



**UNIVERSIDAD
DEL AZUAY**

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA EN MINAS

**“Elaboración de barbotina con arcillas de la parroquia Ludo, utilizando el
método de análisis ternario”**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

INGENIERO EN MINAS

Autor:

EDGAR PATRICIO ZAMORA YUMBLA

Director:

ING. FERNANDO TULIO VALENCIA GUARICELA

CUENCA- ECUADOR

2024

DEDICATORIA

Este trabajo está basado con esfuerzo y sacrificio que va direccionado para mi familia, amigos y conocidos que de manera directa me alentaron con palabras y gracias por el apoyo cumplí mi sueño el cual se volvió real. A mi madre Eva Yumbla torres, gracias por existir y sobre todo en enseñarme el detalle de no rendirme con su frase icónica a mi padre gracias por elegirme una buena madre.

A mi hermano Elvis Zamora Yumbla que fue parte fundamental para mi formación académica el cual estoy eternamente agradecido ya que es el cimiento de donde estoy ahora. A mi sobrina Miriam Estefania que tiene una parte de mi corazón. A mi hermana Miriam Zamora que es la mujer que más admiro por todo lo que hace por vernos felices A mi hermana Mery Zamora siempre está con sus consejos inquebrantables. A mi hermano Fernando Zhiminaicela que la vida nos crio juntos A mi sobrina Maite gracias por llegar a con esa chispa a nuestro hogar.

A mis hermanas Karina y Alejandra siempre les tengo en mi corazón.

EDGAR PATRICIO ZAMORA YUMBLA

AGRADECIMIENTO

Al Ing. Fernando Valencia, por ser mi tutor de tesis por enseñarme, guiarme y transmitirme los conocimientos para poder realizar este trabajo de titulación, agradeciendo cada ayuda que me brindó desde el primer momento cada sugerencia, pues gracias a ello logre culminar este trabajo de titulación.

A la Escuela de Ingeniería en Minas por darnos la oportunidad en estos años para formarnos académicamente brindándonos las mejores herramientas, experiencias y conocimiento.

EDGAR PATRICIO ZAMORA YUMBLA

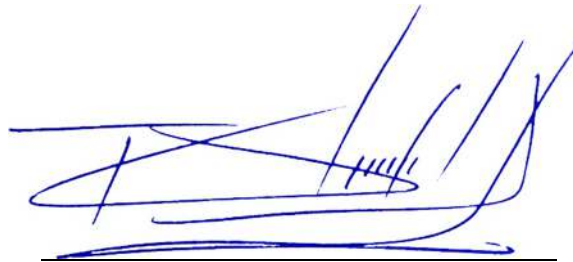
**“ELABORACIÓN DE BARBOTINA CON ARCILLAS DE LA PARROQUIA LUDO,
UTILIZANDO EL MÉTODO DE ANÁLISIS TERNARIO”**

RESUMEN

El presente estudio formuló pastas cerámicas con materias primas de la parroquia Ludo cantón Sígsig en la provincia del Azuay. Su análisis se realizó a partir de briquetas formuladas con caolín, feldespatos y arcillas, se emplearon diagramas ternarios para determinar las proporciones ideales. Las muestras fueron secadas, trituradas, tamizadas y prensadas con diferentes dosificaciones, luego, se quemaron en horno eléctrico a 1200°C y se evaluaron propiedades como color, humedad y contracción, obteniendo resultados para su selección final.

Se realizaron nueve dosificaciones, para determinar sus dosificaciones se utilizaron diagramas ternarios y así mejorar la calidad de barbotina con la materia prima. Asimismo, con las 9 muestras se determinó la resistencia a la compresión simple, obteniendo una dureza máxima de 152,000 Pascales. Con los resultados de la post-quema se determinó el color con la ayuda de la tabla de Munsell, obteniendo un blanco rosado. Las briquetas P1 y P2 cumplen las características deseadas.

Palabras clave: Barbotina, dosificaciones, compresión simple, diagrama ternario, Ludo.



Ing. Fernando Tulio Valencia Guaricela

Director del Trabajo de Titulación

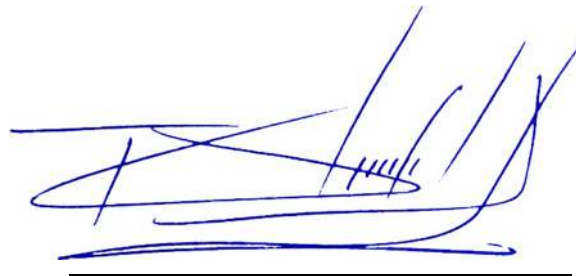
ABSTRACT

“PREPARATION OF SLIP USING CLAYS FROM THE LUDO PARISH, USING THE TERNARY ANALYSIS METHOD”

The present study focused on developing briquettes with materials the parish of Ludo, composed of kaolin, feldspar, and clays. The ternary diagram was used to determine the ideal proportions, followed by their fabrication. The samples underwent drying, crushing, sieving, and pressing with different dosages. Subsequently, they were fired at 1200°C, and properties such as color, moisture content, and shrinkage were evaluated, yielding results for their final selection.

Nine formulations were conducted, with clays as the variable, utilizing the ternary diagram to enhance the quality of slip with the raw material. Additionally, the compression strength of the 9 samples was determined, resulting in a hardness of 152,000 Pascals. Post-firing color determination was conducted with the aid of the Munsell color chart, yielding a pinkish-white hue. Briquettes P1 and P2 meet the desired characteristics.

Key words: Slip, formulation, compression strength, ternary diagram, Ludo.



Ing. Fernando Tulio Valencia Guaricela

Thesis Director

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE ANEXOS	xv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1	4
GENERALIDADES	4
1.1 Localización.....	4
1.2 Genesis de las muestras	6
1.2.1 Ludo	6
1.3 Geomorfología y geología	6
1.4 Topografía.....	7
1.5 Uso de suelo.....	8
1.6 Ubicación de los materiales de arcillas	9

CAPITULO 2	10
MARCO TEÓRICO	10
2.1 Materiales cerámicos	10
<i>2.1.1 Estructura de los materiales cerámicos</i>	12
<i>2.1.2 Clasificación de los materiales cerámicos</i>	14
<i>2.1.3 Propiedades mecánicas de los materiales cerámicos</i>	14
<i>2.1.4 Propiedades físico- químicas de los materiales cerámicos</i>	16
<i>2.1.5 Aplicaciones y Usos</i>	17
2.2 Arcilla	18
<i>2.2.1 Tipos de arcillas</i>	19
<i>2.2.2 Propiedades de las arcillas</i>	19
<i>2.2.3 Aplicaciones y usos de la arcilla</i>	20
2.3 Feldespato	21
<i>2.3.1 Petrografía de los feldespatos</i>	21
<i>2.3.2 Tipos de feldespatos</i>	22
<i>2.3.3 Propiedades físicas y químicas de los feldespatos</i>	23
<i>2.3.4 Aplicaciones y usos</i>	25
2.4 Caolín.....	26
<i>2.4.1 Petrografía de los caolines</i>	28
<i>2.4.2 Tipos de caolines</i>	28

2.4.3 Aplicaciones y usos	31
2.5 Barbotina.....	32
2.5.1 Tipo de barbotinas	32
2.5.2 Aplicación y uso de barbotina	33
2.5.3 Parámetros de barbotina	33
2.6 Análisis ternario	34
2.7. Molino.....	37
2.7.1 Tipo de molinos	38
2.7.2 Aplicaciones y usos de molinos	41
2.8 Bolas de alúmina.....	41
2.8.1 Proceso de solid- casting	41
2.9 Horno	42
2.9.1 Tipos de hornos	43
2.9.2 Aplicaciones y usos	45
2.10. Tabla de Munsell.....	45
2.11. Resistencia de los materiales	46
CAPÍTULO 3	48
3.1. Caracterización de los materiales cerámicos	48
3.1.1. Secado de los materiales cerámicos	48
3.1.2. Textura y color	49

3.1.3. Trituración	50
3.1.4. Molienda	50
3.1.5. Determinación granulométrica de la materia prima	52
3.1.6. Tamizado de los materiales cerámicos	54
3.1.7. Densidad aparente	62
3.1.8. Humedad	63
3.4. Formulación	66
3.5. Diagrama ternario	67
3.6. Identificación de muestras	67
3.7. Dosificaciones.....	67
3.8. Condiciones para la elaboración de las briquetas	69
3.9. Prensado de briquetas	70
3.10. Dimensión del molde.....	71
3.11. Horno	73
CAPÍTULO 4	75
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	75
4.1. Resultados conseguidos	75
4.1.1 Resultados de Diagrama Ternario	75
4.1.2 Resultados de la quema	76
4.1.3 Determinación del color	77

<i>4.1.4 Humedad</i>	79
<i>4.1.5 Reducción de masas</i>	81
<i>4.1.6 Resultados de reducción de masa de las briquetas</i>	82
<i>4.1.7 Resultados de la compresión simple</i>	83
<i>4.1.8 Selección de las briquetas</i>	86
CONCLUSIONES	87
RECOMENDACIONES	91
BIBLIOGRAFÍA	93
ANEXOS	104

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación funcional de cerámicos	18
Tabla 2. Tipo de feldespatos	22
Tabla 3. Clasificación de feldespatos	23
Tabla 4. Composición química de los caolines.....	30
Tabla 5. Características del cemento utilizado.....	30
Tabla 6. Abertura de tamices, según su malla.....	53
Tabla 7. Ensayo 1 Caolín (500g) – método de Rosin-Rammler	56
Tabla 8. Cálculo ensayo 1 – caolín	57
Tabla 9. Ensayo 1 feldespato (500g) – método de Rosin-Rammler.....	58
Tabla 10. Cálculos del ensayo 2 por método Rosin Rammler-feldespato	59
Tabla 11. Ensayo 3 Arcilla (500g) – método de Rosin-Rammler.....	60
Tabla 12. Cálculos del ensayo 3 por método Rosin Rammler- arcilla.....	61
Tabla 13. Densidades calculadas en el laboratorio	62
Tabla 14. Humedad de los materiales cerámicos	66
Tabla 15. Identificación de muestra	68
Tabla 16. Dosificaciones + código y temperatura de 1200° C.....	75
Tabla 17. Identificación de colores con tabla de Munsell.....	78
Tabla 18. Resultados de reducción de humedad de Arcilla, Caolín y Feldespato	80
Tabla 19. Resultados la reducción de masa a 1200 °C periodo de 5 horas	82
Tabla 20. Resultados RCS de las 9 muestras	84
Tabla 21. Selección de briquetas con mayor adaptación al mercado.....	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa del Azuay.....	4
Figura 2. Ubicación de las parroquias del cantón Sígsig.....	5
Figura 3. Mapa del Sígsig.....	7
Figura 4. Mapa Topográfico	8
Figura 5. Mapa del uso del suelo	9
Figura 6. Enlace iónico con elementos de Na y Cl.....	11
Figura 7. Enlace covalente molécula de hidrogeno	12
Figura 8. Estructura de silicato	12
Figura 9. Estructuras de iones de silicatos formados a partir de SiO_4^{4-}	13
Figura 10. Clasificación de los materiales cerámicos en base a su aplicación.	14
Figura 11. Estructura del feldespato	24
Figura 12. Estructura del feldespato	24
Figura 13. Clasificación de feldespatos por composición y texturas.....	25
Figura 14. Uso del feldespato	26
Figura 15. Mineral de Caolín.....	27
Figura 16. Constitución del diagrama ternario	34
Figura 17. Composición fraccionaria en un punto dado del diagrama	35
Figura 18. a trayectoria paralela; b y c trayectorias perpendiculares; d y e trayectorias diagonales	36
Figura 19. Trayectoria transversal entre binarios Ac y Bc.	37
Figura 20. Corte Transversal de un Molino de bolas.....	39
Figura 21. Molino de barras.....	40

Figura 22. Secuencia de pasos de Slip-casting	42
Figura 23. Horno de combustión	43
Figura 24. Horno eléctrico	44
Figura 25. Horno solar	45
Figura 26. Tabla de Munsell	46
Figura 27. Esquema de un ensayo triaxial	47
Figura 28. Secado de los materiales cerámicos dentro del horno.no.	49
Figura 29. Materiales cerámicos para su respectiva caracterización	50
Figura 30. Bolas de alúmina	51
Figura 31. Molino de bolas para cerámica.....	52
Figura 32. Ensayo de granulometría de relave.	53
Figura 33. Tamizado de los materiales cerámicos en el agitador Ro-Top.....	54
Figura 34. Ensayo granulométrico.....	55
Figura 35. Curva granulométrica ensayo 1 por método Rosin Rammler– caolín.....	57
Figura 36. Curva granulométrica ensayo 2 por método Rosin Rammler– feldespato	59
Figura 37. Curva granulométrica ensayo 3 por método Rosin Rammler– arcilla	61
Figura 38. Probeta de vidrio de 250 ml	62
Figura 39. Peso de la muestra + la mitad de agua en la probeta	63
Figura 40. Peso de materia prima	64
Figura 41. Masa del material + agua	65
Figura 42. Amasado de la materia	66
Figura 43. Dosificaciones	69
Figura 44. Llenado de molde	70

Figura 45. Prensa de laboratorio de minas.....	71
Figura 46. Molde desarmable del laboratorio de minas.....	72
Figura 47. Briquetas dimensión.....	72
Figura 48. Briqueta compactada a 25 Newtons	73
Figura 49. Horno SAMO THERMAL.....	73
Figura 50. Diagrama ternario dosificaciones.....	76
Figura 51. Briquetas quemadas.....	77
Figura 52. Tabla de Munsell.....	78
Figura 53. Reducción de humedad	81
Figura 54. Reducción al secado	83
Figura 55. Compresión simple.....	85

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Producto terminado de los artesanos de Ludo	104
Anexo 2. Dosificaciones de la materia prima.....	105
Anexo 3. Densidades de cada materia prima.....	106
Anexo 4 . Briquetas después de la quema	107
Anexo 5. Briquetas con códigos antes de la quema.....	108
Anexo 6. Alfarero	109

Edgar Patricio Zamora Yumbra

Trabajo de Titulación

Ing. Fernando Tulio Valencia Guaricela

Abril, 2024

**“ELABORACIÓN DE BARBOTINA CON ARCILLAS DE LA PARROQUIA LUDO,
UTILIZANDO EL MÉTODO DE ANÁLISIS TERNARIO”**

INTRODUCCIÓN

La industria cerámica, un sector crucial en el desarrollo económico, se sustenta en una serie de procesos complejos que comienzan con la creación de una suspensión conocida como barbotina, resultado de la mezcla de diversas arcillas. Esta barbotina se emplea en una amplia gama de aplicaciones industriales y artesanales, desde la fabricación de cerámica para pisos hasta componentes electrónicos. En el contexto de la producción artesanal, es fundamental optimizar las dosificaciones de los materiales para garantizar la calidad del producto final y su competitividad en el mercado. En esta investigación, nos enfocamos en la elaboración de barbotina utilizando arcillas de la parroquia Ludo, en la provincia del Azuay, Ecuador, mediante el método de análisis ternario. El objetivo principal fue desarrollar una propuesta técnica que permita mejorar la calidad de la barbotina y optimizar el uso de la materia prima disponible.

En el primer capítulo se presenta una descripción detallada de la región donde se lleva a cabo el estudio, comenzando por la ubicación del cantón Sigsig en el sur de Ecuador y destacando la importancia de la parroquia Ludo como centro de actividad artesanal. Se analiza la geología y la geomorfología de la región, así como la disponibilidad de materiales de arcilla en la zona.

En el capítulo 2, se profundiza en los conceptos fundamentales relacionados con los materiales cerámicos, la arcilla y la elaboración de barbotina. Se examina el uso histórico de la arcilla en la cerámica, su composición, propiedades y clasificación. Además, se explora el método de análisis ternario y su aplicación en la formulación de barbotina. También se abordan temas como la trituración y molienda de los materiales, así como la importancia de los hornos en el proceso cerámico.

Además, se discuten aspectos cruciales del proceso cerámico, como la trituración y molienda de los materiales crudos para garantizar la granulometría adecuada, lo que es esencial para la calidad y uniformidad de los productos cerámicos finales. En este proceso, los hornos son cruciales porque son responsables de la cocción de las piezas, lo que determina sus propiedades finales, convirtiendo los materiales crudos en productos cerámicos utilizando calor controlado. Esto demuestra su importancia en todo el ciclo de producción cerámica.

En el tercer capítulo se detalla la metodología utilizada para caracterizar y procesar los materiales cerámicos, desde la preparación inicial hasta la elaboración y quema de las briquetas. Se describen los procedimientos para el secado, trituración, molienda, tamizado y formulación de las dosificaciones de barbotina. Además, se explican los ensayos realizados para determinar la humedad, densidad, reducción de masas y resistencia de las briquetas.

Se explican los ensayos para evaluar las diversas características de las briquetas cerámicas, así como los procedimientos de preparación de los materiales. Se describen las técnicas utilizadas para medir la humedad, la densidad, la reducción de masas y la resistencia de las briquetas, brindando una imagen completa de la calidad y el rendimiento de los materiales cerámicos fabricados. Estos ensayos proporcionan datos cruciales para la optimización de los

procesos de fabricación y la mejora continua de los productos cerámicos, contribuyendo al avance y la excelencia en la industria cerámica.

En el capítulo 4, se presentan y analizan los resultados obtenidos del estudio experimental. Se discuten las dosificaciones de los materiales cerámicos, los efectos de la quema en las briquetas y los resultados de los ensayos de compresión simple. Se identifican las briquetas que cumplen con los estándares de calidad y se ofrecen recomendaciones para futuras investigaciones.

El foco del análisis se centra en los resultados de los ensayos de compresión simple, los cuales proporcionan información crucial sobre la resistencia mecánica de las briquetas cerámicas. Se identifican aquellas briquetas que cumplen con los estándares de calidad establecidos, destacando las dosificaciones y condiciones de cocción que producen los mejores resultados. Finalmente, se ofrecen recomendaciones para futuras investigaciones, sugiriendo posibles áreas de mejora o aspectos que requieran una mayor exploración. Estas recomendaciones son fundamentales para orientar el desarrollo futuro de la investigación y contribuir al avance continuo en el campo de los materiales cerámicos.

En las conclusiones, se destacan los principales hallazgos del estudio, incluyendo la formulación exitosa de barbotina utilizando arcillas de la parroquia Ludo. Se ofrecen recomendaciones para mejorar los procesos de investigación y se sugieren áreas de investigación futuras, como la reutilización de materias primas cerámicas y la exploración de nuevas fuentes de arcilla con propiedades mejoradas.

CAPÍTULO 1

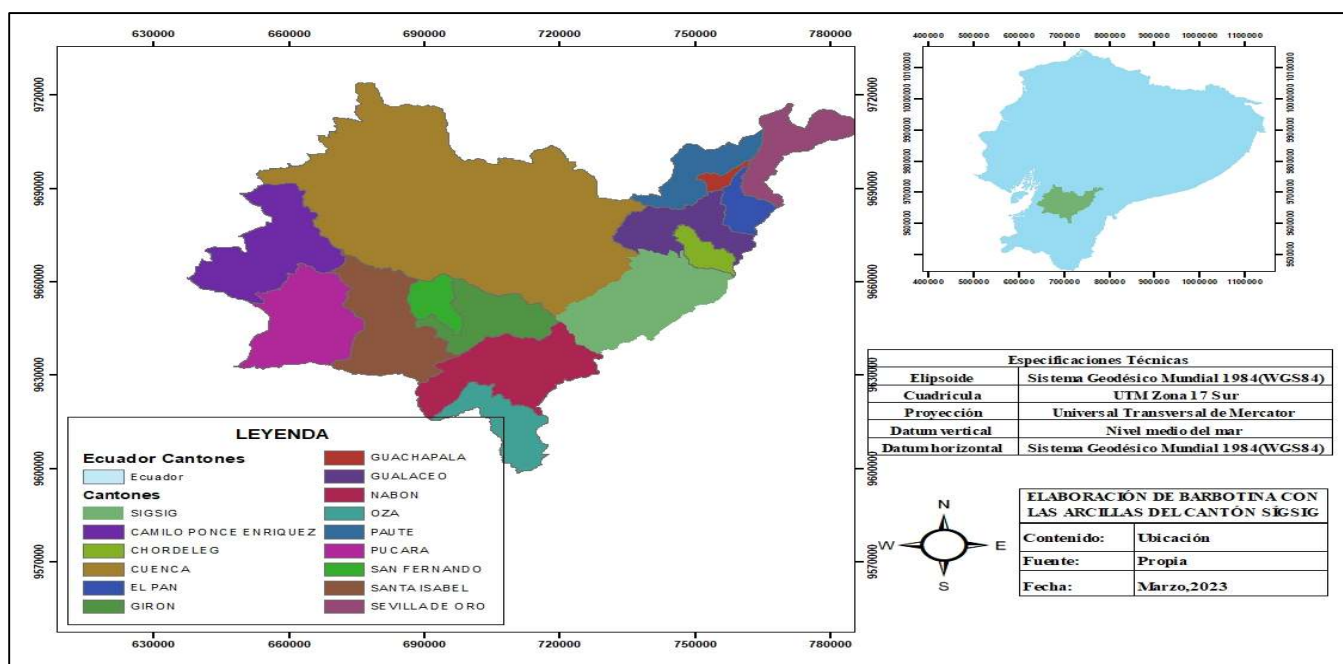
GENERALIDADES

1.1 Localización

El cantón Sígsig, ubicado en la zona meridional de Ecuador, comparte fronteras al norte con los cantones Gualaceo y Chordeleg, al sur con Gualaquiza y Nabón, al este con Gualaquiza, y al oeste con Cuenca y Girón. Con una superficie de 642.80 km² y una altitud de 2.498 metros sobre el nivel del mar, este territorio alberga siete parroquias rurales: Cútchil, Jima, Sam Bartolomé, San José de Raranga y Güel, con una población total de 26.910 habitantes.

Figura 1.

