	GESTIÓN DE SERVICIOS ACADÉMICOS Y BIBLIOTECARIOS	CÓDIGO	FO-GS-15
		VERSIÓN	02
ESQUEMA HOJA DE RESUMEN		FECHA	03/04/2017
		PÁGINA	1 de 1
ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ	
Jefe División de Biblioteca	Equipo Operativo de Calidad	Líder de Calidad	

RESUMEN TRABAJO DE GRADO

AUTOR(ES):

NOMBRE(S): KEVIN ORLANDO APELLIDOS: CUADROS BARAJAS

FACULTAD: INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA CIVIL

DIRECTOR:

NOMBRE(S): LEIDY KATHERINE APELLIDOS: PEÑALOZA ISIDRO

NOMBRE(S): JAVIER ALFONSO APELLIDOS: CÁRDENAS GUTIERREZ

TÍTULO DEL TRABAJO (TESIS): EVALUACIÓN DE MEZCLAS DE ARCILLA ADICIONANDO CHAMOTA DE CERÁMICA ESMALTADA PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUE DE CONSTRUCCIÓN

El trabajo investigativo fue enfocado en la reutilización de la chamota de cerámica esmaltada, dándole un uso adecuado y ayudando con la sostenibilidad del planeta. La propuesta fue remplazar un porcentaje de la materia prima tradicional que es la arcilla por la chamota de cerámica esmaltada y lograr disminuir el costo del bloque. Los productos cerámicos fueron elaborados con la técnica de extrusión, los porcentajes que se remplazaron fueron 2.5%, 5% y 7.5%, la temperatura de cocción fue de 1000 °C. Los resultados obtenidos fueron positivos, las mezclas con los tres diferentes porcentajes cumplieron con la resistencia mecánica a la compresión y el porcentaje de absorción de agua estipulada en la NTC 4205:2000, para lo cual, finalmente se logró disminuir el costo del bloque \$6.97 comparado con el bloque comercial.

PALABRAS CLAVES: Arcilla, Bloque de Construcción, Chamota de Cerámica

Esmaltada, Evaluación, Sostenibilidad.

CARACTERÍSTICAS:

PÁGINAS: 118 PLANOS: ILUSTRACIONES: 27 CD ROOM:

****Copia No Controlada****

EVALUACIÓN DE MEZCLAS DE ARCILLA ADICIONANDO CHAMOTA DE CERÁMICA
ESMALTADA PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUE DE CONSTRUCCIÓN

KEVIN ORLANDO CUADROS BARAJAS

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA CIVIL

SAN JOSÉ DE CÚCUTA, NORTE DE SANTANDER

2021

EVALUACIÓN DE MEZCLAS DE ARCILLA ADICIONANDO CHAMOTA DE CERÁMICA
ESMALTADA PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUE DE CONSTRUCCIÓN

KEVIN ORLANDO CUADROS BARAJAS

Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de Ingeniero Civil

Director: MSc.Ing. Leidy Katherine Peñaloza Isidro

Codirector: PhD.MSc.Ing. Javier Alfonso Cárdenas Gutiérrez

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA CIVIL

SAN JOSÉ DE CÚCUTA, NORTE DE SANTANDER

2021

ACTA DE SUSTENTACION DE TRABAJO DE GRADO

FECHA: 21 DE OCTUBRE DE 2021 **HORA:** 8:00 a. m.

LUGAR: VIDEO CONFERENCIA GOOGLE MEET

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERIA CIVIL

TITULO DE LA TESIS: "EVALUACION DE MEZCLAS DE ARCILLA ADICIONANDO CHAMOTA DE CERAMICA ESMALTADA PARA LA FABRICACION DE BLOQUE DE CONSTRUCCION".

JURADOS: ING. MIGUEL ANGEL BARRERA MONSALVE
ING. CLAUDIA PATRICIA CHAUSTRE SANCHEZ

DIRECTOR: INGENIERA LEIDY KATHERINE PEÑALOZA ISIDRO
INGENIERO JAVIER ALFONSO CARDENAS GUTIERREZ

NOMBRE DE LOS ESTUDIANTES:	CODIGO	CALIFICACION	
		NUMERO	LETRA
KEVIN ORLANDO CUADROS BARAJAS	1113000	4,4	CUATRO, CUATRO

A P R O B A D A



ING. MIGUEL ANGEL BARRERA MONSALVE ING. CLAUDIA PATRICIA CHAUSTRE SANCHEZ

Vo. Bo.



