0,53	0,69	0,8178
			2/3	0,21	0,53	0,17	0,2841

Fuente: STATGRAPHICS Centurion XVI.I.

Realizado por: Yuquilema, B. 2021.

El estadístico mostrado en esta tabla evalúa la hipótesis de que la desviación estándar de la resistencia a la compresión dentro de cada uno de los 3 niveles de presión es la misma. De particular interés es el valor-P. Puesto que el valor-P es mayor que 0,05; no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95,0% de confianza.

La Tabla 13-4 también muestra una comparación de las desviaciones típicas para cada par de muestras. P-valores por debajo de 0,05; de los cuales hay 0, indican una diferencia estadísticamente significativa entre las dos sigmas al 5% de nivel de significancia.

Tabla 14-4: Prueba de Kruskal-Wallis para Resistencia a la compresión por Presión

Presión	Tamaño Muestra	Rango Promedio
1	3	2,00
2	3	8,00
3	3	5,00

Fuente: STATGRAPHICS Centurion XVII.I.

Realizado por: Yuquilema, B. 2021.

Estadístico = 7,2 Valor-P = 0,0273

La prueba de Kruskal-Wallis evalúa la hipótesis de que las medianas de la resistencia a la compresión dentro de cada uno de los 3 niveles de presión son iguales. Puesto que el valor-P es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza.

Tabla 15-4: Prueba de la Mediana de Mood para Resistencia a la compresión por Presión

Presión	Tamaño de Muestra	n<=	n>	Mediana
1	3	3	0	3,39
2	3	0	3	7,82
3	3	2	1	6,65

Fuente: STATGRAPHICS Centurion XVII.I.

Realizado por: Yuquilema, B. 2021.

Total, n = 9

Gran mediana = 6,65

Estadístico = 6,3 Valor-P = 0,0429

La prueba de medianas de Mood evalúa la hipótesis de que las medianas de todas las 3 muestras son iguales. Lo hace contando el número de observaciones en cada muestra, a cada lado de la mediana global, la cual es igual a 6,65. Puesto que el valor-P para la prueba de chi-cuadrada es menor que 0,05; las medianas de las muestras son significativamente diferentes con un nivel de confianza del 95,0%.

A continuación, se presentan las gráficas obtenidas del análisis estadístico.

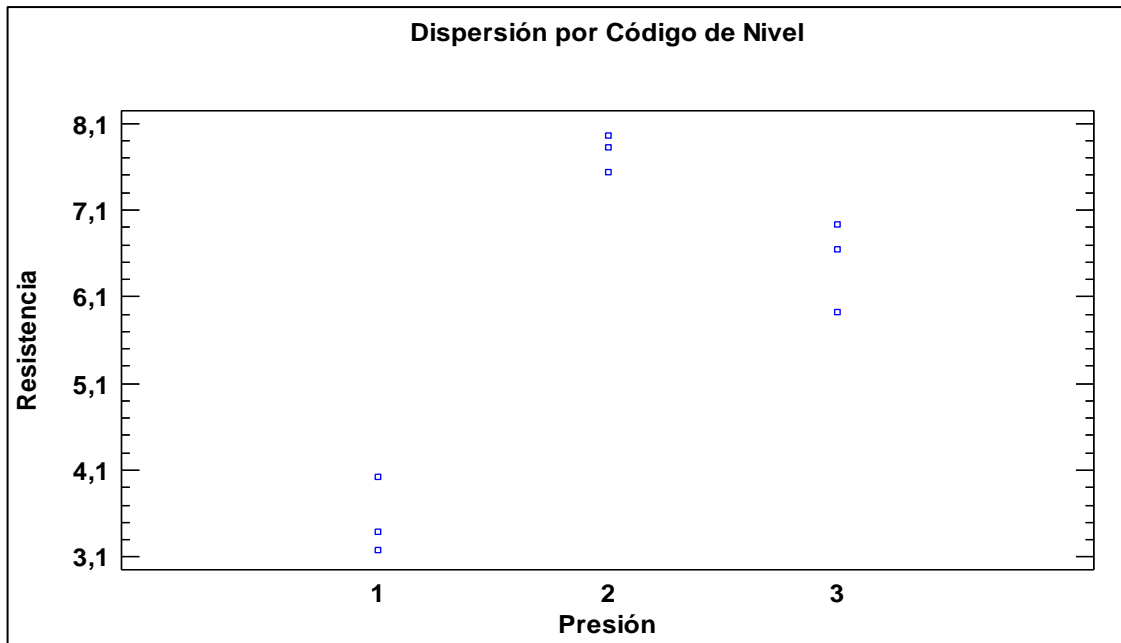


Gráfico 3-4: Dispersión por Código de Nivel.

Realizado por: Yuquilema, B.2021.

El Gráfico 3-4 indica la variabilidad de la respuesta en cada punto experimental, es decir, como varia la resistencia a la compresión con cada valor de presión.

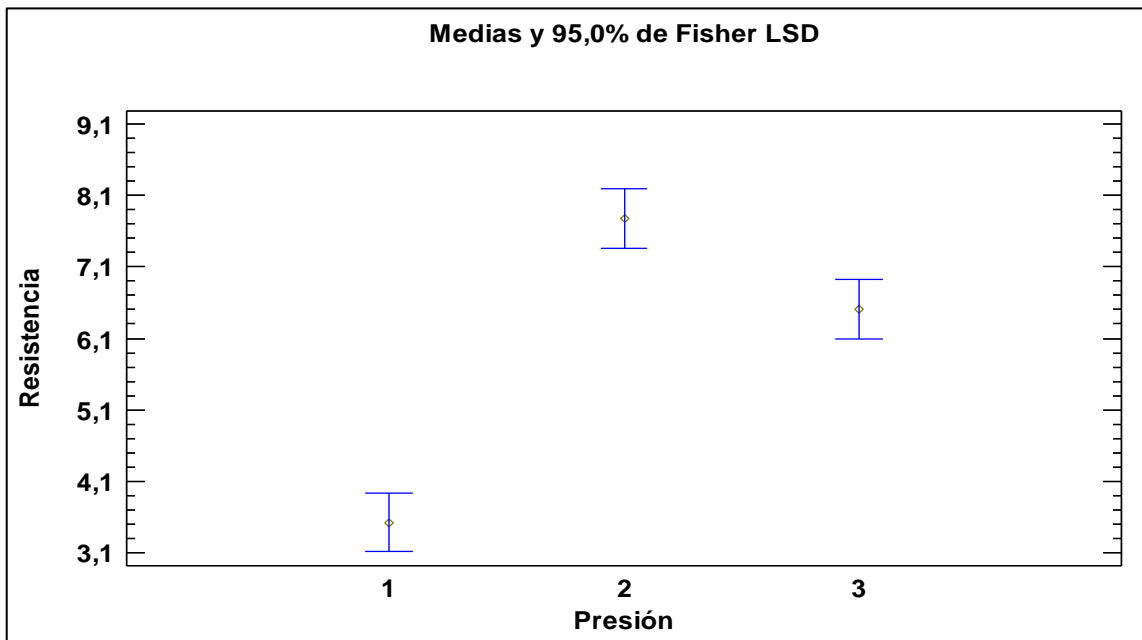


Gráfico 4-4: Gráfico de Medias.