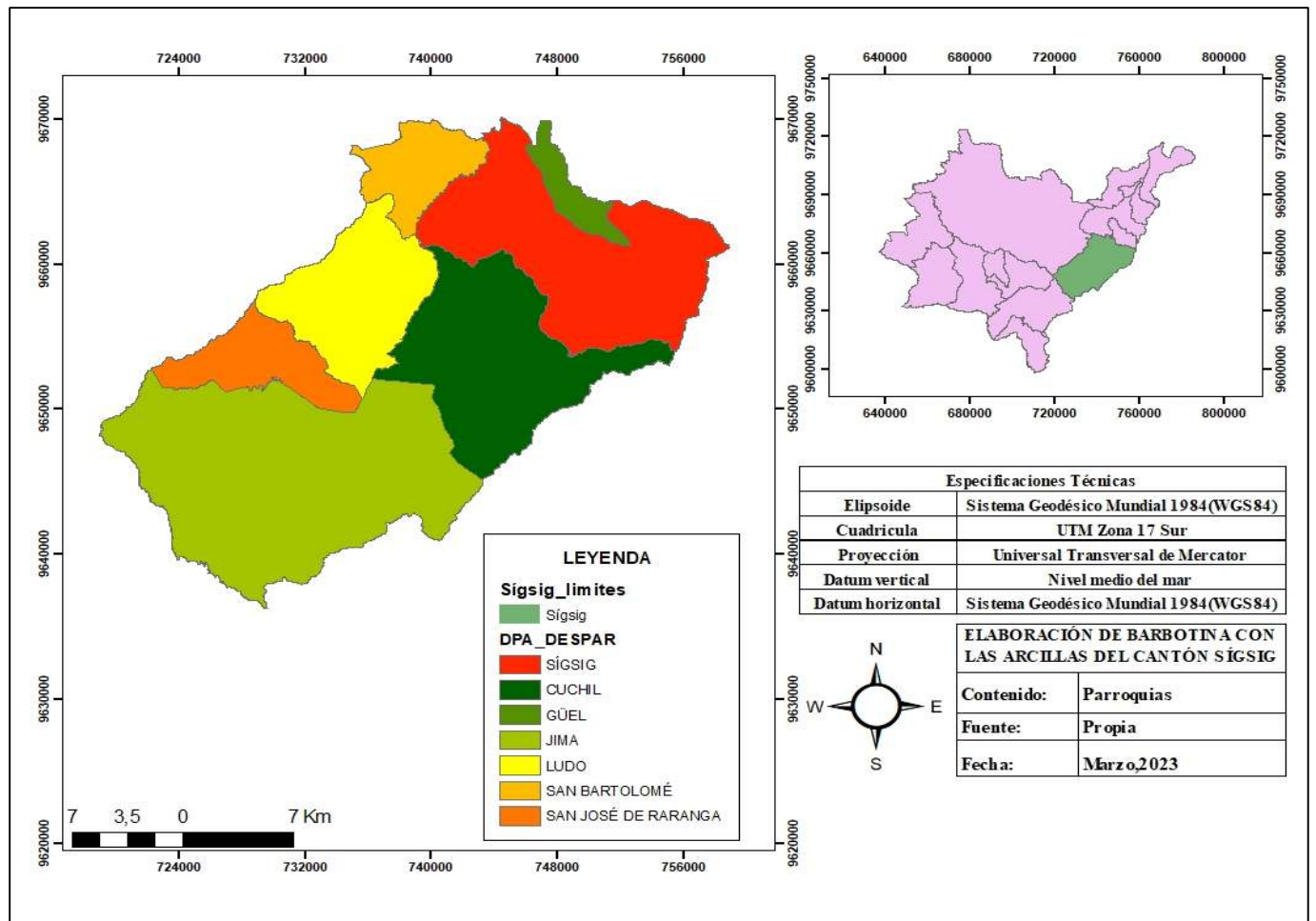
Mapa del Azuay



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.

Ubicación de las parroquias del cantón Sígsig.



Fuente: Elaboración propia.

El cantón Sígsig está conformado por una parroquia urbana y seis parroquias rurales

- Sígsig
- San Miguel de Jima
- Cúchil
- Güel
- San Bartolomé
- San José de Raranga

- Ludo

1.2 Génesis de las muestras

1.2.1 Ludo

La parroquia de Ludo está en el cantón Sígsig de la provincia de Azuay, a unos 60 km al sureste de la ciudad de Cuenca. Al norte, la parroquia San Bartolomé marca sus límites, mientras que, al sur, las parroquias San José de Raranga y Jima limitan su territorio. La parroquia de Cúthil se encuentra hacia el este, mientras que la parroquia de Quingeo se encuentra hacia el oeste. Ludo tiene una superficie alrededor de 69.9 km², lo que representa el 10.9 % del área total del cantón. Se encuentra en la región 17 Sur desde una perspectiva geográfica.

Las comunidades cercanas están conectadas por carreteras que atraviesan la parroquia Ludo. Aunque en su mayoría están revestidas de lastre, la mayoría de estas carreteras son adecuadas para vehículos. No obstante, es importante señalar que los caminos que conducen a Tucto y Yarigüiña son de tierra, lo que podría dificultar el acceso durante la temporada de lluvias.

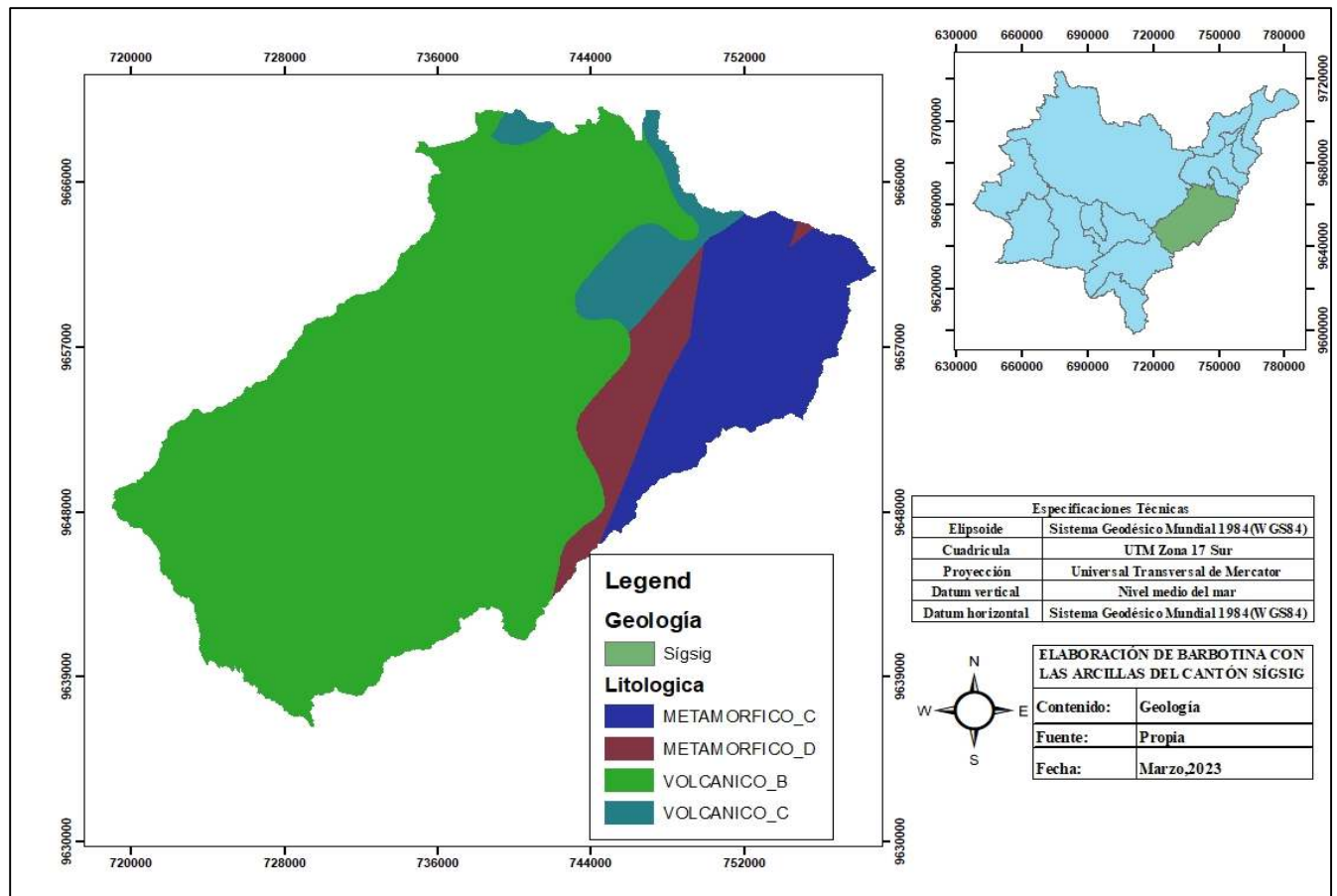
La parroquia no tiene organizaciones gremiales activas en términos sociales. Los artesanos locales trabajan por su cuenta, sin una estructura formal de asociación. Sin embargo, se han identificado varios desafíos que afectan al sector en la actualidad en el ámbito artesanal alfarero.

1.3 Geomorfología y geología

El análisis geológico del área revela que la parroquia de San Bartolomé, Ludo y Jima exhiben concentraciones significativas de roca volcánica, alcanzando niveles cercanos al 70%. Por otro lado, la zona central del cantón presenta predominantemente formaciones de roca metamórfica.

Figura 3.

Mapa del Sígsig



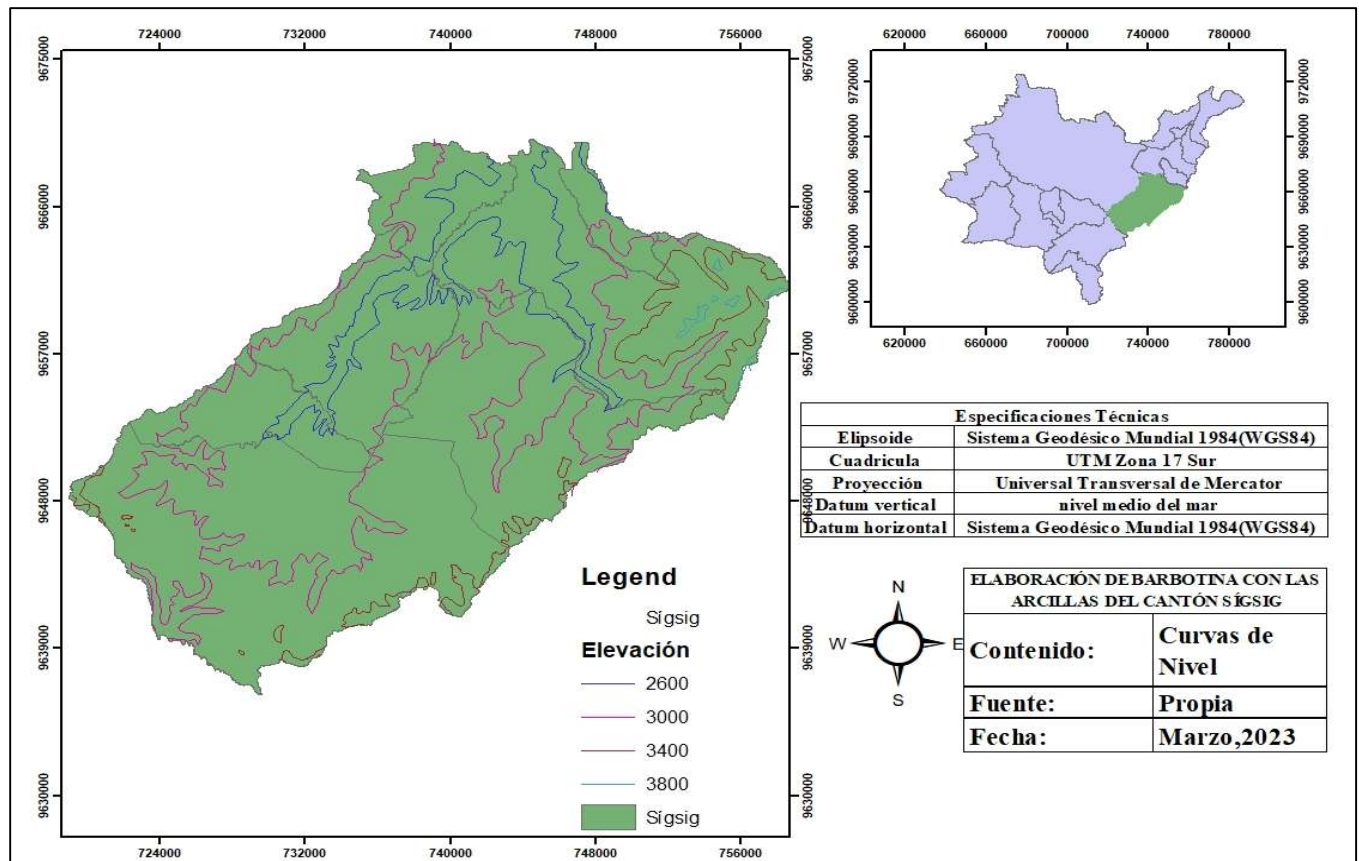
Fuente: Elaboración propia

1.4 Topografía

La inspección de las curvas de nivel muestra que las áreas de mayor altitud se encuentran en la parroquia de San Bartolomé, que está posicionada a unos 3000 metros sobre el nivel del mar, estableciéndola como la zona más elevada de la región. En contraste, la altitud disminuye progresivamente en dirección a la sede del cantón, alcanzando aproximadamente los 2600 metros sobre el nivel del mar. Este fenómeno indica un ascenso notable en la elevación a medida que se desplaza hacia el sureste de la región.

Figura 4.

Mapa Topográfico



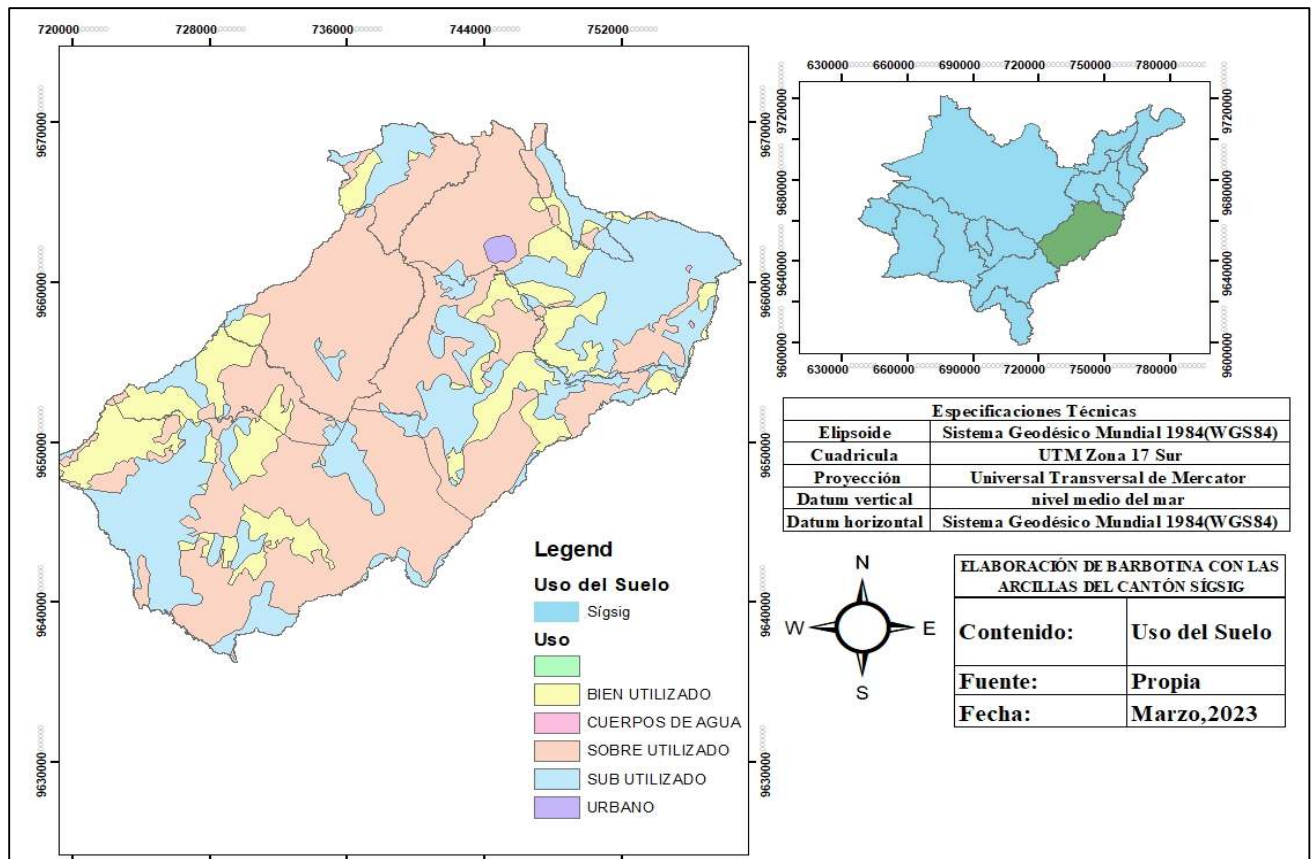
Fuente: Elaboración propia.

1.5 Uso de suelo

El análisis del mapa de uso del suelo revela que las áreas de mayor utilización se sitúan tanto al norte como al sur de la cabecera cantonal, mientras que existe una proporción significativa de suelo subutilizado en la zona nororiental de dicha cabecera. Es importante destacar que la parroquia con mayor aprovechamiento del suelo es San José de Raranga, donde predominan los cultivos de maíz y papa como principales actividades económicas.

Figura 5.

Mapa del uso del suelo



Fuente: Elaboración propia

1.6 Ubicación de los materiales de arcillas

Arcilla 1: Provincia del Azuay, cantón Sigsig, parroquia Ludo, sector Ludo.

Feldespatos 2: Provincia del Azuay, cantón Sigsig, parroquia Ludo, la mina Vintimilla.

Caolín 3: Provincia del Azuay, cantón Sigsig, parroquia Ludo, la mina Serenita.

CAPITULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 Materiales cerámicos

Desde los albores de la civilización, la interacción del ser humano con su entorno incluyó el uso de arcillas, componentes naturales del suelo, que al mezclarse con agua conformaban una pasta moldeable para la creación de utensilios domésticos. Esta práctica ancestral se remonta a tiempos inmemoriales y ha sido fundamental en el desarrollo de la cerámica. (Huerta, 2007).

El auge de la cerámica moderna tuvo su génesis en Italia durante el Renacimiento, extendiéndose luego por Europa y otras partes del mundo. La aparición de la porcelana en China marcó un hito significativo, ya que este material se convirtió en el más utilizado a nivel global, gracias a sus propiedades físico-químicas superiores y su capacidad para ser decorado con una amplia gama de colores y diseños, además de garantizar una alta calidad (Pinto, 2011).

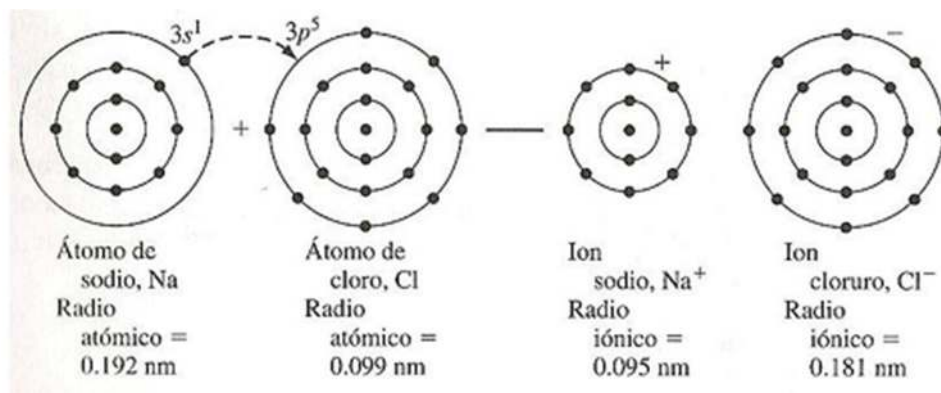
La cerámica tradicional, compuesta principalmente por arcillas, ha experimentado una evolución en los últimos años, incorporando cada vez más productos sintéticos en lugar de depender exclusivamente de materias primas naturales. Aunque su composición y estructura suelen ser más simples en comparación con la cerámica clásica, su costo tiende a ser más elevado debido a los procesos de fabricación y los materiales utilizados (Ferrandis, 1974).

Los materiales cerámicos se originan a partir de materias primas presentes en la corteza terrestre, que pasan por diversas etapas de procesamiento. Uno de estos procesos es la trituración, seguido de la mezcla con agua para compactar temporalmente las partículas y lograr la consistencia deseada para su manipulación. Este es solo uno de los pasos en la elaboración de productos cerámicos (Muñoz Portero, 2020).

Los materiales cerámicos, que suelen contener tanto metales como no metales, poseen propiedades especialmente útiles, como la capacidad de ser aislantes térmicos en entornos agresivos. La naturaleza vítrea de las cerámicas le confiere una resistencia al calor y a productos químicos, lo que las hace indispensables en una amplia variedad de aplicaciones industriales y domésticas (García M. A., 2005).

Figura 6.

Enlace iónico con elementos de Na y Cl

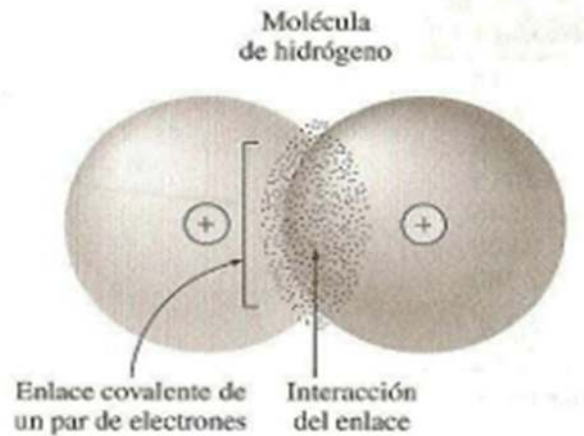


Fuente: (Lefevre, 2014).

Cuando dos átomos comparten un par de electrones, se forman enlaces covalentes simples que unen las energías de ambos átomos en el enlace covalente. Este proceso reduce la energía total del sistema, lo que aumenta la estabilidad de la unión formada. (Lefevre, 2014).

Figura 7.

Enlace covalente molécula de hidrogeno



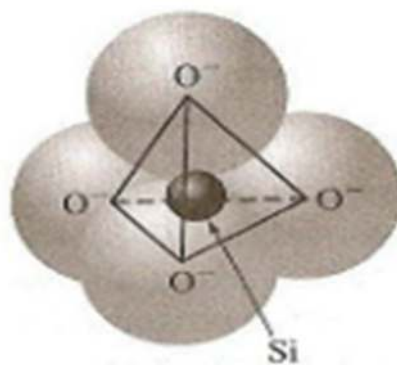
Fuente: (Lefevre, 2014).

2.1.1 Estructura de los materiales cerámicos

La disposición de los átomos, iones o moléculas, así como las fuerzas de enlace presentes, determinan principalmente la organización de los elementos. Los átomos o iones de un sólido se organizan de manera ordenada en el espacio siguiendo un patrón repetitivo, lo que conduce a la formación de una estructura sólida con un orden extendido. (Lefevre, 2014).

Figura 8.

Estructura de silicato



Fuente: (Lefevre, 2014)

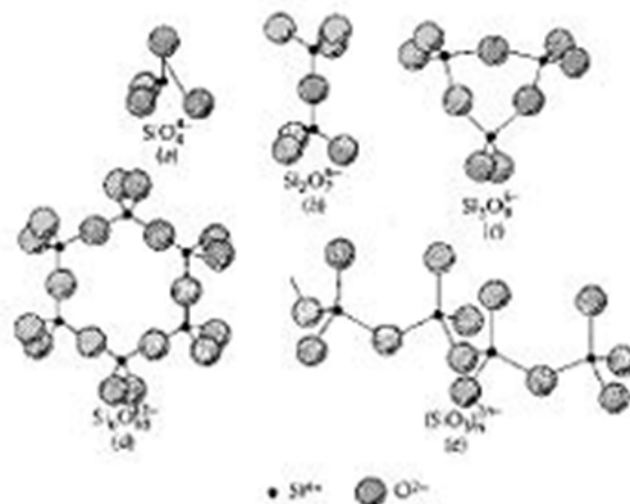
La microestructura juega un papel crucial en la determinación de propiedades fundamentales como la elasticidad, la conductividad térmica, la resistencia mecánica y la resistencia eléctrica. En el caso de los materiales cerámicos, la completa eliminación de la porosidad ha sido alcanzada solo en años recientes, lo que ha generado notables cambios en sus propiedades (Ferrandis, 1974).

En estructuras compuestas por más de dos elementos, la carga eléctrica de los iones desempeña un papel definitorio. En este contexto, los cationes ceden electrones con carga positiva, mientras que los aniones aceptan electrones con carga negativa (Donoso, 2007).