JAVIER ALFONSO CARDENAS GUTIERREZ
Coordinador Comité Curricular

Betty M.

DEDICATORIA

Quiero dedicar este Proyecto de Grado a toda mi familia, a mi pareja y mis amigos, quienes son un pilar en mi vida y mi motivación a seguir adelante y superarme cada día, a no rendirme y ser perseverante ya que cada meta que me proponga estoy en la capacidad de cumplirla con entrega y disciplina. Me han enseñado el valor de la amistad, la lealtad y gratitud, siendo ellos el mayor ejemplo de estos, porque en los peores y mejores momentos están presentes sin importar nada. Dedico con amor y agradecimiento a mis padres quienes han puesto mucho en juego con tal de verme triunfador y siendo el mejor en lo que me desempeñe, cada logro y meta cumplida en mi vida, es un logro en la suya. Este Proyecto lleva consigo muchas historias de vida, de esfuerzos y sacrificios y al culminarlo dejo constancia que del que persevera alcanza y que acompañados todo es mejor.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a mi directora la Ingeniera Leidy Katherine Peñaloza Isidro, por brindarme sus conocimientos y guiarme, formando parte importante de este proyecto con sus consejos y aportes profesionales.

Quiero agradecer a la Universidad Francisco de Paula Santander por ofrecerme los recursos que fueron necesarios para llevar a cabo el proceso de investigación; y al Centro de Investigación de Materiales Cerámicos (CIMAC) por ser parte primordial de los laboratorios realizados en este proyecto.

También quiero agradecer a toda mi familia por apoyarme aun cuando mis ánimos decaían; en especial, quiero hacer mención de mis padres, Leila Marisela Barajas Soto y Jorge Orlando Cuadros Ureña por ser quienes creyeron en mí desde el primer momento, ser mi motor y mayor motivación para salir adelante, por todos sus consejos, sus palabras de aliento que me hacen ser mejor día a día, y enseñarme a no rendirme por más agotado, frustrado que me encuentre, gracias por ser quienes son y por creer en mí.

Mi pareja María Camila Hernández Contreras, gracias por apoyarme en todos los momentos difíciles que tuve en este trayecto, por ser mi respaldo emocional y acompañarme en todo el proceso, porque nunca me dejó desfallecer y me motivaba a entregar lo mejor de mí.

Por último, a mis compañeros de carrera y amigos en particular a Leidy Sepúlveda y Brayan Sereno, gracias porque en todo este proceso siempre estuvieron presentes ayudándome en cada paso del proyecto, cuando dudaba y no estaba seguro, permanentemente me brindaron sus conocimientos y amistad para dar lo mejor y sacarlo adelante.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	18
1. Descripción del Problema	20
1.1. Título	20
1.2. Planteamiento del Problema	20
1.3. Formulación del Problema	21
1.4. Objetivos	21
1.4.1. Objetivo General	21
1.4.2. Objetivos Específicos	21
1.5. Justificación	21
1.6. Alcances y Limitaciones	22
1.6.1. Alcances	22
1.6.2. Limitaciones	22
2. Marco Referencial	23
2.1. Antecedentes y Estado del Arte	23
2.1.1. Antecedentes Internacionales	23
2.1.2. Antecedentes Nacionales	24
2.1.3. Antecedentes Regionales.	25
2.2. Marco Teórico	26
2.2.1. Economía Circular	26
2.2.2. Fabricación del Bloque de Construcción	27

2.2.3. Proceso de Fabricación de Baldosas Cerámicas	27
2.2.4. Preparación de la Composición	28
2.2.5. Preparación de la Pasta	29
2.2.6. Conformado y Secado en Crudo de la Pieza	31
2.2.7. Esmaltado y Decoración	33
2.2.8. Cocción	34
2.2.9. Tratamientos Adicionales	35
2.2.10. Clasificación y Embalaje	36
2.3. Marco Conceptual	37
2.4. Marco Contextual	38
2.5. Marco Legal	39
3. Diseño Metodológico	41
3.1. Tipo de Investigación	41
3.2. Población y Muestra	42
3.2.1. Población	42
3.2.2. Muestra	43
3.3. Instrumentos para la Recolección de Información	43
3.4. Fases y Actividades Específicas	44
4. Metodología	46
4.1. Materias Primas Utilizadas	47