Realizado por: Yuquilema, B. 2021.

El Gráfico 4-4 muestra que ninguno de los intervalos de las presiones 2 se traslapan, lo que indica que existe una diferencia significativa entre estas, por lo cual, si influye en la resistencia a la

compresión el utilizar diferentes presiones de moldeo, obteniendo valores más bajos con la presión 1.

4.1.4.1. Verificación de los supuestos del modelo

Tabla 16-4: Residuos del diseño experimental de un solo factor categórico

Residuos
-0,35
-0,23
0,05
-0,14
0,49
-0,58
0,15
0,19
0,44

Fuente: STATGRAPHICS Centurion XVI.I.

Realizado por: Yuquilema, B. 2021.

Normalidad

Tabla 17-4: Pruebas de Normalidad para Residuos

Prueba	Estadístico	Valor-P
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,97	0,9023

Fuente: STATGRAPHICS Centurion XVI.I.

Realizado por: Yuquilema, B. 2021.

Esta tabla muestra los resultados de la prueba de Shapiro-Wilk, la cual indica que, debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor o igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que residuos proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

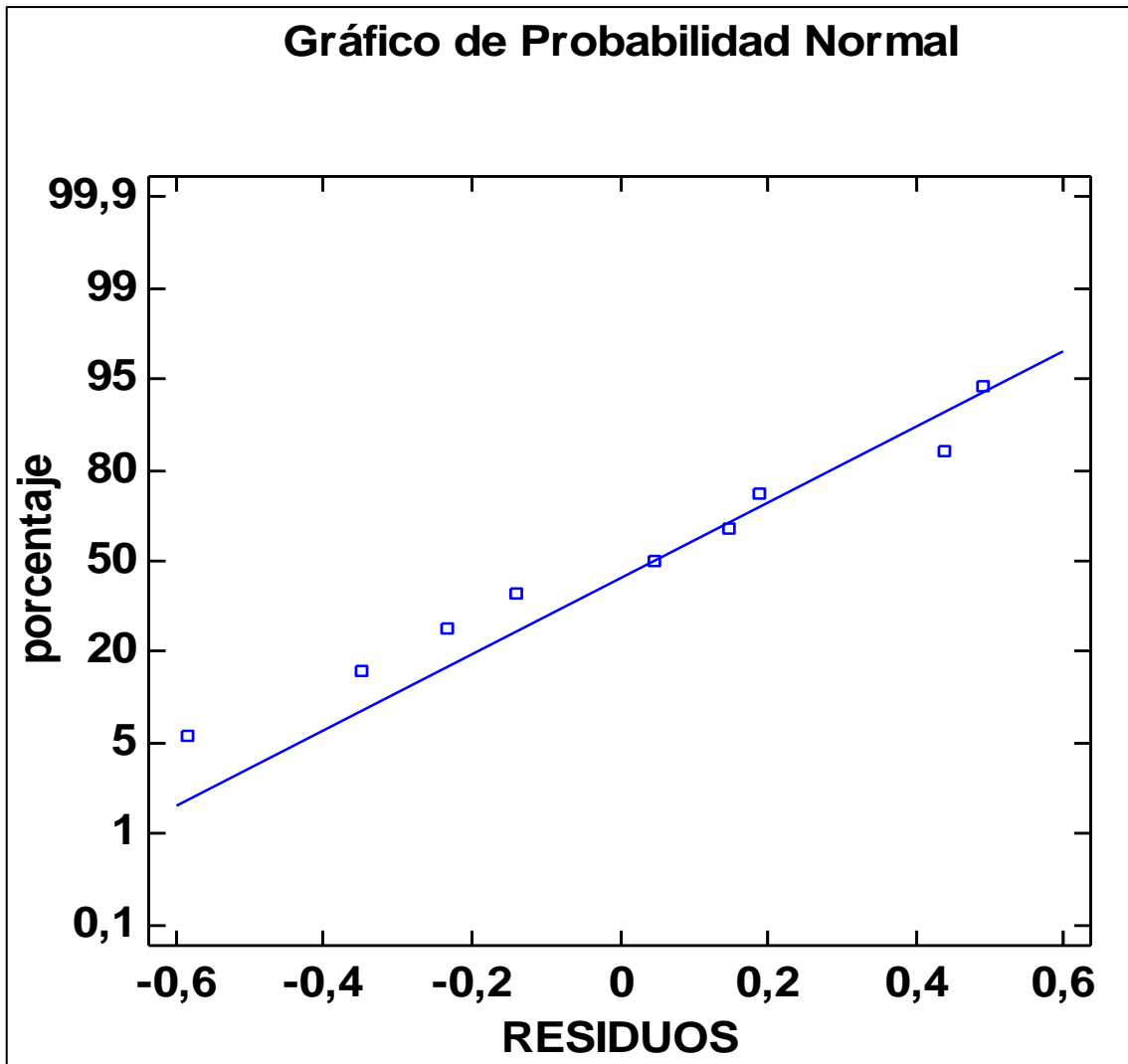


Gráfico 5-4: Probabilidad Normal

Realizado por: Yuquilema, B. 2021.

El Gráfico 5-4 indica que, los puntos al no estar muy dispersos de la pendiente siguen una distribución normal.

Varianza constante



Gráfico 6-4: Residuos para resistencia a la compresión

Realizado por: Yuquilema, B. 2021.

El Gráfico 6-4 comprueba el supuesto de homocedasticidad, es decir, que los datos presentan la misma variación.