Es fundamental que los materiales cristalinos mantengan una carga eléctrica total neutra. Para lograr esta neutralidad, las cargas positivas de los cationes deben ser balanceadas por un número equivalente de cargas negativas provenientes de los aniones (Callister, 1995).

Figura 9.

Estructuras de iones de silicatos formados a partir de SiO_4^{4-}



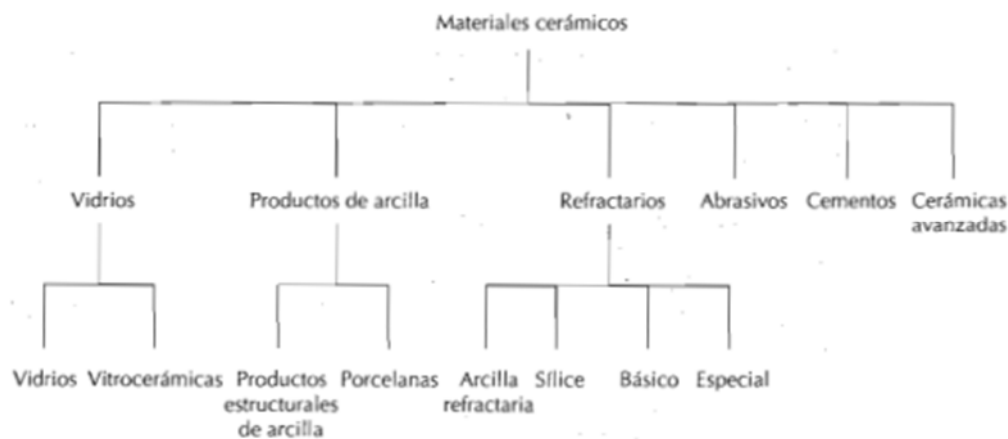
Fuente: (E. Donoso, S/F).

2.1.2 Clasificación de los materiales cerámicos

Los materiales cerámicos comprenden una variedad de compuestos cristalinos que incluyen tanto elementos metálicos como no metálicos, cuya composición varía según su uso específico. Según Callister (1995), estos materiales pueden clasificarse en diferentes categorías en función de sus aplicaciones particulares. Entre estas categorías se encuentran las cerámicas naturales, las transformadas y las sintéticas, cada una con características y propiedades distintivas.

Figura 10.

Clasificación de los materiales cerámicos en base a su aplicación.



Fuente: (William D. Callister, 1995)

2.1.3 Propiedades mecánicas de los materiales cerámicos

Los constituyentes del cuerpo cerámico están interconectados formando diversas estructuras, como la unión de componentes como el caolín, feldespato y arcillas. Estas estructuras están tejidas de manera compleja y pueden experimentar tensiones y compresiones que eventualmente pueden ocasionar fracturas. Según Lefevre (2014), esta circunstancia resalta la importancia de comprender a fondo los enlaces y la estructura de estos materiales,

especialmente en lo que respecta a su conformación y aplicación, para prevenir posibles fallos en el proceso.

Módulo de elasticidad: El módulo de elasticidad de un material se refiere a su capacidad para resistir deformaciones cuando se le aplica una carga. Esta deformación implica un cambio en la disposición de los átomos dentro de la estructura del material, y su naturaleza depende en gran medida de la resistencia de los enlaces atómicos presentes. Algunas deformaciones son reversibles, lo que significa que cuando cesa la carga aplicada, los átomos vuelven a su posición original, restaurando así la forma original del material (Rocha, 2012).

Resistencia a la compresión: La resistencia a la compresión de los materiales cerámicos puede verse afectada por diversos factores. Los materiales con porosidades, impurezas, grietas o alineamientos deficientes son más propensos a experimentar fallos bajo cargas de compresión. Además, el tamaño de grano también influye significativamente en esta resistencia: a menor tamaño de grano, mayor resistencia a la compresión (Rocha, 2012).

Comportamiento Refractario: Los materiales cerámicos con un comportamiento refractario son idóneos para ambientes de alta temperatura, ya que mantienen su integridad estructural sin fundirse ni reaccionar químicamente con otros materiales. Estos materiales son también excelentes aislantes térmicos, lo que les permite resistir condiciones extremas sin sufrir daños significativos. Su estructura única proporciona un excelente aislamiento térmico en aplicaciones de alta temperatura (Donoso, 2007).

Comportamiento eléctrico: En términos de comportamiento eléctrico, la mayoría de los materiales cerámicos no conducen electricidad, lo que los convierte en excelentes aislantes eléctricos. Esta propiedad los hace útiles en una variedad de aplicaciones donde se requiere evitar la conducción eléctrica, lo que amplía su utilidad en diversas industrias (Donoso, 2007).

2.1.4 Propiedades físico - químicas de los materiales cerámicos

Fluidificación: La fluidificación se refiere a la capacidad de un material arcilloso para mantenerse suspendido durante un período prolongado antes de depositarse. Este fenómeno puede ser influenciado por la adición de sustancias externas, lo que conduce a la floculación o defloculación, procesos comunes en la mayoría de las arcillas. Las arcillas con reacción alcalina ($\text{pH} > 7$) tienden a ser más fluidificantes, ya que la presencia de electrolitos básicos aumenta esta propiedad, mientras que los ácidos tienden a inducir la floculación (Morales, 2012).

Absorción: La absorción mecánica del suelo se refiere a su capacidad para retener mecánicamente sustancias a través de sus poros. Las partículas suspendidas en una sustancia que atraviesa el perfil del suelo son retenidas y puestas en suspensión por estos poros. La intensidad de esta absorción depende de la porosidad del suelo, el tamaño de los poros y la dispersión del material, siendo los suelos arcillosos y limosos los más absorbentes mecánicamente en comparación con los suelos arenosos y limosos (Kane2, 2022).

Contracción: Cuando el agua sale de un cuerpo sólido, se produce la contracción, que hace que las partículas se acerquen entre sí gradualmente hasta que entran en contacto y forman un solo cuerpo sólido. Cuando la contracción cesa, este proceso se detiene y la humedad presente en ese momento se conoce como "límite de retracción". (Galindo, 2017).

Resistencia: El enlace atómico de un material y su capacidad para resistir deformaciones bajo esfuerzos aplicados determinan su resistencia. Es posible corregir algunas deformaciones, lo que significa que cuando se elimina el esfuerzo aplicado, la estructura atómica vuelve a su estado original, lo que elimina la deformación. (Rocha, 2012).

2.1.5 Aplicaciones y Usos

La capacidad de los materiales cerámicos para soportar altas temperaturas y conducir corriente eléctrica es una de sus características principales. Algunos pueden actuar como almacenadores de cargas eléctricas debido a cambios internos en su polarización, a pesar de que la mayoría no son conductores eléctricos. (Rocha, 2012).

Alúmina (Al_2O_3): Es uno de los materiales cerámicos más utilizados y versátiles. Tal como lo explican Varguez et. al. (2016), sus propiedades cristalinas ofrecen potencial para una amplia gama de aplicaciones, incluyendo materiales de alta resistencia, cerámica electrónica y catalizadores. Su adaptabilidad y resistencia a altas temperaturas la hacen especialmente adecuada para entornos donde se requiere estabilidad térmica.

Sílice (SiO_2): Este se encuentra presente en la arena como compuesto de silicio y oxígeno, es uno de los elementos más abundantes en la corteza terrestre. El cuarzo, uno de los minerales más comunes, constituye una parte significativa de muchas arenas y areniscas. Los granos de cuarzo tienen una alta resistencia a la abrasión y al transporte, lo que los hace valiosos en una variedad de aplicaciones industriales y de construcción (Bocayá, 2007).

Tabla 1.

Clasificación funcional de cerámicos

Aplicación.	
Aeroespacial.	La NASA utiliza polvo de aluminio para cohetes impulsores. Aleaciones de aluminio, polímeros, silice para losetas de transbordadores.
Biomédicos.	Huesos y dientes hechos de hidroxiapatita de calcio , que es una cerámica natural. Diferentes polímeros, aleaciones de titanio y aceros inoxidables no magnéticos son materiales de los cuales se forman órganos artificiales. Los sistemas de imagen ultrasónica utilizan cerámicas conocidas como PZT (Titanato de Zirconio de Plomo) . Los imanes para las resonancias magnéticas utilizan superconductores metálicos de niobio con base de estaño .
Electrónicos.	Los semiconductores hechos de silicio se utilizan para fabricar circuitos integrados. El Titanato de bario (BaTiO₃) , el óxido de tantalio (Ta₂O₅) y otros materiales dieléctricos se utilizan para fabricar capacitores cerámicos. Los superconductores se utilizan para hacer imanes poderosos. El cobre, aluminio y otros metales se utilizan para hacer conducir la electricidad.
Tecnología energética y ambiental.	La industria nuclear utiliza óxido de uranio y plutonio como combustible, los vidrios y aceros inoxidables se utilizan en el manejo de materiales radioactivos y desechos radioactivos. La zirconia (ZrO₂) y polímeros se utilizan para baterías y celdas de combustible. La industria ólea y petrolera aplica zeolitas, alúmina como catalizadores. Para la purificación de líquidos y gases usan cerámicas y plásticos . En la energía solar se aprovecha el silicio amorfo .
Magnéticos.	Los discos duros de las computadoras emplea cerámicos, metálicos y poliméricos (aleaciones basadas en cobalto-platino-tantalio-cromo) . Para la fabricación de inductores y componentes para las comunicaciones inalámbricas se emplean ferritas magnéticas . En los núcleos de transformadores se sirve de aceros basados en hierro y silicio .
Fotónicos u ópticos.	La silice se utiliza para fabricar fibras ópticas. Los materiales ópticos se emplean para hacer detectores semiconductores y láseres que se utilizan en los sistemas de comunicación con fibra óptica. Alúmina (Al₂O₃) y los granates de itrio aluminio (YAG) se aprovecha para hacer láseres. Silicio amorfo se emplea en las celdas solares.
Inteligentes.	Siente y responde a los estímulos externos (Temperatura, presión, humedad), estos materiales se sirven de sensores y activadores que actúan ante el cambio e inician la acción. Titanato de Zirconio de Plomo : Al someterse a un esfuerzo genera un voltaje, generadores de chispa para estufas y sensores que detectan objetos debajo del agua. Aleaciones con memoria de forma, fluidos magnetoreológicos (responden al cambio de campo magnético), vidrios fotocromáticos .
Estructurales.	Diseñados para soportar grandes esfuerzos en los puentes y edificios, se utilizan aceros, concreto . Para la fabricación de automóviles se emplean aceros, plásticos y vidrios . En esta aplicación se necesita la combinación de resistencia, rigidez y tenacidad ante diferentes condiciones de temperatura y carga.

Fuente. (Anguiano, S/F)

2.2 Arcilla

La palabra "Arcilla" tiene un significado ambiguo porque se refiere a acumulaciones naturales creadas por los efectos de la meteorización fisicoquímica sobre la roca madre original. Estas acumulaciones están formadas por una variedad de minerales arcillosos, así como otros minerales asociados como cuarzo, feldespatos y carbonatos. (Díaz & Torrecillas, 2002).

La arcilla es una combinación de silicatos complejos hidratados compuestos por minerales de grano muy finos. Sus propiedades como humedad, plasticidad y dureza son atribuidas a sus partículas extremadamente pequeñas. (Pablo, 1964).

2.2.1 Tipos de arcillas

Arcillas montmorilloníticas: Se refiere a las arcillas cuyo componente principal es la montmorillonita. Las bentonitas y las tierras de Fuller son diferentes. Las primeras son montmorillonitas magnéticas con propiedades de decoración natural, mientras que las segundas son sódicas y experimentan un aumento de volumen al absorber fluidos no decolorantes, y las cálcicas no aumentan su volumen ni decoloran minerales. (Pablo, 1964).

Arcillas haloisitas: En comparación con los caolines, estas arcillas tienen características más plásticas y una mayor concentración de minerales. Ellos son interesantes para industrias como la refractaria, la cerámica y los catalizadores porque suelen estar relacionados con emisiones de gases sulfúricos. (Pablo, 1964).

2.2.2 Propiedades de las arcillas

Estabilidad Térmica: Las arcillas, al ser materiales compuestos por uno o más elementos, tienen una estabilidad global limitada por los compuestos que forman su estructura. Perguer et. al. (2000) explican que, al analizar la estabilidad de las arcillas, se deben considerar factores como la estabilidad de las láminas, que varía según el tipo de arcilla utilizado, como la rectorita ($>800^{\circ}\text{C}$) o la montmorillonita ($500 - 700^{\circ}\text{C}$)

Estabilidad de las láminas: Según Perguer et. al. (2000), cada tipo de arcilla tiene una capacidad máxima de estabilidad asociada a los cambios estructurales de sus láminas. Por ejemplo, la rectorita muestra una estabilidad a temperaturas superiores a 800°C , mientras que la montmorillonita mantiene su estabilidad en un rango de 500 a 700°C

Estabilidad del pilar: Perguer et. al. (2000) mencionan que los pilares utilizados en arcillas son estables a temperaturas superiores a los 500°C . Sin embargo, esta estabilidad puede ser modificada mediante el uso de pilares mixtos, como en el caso del Al^{+3} y Ga^{+3} .

Acidez: Al respecto, Perguer et. al. (2000) defienden que la acidez en las arcillas puede manifestarse como acidez Brönsted, que resulta en la desconexión de moléculas de agua adsorbidas, o como acidez de Lewis, que surge de la baja coordinación de átomos de Al o Mg en el borde del cristal y de la presencia de cationes de intercambio. Entre 300 y 500°C, se observa una dispersión de esta acidez, posiblemente debido a la pérdida total de moléculas de agua.

2.2.3 Aplicaciones y usos de la arcilla

Arcillas refractarias: Estas arcillas tienen un punto de reblandecimiento alto y un cono perimétrico que supera los 1600 °C. Dependiendo de las características específicas de las arcillas, su composición incluye principalmente caolinita y pequeñas cantidades de cuarzo, mica y óxido de hierro. (Pablo, 1964).

Arcillas de alta alúmina: Son arcillas cuya mineralogía incluye hidratos de aluminio y contienen una cantidad significativa de alúmina, generalmente superior al 39,6%. Estas arcillas son ideales para aplicaciones en industrias cerámicas y refractarias. (Pablo, 1964).

Arcillas de liga: Se refieren a arcillas de grano fino y alta plasticidad que adquieren propiedades refractarias cuando se combinan con pastas cerámicas u otras arcillas. Además, se utilizan como plásticos para crear mezclas moldeables en sólidos, que se mezclan con arena de cuarzo con frecuencia. Tienen una composición y mineralogía muy variada. (Pablo, 1964).

Arcillas para ladrillos: Aunque son impuras y de plasticidad media, estas arcillas son útiles para la fabricación de ladrillos. Su color puede ser blanco o rojo, y su composición y mineralogía pueden variar mucho. Por lo general, contienen alrededor del 12% de alcalinotérreos, un 5% de alcalinos y un 8% de óxido férrico. (Pablo, 1964).

Arcillas plásticas, Bola o Ball Clays: Son arcillas sedimentarias que tienen un origen similar al de los caolines, pero se trasladaron a lugares diferentes a dónde se formaron

originalmente. Como resultado de este proceso de transporte, aumentará su plasticidad y disminuirá su tamaño de partícula. (Pablo, 1964).

Las arcillas son esenciales para la industria cerámica debido a su versatilidad para una variedad de usos. Sin embargo, algunas impurezas, como el hierro en forma de óxidos e hidróxidos, pueden hacer que no sean útiles debido a la coloración café-beige que producen, que varía según el porcentaje de contenido mineral presente.

2.3 Feldespato

Se trata de un tipo de fundente compuesto principalmente por cuarzo y arenas silíceas, los cuales tienen una acción mayormente inerte en la mezcla. Además, pueden incluir minerales como calcita y dolomita, los cuales pueden tener propiedades reactivas. Asimismo, ciertos óxidos como los de hierro, cobre, cobalto, manganeso y titanio, que suelen actuar tanto como pigmentos como fundentes en ciertos casos (Galán & Aparicio, 2006).

Estos fundentes suelen presentarse en formas cristalinas, predominantemente monoclinicas o triclinicas, y suelen tener colores que varían desde el blanco hasta tonalidades muy claras. Se originan en abundancia en la corteza terrestre y experimentan un proceso de deterioro conocido como caolinización a lo largo del tiempo (Lumitos, 2008).

Los feldespatos desempeñan un papel esencial en la formulación de barbotinas, siendo fundamentales para la fabricación de una amplia variedad de artículos de cerámica debido a sus propiedades y capacidad de contribuir a las características deseadas de los productos finales.

2.3.1 Petrografía de los feldespatos

Las rocas detríticas se componen mayormente de minerales arcillosos que se forman a partir de procesos de meteorización química de silicatos, especialmente de los feldespatos, que

son minerales de grano fino y poseen una estructura laminar. Además, la presencia de feldespatos y minerales de mica indica un proceso de erosión y transporte rápido (Biogeo, 2014).

2.3.2 Tipos de feldespatos

En la industria, la caracterización de los feldespatos, tal como los explican Sánchez et. al. (1991), es relativamente sencilla en términos de fusión y blancura. Sin embargo, su composición química es estructuralmente compleja, ya sea en forma de monocristales o en redes tridimensionales de tetraedros con simetría monoclinica.

Por otra parte, Sánchez et. al. (1991) mencionan que los feldespatos alcalinos exhiben una amplia gama de composiciones y soluciones sólidas, presentando texturas variables y una jerarquía de ordenamientos estructurales en su conformación.

Tabla 2.

Tipo de feldespatos

E S P E C I E S		C. Q.
Na	K	
MA=Monalbita AA=Analbita HA=Albita Alta LA=Albita Baja	HS=Sanidina Alta LS=Sanidina Baja OR=Ortosa LM=Microclina Baja IM=Microclina Intermedia (AD=Adularia)	Ab=Feldespato Na An=Feldespato Ca Or=Feldespato K

Fuente: (Sánchez, García, & Lopez, 1991)

Tabla 3.

Clasificación de feldespato

CLASIFICACION DE FELDESPATOS ALCALINOS (Kroll, 1971; Ribbe, 1983, 1984)			
Composición química	Estructura	Nombre de la especie	Distribución Si - Al
K	C2/m	Sanidina Alta (HS)	$0.5 < 2t_1 < 0.666$
		Sanidina Baja (LS)	$0.666 < 2t_1 < 0.74$
		Ortosa (OR)	$0.74 < 2t_1 < 1.0$
	C $\bar{1}$	Microclina Baja (LM)	$t_{1o} = 1.0; t_{1m} = t_{2o} = t_{2m} \approx 0.0$
		Microclina Intermedia (IM)	$t_{1o} > t_{2m} > t_{2o} \approx t_{1m}$
Na	C $\bar{1}$	Analbita (AA)	$t_{1o} = t_{1m} = t_{2o} = t_{2m} = 0.25$ (desordenada) o $t_{1o} = t_{1m} > t_{2o} = t_{2m}$ (parcialmente desordenada)
		Albita Intermedia (IA)	$t_{1o} \sim t_{1m} \approx t_{2o} \approx t_{2m} \approx 0.0$
		Albita Baja (LA)	$t_{1o} \approx 1.0; t_{1m} \approx t_{2o} \approx t_{2m} \approx 0.0$
	C2/m	Monalbita (MA)	$t_1 = t_2 = 0.25; 2t_1 = 2t_2 = 0.5$

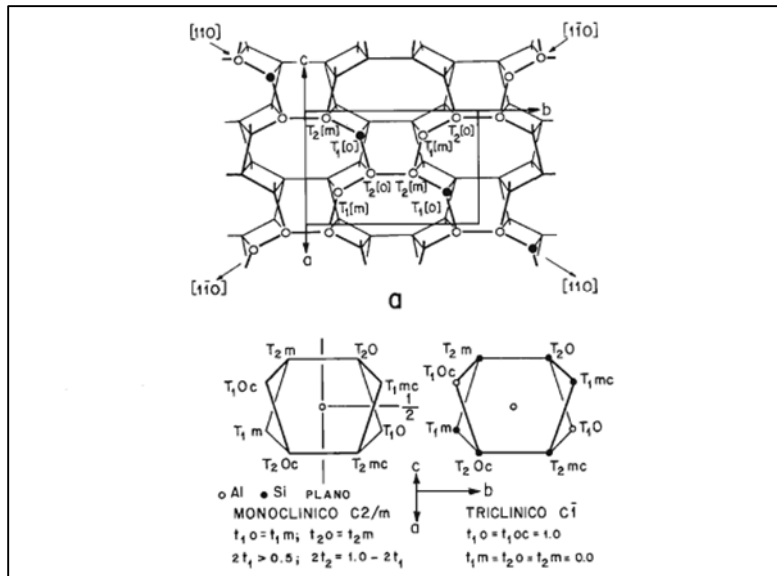
Fuente: (Sánchez Muñoz & García Guinea, 1992)

2.3.3 Propiedades físicas y químicas de los feldespatos

Para Sánchez et. al. (1991), los feldespatos son aluminosilicatos que se caracterizan por su estructura compuesta de tetraedros SiO₄ y AlO₄. Esta estructura tridimensional mantiene un equilibrio electrostático gracias a la presencia de cationes alojados en huecos de coordinación irregular, conformando una estructura con simetría monoclinica u ortorrómbica. En el ámbito industrial de la cerámica, los feldespatos alcalinos, que contienen potasio y sodio, son de particular interés debido a sus propiedades intermedias.

Figura 11.

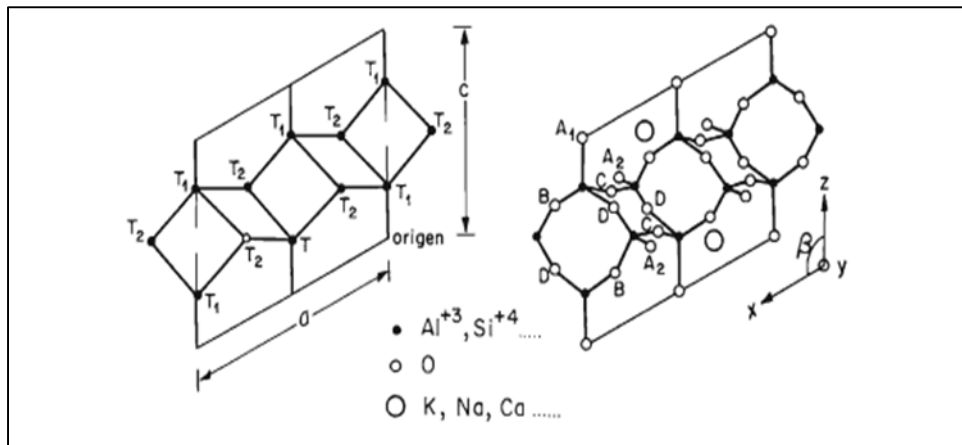
Estructura del feldespato



Fuente: (Sánchez Muñoz & García Guinea, 1992)

Figura 12.