4.1.1. Arcilla	47
4.1.2. Arcillas Cerámicas	49
4.1.3. Arcillas Comunes	49
4.1.4. Chamota de Cerámica Esmaltada	53
4.2. Proceso de Conformado	55
4.3. Ensayos Realizados	58
4.3.1. Análisis Físico-cerámico	58
4.3.2. Determinación de la Absorción de Agua en Unidades de Mampostería	60
4.3.3. Determinación de la Resistencia Mecánica a la Compresión en Unidades de Mampostería	63
4.4. Normas Aplicadas	65
4.4.1. Propiedades Físicas	65
5. Informe Final	68
5.1. Diagnóstico del Sector Productivo de Chamota esmaltada en Norte de Santander	68
5.2. Desarrollo del Bloque H-10 Utilizando Diferentes Porcentajes del Nutriente a nivel de Laboratorio	76
5.2.1. Selección y Preparación de los Especímenes de Ensayo	77
5.2.2. Número de Especímenes	77
5.2.3. Identificación	78
5.3. Análisis Físico Cerámico por Extruido	79

5.3.1. Arcilla 100%	79
5.3.2. Arcilla 97,5 % y Chamota de Cerámica Esmaltada 2,5 %	80
5.3.3. Arcilla 95,0 % y Chamota de Cerámica Esmaltada 5,0 %	81
5.3.4. Arcilla 92,5 % y Chamota de Cerámica Esmaltada 7,5 %	82
5.4. Ensayo de Absorción de Agua	83
5.4.1. Absorción de Agua para cada Espécimen Analizado	83
5.4.2. Absorción de Agua de la Muestra	83
5.5. Ensayo de Resistencia Mecánica a la Compresión	89
5.6. Evaluación del Bloque H-10 Desarrollado a Nivel de Laboratorio	96
5.6.1. Análisis de Parámetros del Ensayo Físico Cerámico por Extrusión	96
5.6.2. Análisis de Resultados del Ensayo de Absorción de Agua	97
5.6.3. Análisis de Resultados del Ensayo de Resistencia Mecánica a la Compresión	99
5.7. Costos del Bloque H-10 Normal y del Bloque Fabricado con Chamota de Cerámica Esmaltada	101
5.7.1. Determinación de las Relaciones entre Costo y Actividad	104
6. Conclusiones	109
7. Recomendaciones	111
8. Referencias Bibliográficas	112
Anexos	116

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Preparación de la Composición	29
Figura 2. Preparación de la Pasta	31
Figura 3. Conformado y Secado en Crudo de la Pieza	32
Figura 4. Esmaltado y Decoración	33
Figura 5. Cocción	35
Figura 6. Tratamientos Especiales	36
Figura 7. Clasificación y Embalaje	37
Figura 8. Fases de la Investigación	45
Figura 9. Frente de Explotación de la Arcilla (Cerámica Támesis S.A.)	49
Figura 10. Análisis Comparativo por Difracción de Rayos X de las Fases Identificadas en el Espécimen Seleccionado de la Muestra	51
Figura 11. Extrusora de Laboratorio con Vacío	57
Figura 12. Apisonador de la Arcilla (Trituración)	57
Figura 13. Molino de Martillos (Molienda Vía Seca)	57
Figura 14. Tamiz Malla 10 (Tamizado)	58
Figura 15. Estufa de 128 litros	58
Figura 16. Horno Mufla	58
Figura 17. Pie de Rey Digital de 200 mm	59
Figura 18. Balanza Digital de 20 kg	60
Figura 19. Tanque para realizar Absorción de Agua por el Método de Inmersión	61
Figura 20. Termohigrómetro EXTECH	61
Figura 21. Crometro (Prensa de Presión)	64

Figura 22. Capacidad Instalada	73
Figura 23. Clientes del Sector Cerámico	74
Figura 24. Porcentajes de Absorción de Agua de las Mezclas de 2.5%, 5% y 7.5% de Chamota de Cerámica Esmaltada	98
Figura 25. Porcentajes de Absorción de Agua Promedio de las Mezclas de 2.5%, 5% y 7.5% de Chamota de Cerámica Esmaltada	99
Figura 26. Resistencia Mecánica a la Compresión de las Mezclas de 2.5%, 5% y 7.5% de Chamota de Cerámica Esmaltada	100
Figura 27. Resistencia Mecánica a la Compresión Promedio de las Mezclas de 2.5%, 5% y 7.5% de Chamota de Cerámica Esmaltada	100