Independencia

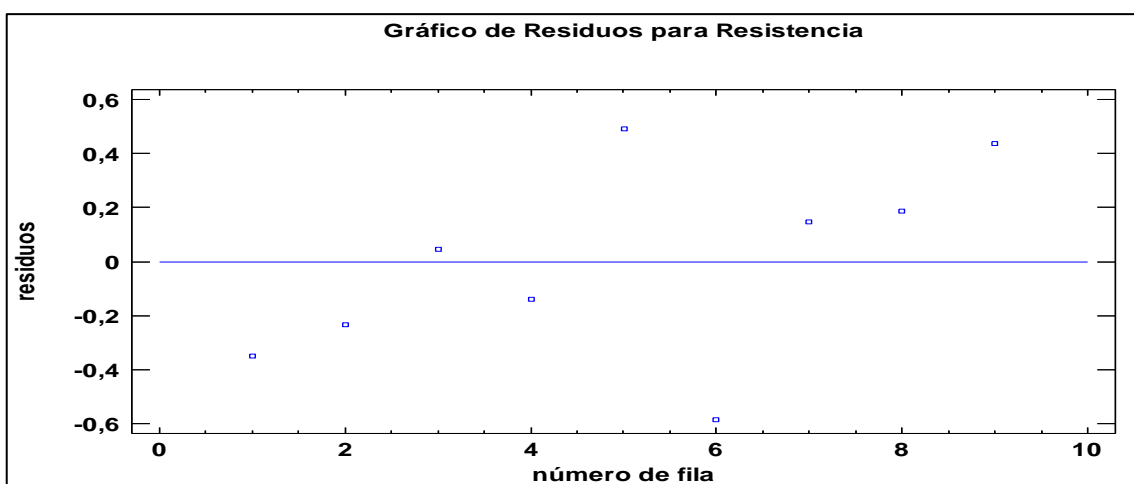


Gráfico 7-4: Residuos vs Secuencia.

Realizado por: Yuquilema, B. 2021.

El Gráfico 7-4, muestra que los puntos al no tomar ninguna forma en específico, es decir al encontrarse de manera aleatoria, se comprueba que existe independencia entre los datos.

En base a los resultados obtenidos en el análisis estadístico se interpreta lo siguiente:

- Los valores de resistencia a la compresión serán más altos con las presiones 2 y 3; y los más bajos con la presión 1.
- El análisis estadístico propone que existe una diferencia entre los resultados obtenidos con las diferentes presiones, es decir, que estas presiones si influyen en los valores de resistencia.
- Con la presión 2 el valor de medianas de resistencia a la compresión es mayor, en comparación con los valores resultantes de la presión 1 y 3.
- El diseño tiene una mayor aceptación estadística una vez que, se ha comprobado todos los supuestos del modelo (normalidad, varianza constante e independencia).

(INDRA, EDISON & NOFRIANTO, 2018) exponen que la resistencia a la compresión aumenta con la adición de presión de compactación, lo que se comprueba con los resultados de este análisis, ya que con presiones a partir de 1000 psi se obtuvieron los valores de resistencia más altos, en comparación con los valores obtenidos con la presión de 500psi. A pesar de que 1500 psi era la presión más alta de moldeo, se obtuvieron valores de resistencia menores en comparación con los obtenidos con 1000 psi, esto se debe a que los ladrillos al ser compactados a esta presión, presentaron pequeñas fisuras o rajaduras, lo que influye en su resistencia a la compresión, esto concuerda con lo expuesto por (RUSSELL) quien dice que al usar presiones muy altas de moldeo el ladrillo presenta fallas a causa de la formación de fisuras y el establecimiento de tensiones.

4.2. Prueba de Hipótesis

4.2.4. Hipótesis Específicas

- Al variar la mezcla, la resistencia a la compresión varia.

Al realizar el análisis de varianza para esta hipótesis se tiene los siguientes resultados:

Tabla 18-4: Resumen del análisis de varianza de un factor.

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Mezcla 1	3	3,35	1,12	0,07
Mezcla 2	3	2,89	0,96	0,03
Mezcla 3	3	0,00	0,00	0,00
Mezcla 4	3	23,04	7,68	6,89
Mezcla 5	3	11,94	3,98	1,76
Mezcla 6	3	5,70	1,90	0,74
Mezcla 7	3	5,98	1,99	0,18
Mezcla 8	3	20,10	6,70	1,40
Mezcla 9	3	11,91	3,97	0,20

Realizado por: Yuquilema, B. 2021.

Tabla 19-4: Análisis de varianza

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	168,67	8	21,08	16,85	0,00	2,51
Dentro de los grupos	22,52	18	1,25			
Total	191,19					

Realizado por: Yuquilema, B. 2021.

La Tabla 19-4 muestra los resultados del análisis de varianza realizado para las mezclas, donde se obtuvo un valor de probabilidad o valor-P menor a 0,05 con un nivel de confianza del 95%, lo que nos da a entender que, el modelo es estadísticamente significativo, es decir que la composición de la mezcla si influye en los valores de resistencia. De modo que, la primera hipótesis específica de esta investigación se confirma.

- Al variar la presión de moldeo, la resistencia a la compresión varia.

Los resultados del análisis estadístico realizado para las presiones se encuentran detallados en la Tabla 10-4, en la cual se muestra un valor-P = 0,000; el cual es menor a 0,05 con un nivel de confianza del 95%, lo que quiere decir que las presiones de moldeo si influyen en los valores de resistencia. Por lo tanto, la segunda hipótesis de esta investigación se confirma.

4.2.5. Hipótesis General

- Al variar los porcentajes de los diferentes componentes de un ladrillo, se podrá identificar la composición que maximice sus propiedades como la resistencia a la compresión, homogeneidad, porosidad.

De todo lo que se ha evidenciado en cada hipótesis específica de la presente investigación, se puede confirmar que, al variar los porcentajes de los diferentes componentes de un ladrillo, se identifica la composición que maximice algunas de sus propiedades como la homogeneidad y porosidad, pero principalmente la resistencia a la compresión que presentan los ladrillos.

CONCLUSIONES

- Se realizó la caracterización de las arcillas (tierra negra y tierra blanca) que intervienen en la elaboración de un ladrillo, por medio del método de fluorescencia de rayos x (XRF) obteniendo los siguientes resultados: óxido de silicio (SiO_2) 56,42 y 56,17%, óxido de aluminio (Al_2O_3) 14,99 y 15,35%, óxido férrico (Fe_2O_3) 6,35 y 6,33%, óxido de calcio (CaO) 4,84 y 4,76%, óxido de sodio (Na_2O) 1,85 y 1,80%, óxido de potasio (K_2O) 1,24 y 1,28%, óxido de magnesio (MgO) 1,04 y 1,42% y óxido de titanio (TiO_2) 0,88 y 0,84%.
- Se elaboró un diseño de mezclas el cual se encuentra especificado en la Tabla 5-3, con 9 composiciones diferentes, mismas que, se replicaron 3 veces variando su presión de moldeo, dando un total de 27 muestras para poder realizar los ensayos de compresión.
- Se realizó dos análisis estadísticos para determinar la combinación óptima de factores (presión, composición) que maximicen la resistencia a la compresión, obteniendo como resultado que la presión debe ser de 1000 psi y la composición de 0,95% tierra negra, 0,05% de agua y 0,00% de tierra blanca.