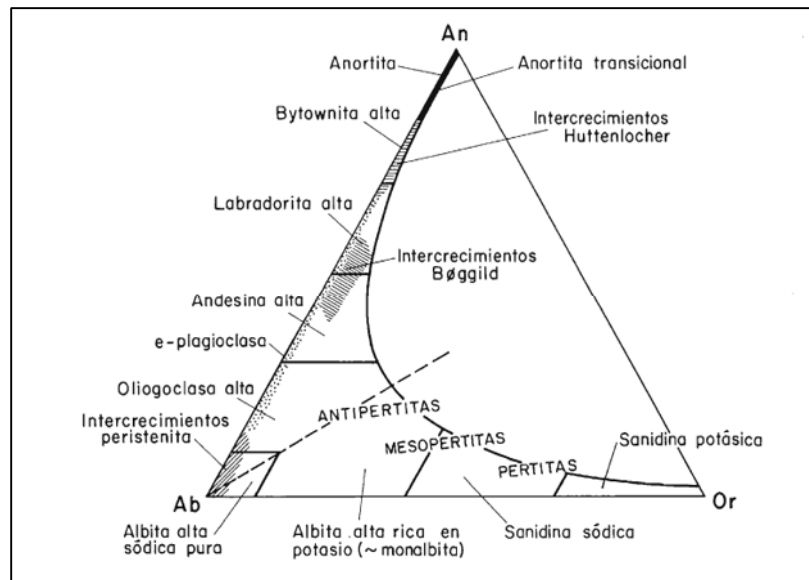
Estructura del feldespato



Fuente: (Sánchez Muñoz & García Guinea, 1992)

Figura 13.

Clasificación de feldespatos por composición y texturas



Fuente: (Sánchez Muñoz & García Guinea, 1992)

2.3.4 Aplicaciones y usos

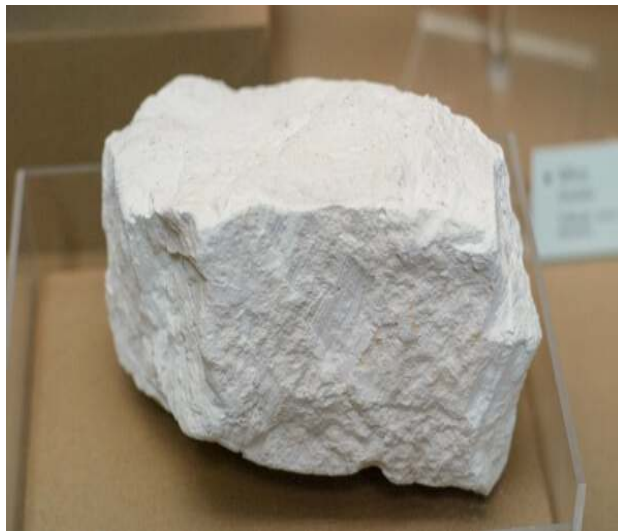
Sánchez et. al. (1991) sostienen que, en entornos laborales, los feldespatos y sus derivados encuentran su principal aplicación en la industria cerámica, representando aproximadamente el 35% de su uso total. Este empleo abarca una variedad de productos, incluyendo gres, loza, porcelana, refractarios y vidrio. Además, aproximadamente el 60% restante de la producción se destina a otros fines, como la fabricación de contenedores para materiales radioactivos, feldespatos coloreados, alimentos para aves de corral y fungicidas fertilizantes para semilleros de vivero.

Feldespatos de 200 mallas para cerámicas: Este es especialmente empleado, según Sánchez et. al. (1991), en la elaboración de cerámica blanca, lo que permite la fabricación de productos sanitarios, azulejos y aislantes electrónicos, entre otros

El caolín se distingue por su color blanco, aunque puede tener una variedad de tonalidades debido a la presencia de impurezas. La plasticidad del caolín es de baja a moderada, y su característica principal es su blanco. Esta arcilla se puede encontrar en cantidades significativas en varios lugares. (Olvera & Hernández, 2014).

Figura 15.

Mineral de Caolín



Fuente: (Arteologic, 2023)

En el ámbito industrial, tal como lo sostienen De la Torre et. al. (2011), las arcillas se componen de agregados de silicatos de aluminio hidratados, lo que las convierte en coloides conformados por partículas de grano fino. Sus propiedades fisicoquímicas determinan una amplia gama de aplicaciones en diversos sectores.

El tamaño de las partículas, en palabras de Guillen et. al. (2012), juega un papel crucial en la fluidez de las pastas utilizadas en la industria cerámica. Además, las impurezas mineralógicas presentes en los caolines afectan aspectos como la refractariedad, la sensibilidad al secado, la estabilidad térmica y las transformaciones de fase durante el proceso de quema

2.4.1 Petrografía de los caolines

En cuanto a la petrografía de los caolines, se identifican composiciones que incluyen caolinita, nacrita, dickita y silicatos de alúmina, tanto puros como hidratados. Estos minerales, derivados de procesos de formación específicos, conforman la estructura arcillosa. Una propiedad fundamental de la arcilla cerámica es su capacidad de moldeo facilitada por la presencia de humedad, la cual al ser sometida a altas temperaturas se transforma en una sustancia sólida (Oaxaca, 2004).

2.4.2 Tipos de caolines

Los caolines primarios: Los caolines primarios se caracterizan por formarse "In situ", es decir, prácticamente sin transporte físico, surgiendo como depósitos autóctonos derivados de la roca madre original. Factores como el clima desempeñan un papel crucial en este proceso, al igual que la temperatura, que influye significativamente en el desarrollo del perfil de la corteza terrestre (Díaz & Torrecillas, 2002).

Yacimientos de caolín residuales: Se originan en la corteza de meteorización de rocas feldespáticas presentes en granitos y rocas metamórficas. Estos yacimientos suelen encontrarse en climas tropicales húmedos con abundantes precipitaciones. Con el tiempo, estas acumulaciones pueden transformarse en depósitos bauxíticos.

Caolines hidrotermales: Se encuentran, tal como lo explican Torres et. al. (2010), principalmente en rocas ácidas ígneas y metamórficas, formándose a través de la circulación de fluidos calientes a lo largo de fracturas geológicas o durante el lento enfriamiento de las masas. Debido a sus propiedades, estos materiales son altamente valorados en la industria cerámica

Caolines secundarios: Constituyen el grupo más abundante entre los caolines y tienen su origen en procesos erosivos, donde materiales de diversas fuentes son transportados a cuencas sedimentarias y se precipitan mediante varios mecanismos.

Arenas caoliníferas: Son arenas que contienen minerales del grupo del caolín, con una composición típica que incluye alrededor del 80% de cuarzo y un 20% de minerales caoliníticos, con menores proporciones de feldspatos y micas. Estas arenas son utilizadas en aplicaciones como el estucado, la industria cerámica y la producción de papel (Torres et. al., 2010).

Arcillas “Ball Clay”: Las arcillas "Ball Clay" son una mezcla de grano muy fino compuesta principalmente por caolinita, junto con presencia de micas, cloritas, cuarzo y materia orgánica. Estas arcillas son altamente plásticas y su color natural puede variar debido a la materia orgánica presente. Son muy valoradas en la industria cerámica por su plasticidad y color blanco tras la cocción (Torres et. al., 2010).

Arcillas “Refractory Clay”: Son conocidas por su alta concentración de alúmina y su tratamiento térmico previo antes de su uso en aplicaciones cerámico-refractarias. Estas arcillas se caracterizan por tener un alto contenido de alúmina y bajos niveles de impurezas, lo que las hace adecuadas para usos específicos en la industria (Torres et. al., 2010).

Tabla 4.

Composición química de los caolines.

<i>Composición (%)</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
SiO ₂	47,9	69,0	45,5	62,5	65,4
Al ₂ O ₃	37,0	18,2	38,9	28,5	22,8
Fe ₂ O ₃	1,50	1,69	1,30	0,77	0,7
Pérdida al fuego	13,3	3,22	14,0	5,17	9,2

Fuente: (Torres, De Gutiérrez, Castelló, & Vizcayno, 2010)

Tabla 5.

Características del cemento utilizado.

<i>Composición Química, (%)</i>	
SiO ₂	21,14
Al ₂ O ₃	4,52
Fe ₂ O ₃	0,30
CaO	66,47
MgO	0,62
SO ₃	2,64
R.I.	0,23
Pérdida por Ignición	2,95
Finura Blaine, m ² /Kg	527,7
Composición Potencial:	
C ₃ S: 63,8, C ₂ S: 12,6, C ₃ A: 11,0, C ₄ AF: 1,0	

Fuente: (Torres, De Gutiérrez, Castelló, & Vizcayno, 2010)

2.4.3 Aplicaciones y usos

Las propiedades de las arcillas varían significativamente, de hecho, Yaguatin et. al. (2016) mencionan que están estrechamente relacionadas con la variación en su composición y, sobre todo, su estructura mineral. Una de las características principales del caolín es su amplia gama de aplicaciones, que abarcan diversos sectores industriales (Mitrović y Zdujić, 2014).

Estas aplicaciones incluyen la industria cerámica, el cemento y una variedad de industrias como papel, pintura, pesticidas, farmacéuticos y cosméticos, tal como lo explican Guillen et. al. (2012).

Papel: El caolín desempeña un papel crucial al mejorar la calidad de impresión, la blancura y suavidad de la superficie de la hoja. Además, se utiliza como relleno en las aberturas de la hoja, mejorando la afinidad de la tinta y permitiendo impresiones fotográficas nítidas y colores vibrantes (Olvera & Hernández, 2014).

Pintura: Se emplean alrededor de seiscientos mil toneladas anualmente como extensores de pigmentos. Los componentes arcillosos del caolín pueden modular el brillo y las propiedades de flujo de la pintura (Olvera & Hernández, 2014).

Cerámicos: Dentro de la industria cerámica, el caolín es un componente esencial en una amplia variedad de productos, que van desde vajillas y sanitarios hasta cerámica y refractarios (Murray, 2007). Los caolines son fundamentales en la producción cerámica, ya que, mediante procesos de alta temperatura, sus propiedades se transforman, influyendo en las características finales de los productos (Olvera & Hernández, 2014).

Caucho: El caolín se utiliza como pigmento debido a su rentabilidad y su capacidad para generar un color blanco confiable. Además, actúa como relleno, mejorando la resistencia, abrasión y rigidez del caucho sintético o natural (Olvera & Hernández, 2014).

Plásticos: El caolín se emplea para producir acabados superficiales lisos, reduciendo el agrietamiento y la contracción durante el curado. Esto proporciona estabilidad térmica, mejora la resistencia al ataque químico y reduce el desgaste (Olvera & Hernández, 2014).

2.5 Barbotina

Se trata de un compuesto viscoso resultante de la combinación de diferentes tipos de arcillas, especialmente diseñado para el moldeado de piezas cerámicas, con propiedades fisicoquímicas específicas adaptadas a las necesidades de la industria cerámica o de los artesanos involucrados en el proceso (González, 2009).

La barbotina es una mezcla que consiste principalmente en arcillas y agua, presentando una textura casi líquida cuya consistencia puede variar según su aplicación. En el ámbito artesanal, se utiliza como un aglutinante para unir piezas y formar cuerpos sólidos, mientras que en la industria cerámica se conoce como "Barbotina de colada", empleada para llenar moldes de yeso y producir piezas en serie (Diez Productos Cerámicos, S.L, 2023)

2.5.1 Tipo de barbotinas

Barbotinas industriales: Estas barbotinas contienen aditivos que aceleran el tiempo de secado, lo que aumenta la productividad al permitir el vaciado de nuevos moldes de manera rápida. Actualmente, la tecnología empleada facilita la producción continua a lo largo de 24 horas, con un enfoque en la aplicación de presión para acelerar la producción de cuerpos cerámicos en un tiempo reducido (Rodríguez, 2002).

Funcionamiento de la barbotina: El funcionamiento de la barbotina es crucial en la producción en masa, ya que su sedimentación se basa en la selección de un sistema adecuado que incluye polvo, solvente y dispersante, garantizando una adecuada compatibilidad entre los componentes (Nava & Aguilar, 2012).

Una de las funciones clave de la barbotina es la capacidad de formar capas delgadas, lo que permite su aplicación en procesos serigráficos. Entre las técnicas utilizadas para producir estas capas delgadas a gran escala se encuentra el vaciado de cintas, a pesar de su límite de espesor de 3.5 μm , que representa el valor práctico máximo para esta técnica. Espesores inferiores a este límite se considerarían ultradelgados (Nava & Aguilar, 2012).

2.5.2 Aplicación y uso de barbotina

En el ámbito tecnológico, Muñoz et. al. (2007) explican que la barbotina encuentra una amplia gama de aplicaciones tanto en la producción cerámica tradicional como en proyectos innovadores. Se trata de un mineral complejo cuyas láminas se combinan para formar diversas estructuras arcillosas, generando así placas de minerales arcillosos.

En la industria de la construcción, Useche et. al. (2009) destacan que la barbotina desempeña un papel crucial como material base para la fabricación de ladrillos, tejas, tubos, entre otros elementos. Estos productos deben cumplir con especificaciones rigurosas para garantizar su durabilidad y adecuado desempeño en su aplicación.

Una de las características destacadas de la barbotina es su plasticidad, lo que confiere resistencia al ser sometida a temperaturas superiores a los 800°C, requisito fundamental en diversos procesos industriales como la producción de cemento, papel y productos químicos (Useche et. al., 2009).

2.5.3 Parámetros de barbotina

Humedad: Desempeña un papel crucial en los procesos hidrológicos dentro de las cuencas. Factores como la captación, escurrimiento e infiltración del agua están influenciados por las características físicas del suelo, su tipo, densidad de vegetación, pendiente, orientación y disponibilidad de radiación solar, así lo explican Martínez et. al. (2010).

2.6 Análisis ternario

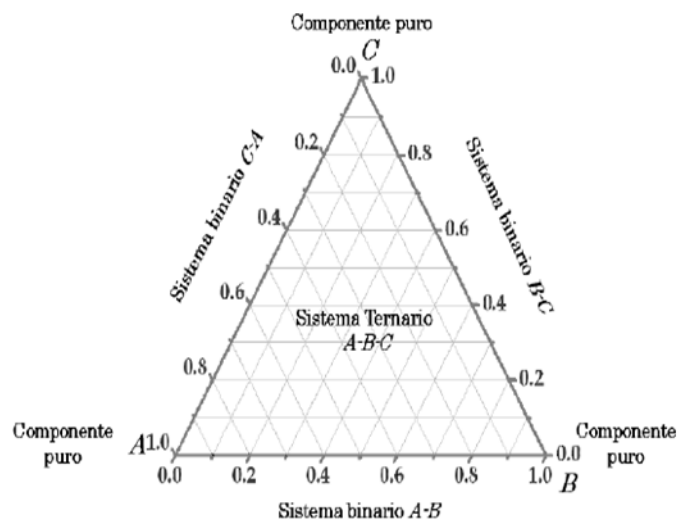
El análisis ternario es una propiedad fisicoquímica que se aplica en sistemas de tres componentes, siendo los diagramas ternarios una herramienta común en ingeniería. Estos diagramas permiten estudiar cambios en índices como la refracción, viscosidad, estructura, textura y color en relación con la proporción de los componentes del sistema ternario. Son utilizados para mostrar el equilibrio entre diversas fases en sistemas líquido-líquido y sólido-sólido, indicando zonas de solubilidad y segregación (Novelo & Gracia, 2010).

En términos geológicos, los diagramas ternarios se emplean para caracterizar la textura y composición de suelos (Vila-Sánchez, et al., 2004; Nieva, et al., 2001, 2003). Las distintas composiciones producen diversas presentaciones, establecidas en propiedades de diagramas de equilibrio de fases, como las trayectorias más frecuentes en el espacio ternario. Estas trayectorias son útiles para la formulación y diseño de experimentos geológicos (Novelo & Gracia, 2010).

2.6.1 Aplicaciones y usos

Figura 16.

Constitución del diagrama ternario



Fuente: (Novelo & Gracia, Trayectorias en diagramas ternarios, 2010)

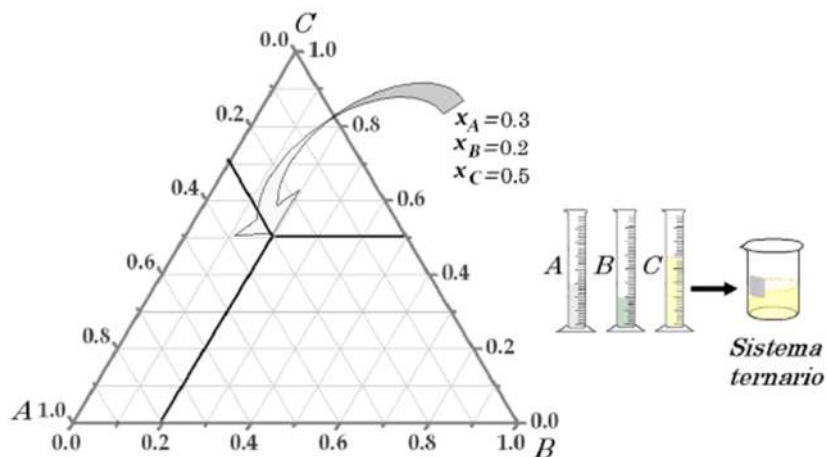
En la figura 16, los vértices A , B y C indican el 100 % de cada componente.

- La trayectoria $A \rightarrow B$ indica que la proporción del componente A disminuye mientras que la de B aumenta
- La trayectoria $B \rightarrow C$ muestra que la sustancia B disminuye y C aumenta.
- La trayectoria $C \rightarrow A$ indica un aumento del componente A o la disminución del componente C .

Cualquier punto al interior del diagrama representa la composición global del sistema ternario en donde la composición, expresada en masa o volumen de cada componente, se denota en términos porcentuales (figura 16). La suma de las tres fracciones es expresada por peso o volumen.

Figura 17.

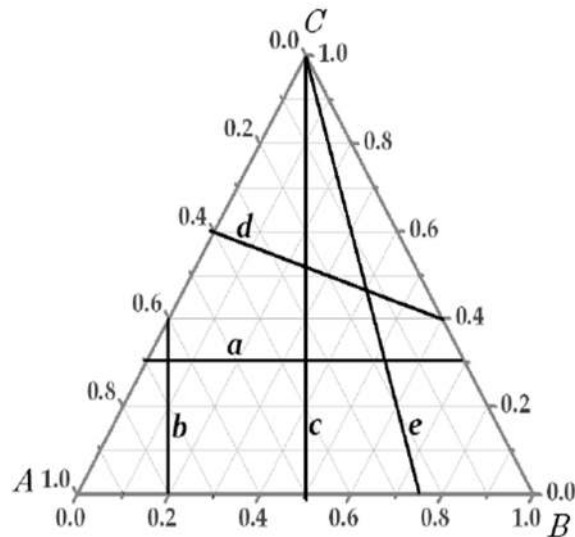
Composición fraccionaria en un punto dado del diagrama



Fuente: (Novelo & Gracia, Trayectorias en diagramas ternarios, 2010)

Figura 18.

a trayectoria paralela; *b* y *c* trayectorias perpendiculares; *d* y *e* trayectorias diagonales



Fuente: (Novelo & Gracia, Trayectorias en diagramas ternarios, 2010)

Trayectorias en el diagrama ternario: En el contexto de los diagramas ternarios, es posible trazar diversas trayectorias lineales para analizar las propiedades de un sistema en función de la proporción de sus componentes (Figura 17). Estas trayectorias permiten identificar las regiones donde la viscosidad u otras características varían para un mismo sistema.

Trayectoria paralela: La cual se caracteriza por ser una línea que se desplaza en paralelo hacia cualquiera de los lados del diagrama ternario. Esta trayectoria indica una proporción constante del componente opuesto a la base, lo que significa que la composición de este componente permanece invariable a lo largo de la línea trazada.

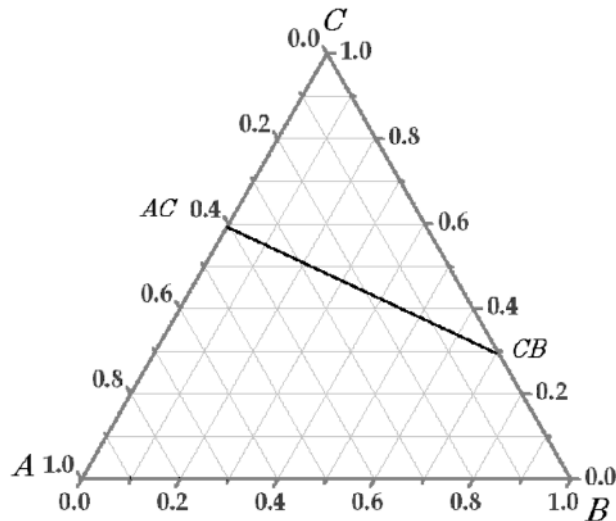
Trayectoria diagonal: Se define como aquella que parte de un punto en una de las bases del diagrama y se dirige hacia el vértice opuesto. Esta trayectoria diagonal o transversal atraviesa el diagrama de un extremo a otro, permitiendo visualizar cómo varían las propiedades del sistema a medida que se desplaza a lo largo de esta línea.

Otras trayectorias: Trayectoria diagonal entre binarios.

Sea una trayectoria lineal entre los binarios **AC** y **BC** como muestra la figura 19.

Figura 19.

*Trayectoria transversal entre binarios **Ac** y **Bc***



Fuente: (Novelo & Gracia, Trayectorias en diagramas ternarios, 2010)

La creación de mezclas de arcillas en la industria cerámica implica un proceso que puede guiarse mediante un estudio de composición utilizando un diagrama ternario. Este método permite determinar la proporción ideal de los componentes para lograr las características de apariencia deseadas en el producto final. Además, si se incorpora alguna otra sustancia en la mezcla, el sistema puede ser ternario o multicomponente.

2.7. Molino

Según Rivera et al. (2012), el uso de cuerpos molidores en molinos comenzó en la segunda década del siglo XX, cuando se comenzó a calcular las trayectorias de una bola en el interior de un molino rotatorio. Aunque este cálculo se basó en un simple equilibrio de fuerzas, no se considerarán los efectos de la fricción.

Estos molinos son una herramienta vital para triturar una amplia gama de materiales, ya sean húmedos o secos. Tienen una amplia aplicación en una amplia gama de industrias, incluida la cerámica, y son particularmente relevantes para materiales de mayor dureza. Su bajo consumo de energía y su diseño estructural simple lo hacen muy popular. (Dueñas & González, 2018).

Los molinos son cruciales para triturar una variedad de materiales, sean estos húmedos o secos. Se utilizan especialmente en la industria cerámica para pulverizar materiales más duros, lo que es esencial para obtener una barbotina de alta calidad. Este proceso mejora las propiedades finales del producto al homogeneizar y reducir el tamaño de las partículas de los componentes cerámicos.

2.7.1 Tipo de molinos

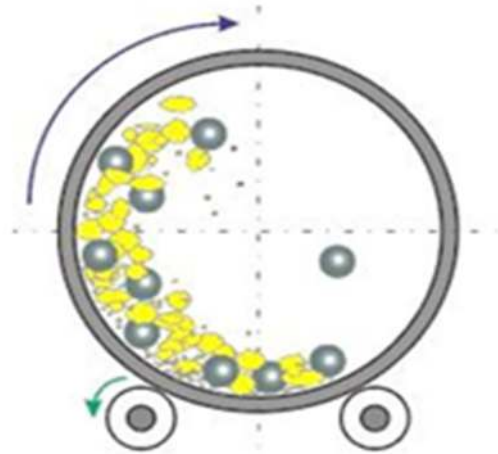
Molino de bolas: Estos molinos tienen una capa cilíndrica que gira sobre un eje horizontal y se cargan con bolas, ya sean de acero o porcelana, que actúan como medio de molienda. La alimentación adecuada para los molinos de bolas es con partículas de aproximadamente 40 mm de diámetro, especialmente para materiales frágiles (Dueñas & González, 2018).