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Composición Estructural del Material Arcilloso	50
Tabla 2. Resultados Obtenidos por Fluorescencia de Rayos-X de la Muestra Identificada	52
Tabla 3. Chamota 100% Preparada con Pasta Cerámica Esmaltada	53
Tabla 4. Resultados FRX de Chamota Preparada 100% con Pasta Cerámica Esmaltada	54
Tabla 5. Resultados FRX de Chamota de Rotura Cocida CRC-I (Muestra de Resultados FRX Argos)	55
Tabla 6. Propiedades Físicas de las Unidades de Mampostería Estructural	66
Tabla 7. Propiedades Físicas de las Unidades de Mampostería no Estructural	67
Tabla 8. Productos Fabricados en la Región	71
Tabla 9. Mercados en los que Participa el Sector	72
Tabla 10. Alianzas Estratégicas para la Investigación y Desarrollo	74
Tabla 11. Mezclas Elaboradas y Ensayadas	77
Tabla 12. Plan de Muestreo	78
Tabla 13. Análisis Físico Cerámico Arcilla 100%	79
Tabla 14. Análisis Físico Cerámico Chamota de Cerámica Esmaltada 2,5%	80
Tabla 15. Análisis Físico Cerámico Chamota de Cerámica Esmaltada 5,0 %	81
Tabla 16. Análisis Físico Cerámico Chamota de Cerámica Esmaltada 7,5 %	82
Tabla 17. Porcentaje de Absorción de Agua de Especímenes del Lote 1 con Arcilla 100%	84
Tabla 18. Porcentaje de Absorción de Agua de Especímenes del Lote 2 con	

Arcilla 100%	84
Tabla 19. Porcentaje de Absorción de Agua de Especímenes del Lote 3 con Arcilla 100%	85
Tabla 20. Porcentaje de Absorción de Agua de Especímenes del Lote 1 con Chamota de Cerámica Esmaltada 2.5%	85
Tabla 21. Porcentaje de Absorción de Agua de Especímenes del Lote 2 con Chamota de Cerámica Esmaltada 2.5%	86
Tabla 22. Porcentaje de Absorción de Agua de Especímenes del Lote 3 con Chamota de Cerámica Esmaltada 2.5%	86
Tabla 23. Porcentaje de Absorción de Agua de Especímenes del Lote 1 con Chamota de Cerámica Esmaltada 5%	87
Tabla 24. Porcentaje de Absorción de Agua de Especímenes del Lote 2 con Chamota de Cerámica Esmaltada 5%	87
Tabla 25. Porcentaje de Absorción de Agua de Especímenes del Lote 3 con Chamota de Cerámica Esmaltada 5%	88
Tabla 26. Porcentaje de Absorción de Agua de Especímenes del Lote 1 con Chamota de Cerámica Esmaltada 7.5%	88
Tabla 27. Porcentaje de Absorción de Agua de Especímenes del Lote 2 con Chamota de Cerámica Esmaltada 7.5%	89
Tabla 28. Porcentaje de Absorción de Agua de Especímenes del Lote 3 con Chamota de Cerámica Esmaltada 7.5%	89
Tabla 29. Resistencia Mecánica a la Compresión de Especímenes del Lote 1 con Arcilla 100%	90

Tabla 30. Resistencia Mecánica a la Compresión de Especímenes del Lote 2 con Arcilla 100%	91
Tabla 31. Resistencia Mecánica a la Compresión de Especímenes del Lote 3 con Arcilla 100%	91
Tabla 32. Resistencia Mecánica a la Compresión de Especímenes del Lote 1 con Chamota de Cerámica Esmaltada 2.5%	92
Tabla 33. Resistencia Mecánica a la Compresión de Especímenes del Lote 2 con Chamota de Cerámica Esmaltada 2.5%	92
Tabla 34. Resistencia Mecánica a la Compresión de Especímenes del Lote 3 con Chamota de Cerámica Esmaltada 2.5%	93
Tabla 35. Resistencia Mecánica a la Compresión de Especímenes del Lote 1 con Chamota de Cerámica Esmaltada 5%	93
Tabla 36. Resistencia Mecánica a la Compresión de Especímenes del Lote 2 con Chamota de Cerámica Esmaltada 5%	94
Tabla 37. Resistencia Mecánica a la Compresión de Especímenes del Lote 3 con Chamota de Cerámica Esmaltada 5%	94
Tabla 38. Resistencia Mecánica a la Compresión de Especímenes del Lote 1 con Chamota de Cerámica Esmaltada 7.5%	95
Tabla 39. Resistencia Mecánica a la Compresión de Especímenes del Lote 2 con Chamota de Cerámica Esmaltada 7.5%	95
Tabla 40. Resistencia Mecánica a la Compresión de Especímenes del Lote 3 con Chamota de Cerámica Esmaltada 7.5%	96
Tabla 41. Datos Promedio de las 3 Absorciones de Agua	97