RECOMENDACIONES

- Implementar un análisis de materia orgánica a la materia prima utilizada en esta investigación, ya que, esta puede ser una razón por la cual, a pesar de que la tierra negra y tierra blanca tienen contenidos de óxidos metálicos similares, la tierra negra presenta mejores resultados en los ensayos de compresión en comparación, con la tierra blanca.
- Variar la temperatura de cocción de los ladrillos con temperaturas mayores a la utilizada en este trabajo, debido a que, este factor podría influir significativamente en la resistencia a la compresión.
- Realizar un mayor número de muestras con la composición óptima obtenida en la presente investigación, con presiones de moldeo que sean mayores a 1000 psi y menores que 1500 psi, para ver qué resultados se obtienen.
- Realizar otro análisis estadístico en función de la presión de moldeo con un mayor número de datos, con presiones que sean mayores a 1000 psi y menores a 1500 psi.
- Realizar muestras de tamaño real para ver si este factor influye en la resistencia a la compresión de los ladrillos.

BIBLIOGRAFÍA

ÁLVAREZ, SARA: *OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE MEZCLA DE ARCILLA PARA LA PRODUCCIÓN DE LADRILLOS, EN EL SECTOR ARTESANAL.*, 2014

BRICK INDUSTRY ASSOCIATION: Technical notes on brick construction: Manufacturing of Brick. In: *Brick Industry Association* (2006), Nr. December, S. 1–7

CASADO, MANUEL: *Elaboración de límites máximos permisibles de emisiones para la industria ladrillera.* Perú : Ministerio del Ambiente y del Programa Regional de Aire Limpio, 2010

FLORES PAZ, TAMARA MARIZOL: Proyecto de Inversión para la Creación de una Empresa de Ladrillos Localizada en la Parroquia Malacatos Canton Loja. In: *Tesis* (2016), S. 246

GARCÍA, EMILIA ; SUARÉZ, MERCEDES: Las Arcillas: Propiedades Y Usos [Tesis de pregrado, Universidad Complutense de Madrid] (2014), S. 1–28

GAVILANES, CRISTIAN ; SANTELLÁN, GRACE: *Normalización y estandarización de la fabricación de ladrillos y tejas del cantón Chambo.*, 2016

GR, MODERNAS ; BIOAMBIENTALES, ZONAS: EL LADRILLO – Orígenes y Desarrollo 1.- (2009)

GUTIÉRREZ PULIDO, HUMBERTO SALAZAR, ROMÁN DE LA VARA: *Análisis y diseño de experimentos.* México : McGrawHill, 2008

INDRA, ADE ; EDISON, EDISON ; NOFRIANTO, HENDRI: Optimization of compaction pressure on brick. In: *MATEC Web of Conferences* Bd. 215 (2018), S. 1–5

INEC: *No Title.* URL <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/institucional/home/>

INEN: *INEN 294.* URL <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/294.pdf>

INEN: *INEN 297.* URL <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/297.pdf>

INEN: *INEN 685.* URL <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/685.pdf>. - abgerufen am 2021-01-12

INGENIERIA REAL: *¿Construir con ladrillos o con bloques de concreto?* URL [https://ingenieriareal.com/construir-ladrillos-bloques-concreto/#:~:text=El ladrillo presenta un mayor,aísla mucho mejor el ruido. - abgerufen am 2021-02-22](https://ingenieriareal.com/construir-ladrillos-bloques-concreto/#:~:text=El%20ladrillo%20presenta%20un%20mayor,%C3%A1s%20mucho%20mejor%20el%20ruido.-abgerufen%20am%202021-02-22)

JARA ECHEVERRÍA, HERNÁN DANILO: *Caracterización de las propiedades fisicoquímicas de minerales arcillosos de la provincia de Chimborazo y propuesta de potenciales aplicaciones industriales*, 2018

JIMÉNEZ, LUIS: *Técnica de la construcción con ladrillo*. Barcelona : Ceac, S.A, 2005

LABORATORIOS DECTC ESPE: *294-ladrillos*. URL <https://es.slideshare.net/LaboratoriosDECTCESPE/294-44909064>

MAMANI RUIZ, RONALD: *ESTUDIO Y EVALUACION DE FORMULACION DE MEZCLAS PARA LA OBTENCION DE LADRILLOS DE ARCILLA EN LA CIUDAD DE CUSCO*, 2015

MENÉNDEZ, G. ; BONAVETTI, VIVIANA ; IRASSAR, EDGARDO: Los diseños de experimentos y la tecnología del hormigón. In: *Revista de la Construcción* Bd. 7 (2008), Nr. 1, S. 94–104

MINISTERIO DE LA PRODUCCIÓN: *GUÍA DE BUENAS PRÁCTICAS PARA LADRILLERAS ARTESANALES*. URL <http://spij.minjus.gob.pe/graficos/Peru/2010/abril/21/RM-102-2010-PRODUCE.pdf>

PORTALFRUTICOLA: *Qué es la tierra negra y cuáles son sus usos*. URL [https://www.portalfruticola.com/noticias/2019/12/24/que-es-la-tierra-negra-y-cuales-son-sus-usos/#:~:text=Las propiedades de la tierra,capacidad de retener suficiente agua&text=Aporta textura al suelo%2C al,los suelos con mucha arena.](https://www.portalfruticola.com/noticias/2019/12/24/que-es-la-tierra-negra-y-cuales-son-sus-usos/#:~:text=Las%20propiedades%20de%20la%20tierra,%20capacidad%20de%20retener%20suficiente%20agua&text=Aporta%20textura%20al%20suelo%20al,%20los%20suelos%20con%20mucho%20arena.)

REVERTE, PEDRO: *La industria ladrillera*. Barcelona : Reverte, S.A., 1972

ROMERO, JOHANNA: *“DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LADRILLOS MACIZOS FABRICADOS CON DIFERENTES TIPOS DE ARCILLA DEL CANTÓN PASTAZA Y SU COMPARACIÓN CON EL LADRILLO COMÚN”*, 2021

RUSSELL, HEUER: HIGH PRESSURE PROCESS OF MOLDING REFRACTORY BRICK

SACOTO, JUAN. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA. [En línea] 2013. [Citado el: 23 de Noviembre de 2020.] <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5700/1/UPS-CT002797.pdf>.