El proceso de molienda en los molinos de bolas, tal como lo explican Méndez et. al. (2019), implica la colisión de bolas pequeñas para triturar el material y convertirlo en un polvo más fino. Esto se logra dentro de un contenedor sellado que gira lentamente, generalmente entre 1 y 2 revoluciones por segundo.

Estos equipos están diseñados específicamente para reducir el tamaño del material en un proceso de trituración. Según Barrón et. al. (2016), la reducción de tamaño es fundamental en la industria minera, ya que permite llevar el material en bruto, proveniente de la mina, a un tamaño manejable para su posterior procesamiento.

Figura 20.

Corte Transversal de un Molino de bolas



Fuente: (Dueñas & González, 2018)

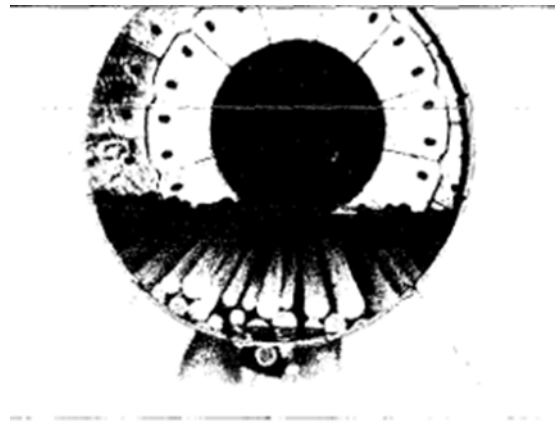
Molinos de barra: La acción de molienda en los molinos de barras se produce gracias al contacto entre las barras y el mineral. Estas barras actúan como cuchillas, generando un proceso de molienda por impacto en las áreas adyacentes. Para garantizar un funcionamiento eficiente, las dimensiones de los molinos de barras mantienen una relación específica entre longitud y diámetro, generalmente entre 1.3 y 2.0, nunca menor a 1.25, lo que previene el riesgo de que las barras se enreden (Carhuallanqui, 2012).

Los principales tipos de molinos de barras son

- A. Molinos de descarga por rebalse.
- B. Molinos de descarga periférica.
- C. Molino de descarga periférica central.

Figura 21.

Molino de barras



Fuente: (Carhuallanqui, 2012)

Velocidad de rotación: La velocidad de rotación del molino en torno a su eje impulsa el movimiento de la carga hasta que se supera la resistencia generada por el peso, lo cual debe ser contrarrestado por la potencia suministrada por el motor para lograr la molienda del mineral (Cabezas, 2017).

Volumen de Carga: Es un factor que incide directamente en el rendimiento de trituración. Se considera que el sistema de llenado óptimo comprende aproximadamente un 45 por ciento de material a moler y un porcentaje correspondiente de cuerpos moledores.

Potencia: Es un aspecto crucial a tener en cuenta al seleccionar un molino, ya que el motor debe contar con la fuerza adecuada para mover y levantar la carga mineral dentro del molino. Se determina que la potencia máxima se alcanza cuando el volumen de carga se sitúa entre el 30 por ciento y el 50 por ciento del total. Normalmente, se trabaja con cargas que oscilan entre el 35 por ciento y el 40 por ciento de la potencia nominal de los molinos.

2.7.2 Aplicaciones y usos de molinos

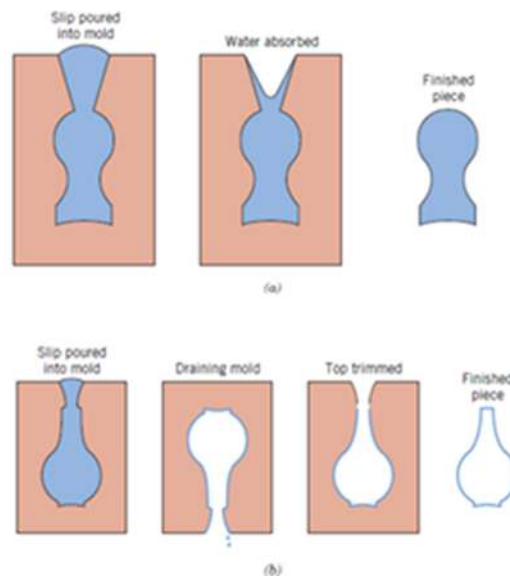
El molino de bolas está diseñado para lograr reducciones de tamaño significativas. Su tambor de acero inoxidable opera a una velocidad crítica determinada por el peso de la carga, y la potencia requerida se calcula en función de esta relación. Se establece una velocidad crítica de 74 r.p.m., y se determina el tipo de reductor y sistema de transmisión adecuados. La distribución adecuada de las bolas permite alcanzar un tamaño de partícula de aproximadamente 20 micras, ideal para posteriores procesos de reducción de tamaño del material (Cabezas, 2017).

2.8 Bolas de alúmina

Las bolas de alúmina (Al_2O_3) son ampliamente utilizadas en la industria debido a su alta dureza y al bajo costo de la materia prima. Estas bolas se producen mediante el vertido de suspensiones sólidas, lo que garantiza que cumplan con los estándares de dureza, densidad y microestructura requeridos por el mercado industrial.

2.8.1 Proceso de solid- casting

El procedimiento de vaciado se inicia con la preparación de una base de molde sumergida en una suspensión cerámica de consistencia adecuada. Este método, conocido como slip-casting, implica verter la suspensión sobre un molde poroso de yeso, donde el agua presente es absorbida por fuerzas capilares, lo que provoca que las partículas se concentren en contacto con el molde. El llenado del molde se realiza de manera continua hasta que la cavidad queda completamente rellena y se obtiene una forma sólida. (García F., 2015).

Figura 22.*Secuencia de pasos de Slip-casting***Fuente:** (García F., 2015)

2.9 Horno

Se trata de un dispositivo térmico diseñado para proporcionar calor a un producto con el fin de inducir cambios en sus componentes internos, ya sea mediante la generación de resistencia o la alteración de elementos dentro de una materia. Durante este proceso, los átomos experimentan una excitación que conlleva a la modificación de electrones y la producción de productos adecuados para satisfacer las necesidades industriales.

Un horno, por su parte, se define como un dispositivo destinado a generar calor para calentar elementos introducidos en su interior, lo que conduce a transformaciones físicas o químicas en dichos elementos. Estos procesos son fundamentales en industrias que requieren cambios o transformaciones en la materia, especialmente en reacciones químicas que involucran productos que absorben calor, como es el caso de los productos cerámicos (Sánchez, 2000).

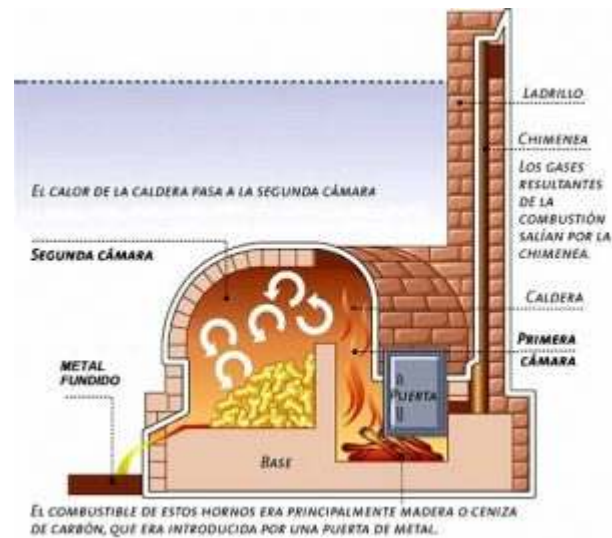
2.9.1 Tipos de hornos

Los hornos son parte fundamental para las empresas que están vinculadas a cambiar o transformar la materia con la que se basa en las reacciones químicas. Los productos que absorben el calor como es el caso de los productos cerámicos.

Hornos de Combustión: Estos hornos se alimentan principalmente de combustibles sólidos, como el carbón vegetal, así como de combustibles líquidos como el diésel o la gasolina. Además, pueden operar con combustibles gaseosos, como el gas natural, donde el calor generado resulta de la reacción de los componentes con el oxígeno.

Figura 23.

Horno de combustión



Fuente: (Carbones y Sistemas, S.L.L, 2023)

Hornos Eléctricos: En el contexto actual, la presencia y el avance de la tecnología han dado lugar a una amplia gama de hornos eléctricos diseñados para satisfacer las diversas necesidades tanto individuales como industriales. Estos hornos están configurados para adaptarse a requerimientos específicos, como amperaje y voltaje, según las exigencias del usuario o del proceso industrial en cuestión. Entre los tipos de hornos eléctricos disponibles, se encuentran

aquellos que emplean resistencias metálicas para generar calor aprovechando el arco voltaico que se produce entre dos electrodos conectados a una corriente eléctrica. Este tipo de diseño permite una eficiente conversión de energía eléctrica en calor, lo que los hace adecuados para una variedad de aplicaciones en distintos campos industriales y de fabricación.

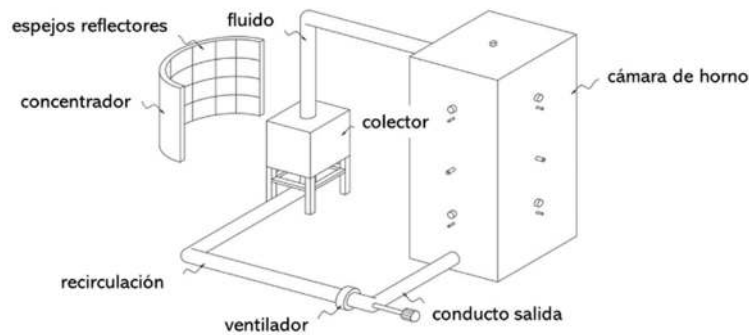
Figura 24.

Horno eléctrico



Fuente: (ORL Hornos Eléctricos S.A., 2014)

Hornos solares: Los hornos mencionados se componen de elementos metálicos o se encuentran revestidos con una capa de vidrio, los cuales tienen la capacidad de absorber la radiación solar y concentrar el calor en una ubicación específica. Estos dispositivos posibilitan alcanzar temperaturas extremadamente altas, llegando incluso hasta los 6000 °C, y su uso principal se destina a aplicaciones de carácter científico (Sánchez, 2000).

Figura 25.*Horno solar*

Fuente: (Instituto de Tecnología Cerámica, S/F)

2.9.2 Aplicaciones y usos

Cada tipo de horno encuentra su aplicación específica según sus propiedades y modos de funcionamiento, siendo utilizados en diversas industrias como la del acero y del cemento. Por ejemplo, los hornos rotatorios son ampliamente empleados en la industria del acero y del cemento. Estos hornos están configurados como grandes cilindros giratorios que pueden alcanzar hasta 100 metros de longitud y 3 metros de diámetro, revestidos con materiales refractarios y dispuestos con una leve inclinación con respecto a la horizontal. La alimentación del horno se realiza por la parte superior, y debido a la rotación del cilindro, los materiales se desplazan hacia abajo hasta llegar a la boca inferior, donde se encuentra el quemador (Sánchez, 2000).

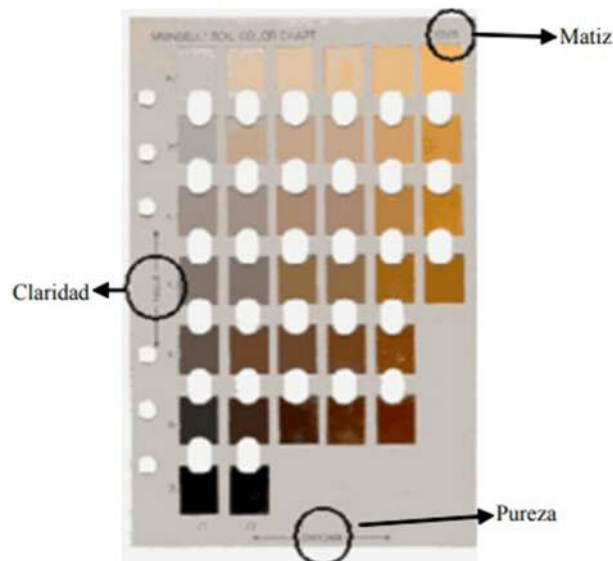
2.10. Tabla de Munsell

Para Domínguez et. la. (2012), la coloración es una de las características morfológicas más destacadas y de fácil identificación, especialmente en la determinación de tipos de suelos. El color del suelo está estrechamente relacionado con sus componentes sólidos, que pueden ser influenciados por factores como la presencia de materia orgánica, la composición mineralógica o la textura. El Sistema de Notación Munsell se utiliza para la determinación precisa del color del

suelo, proporcionando una herramienta importante en la identificación y clasificación de los suelos.

Figura 26.

Tabla de Munsell



Fuente: (Domínguez, Román, Prieto, & Acevedo, 2012)

2.11. Resistencia de los materiales

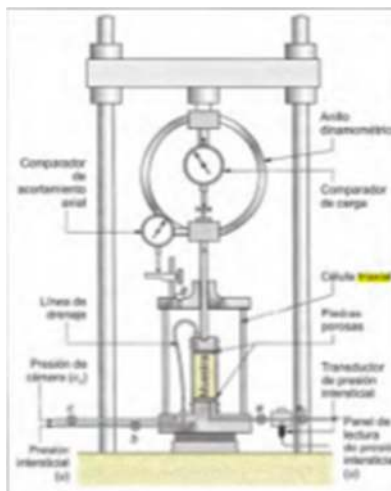
La resistencia de un material es su capacidad para soportar una carga antes de romperse o desintegrarse, lo que se puede ver como la aparición de grietas a medida que aumenta la carga. Este parámetro es crucial para determinar la capacidad de la roca para mantener unidas sus partes y está principalmente influenciado por su composición mineral y el grado de carga al que se somete. (Vásquez, 2022).

Compresión simple: La resistencia a la compresión uniaxial (UCS) es la medida del máximo esfuerzo de compresión axial que puede soportar una muestra cilíndrica de material antes de fracturarse. Este parámetro, también conocido como resistencia a la compresión simple, se determina sin tener en cuenta los esfuerzos de confinamiento, lo que facilita la caracterización

y clasificación de la roca. La UCS es fundamental para la mecánica del suelo al ayudar a estimar la carga última del suelo. Aunque su medición no da resultados exactos, está estrechamente relacionada con la resistencia al corte del suelo y proporciona valores de carga útiles para proyectos que no requieren una precisión excesiva. El ensayo de compresión simple se destaca entre los métodos disponibles para analizar las características del suelo porque puede mostrar el comportamiento del suelo bajo carga. (Vásquez, 2022).

Figura 27.

Esquema de un ensayo triaxial



Fuente: (Asmae, S/F)

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA Y ENSAYO EXPERIMENTAL

3.1. Caracterización de los materiales cerámicos

Para garantizar un control efectivo en todas las etapas del proceso y asegurar la calidad del producto final, es crucial establecer un sistema integral. Esto se debe a que las propiedades del sistema en cada etapa del proceso determinan en gran medida el resultado final. En el caso específico de la producción de componentes cerámicos, se basa principalmente en la tecnología de polvos.

El procesamiento cerámico se inicia con polvos que, por lo general, de acuerdo a Nieto et. al. (2013), requieren una serie de tratamientos para su consolidación y adecuación. Para lograr una homogeneización adecuada de la materia prima, se ha implementado el método de cuarteo para caracterizarla.

3.1.1. Secado de los materiales cerámicos

Se llevó a cabo el proceso de secado de la materia prima con el fin de preparar la barbotina en el laboratorio de minas. En este contexto, se determinó la humedad natural presente en la materia prima, la cual fue obtenida de diversas minas ubicadas en la zona de estudio. Para calcular el porcentaje de agua contenido en las muestras, se empleó un horno ubicado en el laboratorio de minas, el cual fue precalentado a una temperatura de 150 °C. Las muestras fueron sometidas a este proceso de secado durante un período de 12 horas.

El procedimiento se realizó de la siguiente manera: en primer lugar, se procedió a pesar los recipientes designados para el experimento, registrando sus respectivos pesos. Posteriormente, se colocaron 500 g de muestra en cada recipiente y estos fueron introducidos en el horno, tal como se ilustra en la Figura 28.

Figura 28.

Secado de los materiales cerámicos dentro del horno



Fuente: Elaboración propia

3.1.2. Textura y color

La determinación de estas características se llevó a cabo mediante observación visual y evaluación táctil después del proceso de secado de las muestras.

Las muestras designadas como A, B y C, según se muestra en la Figura 29, predominan en las regiones australes, específicamente en depósitos de origen sedimentario residual.

La arcilla A, proveniente de la localidad de Ludo en la provincia del Azuay, exhibe una coloración marrón atribuida a su bajo contenido de óxidos de hierro.

La muestra B corresponde a un feldespato extraído de la mina Vintimilla, cuya tonalidad blanquecina y textura de grano fino son características distintivas. El feldespato presenta atributos que sugieren su clasificación como plagioclasa, evidenciados por su tonalidad que va de gris a blanquecina.

En cuanto a la muestra C, se trata de un caolín proveniente de la mina Serenita, cuya tonalidad blanquecina se debe a su reducido contenido de óxidos de hierro, presentando partículas extremadamente pequeñas.

Figura 29.

Materiales cerámicos para su respectiva caracterización



Fuente: Elaboración propia

3.1.3. Trituración

Dada la baja resistencia de los materiales cerámicos, se omite la fase de trituración primaria y secundaria, procediendo directamente a los procesos de molienda de la materia prima cerámica.

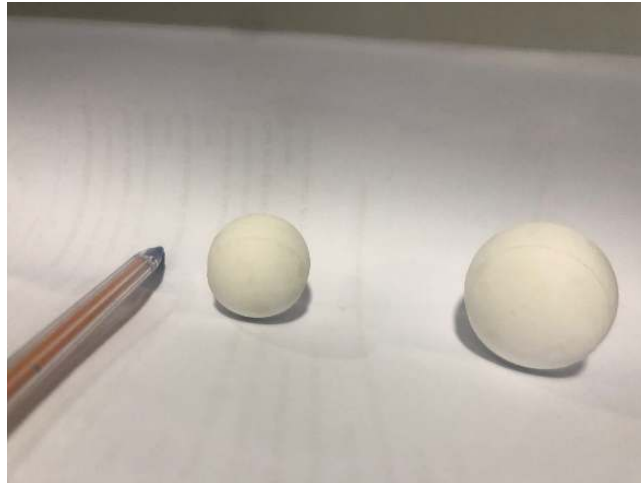
3.1.4. Molienda

Se llevó a cabo la alimentación de los materiales arcillosos al molino de bolas para cerámica, donde se dispuso una proporción del 70% de bolas con un diámetro de 40 mm y un

30% de bolas con un diámetro de 25 mm. Estas bolas de molienda, compuestas de alúmina, son idóneas para la molienda en seco y en molinos de bolas continuos.

Figura 30.

Bolas de alúmina



Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, se ubicó el recipiente de molienda entre los rodillos, revestidos con caucho para prevenir daños y garantizar su estabilidad durante el proceso. Una lámina que rodea los rodillos impulsa la rotación del recipiente. Este sistema, equipado con un motor de 120 kW que opera a 1720 rpm, llevó a cabo el proceso de trituración durante 40 a 50 minutos, hasta obtener un producto que cumpla con las especificaciones requeridas, pasando a través de la malla número 200.

Figura 31.

Molino de bolas para cerámica



Fuente: Elaboración propia

3.1.5. Determinación granulométrica de la materia prima

Conforme a la norma ASTM C 33-136, que establece las especificaciones de abertura para cada tamiz a fin de determinar las partículas finas y gruesas presentes en cada muestra, se llevó a cabo el ensayo granulométrico con las siguientes directrices. En esta instancia, se procedió a evaluar la granulometría para partículas finas, considerando que las arcillas fueron sometidas a procesos de molienda.

Tabla 6.

Abertura de tamices, según su malla.

Tamices serie ASTM	
N° de malla	Abertura (mm)
10	2
50	0.38
80	0.18
100	0.15
200	0.075

Fuente: Elaboración propia.

Figura 32.

Ensayo de granulometría de relave.



Fuente: Elaboración propia.

3.1.6. Tamizado de los materiales cerámicos

El tamizado es una parte fundamental para separar los sólidos en partículas de diferente tamaño ya que es muy importante para la preparación de briquetas y el compactado de los materiales cerámicos, así mismo dentro de la separación de partículas se siguió los siguientes pasos:

1. Se colocaron las mallas de las aberturas con las siguientes medidas. 10, 50, 80, 100 y 200.
2. Se vierto los materiales cerámicos sobre los tamices.
3. Se colocaron los tamices en la máquina agitadora durante 30 minutos

Figura 33.

Tamizado de los materiales cerámicos en el agitador Ro-Top



Fuente: Elaboración propia

4. Finalmente se procedió a utilizar todo el material pasante por la malla número. 200 (75 μm) para la elaboración de las briquetas.

Figura 34.

Ensayo granulométrico



Fuente: Elaboración propia

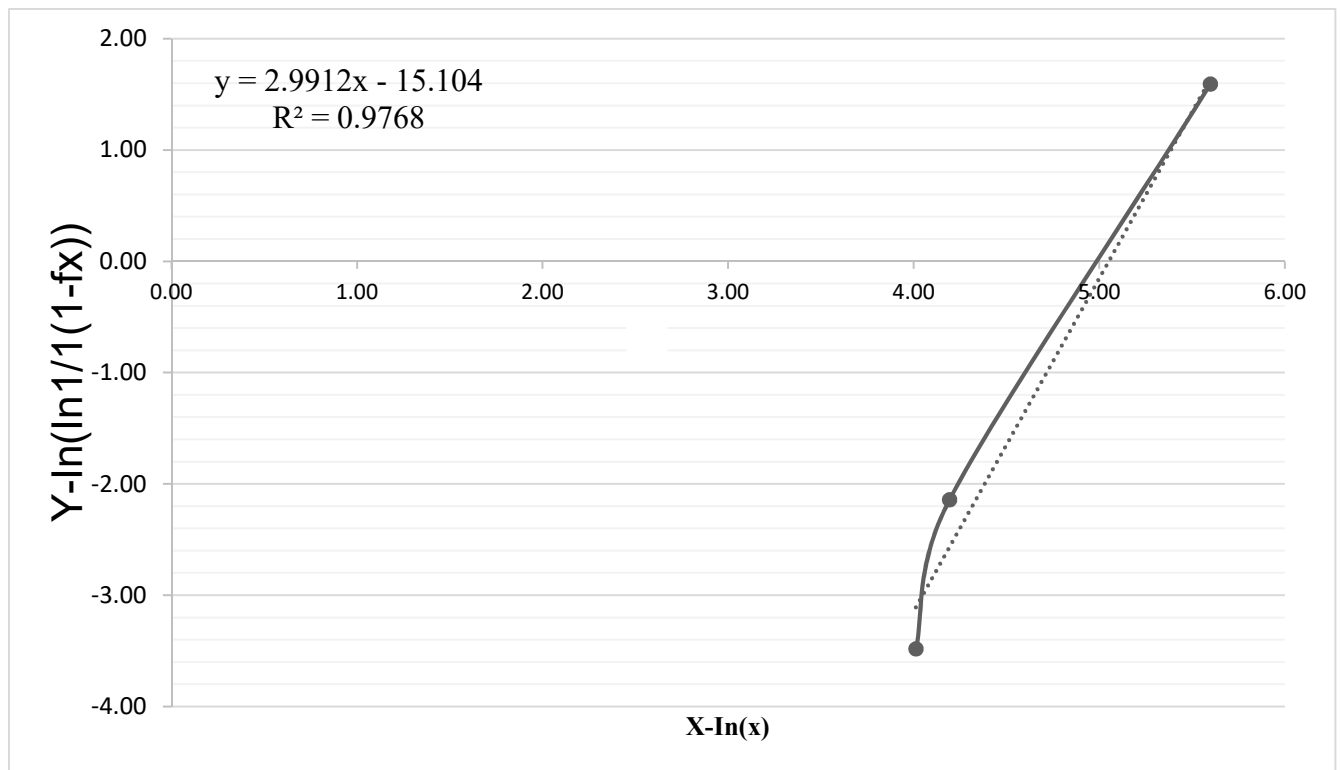
Tabla 7.*Ensayo 1 Caolín (500g) – método de Rosin-Rammler*

N.º de Malla	Diámetro (mm)	Abertura (µm)	Masa Retenida	% Retenido	% Retenido acumulado	Pasante acumulado	Rosin-Rammler	
					R(X)	F(X)	X	Y
10	2	2000	0	0	0	100	7,60	0
50	2	2000	147	29,697	29,697	70,303	7,60	0
80	0.38	270	257	51,919	81,616	18,384	5,60	-1,59
100	0.18	180	36	7,273	88,889	11,111	5,19	-2,14
200	0.15	150	40	8,081	96,970	3,030	5,01	-3,48
-200	0.075	75	15	3,030	100	0	4,32	0,00
Total			495	100	0			

Fuente: Elaboración propia.

Figura 35.

Curva granulométrica ensayo 1 por método Rosin Rammler– caolín



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8.

Cálculo ensayo 1 – caolín

Rosin-Rammler	
Pendiente (m)	0,62
Intercepto (b)	-4,07
K Micras	724,91
d Micras	1564,52
%F(x)	80

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9.

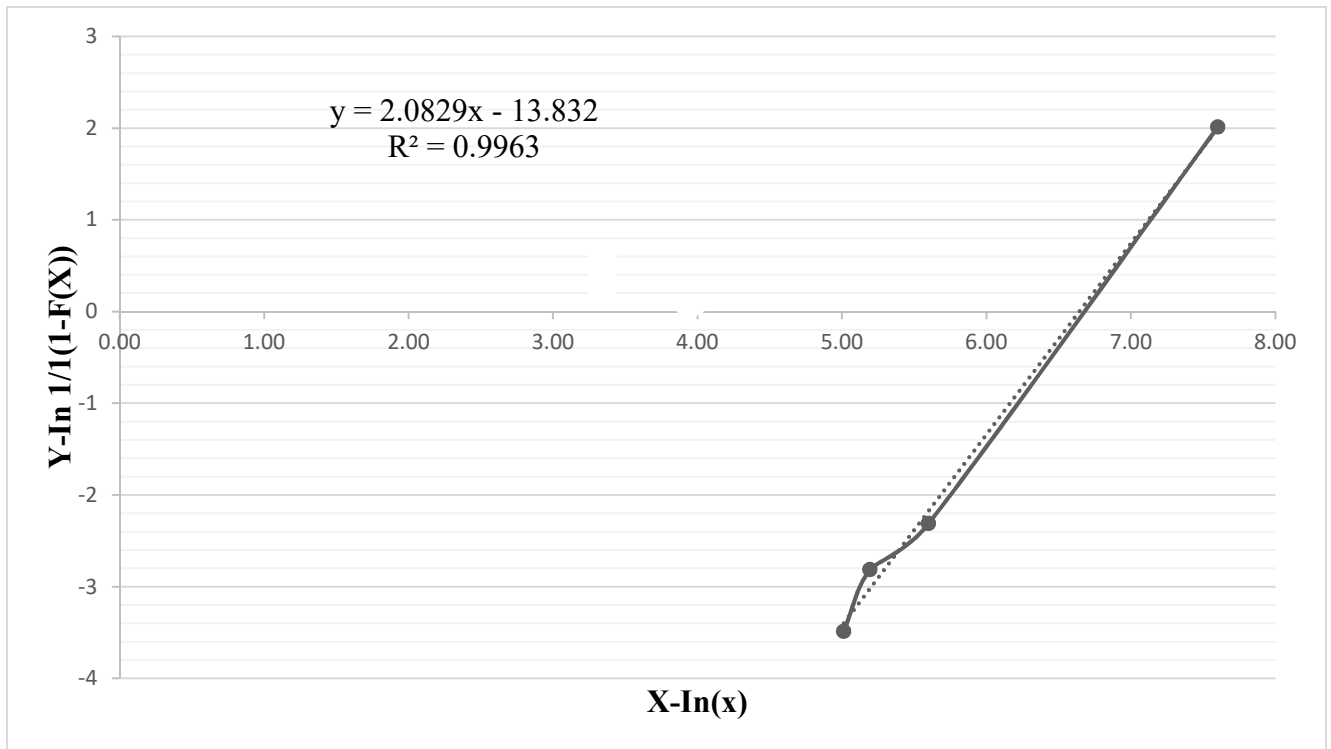
Ensayo 2 feldespato (500g) – método de Rosin-Rammler

N.º de Malla	Diámetro (mm)	Abertura (µm)	Masa Retenida	% Retenido	% Retenido		X	Rosin-Rammler Y
					Retenido acumulado R(X)	Pasante acumulado F(X)		
10	2	2000	0	0	0	100	7,60	0
50	2	2000	273	55,040	55,040	45,0	7,60	-1
80	0.38	270	176	35,484	90,524	9,5	5,60	-2,31
100	0.18	180	18	3,629	94,153	5,8	5,19	-2,81
200	0.15	150	14	2,823	96,976	3,0	5,01	-3,48
-200	0.075	75	15	3,024	100	0,0	4,32	0,00
TOTAL			496	100	0			

Fuente: Elaboración propia

Figura 36.

Curva granulométrica ensayo 2 por método Rosin Rammler–feldespato



Fuente: Elaboración propia

Tabla 10.

Cálculos del ensayo 2 por método Rosin Rammler-feldespato

Rosin-Rammler	
Pendiente (m)	0,94
Intercepto (b)	-6,65
K micras	1153,18
d micras	1909,92
%F(x)	80

Fuente. Elaboración propia

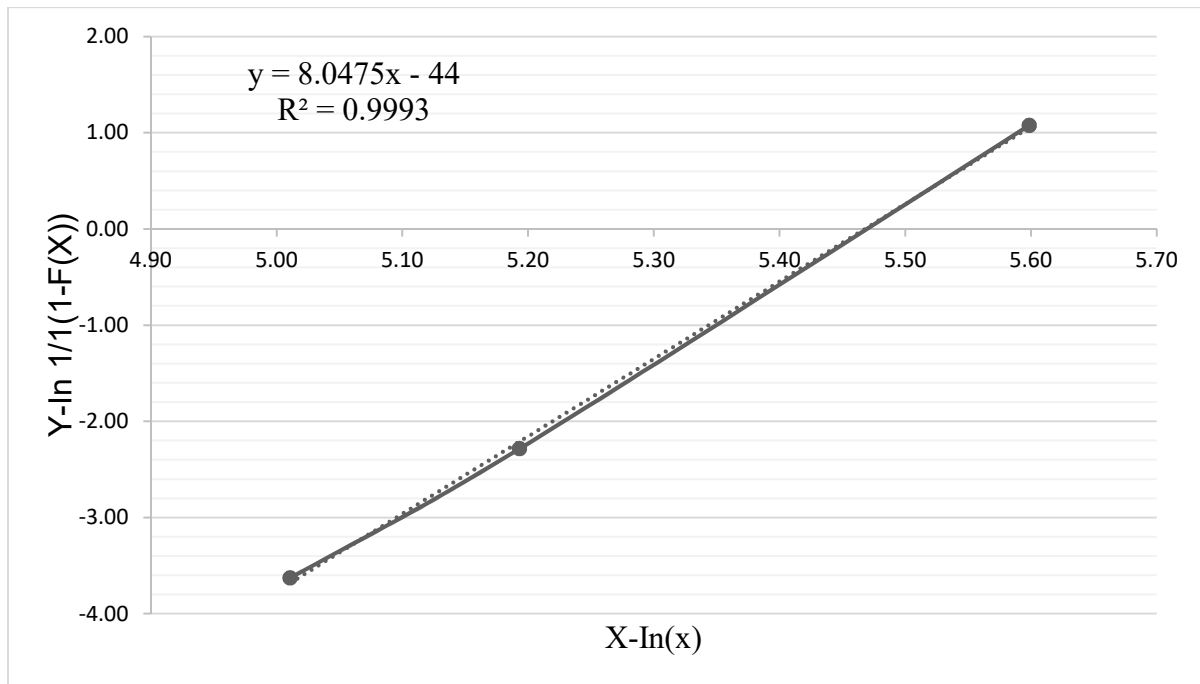
Tabla 11.*Ensayo 3 Arcilla (500g) – método de Rosin-Rammler*

N.º de Malla	Diámetro (mm)	Abertura (µm)	Masa Retenida	% Retenido	% Retenido	Pasante	Rosin-X	Rammler Y
					acumulado R(X)	acumulado F(X)		
10	2	2000	0	0	0	100,0	7,60	0
50	2	2000	195	39,393939	39,394	60,61	7,60	1,01
80	0.38	270	157	31,717172	71,111	28,89	5,60	-2,28
100	0.18	180	95	19,191919	90,303	9,70	5,19	-3.63
200	0.15	150	35	7,0707071	97,374	2,63	5,01	-2,00
-200	0.075	75	13	2,6262626	100,000	0,0	4,32	0
TOTAL			495	100	0			

Fuente. Elaboración propia

Figura 37.

Curva granulométrica ensayo 3 por método Rosin Rammler- arcilla



Fuente: Elaboración propia

Tabla 12.

Cálculos del ensayo 3 por método Rosin Rammler- arcilla

Rosin-Rammler	
Pendiente (m)	0,77
Intercepto (b)	-5,70
K micras	1598,65
d micras	2960,62
%F(x)	80

Fuente: Elaboración propia

3.1.7. Densidad aparente

Para calcular la densidad de las arcillas se usó la probeta de 250 mililitros de la materia prima se procede a pesar 100 gramos la cual se necesitaba para sacar la densidad así mismo, se agrega la mitad de agua destilada en la probeta. Se procedió a agregar la materia prima en la probeta y se deja reposar 24 horas donde se determinó su densidad.

Figura 38.

Probeta de vidrio de 250 ml



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13.

Densidades calculadas en el laboratorio

MATERIALES	DENSIDAD
CERÁMICOS	
Arcilla	2.5 g/cm³
Caolín	2 g/cm³
Feldespató	2.2 g/cm³

Fuente: Elaboración propia

Figura 39.

Peso de la muestra + la mitad de agua en la probeta



Fuente: Elaboración propia.

3.1.8. Humedad

La humedad de la materia prima en términos cerámicos es para determinar sus estados iniciales. Así mismo, las muestras pasaron por procesos de trituración y tamizado donde se pesaron 50 gramos de material y se fue agregando agua hasta que se obtuvo una muestra moldeable y se pesó cada muestra antes que se le colocará en el horno donde se secó por 24 horas a 100 grados centígrados.

Figura 40.

Peso de materia prima



Fuente: Elaboración propia

3.2 Mezclado

Se introdujo la masa de la materia prima con el agua para ir agregando de manera constante el agua hasta llegar a un punto moldeable de la masa y sea pesada para sacar su respectiva humedad.

Figura 41.

Masa del material + agua



Fuente: Elaboración propia

3.3. Amasado

Una vez terminado el mezclado la materia prima absorbió el agua hasta su límite lo cual se dejó reposar por cinco minutos hasta llegar a ser amasado dando una forma de esférica para que facilite el proceso de pesar y su secado sea más factible.

Figura 42.

Amasado de la materia



Fuente: Elaboración propia

Tabla 14.

Humedad de los materiales cerámicos

MATERIALES	HUMEDAD
CERÁMICOS	
Arcilla de ludo	13.2
Feldespato mina Vintimilla	22.2
Caolín de mina Serenita	16.7

Fuente: Elaboración propia.

3.4. Formulación

En el contexto general de la fabricación de piezas cerámicas, se confía en gran medida en la experiencia acumulada por los artesanos, dado que los materiales principales utilizados son arcilla y agua. Dado que no existe una fórmula estándar establecida para la creación de

barbotina, en este estudio nos hemos basado en un diagrama ternario. Este diagrama nos permitió determinar la composición más adecuada para mejorar la calidad del producto y satisfacer las necesidades específicas del proyecto. El objetivo principal fue desarrollar briquetas a partir de la materia prima comúnmente utilizada por los artesanos del sector de Ludo, que incluye arcilla, caolín y feldespató. Estos materiales pasan por procesos de secado, molido y tamizado antes de ser utilizados. Se ha optado por utilizar principalmente material con un tamaño de malla número 200, y se llevarán a cabo diversas combinaciones y mezclas para su evaluación.

3.5. Diagrama ternario

Se usó el diagrama ternario con la ayuda de Excel lo que permitió garantizar un mínimo error. Así mismo para las dosificaciones nos ayudamos de artículos científicos y bibliografía relacionada cerámicas.

3.6. Identificación de muestras

Se procedió a numerarlas e identificarlas dependiendo de sus características y propiedades fisicoquímicas de los materiales cerámicos. Las muestras con mayor presencia de caolín se denominaron como E1, y con una quema de 1200 °C. Las muestras con mayor presencia de feldespató como P1 y con una quema de 1200°C y las muestras con mayor presencia de arcilla fueron las Z1 y con una quema 1200°C.

Se generaron códigos para identificar la respectiva comparación post quema de materiales cerámicos. Para efectos de un control eficiente de las muestras serán llamadas con la inicial del autor de procedencia acompañadas de un número para poder identificarlas.

3.7. Dosificaciones

Tabla 15.*Identificación de muestra*

MATERIALES CERÁMICOS			CÓDIGO
CAOLÍN	FELDESPATO	ARCILLA	
50%	35%	15%	E1
55%	35%	10%	E2
60%	30%	10%	E3
45%	35%	20%	P1
40%	40%	20%	P2
35%	45%	20%	P3
45%	20%	35%	Z1
40%	20%	40%	Z2
45%	25%	30%	Z3

Fuente: Elaboración propia

Figura 43.

Dosificaciones



Fuente: Elaboración propia

3.8. Condiciones para la elaboración de las briquetas

Se logró establecer un procedimiento para la elaboración de 9 briquetas rectangulares serán elaboradas de manera independientes con diferentes porcentajes de materia prima para

poder observar y comparar que clase de dosificaciones son más adaptables y deseables para el artesano.

3.9. Prensado de briquetas

Una vez finalizada las dosificaciones correctas se procedió al presado en seco por lo cual se usó una prensa independiente del laboratorio de minas. Se generó una fuerza de compactación de 25 Newtons y se obtuvo una briqueta rectangular maciza de las dimensiones 4cm x 8cm x 0,8 cm así mismo, se tuvo una fácil extracción de las briquetas ya que el molde es desarmable. Este procedimiento se aplicó en todas las muestras.

Figura 44.

Llenado de molde



Fuente: Elaboración propia

Figura 45.

Prensa de laboratorio de minas



Fuente: Elaboración propia

3.10. Dimensión del molde

Para la ejecución de este trabajo se usaron un total de 9 muestras con la siguiente especificación que las 9 de briquetas serán de única medida 4cm x 8cm x 0,8 cm.

Figura 46.

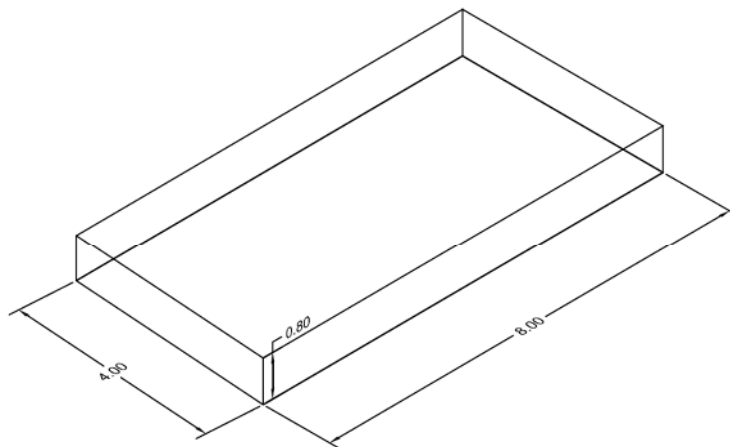
Molde desarmable del laboratorio de minas



Fuente: Elaboración propia

Figura 47.

Briquetas dimensión



Fuente: Elaboración propia.

Figura 48.

Briqueta compactada a 25 Newtons



Fuente: Elaboración propia

3.11. Horno

Se usó un horno independiente de la universidad del taller “la montaña en el mar” del propietario José Cobos, en el cual el horno llegó a los 1200 °C dentro de un rango de 5 horas por experiencia del Sr. José Cobos me indicó que es el tiempo necesario para que las briquetas determinen su color en la quema. El horno es un SAMO THERMAL, modelo V6 -CF, series 700, voltaje de 220v y capacidad máxima 25 libras.

Figura 49.

Horno SAMO THERMAL



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

La presente investigación tenía como objetivo principal desarrollar una fórmula para fabricar barbotina utilizando materiales de la región sur oriental del austro. El feldespato, el caolín y las arcillas del sector de Ludo son los materiales principales. Para llevar a cabo esta operación, se utilizó el diagrama ternario para determinar las proporciones apropiadas para producir una barbotina adaptable para mejorar el producto.

4.1. Resultados conseguidos

4.1.1 Resultados de Diagrama Ternario

Tabla 16.

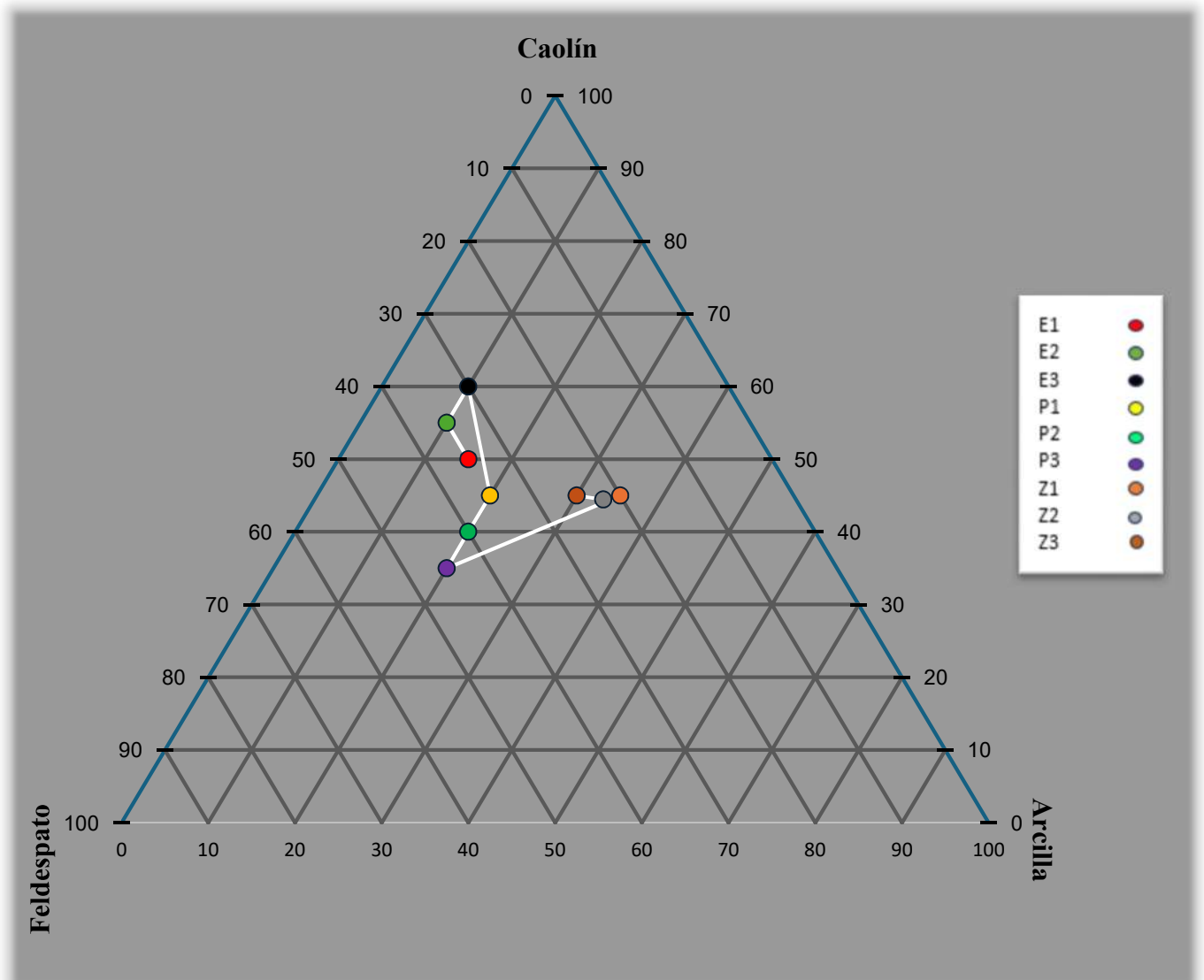
Dosificaciones + código y temperatura de 1200° C

MATERIALES CERÁMICOS			TIEMPO
CAOLÍN	FELDESPATO	ARCILLA	5 HORAS
50%	35%	15%	E1
55%	35%	10%	E2
60%	30%	10%	E3
45%	35%	20%	P1
40%	40%	20%	P2
35%	45%	20%	P3
45%	20%	35%	Z1
40%	20%	40%	Z2
35%	20%	45%	Z3

Fuente: Elaboración propia

Figura 50.

Diagrama ternario dosificaciones



Fuente: Elaboración propia

4.1.2 Resultados de la quema

Color post quema

Después de elaborar las briquetas con sus dosificaciones según el diagrama ternario, se dejaron secar antes de ingresarlas al horno, lo que resultó en una variedad de tonalidades, como

se muestra en la figura 52. donde se utilizan las nueve muestras para determinar cuál cumple con las características deseadas para mejorar la calidad del producto.

Figura 51.

Briquetas quemadas



Fuente: Elaboración propia

4.1.3 Determinación del color

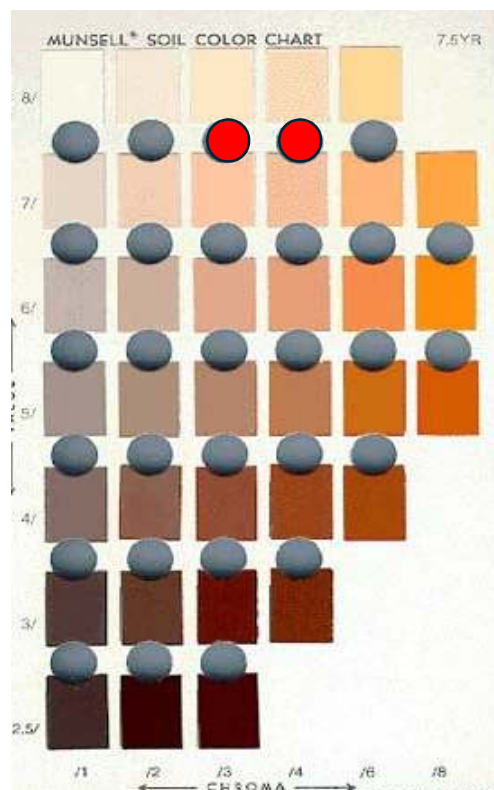
La presencia y predominio de minerales particulares en la composición de las arcillas está directamente relacionada con su color. Este fenómeno se debe a la única forma en que los minerales reflectantes y absorban la luz, lo que afecta el tono y la apariencia visual de la arcilla.