SOLÍS GARCÍA, DANILO: *EVALUACIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO DE LA PLANTA INDUSTRIAL LADRILLERA TERRAFORTE, UBICADA EN EL SECTOR DE CALACALÍ EN EL PERIODO 2012-2013.*, UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, 2014

STATPOINT, INC.: *Diseño de Experimentos – Diseños de un Solo Factor Categórico.* URL <https://statgraphics.net/tutoriales/>. - abgerufen am 2021-02-23

STATPOINT, INC.: *Diseño de Experimentos –Diseños de Mezclas.* URL <https://statgraphics.net/tutoriales/>

STROM: *Dry-pressing method of brick-making.* URL <http://www.strom.aaanet.ru/en/dry.html>. - abgerufen am 2021-02-22

SWISSCONTACT: *Políticas públicas sector ladrillero américa latina.* URL http://www.redladrilleras.net/apps/manual_ccac/pdf/es/politicas-publicas-sector-ladrillero-america-latina.pdf

TENESACA, MAYRA ; RASCO, JEHÚ: *Diseño de un Modelo de Negocios Para el Sector Ladrillero Artesanal del Cantón Cuenca, Período 2017-2019,* 2017

THERMOFISHER: *¿Qué es XRF (fluorescencia de rayos X) y cómo funciona?* URL <https://www.thermofisher.com/blog/ask-a-scientist/what-is-xrf-x-ray-fluorescence-and-how-does-it-work/>. - abgerufen am 2020-12-04

VÁZQUEZ MALAGÓN, EMMA DEL CARMEN: *Materiales Cerámicos. Propiedades, Aplicaciones y Elaboración.* México : UNAM, 2005

ZÚÑIGA, ALONSO: Ciencia e ingeniería de nuevos materiales en la fabricación mejorados tecnológicamente (2018), S. 1–260

ANEXOS

ANEXO A: MODELOS MATEMÁTICOS DEL DISEÑO DE MEZCLAS

Modelo de primer orden: Este modelo viene definido por la siguiente expresión:

$$E(y) = \beta_0 + \sum_{i=1}^q \beta_i x_i \quad (1.1)$$

donde $E(y)$ es el valor esperado de la variable de respuesta y . Sin embargo, debido a la restricción $x_1 + x_2 + \dots + x_q = 1$ es posible demostrar que los parámetros $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_q$ no son únicos. Se podría hacer la sustitución:

$$x_q = 1 - \sum_{i=1}^{q-1} x_i$$

en la expresión (1.1), y de esa manera eliminar la dependencia entre los componentes. Con ello es posible estimar los parámetros $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_{q-1}$. El inconveniente de esto es que no se puede estimar el efecto de q -ésimo componente porque el término $\beta_q x_q$ no estaría incluido en la ecuación. La alternativa más usual es multiplicar algunos de los términos de (1.1) por la identidad $x_1 + x_2 + \dots + x_q = 1$. Por ejemplo, si multiplicamos a β_0 por esta identidad y agrupamos términos se obtiene:

$$E(y) = \beta_0(x_1 + x_1 + \dots + x_1) + \sum_{i=1}^q \beta_i x_i = \sum_{i=1}^q \beta_i^* x_i \quad (1.2)$$

donde $\beta_i^* = \beta_0 + \beta_i$ para todo $i = 1, 2, \dots, q$. El modelo con los coeficientes β_i^* se conoce como forma canónica del modelo de primer orden para mezclas. En la práctica, para simplificar la notación se elimina el asterisco de cada parámetro y el modelo canónico de primer orden se denota con:

$$E(y) = \sum_{i=1}^q \beta_i x_i \quad (1.3)$$

Modelo cuadrático: Cuando se ajusta un modelo cuadrático también es necesario incorporar la restricción $x_1 + x_2 + \dots + x_q = 1$, ya que esto le dará una característica especial al modelo. Para ilustrar la idea supongamos que se tienen tres componentes x_1, x_2, x_3 , por lo que el polinomio de segundo grado está dado por:

$$E(y) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{23} x_2 x_3 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \beta_{33} x_3^2 \quad (1.4)$$

Los tres términos cuadráticos se pueden expresar como,

$$x_i^2 = x_i \left(1 - \sum_{j=1, j \neq i}^q x_j \right)$$

Y con tres componentes,

$$x_1^2 = x_1(1 - x_2 - x_3); \quad x_2^2 = x_2(1 - x_1 - x_3) \quad \text{y} \quad x_3^2 = x_3(1 - x_1 - x_2)$$

Al aplicar esto en (1.4) y multiplicando a β_0 por $x_1 + x_2 + x_3 = 1$, obtenemos:

$$E(y) = \beta_0(x_1 + x_2 + x_3) + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_3x_3 + \beta_{12}x_1x_2 + \beta_{13}x_1x_3 + \beta_{23}x_2x_3 \\ + \beta_{11}x_1(1 - x_2 - x_3) + \beta_{22}x_2(1 - x_1 - x_3) + \beta_{33}x_3(1 - x_1 - x_2)$$

multiplicando y reagrupando términos es fácil ver que esto es igual a:

$$E(y) = \beta_1^*x_1 + \beta_2^*x_2 + \beta_3^*x_3 + \beta_{12}^*x_1x_2 + \beta_{13}^*x_1x_3 + \beta_{23}^*x_2x_3 \quad (1.5)$$

Con,

$$\beta_i^* = \beta_0 + \beta_i + \beta_{ij} \quad \text{y} \quad \beta_{ij}^* = \beta_{ij} - \beta_{ii} - \beta_{jj}; \quad i, j = 1, 2, 3$$

En la práctica, para simplificar la notación se eliminan los asteriscos de los coeficientes del modelo (1.5), y de esta manera el modelo canónico de segundo orden para mezclas con tres componentes toma la siguiente forma:

$$E(y) = \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_3x_3 + \beta_{12}x_1x_2 + \beta_{13}x_1x_3 + \beta_{23}x_2x_3$$

En general, para q componentes este modelo está dado por:

$$E(y) = \sum_{i=1}^q \beta_i x_i + \sum_{i<j}^q \sum_{j=2}^q \beta_{ij} x_i x_j$$

donde el coeficiente β_i representa la respuesta esperada en la mezcla pura $x_i = 1$, y al mismo tiempo es la altura de la superficie en el vértice $x_i = 1$. El coeficiente β_{ij} el que representa el exceso de la respuesta del modelo cuadrático sobre el lineal, y dependiendo de su signo se habla de sinergismo o antagonismo entre los componentes correspondientes debido a la mezcla no aditiva.