Las tablas de Munsell, un sistema que clasifica los colores en función de tres características:

matiz, valor y croma, se utilizan para determinar con precisión el color de las arcillas. Para identificar y categorizar los colores de manera sistemática, estas tablas permiten establecer comparaciones y referencias visuales. Se utilizan matrices previamente establecidas para trabajar con arcillas que tienen en cuenta diversas condiciones, como la humedad del material. Esto es fundamental porque el color de la arcilla puede cambiar mucho según esté húmeda o seca. Por lo tanto, el uso de matrices específicas para cada estado de arcilla garantiza una evaluación precisa y coherente de su color, lo que es fundamental para una variedad de aplicaciones, desde la cerámica hasta la geología.

Figura 52.

Tabla de Munsell



Fuente: Elaboración propia

Tabla 17.*Identificación de colores con tabla de Munsell*

Muestra	COLOR
E1	ROSA
E2	BLANCO ROSADO
E3	ROSA
P1	BLANCO ROSADO
P2	ROSA
P3	ROSA
Z1	ROSA
Z2	ROSA
Z3	MARRÓN CLARO

Fuente: Elaboración propia

4.1.4 Humedad

Los artesanos de la parroquia de Ludo han desarrollado un método único para la fabricación de materiales destinados a compactar briquetas. Estos materiales son elaborados exclusivamente a partir de arcilla, caolín y feldespatos, componentes esenciales que han sido preparados meticulosamente en el laboratorio de minas local. Tras un proceso de mezcla cuidadosamente controlado, las materias primas se colocan en un horno de laboratorio durante un periodo de 24 horas. Durante este tiempo, las altas temperaturas del horno permiten que los materiales se fusionen y se endurezcan adecuadamente, garantizando así la calidad y la

durabilidad necesarias para su uso en la compactación de briquetas. Este proceso, que combina conocimientos tradicionales con técnicas modernas de laboratorio, refleja el compromiso de los artesanos de Ludo con la excelencia en la producción de materiales de alta calidad para su comunidad

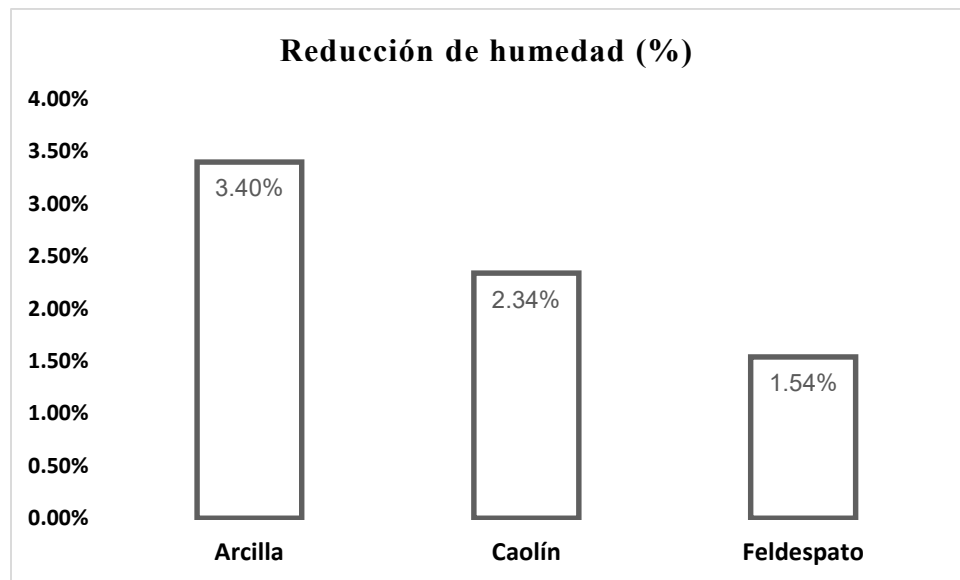
Tabla 18.

Resultados de reducción de humedad de Arcilla, Caolín y Feldespato.

Muestra	Peso antes del Secado (g)	Peso después del Secado (g)	Reducción De la Humedad (%)
Arcilla	58.1	44.9	3.40 %
Caolín	55.8	39.1	2.34%
Feldespato	56.4	34.2	1.54%

Fuente: Elaboración propia

Se comenzó pesando muestras de cincuenta gramos de cada material y luego se agregó gradualmente agua hasta que se lograra una consistencia moldeable. Posteriormente, se pesó cada muestra antes de colocarlas durante un día en un horno a 100 grados centígrados para secarse. Como resultado de esta técnica, se pudo calcular con precisión la reducción de humedad de cada muestra, que fue del 13.2% para la arcilla Ludo, del 22.2% para el feldespato de la mina Vintimilla y del 16.7% para el caolín de la mina Serenita. Esta información ayuda a comprender mejor las condiciones iniciales de los materiales cerámicos, lo que es esencial para el control de calidad y el proceso de producción.

Figura 53.*Reducción de humedad***Fuente:** Elaboración propia

4.1.5 Reducción de masas

Se calcula una sola etapa para la quema, en la que se colocaron las 12 briquetas. las cuales se quemaron a una temperatura de 1200 °C. Una vez que las muestras alcancen la temperatura de 1200°C, se retirarán a las 5 horas. Se dejó enfriar el horno durante dos horas y, una vez que estuviera completamente a temperatura ambiente, se colocaron las briquetas en un recipiente y se las dejó por seis horas más.

4.1.6 Resultados de reducción de masa de las briquetas

Tabla 19.

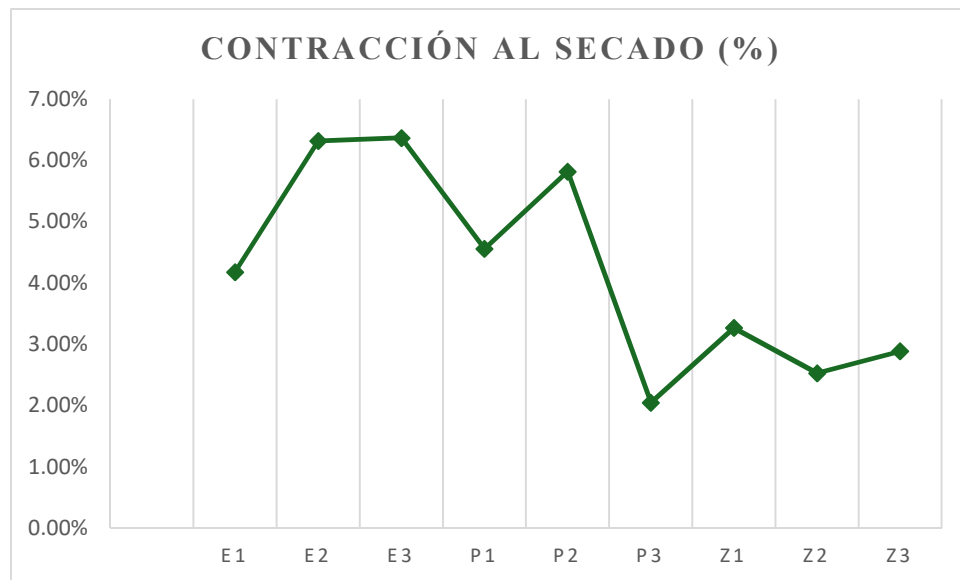
Resultados la reducción de masa a 1200 °C periodo de 5 horas

Numero de muestra	Contracción inicial (cm)	Contracción al secado (cm)	Contracción al secado (%)
E1	41.15	40.19	4.18%
E2	52.71	51.89	6.32%
E3	45.35	44.65	6.37%
P1	53.59	52.44	4.56%
P2	44.45	43.7	5.82%
P3	42.59	40.61	2.05%
Z1	51.68	50.15	3.27%
Z2	44.01	42.34	2.53%
Z3	43.79	42.33	2.89%

Fuente: Elaboración propia

Figura 54.

Reducción al secado



Fuente: Elaboración propia

4.1.7 Resultados de la compresión simple

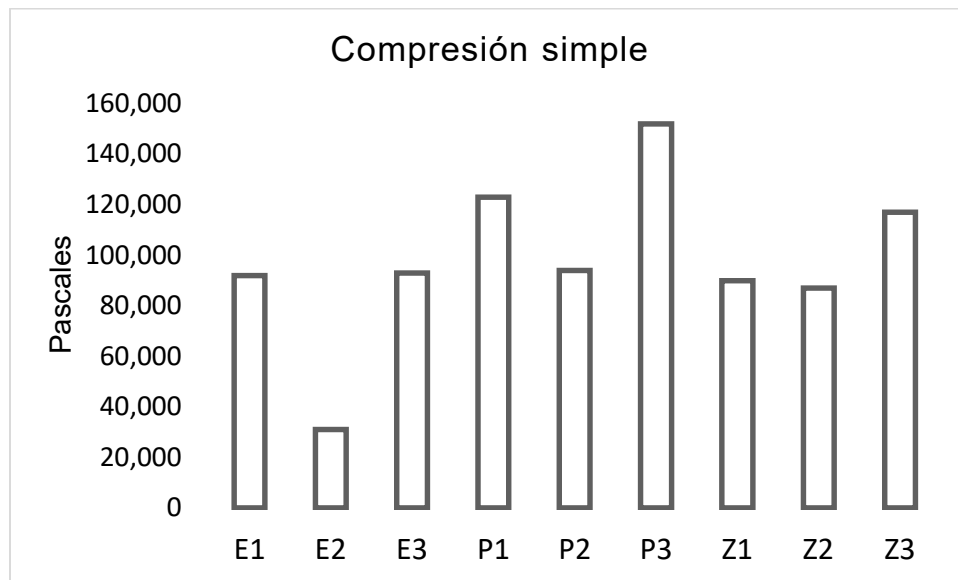
La compresión simple se calcula dentro de las etapas. Se utilizaron las nueve muestras, que tenían las dimensiones de 4.7 x 0.9 x 9.5 cm, con la prensa del laboratorio de minería, que tiene las características necesarias para medir la tensión y la compresión. La adaptación de la prensa es principalmente para evaluar la resistencia de diferentes materiales. Las cargas controladas sobre la sonda se utilizaron como sistema y los resultados se muestran en gráficos con la deformación y el momento de ruptura.

Una vez realizado las pruebas del laboratorio con el uso de Excel se determinó la compresión simple.

Tabla 20.*Resultados RCS de las 9 muestras*

Código de las muestras	RCS
#	(Pa)
E1	92000
E2	31000
E3	93000
P1	123000
P2	94000
P3	152000
Z1	90000
Z2	87000
Z3	117000

Figura: Elaboración propia

Figura 55.*Compresión simple***Fuente:** Elaboración propia

Los resultados de la compresión simple de los materiales cerámicos varían principalmente debido a las variaciones en su composición química, mineralógica y proceso de fabricación. La cohesión y resistencia de las muestras están significativamente influenciadas por la presencia y distribución de minerales como arcillas, caolín y feldespato, el grado de compactación durante el prensado y la temperatura y el tiempo de exposición durante la quema en el horno. Estas variaciones muestran la capacidad de los materiales cerámicos para soportar cargas externas. Los diferentes resultados de compresión simple en las pruebas de laboratorio lo demuestran.

4.1.8 Selección de las briquetas

Se descubrió que las briquetas que cumplían con los requisitos del artesano para su fabricación y comercialización eran adecuadas. Estas funciones deben satisfacer las necesidades de los clientes.

Tabla 21.

Selección de briquetas con mayor adaptación al mercado

Numero de muestra	
E1	
E2	
E3	
P1	X
P2	X
P3	
Z1	
Z2	
Z3	

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

- En el presente estudio, se ha logrado desarrollar una formulación de barbotina utilizando las materias primas cerámicas procedentes de la parroquia Ludo, con el objetivo de mejorar la calidad del producto final. Para ello, nos hemos valido del empleo del diagrama ternario, respaldados por la literatura especializada, que señala que una mayor proporción de caolín resulta en un producto de color blanco, mientras que la presencia de feldespato conduce a una mayor resistencia. En última instancia, se determinó que las dosificaciones que contienen una mayor proporción de caolín y feldespato, junto con una mínima cantidad de arcilla, son adecuadas para mejorar la calidad de los productos elaborados por los alfareros.
- Los resultados obtenidos de la caracterización de los materiales cerámicos indican que las muestras son aptas para su uso en la fabricación de barbotina y briquetas. Se ha demostrado que los procesos de secado, textura, coloración, trituración y molienda han sido efectivos para preparar la materia prima. Además, la determinación de la densidad aparente y la humedad ha proporcionado información crucial sobre las propiedades físicas de las muestras, lo que permite un control de calidad adecuado en el proceso de producción.

- Las características obtenidas de las muestras incluyen una amplia gama de colores y texturas, que varían según la procedencia y composición de los materiales. Desde arcillas marrones hasta caolines y feldespatos blancos, se observa una diversidad que ofrece opciones para diferentes aplicaciones cerámicas. La resistencia relativamente baja de los materiales cerámicos ha requerido que se omitan los procesos de trituración primaria y secundaria, lo que ha facilitado su procesamiento directo a través de la molienda.
- Con respecto a los parámetros comparados, se ha determinado que las dosificaciones de los materiales cerámicos, así como las condiciones de quema, tienen un impacto significativo en las propiedades de las briquetas resultantes. La reducción de masa, la contracción al secado y la compresión simple varían según las proporciones de arcilla, caolín y feldespato utilizadas, así como la temperatura y el tiempo de exposición durante la quema. Estos resultados subrayan la importancia de seleccionar cuidadosamente las formulaciones y condiciones de procesamiento para garantizar la calidad y la eficacia de los productos cerámicos finales.
- Las briquetas exhibieron una diversidad de dosificaciones que posibilitaron una comparación y evaluación de su calidad. Entre estas, se destacaron aquellas que lograron un equilibrio entre el caolín y el feldespato. Por consiguiente, las briquetas identificadas como P1 y P2 demostraron poseer las características necesarias para satisfacer las demandas del mercado en términos de mejora de calidad.
- La dosificación de los componentes, como el caolín, el feldespato y la arcilla, se llevó a cabo meticulosamente utilizando un enfoque basado en un diagrama ternario y la consulta de literatura especializada en cerámica. Se identificaron nueve combinaciones de dosificación que fueron sometidas a un proceso de quema a 1200 °C durante cinco horas,

seguido de un período de enfriamiento. Posteriormente, se evaluaron diversas propiedades de las briquetas resultantes, incluyendo su contracción, coloración, reducción de masa y compresión simple. Estos resultados fueron fundamentales para seleccionar las briquetas con las características óptimas que cumplen con los estándares de calidad deseados para su posterior comercialización. Además, se determinó la reducción de humedad de los materiales cerámicos, lo que proporcionó información crucial para comprender las condiciones iniciales de los mismos. En última instancia, este estudio integrado entre la teoría y la práctica refleja el compromiso con la excelencia en la producción de materiales cerámicos de alta calidad para satisfacer las necesidades del mercado y de los artesanos locales.

- Es imperativo resaltar que la mejora de los productos puede ampliarse aún más mediante la implementación de procesos de refinamiento, como el blanqueo de caolines y feldespatos, los cuales implican la eliminación de impurezas como los óxidos de hierro. Este procedimiento contribuye significativamente a elevar la calidad y la pureza de los materiales cerámicos utilizados en la producción.
- En el contexto de las briquetas, es relevante destacar la diversidad de tonalidades presentes en las muestras, dado que, en la industria cerámica, el color desempeña un papel fundamental en la percepción y aceptación de los productos terminados. Aquellas muestras que exhiben dosificaciones equilibradas entre feldespato y caolín tienden a adquirir tonalidades blancas, lo cual las hace idóneas para su aplicación en la elaboración de vajillas y otros artículos similares. Por otro lado, las dosificaciones con una mayor proporción de arcilla muestran una mayor resistencia a la fractura, lo cual es un atributo valioso en términos de durabilidad y funcionalidad en diversos contextos de uso.

- Es importante mencionar que todos los materiales caracterizados presentan propiedades fisicoquímicas adecuadas tanto antes como después del proceso de quema. Este hallazgo refuerza la premisa de que el feldespato y el caolín son materias primas altamente activas en proceso de quema, lo cual indica su idoneidad como componentes clave en la producción cerámica. En consecuencia, se puede concluir que estas materias primas poseen cualidades intrínsecas que las posicionan como opciones óptimas para la fabricación de productos cerámicos de alta calidad y rendimiento satisfactorio.

RECOMENDACIONES

- Es fundamental asegurarse de que los equipos de laboratorio estén al día y cuenten con el mantenimiento adecuado. En el caso específico de la investigación de arcillas, es crucial disponer de equipos que cumplan con las características necesarias para realizar determinaciones fisicoquímicas de manera precisa y completa. Por lo tanto, se recomienda mantener la actualización y ampliación del equipamiento del laboratorio de minas. Esto garantizará que se disponga del soporte necesario para llevar a cabo investigaciones de alta calidad, maximizando así el potencial de descubrimientos y avances en el campo de estudio.
- Se sugiere para futuras investigaciones ajustar las dosificaciones utilizadas, así como considerar la modificación de parámetros clave, como el empleo de caolín y feldespato sometidos a procesos de blanqueamiento. Además, se recomienda explorar la posibilidad de utilizar materias primas provenientes de parroquias circundantes o incluso de fuera del distrito, lo que podría ampliar el espectro de opciones disponibles y enriquecer el análisis comparativo.
- La mejora de la calidad de los productos cerámicos puede lograrse mediante el empleo de arcillas procedentes de la región oriental, que se distinguen por presentar mejores prestaciones en términos de propiedades fisicoquímicas para la industria. Las dosificaciones establecidas en el presente estudio pueden servir como punto de partida para la realización de diversas pruebas y experimentos, lo que permitiría perfeccionar aún más las características del producto final, adaptándolo de manera óptima a las demandas y expectativas del mercado.

- Dado que la materia prima empleada en la fabricación de cerámica constituye un recurso no renovable y su calidad varía significativamente en función de las distintas aplicaciones y procesos industriales, se hace necesario profundizar en la investigación sobre su uso y tratamiento. Explorar nuevas técnicas de extracción, procesamiento y aprovechamiento de estas materias primas podría contribuir a optimizar su uso, maximizando su eficiencia y minimizando el impacto ambiental asociado a su extracción y manipulación.

BIBLIOGRAFÍA

- Muñoz Chaves , J. A., Muñoz Menese, R. A., Mancill, P., & Rodríguez Páez, J. E. (2007). *Estudio del procesamiento cerámico de las arcillas de la vereda “La Codicia” (Guapi, Colombia) para potencializar su uso en la elaboración de piezas cerámicas*. Cauca. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/http://www.scielo.org.co/pdf/rfiua/n42/n42a05.pdf
- Nieto, M. I., Santacruz, I., & Moreno, R. (2013). *Consolidación de materiales cerámicos por gelidificación de polisacáridos*. Málaga,. Obtenido de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0255-69522014000100002
- Pergher, S. B., Corma, A., & Fornes, F. (2000). *Materiales laminares pilareados: preparación y propiedades*. Brazil . Obtenido de <https://www.scielo.br/j/qn/a/9nFVky7yqV6dHBbZbfDhLft/?lang=es>
- Torres , J., de Gutiérrez , R., Castelló, R., & Vizcayno, C. (2010). *Análisis comparativo de caolines de diferentes fuentes para la producción de metacaolín*. Colombia. Obtenido de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0255-69522011000100006
- Useche, V., Peña Rodríguez, G., Segura, E., & Gualdrón, L. (2009). *Efecto de la concentración de sulfato de sodio en la viscosidad y difusividad térmicas de barbotinas de arcillas rojas*. Cúcuta. Obtenido de https://www.academia.edu/71116685/Efecto_de_la_concentraci%C3%B3n_de_sulfato_de_sodio_en_la_viscosidad_y_difusividad_t%C3%A9rmica_de_barbotinas_de_arcillas_rojas

Varguez Lope, J. D., Domínguez Sánchez, M. J., & Mendoza Pinto, L. M. (2016). *Efecto de la incorporación de alúmina nanométrica en una matriz de policloropreno*. CHIHUAHUA.

Obtenido de

<https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/2339/1/Tesis%20pdf.pdf>

Zárate Medina, J., Trejo Arroyo, D., Contreras García, M., & Muñoz Saldaña. (2009). *EFFECTO DEL SEMBRADO CON α -ALÚMINA EN LA CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE*

AGLOMERADOS ESFÉRICOS DE ALÚMINA. Venezuela. Obtenido de

<https://www.researchgate.net/profile/Juan-Zarate->

[M/publication/267418903_EFECTO_DEL_SEMBRADO_CON_a-](https://www.researchgate.net/publication/267418903_EFECTO_DEL_SEMBRADO_CON_a-)

[ALUMINA_EN_LA_CHARACTERIZACION_MECANICA_DE_AGLOMERADOS_ES](https://www.researchgate.net/publication/267418903_EFECTO_DEL_SEMBRADO_CON_a-ALUMINA_EN_LA_CHARACTERIZACION_MECANICA_DE_AGLOMERADOS_ES)

[FERICOS_DE_ALUMINA/links/554cd71c0cf21ed2135e0672/EFECTO-DEL-](https://www.researchgate.net/publication/267418903_EFECTO_DEL_SEMBRADO_CON_a-ALUMINA_EN_LA_CHARACTERIZACION_MECANICA_DE_AGLOMERADOS_ESFERICOS_DE_ALUMINA/links/554cd71c0cf21ed2135e0672/EFECTO-DEL-)

[SEMBRADO-CON-a-ALUMINA-EN-LA-CARACTERIZ](https://www.researchgate.net/publication/267418903_EFECTO_DEL_SEMBRADO_CON_a-ALUMINA_EN_LA_CHARACTERIZACION_MECANICA_DE_AGLOMERADOS_ESFERICOS_DE_ALUMINA/links/554cd71c0cf21ed2135e0672/EFECTO-DEL-SEMBRADO-CON-a-ALUMINA-EN-LA-CARACTERIZ)

Anónimo. (S/F de S/F de S/F). *Experimentos Científicos*. Obtenido de Experimentos Científicos:

https://www.experimentoscientificos.es/ph/escala-del-ph/#PH_ALCALINO

Asmae, M. (S/F). *Puesta a punto del equipo de compresión simple e interpretación de ensayos acorde a la normativa vigente*. Cartagena. Obtenido de

[efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmhttps://repositorio.upct.es/xmlui/bitstream/handle/10317/](https://repositorio.upct.es/xmlui/bitstream/handle/10317/efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmhttps://repositorio.upct.es/xmlui/bitstream/handle/10317/)

[9124/tfg-mou-pue.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.upct.es/xmlui/bitstream/handle/10317/9124/tfg-mou-pue.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Barrón, D., García, N., Méndez, Y., & Luna, M. (2016). *Molinos de bolas para operaciones mineras*. México. Obtenido de

[https://ipicyt.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1010/2404/1/VigilanciaTecnolog](https://ipicyt.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1010/2404/1/VigilanciaTecnologicaMolinos%282016%29.pdf)

[icaMolinos%282016%29.pdf](https://ipicyt.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1010/2404/1/VigilanciaTecnologicaMolinos%282016%29.pdf)

- Barrón, D., García, N., Méndez, Y., & Luna, M. (2016). *Molinos de bolas para operaciones mineras*. México. Obtenido de <https://ipicyt.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1010/2404/1/VigilanciaTecnologicaMolinos%282016%29.pdf>
- Bartolomé, J. F. (1977). *El caolín: composición, estructura, génesis y aplicaciones*. España. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://boletines.secv.es/upload/111222333.199736007.pdf
- Biogeo. (January de 2014). *biogeo.esy.es*. Obtenido de biogeo.esy.es: <http://biogeo.esy.es/petrologia.htm>
- Bocayá. (2007). *Caracterización composicional de sílice de ramiriquí boyacá*. Colombia. Obtenido de <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/5135/2381>
- Boccaccini, A. R., Boccaccini, D. N., Pearce, D. H., & Janczak Rusch, J. (1998). *Estudio del daño por choque térmico en materiales compuestos de matriz de vidrio reforzados con fibras de carburo de silicio*. España.
- Cabezas, E. (2017). *Diseño y construcción de un molino de bolas para aplicaciones de pilvimetalurgia en los laboratorios de ingeniería mecánica de la facultad de ingeniería civil y mecánica de la universidad técnica de Ambato*. Ambato.
- Callister, W. (1995). *Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales*. REVERTÉ, S.A. Obtenido de https://www.academia.edu/15503208/Introduccion_a_la_Ciencia_e_Ingenieria_de_los_Materiales_Callister_1995

Carbones y Sistemas, S.L.L. (2023). *CARBONES Y SISTEMAS*. Obtenido de CARBONES Y SISTEMAS: <https://carbosystem.com/>

Carhuallanqui, R. (2012). *Conversión de un molino de barras a bolas en planta concentradora compañía minera casapalca S.A. HUANCAVO*. Obtenido de https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/169/FIM-12_359.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Civil, I. (22 de Marzo de 2011). *uningenierocivil.blogspot.com*. Obtenido de uningenierocivil.blogspot.com: <http://uningenierocivil.blogspot.com/2011/03/densidad-porosidad-e-indice-de-vacios.html>

De la Torre, E., Cando, M., & Guevara, A. (2011). *Desarrollo y caracterización de caolines modificados para aplicaciones industriales*. Quito. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4340>

Díaz, L., & Torrecillas, R. (2002). *Arcillas cerámicas: una revisión de sus distintos tipos, significados y aplicaciones*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/<https://digital.csic.es/bitstream/10261/4676/1/arcillas.pdf>

Díaz, L., & Torrecillas, R. (2002). *Arcillas cerámicas: una revisión de sus distintos tipos, significados y aplicaciones*. España. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10261/4676>

Diez Productos Cerámicos, S.L. (9 de Enero de 2023). *diezceramic.com*. Obtenido de diezceramic.com: <https://diezceramic.com/barbotina/>

Domínguez Soto, J. M., Román Gutiérrez, A. D., Prieto García, F., & Acevedo Sandoval, O. (2012). *Sistema de notación munsell y CIELab como herramienta para evaluación de color en suelos*. Texcoco. Obtenido de

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342012000100010#:~:text=El%20sistema%20de%20notaci%C3%B3n%20Munsell%20es%20una%20herramienta%20%C3%BAtil%20econ%C3%B3mica,fue%20el%20caso%20de%20CIELab.

Domínguez, J., Román, A., Prieto, F., & Acevedo, O. (2012). *Sistema de notación munsell y CIELab como herramienta para evaluación de color en suelos*. Texcoco. Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342012000100010#:~:text=El%20sistema%20de%20notaci%C3%B3n%20Munsell%20es%20una%20herramienta%20%C3%BAtil%20econ%C3%B3mica,fue%20el%20caso%20de%20CIELab.

Donoso, E. (30 de Mayo de 2007). *u-cursos.cl*. Obtenido de u-cursos.cl: https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2011/2/CM4201/1/material_docente/bajar?id=382879

Dueñas, J., & González, V. (2018). *Diseño y construcción de un molino de bolas para la pulverización de arcillas en el laboratorio de catálisis de la universidad de Córdoba*. CÓRDOBA. Obtenido de <https://repositorio.unicordoba.edu.co/entities/publication/7237c380-abcc-4dac-b43e-8390b3a6d824>

Etecé, E. (2013). *concepto.de*. Obtenido de concepto.de: <https://concepto.de/ph/>

Ferrandis, V. A. (1974). *Importancia de la cerámica*. Obtenido de <https://boletines.secv.es/upload/197413025.pdf>

G. Mallol, D. I. (2010). *Medida de la densidad aparente de baldosas cerámicas de forma rápida, inocua y no destructiva*. Obtenido de chrome-

extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://digital.csic.es/bitstream/10261/36641/1/BSECV-09-05-2011.pdf

Galán, E., & Aparicio, P. (2006). *Materias primas para la industria cerámica*. Sevilla. Obtenido de <https://repositori.uji.es/xmlui/handle/10234/83510>

Galindo, R. (2017). *rafagalindoceramica.com*. Obtenido de rafagalindoceramica.com: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://rafagalindoceramica.com/wp-content/uploads/2021/03/Comportamiento_secado.pdf

García, F. (2015). *Evaluación de fabricación de bolas de molienda base alúmina*. QUERETARO. Obtenido de <https://ri-ng.uaq.mx/bitstream/123456789/5243/1/RI002504.pdf>

García, M. A. (2005). *Compuestos cerámicos*. Málaga. Obtenido de http://webdeptos.uma.es/qicm/Doc_docencia/Tema6_CM.pdf

González, M. (2009). *martaceramica.com*. Obtenido de martaceramica.com: <https://martaceramica.com/barbotina-ceramica/>

Guillen A, J., Bribiesca V, S., & Escudero G, R. (2012). *Caracterización y evaluación de un depósito de caolín de “los azufres” Michoacán, México, para su uso industrial*. México. Obtenido de <https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=https://digital.csic.es/bitstream/10261/64781/1/bsecv-23-01-2013.pdf>

Guillen, J., Bribiesca, S., & Escudero, R. (2012). *Caracterización y evaluación de un depósito de caolín de “los azufres” Michoacán, México, para su uso industrial*. México. Obtenido de <https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=https://digital.csic.es/bitstream/10261/64781/1/bsecv-23-01-2013.pdf>

Huerta, Á. C. (2007). *Cerámica: Origen, evolución y técnicas*. ESPAÑA. Obtenido de https://literacias.net/bibliodigital/download/453/Ceramica_%20Origen,%20Evolucon%20y%20Te%20-%20Africa%20Canillada%20Huerta.pdf

Instituto de Tecnología Cerámica. (S/F). *observatoriotecnologicoceramico.es*. Obtenido de observatoriotecnologicoceramico.es: <https://observatoriotecnologicoceramico.es/>

Kane2. (02 de 10 de 2022). *universityagro.ru*. Obtenido de universityagro.ru: Capacidad de absorción de los suelos/es/agroquimica/capacidad-de-absorcion-de-los-suelos/#:~:text=La%20capacidad%20de%20absorción%20química,del%20suelo%20en%20sustancias%20insolubles.

Lefevre, R. (2014). *Materiales estructura*. Obtenido de <https://rephip.unr.edu.ar/bitstream/handle/2133/3229/5501-14%20MATERIALES%20Estructura.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Lema Auz, G. E. (2018). *ESTUDIO DEL APROVECHAMIENTO DE MINERALES ARCILLOSOS DEL ECUADOR EN LA ELABORACIÓN DE BARBOTINAS PARA USOS EN EL SECTOR CERÁMICO ARTESANAL*. Quito.

Lumitos. (2008). *www.quimica.es*. Obtenido de www.quimica.es: <https://www.quimica.es/enciclopedia/Feldespatos.html>

Mariscal, J. M. (14 de julio de 2011). *ceramicasjosemariscal.blogspot.com*. Obtenido de ceramicasjosemariscal.blogspot.com: <https://ceramicasjosemariscal.blogspot.com/2011/07/estructuras-composicion-y.html>

Martínez, F., Sosa, F., & Ortiz, J. (2010). *Comportamiento de la humedad del suelo con diferente cobertura vegetal en la cuenca La Esperanza*. Guanajuato. Obtenido de www.scielo.org.mx/pdf/tca/v1n4/v1n4a5.pdf

Méndez, L., Palacios, J., & Hernández., A. (2019). *Diseño y construcción de un molino de bolas.*

San Salvador. Obtenido de

https://nanotecnialab.ufg.edu.sv/frm/newsletters/Nanoboletin_Octubre-2019.pdf

Mendoza , A., Salazar , A., Morales , A., & Montemayor Aldrete , J. (1993).

MétodoparacalibrarlevastipoAndrade-Chalmers que aplican esfuerzo constante durante pruebas de termofluencia. Mexico. Obtenido de

<https://rmf.smf.mx/ojs/index.php/rmf/article/view/2389/2357>

Morales, J. (2012). *Materias primas para pastas cerámicas* . Obtenido de

[https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=CEn3-](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=CEn3-hwoqDYC&oi=fnd&pg=PA51&dq=Fluidificaci%C3%B3n++ceramicas+&ots=Rv3TapgCGK&sig=K-CjjVUTKwvN0s6_TkrZhFT2e5o#v=onepage&q=Fluidificaci%C3%B3n%20%20&f=false)

[hwoqDYC&oi=fnd&pg=PA51&dq=Fluidificaci%C3%B3n++ceramicas+&ots=Rv3TapgCGK&sig=K-](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=CEn3-hwoqDYC&oi=fnd&pg=PA51&dq=Fluidificaci%C3%B3n++ceramicas+&ots=Rv3TapgCGK&sig=K-CjjVUTKwvN0s6_TkrZhFT2e5o#v=onepage&q=Fluidificaci%C3%B3n%20%20&f=false)

[CjjVUTKwvN0s6_TkrZhFT2e5o#v=onepage&q=Fluidificaci%C3%B3n%20%20&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=CEn3-hwoqDYC&oi=fnd&pg=PA51&dq=Fluidificaci%C3%B3n++ceramicas+&ots=Rv3TapgCGK&sig=K-CjjVUTKwvN0s6_TkrZhFT2e5o#v=onepage&q=Fluidificaci%C3%B3n%20%20&f=false)

Muñoz Portero, M. J. (2020). *Procesamiento de materiales cerámicos tradicionales: azulejos cerámicos y ladrillos de construcción.* Valencia. Obtenido de

<https://riunet.upv.es/handle/10251/146536>

Muñoz, J., Muñoz, R., Mancill, P., & Rodríguez, J. (2007). *Estudio del procesamiento cerámico de las arcillas de la vereda “La Codicia” (Guapi, Colombia) para potencializar su uso en la elaboración de piezas cerámicas.* Cauca. Obtenido de chrome-

[extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/http://www.scielo.org.co/pdf/rfiua/n42/n42a05.pdf](http://www.scielo.org.co/pdf/rfiua/n42/n42a05.pdf)

Nava, R., & Aguilar, J. (2012). *Formulación de una barbotina para producir cintas cerámicas ultradelgadas.* Monterrey. Obtenido de <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/10505>

- Novelo, A., & Gracia, J. (2010). *Trayectorias en diagramas ternarios*. Mexico. Obtenido de <https://www.scielo.org.mx/pdf/eq/v21n4/v21n4a7.pdf>
- Novelo, A., & Gracia, J. (2010). *Trayectorias en diagramas ternarios*. México.
- Oaxaca, G. E. (2004). *pep.ieepo.oaxaca.gob.mx*. Obtenido de [pep.ieepo.oaxaca.gob.mx](http://pep.ieepo.oaxaca.gob.mx/recursos/multimedia/rocas_minerales/publi_rocas/caolin.htm):
http://pep.ieepo.oaxaca.gob.mx/recursos/multimedia/rocas_minerales/publi_rocas/caolin.htm
- Olvera, P., & Hernández, L. (2014). *El caolín y sus aplicaciones industriales*. México. Obtenido de <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/icbi/n2/e1.html>
- ORL Hornos Eléctricos S.A. (2014). *ORL Hornos Eléctricos*. Obtenido de ORL Hornos Eléctricos: <https://www.orlhornos.com.ar/hornos/horno-para-ceramica.php>
- Pablo, L. d. (1964). *Las arcillas: Clasificación, identificación, usos y especificaciones Industriales*. Mexico. Obtenido de <https://www.jstor.org/stable/44173956>
- Pinto, A. (2011). *Materiales y materia prima*. Buenos Aires. Obtenido de <https://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/ceramicos.pdf>
- Rivera M, I. E., Quintero, F., & Bustamante, M. O. (2012). *Análisis del desgaste de medios moledores de acero en un molino de bolas de la compañía Argos S.A.* Medellín.
- Rivera, I., Quintero, F., & Bustamante, M. (2012). *Análisis del desgaste de medios moledores de acero en un molino de bolas de la compañía Argos S.A.* Medellín.
- Rocha, E. (2012). *Introducción a los materiales cerámicos*.
- Rodriguez, F. j. (2002). *Desarrollo de una barbotina cerámica para vaciado de alta presión mediante el uso de la determinación de la permeabilidad en el filtro baroid*. Nuevo Leon. Obtenido de chrome-

extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://core.ac.uk/download/pdf/76591669.pdf

Sánchez Muñoz, L., & García Guinea, J. (1992). *Feldespatos: mineralogía, yacimientos y aplicaciones*. Madrid. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10261/89974>

Sanchez muñoz, L., García Guinea, J., & Lopez Andres, S. (1991). *Caracterización de estructural simple de feldespatos alcalinos: metodología del trabajo*. Madrid. Obtenido de <https://digital.csic.es/handle/10261/73823>

Sanchez, J. (2000). *Diseño, construcción y análisis de 4 hornos de alimentación manual para el revelado de esfuerzos en resortes*. QUERETARO. Obtenido de <https://cidesi.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1024/139/1/M-JLSG-00.pdf>

Sánchez, L., García, J., & Lopez, S. (1991). *Caracterización de estructural simple de feldespatos alcalinos: metodología del trabajo*. Madrid. Obtenido de <https://digital.csic.es/handle/10261/73823>

Torres, J., De Gutiérrez, R. M., Castelló, R., & Vizcayno, C. (2010). *Análisis comparativo de caolines de diferentes fuentes para la producción de metacaolín*. Colombia. Obtenido de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0255-69522011000100006

Univeridad Politécnica de València . (S/F). *UPV. ES*. Obtenido de UPV.ES:

https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm14/fcm14_3.html

Useche, V., Peña, G., Segura, E., & Gualdrón, L. (2009). *Efecto de la concentración de sulfato de sodio en la viscosidad y difusividad térmicas de barbotinas de arcillas rojas*. Cúcuta.

Obtenido de

https://www.academia.edu/71116685/Efecto_de_la_concentraci%C3%B3n_de_sulfato_d

e_sodio_en_la_viscosidad_y_difusividad_t%C3%A9rmica_de_barbotinas_de_arcillas_rojas

Varguez, J., Domínguez, M., & Mendoza, L. (2016). *Efecto de la incorporación de alúmina nanométrica en una matriz de policloropreno*. Chihuahua. Obtenido de

<https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/2339/1/Tesis%20pdf.pdf>

Vásquez, E. (2022). *Correlación entre el índice de carga puntual y la resistencia a la compresión simple en material rocoso del sector Cojitambo*. Cuenca.

Yanguatin, H., Tobón, J., & Ramírez, J. (2016). *Reactividad puzolánica de arcillas caoliníticas, una revisión*. colombia. Obtenido de chrome-

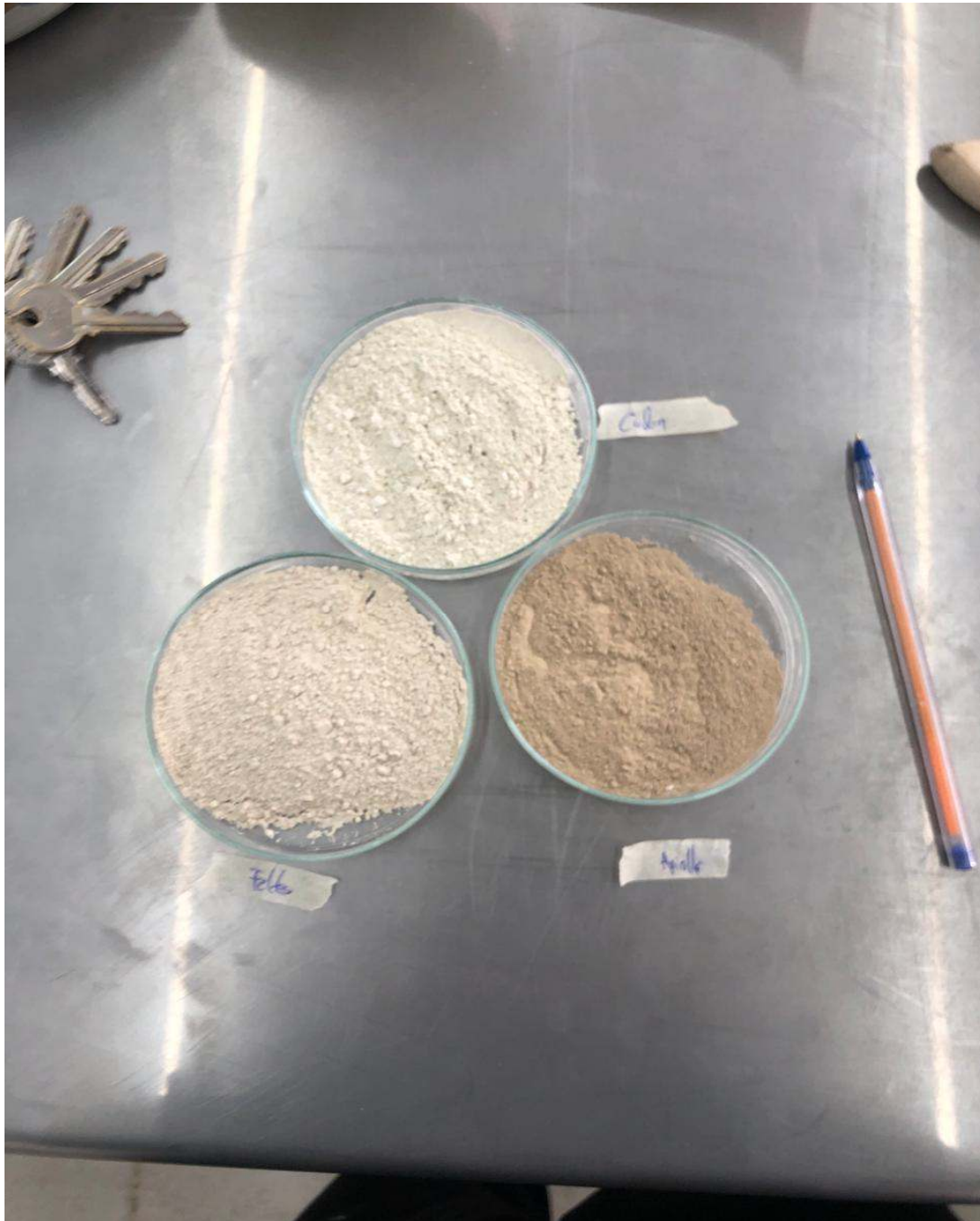
[extension://efaidnbmnnnibpajpcgclefindmkaj/https://www.scielo.cl/pdf/ric/v32n2/art02.pdf](https://efaidnbmnnnibpajpcgclefindmkaj/https://www.scielo.cl/pdf/ric/v32n2/art02.pdf)

ANEXOS

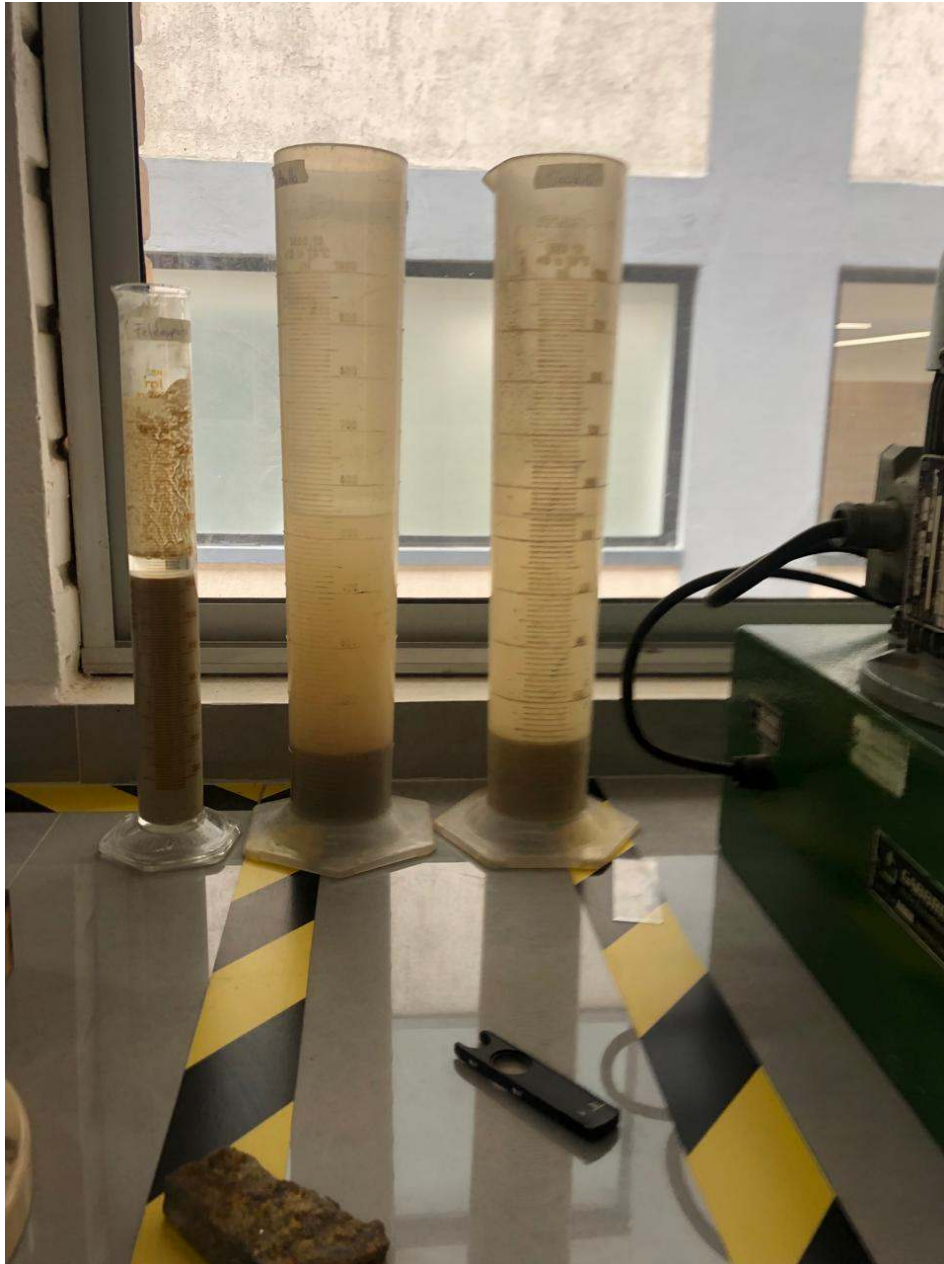
Anexo 1. *Producto terminado de los artesanos de Ludo*



Anexo 2. *Dosificaciones de la materia prima*



Anexo 3. *Densidades de cada materia prima*



Anexo 4 . Briquetas después de la quema



Anexo 5. Briquetas con códigos antes de la quema



Anexo 6. Alfarero