Modelo cúbico especial: Este modelo para tres componentes viene dado por:

$$E(y) = \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_3x_3 + \beta_{12}x_1x_2 + \beta_{13}x_1x_3 + \beta_{23}x_2x_3 + \beta_{123}x_1x_2x_3$$

Mientras que el cúbico completo es,

$$E(y) = \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_3x_3 + \beta_{12}x_1x_2 + \beta_{13}x_1x_3 + \beta_{23}x_2x_3 + \beta_{123}x_1x_2x_3 \\ + \delta_{12}x_1x_2(x_1 - x_2) + \delta_{13}x_1x_3(x_1 - x_3) + \delta_{23}x_2x_3(x_2 - x_3)$$

En general, el modelo cúbico especial para q componentes está dado por:

$$E(y) = \sum_{i=1}^q \beta_i x_i + \sum_{i<j}^q \sum_{j=2}^q \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{i<j}^q \sum_{j=2}^q \delta_{ij} x_i x_j (x_i - x_j) + \sum_{i<j}^q \sum_{j<k}^q \sum_{k=3}^q \beta_{ijk} x_i x_j x_k \quad (1.7)$$

En el modelo cúbico, los términos tales como $x_i x_j (x_i - x_j)$ permiten mezclas tanto con sinergia como con antagonismo a lo largo del lado $x_i - x_j$. El término cúbico especial $x_1x_2x_3$ cuantifica el efecto de la mezcla ternaria en el interior del simplex.

La interpretación de la magnitud de los coeficientes de un modelo de mezclas debe tratarse en forma especial debido a que $0 < x_i < 1$. Por ejemplo, un término lineal del tipo β_i únicamente

contribuye al modelo cuando $x_i > 0$, y la máxima contribución ocurre cuando $x_i = 1$, en cuyo caso el efecto máximo es igual a β_i . En tanto, un término cuadrático del tipo $\beta_{12}x_1x_2$ contribuye al modelo en cada punto en el simplex donde $x_1 > 0$ y $x_2 > 0$. Su mayor contribución se lleva a cabo en el lado de x_1 y x_2 , es de magnitud $(1/4)\beta_{12}$ y ocurre en el punto $x_1 = x_2 = 1/2$. Un término cúbico tal como $\beta_{123}x_1x_2x_3$ contribuye al modelo en cada punto, en el cual $x_1 > 0$, $x_2 > 0$ y $x_3 > 0$ (en el interior del simplex); la máxima contribución es de magnitud $\beta_{123}/27$ y se da en el punto $x_1 = x_2 = x_3 = 1/3$ (GUTIÉRREZ PULIDO, HUMBERTO SALAZAR, 2008).

ANEXO B: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE COMPRESIÓN PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS

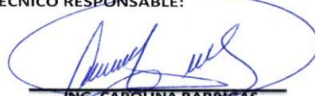


LABORATORIO INTEGRAL DE LA CONSTRUCCIÓN
Control de Calidad para tus Proyectos

RUC: 0602243255001

INFORME DE ENSAYOS DE COMPRESIÓN DE CUBOS DE MORTERO														
DATOS GENERALES DEL PROYECTO														
PROYECTO: IDENTIFICACIÓN DE LA COMPOSICIÓN OPTIMA PARA LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS PRENSADOS EN SECO (DRY-PRESS) COMO ALTERNATIVA AL PROCESO DEL MOLDEO CONVENCIONAL (SOFT-MUD)								SOLICITANTE: SR. BRYAN YUQUILEMA						
INSTITUCION: ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO								FISCALIZADOR: ING. DARIO GUAMÁN						
UBICACIÓN: CANTÓN RIOBAMBA - PROVINCIA DE CHIMBORAZO								FECHA DE ENTREGA DEL INFORME: 03 DE FEBRERO DE 2021			NÚMERO DE INFORME: 028 - M - 2021 HOJA 1 DE 3			
DATOS DEL ENSAYO											NORMA: ASTM C109			
No	Descripción	Forma de la muestra	Dimensiones			Área BRUTA de Ensayo (mm ²)	Área NETA de Ensayo (mm ²)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo BRUTO de compresión (MPa)	Esfuerzo NETO de compresión (MPa)	FECHA DE MUESTRA	FECHA DE ENSAYO	Edad de la muestra (Días)	OBSERVACIONES
			Lado B (mm)	Lado L (mm)	Altura h (mm)									
1	LADRILLO	CUBO	42	44	41	1848,0	1848,0	2600	1,41	1,41	28/01/2021	03/02/2021	6	SECO
2	LADRILLO	CUBO	42	43	40	1806,0	1806,0	1800	1,00	1,00	28/01/2021	03/02/2021	6	SECO
3	LADRILLO	CUBO	42	43	43	1806,0	1806,0	1700	0,94	0,94	28/01/2021	03/02/2021	6	SECO
7	LADRILLO	CUBO	42	43	42	1806,0	1806,0	1400	0,78	0,78	28/01/2021	03/02/2021	6	SECO
8	LADRILLO	CUBO	42	43	42	1806,0	1806,0	1800	1,00	1,00	28/01/2021	03/02/2021	6	SECO
9	LADRILLO	CUBO	42	43	41	1806,0	1806,0	2000	1,11	1,11	28/01/2021	03/02/2021	6	SECO
10	LADRILLO	CUBO	43	43	43	1849,0	1849,0	8600	4,65	4,65	28/01/2021	03/02/2021	6	SECO
11	LADRILLO	CUBO	43	42	40	1806,0	1806,0	16700	9,25	9,25	28/01/2021	03/02/2021	6	SECO

ESTE DOCUMENTO NO PUEDE SER REPRODUCIDO NI TOTAL NI PARCIALMENTE EN SU CONTENIDO NI FORMATO SIN LA APROBACIÓN ESCRITA DE ESTE LABORATORIO LIC - MB.

TÉCNICO RESPONSABLE:

ING. CAROLINA BARRIGAS
LABORATORISTA LIC

Dir.: Venezuela 1 y La Paz – Barrio Bellavista / Telf.: 03 2966388 – 0988863062 / e-mail: lic_laboratorio@yahoo.com / RIOBAMBA - ECUADOR



LABORATORIO INTEGRAL DE LA CONSTRUCCIÓN

Control de Calidad para tus Proyectos

RUC: 0602243255001

INFORME DE ENSAYOS DE COMPRESIÓN DE CUBOS DE MORTERO

DATOS GENERALES DEL PROYECTO


PROYECTO: IDENTIFICACIÓN DE LA COMPOSICIÓN OPTIMA PARA LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS PRENSADOS EN SECO (DRY-PRESS) COMO ALTERNATIVA AL PROCESO DEL MOLDEO CONVENCIONAL (SOFT-MUD)	SOLICITANTE: SR. BRYAN YUQUILEMA	
INSTITUCION: ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO	FISCALIZADOR: ING. DARIO GUAMÁN	
UBICACIÓN: CANTÓN RIOBAMBA - PROVINCIA DE CHIMBORAZO	FECHA DE ENTREGA DEL INFORME: 03 DE FEBRERO DE 2021	NÚMERO DE INFORME: 028 - M - 2021 HOJA 2 DE 3

DATOS DEL ENSAYO

No	Descripción	Forma de la muestra	Dimensiones			Área BRUTA de Ensayo (mm ²)	Área NETA de Ensayo (mm ²)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo BRUTO de compresión (MPa)	Esfuerzo NETO de compresión (MPa)	FECHA DE MUESTRA	FECHA DE ENSAYO	Edad de la muestra (Días)	OBSERVACIONES
			Lado B (mm)	Lado L (mm)	Altura h (mm)									
12	LADRILLO	CUBO	42	43	38	1806,0	1806,0	16500	9,14	9,14	28/01/2021	03/02/2021	6	SECO
13	LADRILLO	CUBO	42	43	40	1806,0	1806,0	6400	3,54	3,54	28/01/2021	03/02/2021	6	SECO
14	LADRILLO	CUBO	42	43	38	1806,0	1806,0	5300	2,93	2,93	28/01/2021	03/02/2021	6	SECO
15	LADRILLO	CUBO	43	44	38	1892,0	1892,0	10350	5,47	5,47	28/01/2021	03/02/2021	6	SECO
16	LADRILLO	CUBO	43	45	43	1935,0	1935,0	1940	1,00	1,00	28/01/2021	03/02/2021	6	SECO
17	LADRILLO	CUBO	44	43	43	1892,0	1892,0	5130	2,71	2,71	28/01/2021	03/02/2021	6	SECO
18	LADRILLO	CUBO	42	44	42	1848,0	1848,0	3680	1,99	1,99	28/01/2021	03/02/2021	6	SECO
19	LADRILLO	CUBO	43	42	41	1806,0	1806,0	4300	2,38	2,38	28/01/2021	03/02/2021	6	SECO

TÉCNICO RESPONSABLE:

ESTE DOCUMENTO NO PUEDE SER REPRODUCIDO NI TOTAL NI PARCIALMENTE EN SU CONTENIDO NI FORMATO SIN LA APROBACIÓN ESCRITA DE ESTE LABORATORIO LIC - MB.


ING. CAROLINA BARRIGAS
LABORATORISTA LIC

Dir.: Venezuela 1 y La Paz – Barrio Bellavista / Telf.: 03 2966388 – 0988863062 / e-mail: lic_laboratorio@yahoo.com / RIOBAMBA - ECUADOR



LABORATORIO INTEGRAL DE LA CONSTRUCCIÓN

Control de Calidad para tus Proyectos

RUC: 0602243255001

INFORME DE ENSAYOS DE COMPRESIÓN DE CUBOS DE MORTERO

DATOS GENERALES DEL PROYECTO

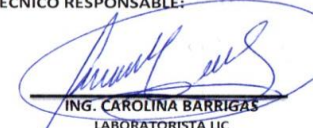
PROYECTO: IDENTIFICACIÓN DE LA COMPOSICIÓN OPTIMA PARA LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS PRENSADOS EN SECO (DRY-PRESS) COMO ALTERNATIVA AL PROCESO DEL MOLDEO CONVENCIONAL (SOFT-MUD)	SOLICITANTE: SR. BRYAN YUQUILEMA	
INSTITUCION: ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO	FISCALIZADOR: ING. DARIO GUAMÁN	
UBICACIÓN: CANTÓN RIOBAMBA - PROVINCIA DE CHIMBORAZO	FECHA DE ENTREGA DEL INFORME: 03 DE FEBRERO DE 2021	NÚMERO DE INFORME: 028 - M - 2021 HOJA 3 DE 3

DATOS DEL ENSAYO

NORMA: ASTM C109

No	Descripción	Forma de la muestra	Dimensiones			Área BRUTA de Ensayo (mm ²)	Área NETA de Ensayo (mm ²)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo BRUTO de compresión (MPa)	Esfuerzo NETO de compresión (MPa)	FECHA DE MUESTRA	FECHA DE ENSAYO	Edad de la muestra (Días)	OBSERVACIONES
			Lado B (mm)	Lado L (mm)	Altura h (mm)									
20	LADRILLO	CUBO	43	43	42	1849,0	1849,0	3800	2,06	2,06	28/01/2021	03/02/2021	6	SECO
21	LADRILLO	CUBO	43	43	40	1849,0	1849,0	2850	1,54	1,54	28/01/2021	03/02/2021	6	SECO
22	LADRILLO	CUBO	42	43	40	1806,0	1806,0	11830	6,55	6,55	28/01/2021	03/02/2021	6	SECO
23	LADRILLO	CUBO	43	43	39	1849,0	1849,0	10350	5,60	5,60	28/01/2021	03/02/2021	6	SECO
24	LADRILLO	CUBO	42	43	37	1806,0	1806,0	14350	7,95	7,95	28/01/2021	03/02/2021	6	SECO
25	LADRILLO	CUBO	41	43	40	1763,0	1763,0	6930	3,93	3,93	28/01/2021	03/02/2021	6	SECO
26	LADRILLO	CUBO	39	43	38	1677,0	1677,0	7450	4,44	4,44	28/01/2021	03/02/2021	6	SECO
27	LADRILLO	CUBO	43	43	40	1849,0	1849,0	6540	3,54	3,54	28/01/2021	03/02/2021	6	SECO

ESTE DOCUMENTO NO PUEDE SER REPRODUCIDO NI TOTAL NI PARCIALMENTE EN SU CONTENIDO NI FORMATO SIN LA APROBACIÓN ESCRITA DE ESTE LABORATORIO LIC - MB.

TÉCNICO RESPONSABLE:

ING. CAROLINA BARRIGAS
LABORATORISTA LIC

Dir.: Venezuela 1 y La Paz – Barrio Bellavista / Telf.: 03 2966388 – 0988863062 / e-mail: lic_laboratorio@yahoo.com / RIOBAMBA - ECUADOR

ANEXO C: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE COMPRESIÓN PARA EL DISEÑO DE EXPERIMENTOS DE UN SOLO FACTOR CATEGÓRICO



LABORATORIO INTEGRAL DE LA CONSTRUCCIÓN
Control de Calidad para tus Proyectos

RUC: 0602243255001


INFORME DE ENSAYOS DE COMPRESIÓN DE CUBOS DE MORTERO

DATOS GENERALES DEL PROYECTO

PROYECTO: IDENTIFICACIÓN DE LA COMPOSICIÓN OPTIMA PARA LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS PRENSADOS EN SECO (DRY-PRESS) COMO ALTERNATIVA AL PROCESO DEL MOLDEO CONVENCIONAL (SOFT-MUD)	SOLICITANTE: SR. BRYAN YUQUILEMA
INSTITUCION: ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO	FISCALIZADOR: ING. DARIO GUAMÁN
UBICACIÓN: CANTÓN RIOBAMBA - PROVINCIA DE CHIMBORAZO	FECHA DE ENTREGA DEL INFORME: 22 DE FEBRERO DE 2021
	NÚMERO DE INFORME: 028 - 1 - M - 2021 HOJA 1 DE 1

DATOS DEL ENSAYO

No	Descripción	Forma de la muestra	Dimensiones			Área BRUTA de Ensayo (mm ²)	Área NETA de Ensayo (mm ²)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo BRUTO de compresión (MPa)	Esfuerzo NETO de compresión (MPa)	FECHA DE MUESTRA	FECHA DE ENSAYO	Edad de la muestra (Días)	OBSERVACIONES
			Lado B (mm)	Lado L (mm)	Altura h (mm)									
1	LADRILLO	CUBO	41	42	41	1722.0	1722.0	6930	4.02	4.02	18/02/2021	22/02/2021	4	SECO
2	LADRILLO	CUBO	42	42	41	1764.0	1764.0	5610	3.18	3.18	18/02/2021	22/02/2021	4	SECO
3	LADRILLO	CUBO	42	43	42	1806.0	1806.0	7540	4.17	4.17	18/02/2021	22/02/2021	4	SECO
4	LADRILLO	CUBO	41	42	41	1722.0	1722.0	5830	3.39	3.39	18/02/2021	22/02/2021	4	SECO
5	LADRILLO	CUBO	41	42	40	1722.0	1722.0	12990	7.54	7.54	18/02/2021	22/02/2021	4	SECO
6	LADRILLO	CUBO	41	42	40	1722.0	1722.0	13700	7.96	7.96	18/02/2021	22/02/2021	4	SECO
7	LADRILLO	CUBO	41	41	40	1681.0	1681.0	13150	7.82	7.82	18/02/2021	22/02/2021	4	SECO
8	LADRILLO	CUBO	41	42	40	1722.0	1722.0	14890	8.65	8.65	18/02/2021	22/02/2021	4	SECO
9	LADRILLO	CUBO	41	42	41	1722.0	1722.0	11450	6.65	6.65	18/02/2021	22/02/2021	4	SECO
10	LADRILLO	CUBO	41	42	41	1722.0	1722.0	20570	11.95	11.95	18/02/2021	22/02/2021	4	SECO
11	LADRILLO	CUBO	42	42	41	1764.0	1764.0	10440	5.92	5.92	18/02/2021	22/02/2021	4	SECO
12	LADRILLO	CUBO	41	41	40	1681.0	1681.0	11670	6.94	6.94	18/02/2021	22/02/2021	4	SECO

TÉCNICO RESPONSABLE:

ING. CAROLINA BARRIGÁS
LABORATORISTA LIC

ESTE DOCUMENTO NO PUEDE SER REPRODUCIDO NI TOTAL NI PARCIALMENTE EN SU CONTENIDO NI FORMATO SIN LA APROBACIÓN ESCRITA DE ESTE LABORATORIO LIC - MB.

Dir.: Venezuela 1 y La Paz – Barrio Bellavista / Telf.: 03 2966388 – 0988863062 / e-mail: lic_laboratorio@yahoo.com / RIOBAMBA - ECUADOR

ANEXO D: IMAGEN DE LOS RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE LA TIERRA NEGRA

The image shows a laboratory instrument display with two main sections: 'Información de muestra' (Sample Information) and 'Resultados' (Results). The 'Información de muestra' section lists sample details, and the 'Resultados' section shows a table of chemical components and their percentages.

Información de muestra		Resultados			
ID	TN	Sum	88.6 %	K ₂ O	1.24 %
Aplic.	Oxides	Compton	89.436 %	MgO	1.04 %
Material	Oxides	SiO ₂	56.42 %	TiO ₂	0.88 %
Mode	Vac	Al ₂ O ₃	14.99 %	P ₂ O ₅	0.42 %
Diameter	34mm	Fe ₂ O ₃	6.35 %	BaO	0.15 %
Method	Full Analysis-Vac34mm	CaO	4.84 %	SO ₃	0.11 %
Medido	15:42 18.10.2020	Na ₂ O	1.85 %	MnO	0.10 %
				SrO	0.09 %
				Cl	0.03 %
				ZrO ₂	0.03 %
				CuO	0.01 %
				Cr ₂ O ₃	0.01 %
				ZnO	0.01 %

At the bottom right of the display, there is a green square icon and a numerical value: 15:46.30.

ANEXO E: IMAGEN DE LOS RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE LA TIERRA BLANCA

i Información de muestra		Resultados					
ID	TG	Sum	88.6 %	MgO	1.42 %		
Aplic.	Oxides	Compton	93.088 %	K2O	1.28 %	SrO	0.08 %
Material	Oxides	SiO2	56.17 %	TiO2	0.84 %	ZrO2	0.03 %
Mode	Vac	Al2O3	15.35 %	P2O5	0.21 %	Cl	0.02 %
Diameter	34mm	Fe2O3	6.33 %	BaO	0.11 %	CuO	0.01 %
Method	Full Analysis-Vac34mm	CaO	4.76 %	MnO	0.10 %	Cr2O3	94 PPM
Medido	16:25 18.10.2020	Na2O	1.80 %	SO3	0.09 %	ZnO	91 PPM

ANEXO F: LADRILLOS TERMINADOS



ANEXO G: IMAGEN DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN





ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL APRENDIZAJE
UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y DOCUMENTAL**

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 27 / 09 / 2021

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: <i>Bryan Israel Yuquilema Alvarado</i>
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: <i>Ciencias</i>
Carrera: <i>Ingeniería Química</i>
Título a optar: <i>Ingeniero Químico</i>
f. Analista de Biblioteca responsable: <i>Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.</i>

**LEONARDO FABIO
MEDINA NUSTE**

Firmado digitalmente por
LEONARDO FABIO MEDINA
NUSTE
Fecha: 2021.09.27 09:50:45
-05'00'



1702-DBRA-UTP-2021