Tabla 42. Actividades de Empresa que Fabrica Bloque H-10	101
Tabla 43. Componente del Costo Vs Actividad	104
Tabla 44. Consolidado de los Costos de las Actividades de Producción en el Periodo Analizado	106
Tabla 45. Costo del Bloque Usando Chamota de Cerámica Esmaltada	107

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Bloque de Arcilla H-10

117

Introducción

Este proyecto tiene como propósito la evaluación del comportamiento de la chamota esmaltada al ser mezclada con arcilla en la producción de bloques de construcción. El cual se observó en el laboratorio del Centro de Investigación de Materiales Cerámicos CIMAC de Universidad Francisco de Paula Santander. Se realizó ensayos de laboratorio para obtener las propiedades físicas y químicas de los materiales son: FRX (Fluorescencia de Rayos X), TG-DSC (Térmico Gravimétrico), SEM (Microscopia Electrónica de Barrido), Análisis Físico-cerámico por proceso de conformado de extrusión de las mezclas formuladas. A su vez, se realizó los respectivos ensayos de determinación de porcentaje de absorción de agua y la determinación de la resistencia mecánica a la compresión en cada mezcla de bloque desarrollado. Se seleccionaron estos ensayos debido a la revisión de la Norma Técnica Colombiana NTC 4205, la cual indica la clasificación del bloque.

La relevancia de este proyecto de investigación se fundamenta en dos enfoques muy importantes en la actualidad. El primer enfoque es el ambiental, ya que para nadie es un secreto que a la vez que la humanidad avanza en tecnología, ciencia y estructuras, nuestro planeta se ve afectado, por lo que aportar investigación que pueda disminuir en cierto modo la contaminación y la explotación de recursos naturales, genera conciencia y protección ambiental. Como segundo enfoque se encuentra, el factor económico, pues al incluir un material que se cataloga como residuo industrial, se disminuyen gastos en utilización de materia prima en la fabricación de los bloques.

Para esta investigación se realizó la evaluación de bloques de construcción adicionándole chamota de una empresa de baldosa esmaltada, con el fin de comparar con el bloque comercial, en cuanto al costo, porcentaje de absorción de agua y resistencia mecánica a la compresión. Por

otra parte, se buscó poder darle un uso adecuado a este residuo industrial llamada hoy en día nutriente tecnológico para contribuir con el medio ambiente y la sostenibilidad del planeta. En primer lugar, se presenta los objetivos que son los resultados que se obtuvieron con la ejecución de las actividades que integran este proyecto, su análisis e interpretación, continuando con las conclusiones de cada objetivo planteado y finalmente con las recomendaciones para futuras investigaciones relacionadas con este tema de investigación.

1. Descripción del Problema

1.1. Título

Evaluación de Mezclas de Arcilla adicionando Chamota de Cerámica esmaltada para la Fabricación de Bloque de Construcción.

1.2. Planteamiento del Problema

El problema principal por el que surge este tipo de investigación, es que la industria directamente relacionada con la ingeniería civil, que es la construcción, es una de las principales aportantes a la contaminación ambiental y a la explotación de recursos naturales, por lo que ya varios años atrás se ha venido promoviendo una política de conciencia ambiental, donde prima la preservación del ecosistema. Como la industria no puede ni debe detenerse, lo que se propone es ir dando pequeños cambios en diferentes fases de los procesos de construcción, pero para esto se necesita investigación que aporte información sobre la viabilidad de los diferentes temas como el reciclaje e innovación en otros materiales que favorezcan el medio ambiente.

En el caso de la fabricación de bloques de construcción hay dos factores que implican afectación del medio ambiente; la explotación de recursos naturales y la generación de residuos, los dos graves, pero imprescindibles. Los recursos naturales se pueden agotar, ya en la actualidad se consumen antes de que puedan regenerarse naturalmente, la contaminación ya es un tema conocido y reconocido a nivel mundial, implica innumerables afectaciones tanto para el hombre como para el planeta.

De acuerdo a lo anterior, la elaboración de bloques de arcilla adicionando chamota de cerámica esmaltada, puede resultar una investigación muy favorable para diferentes asociaciones en el caso de la construcción, la industria cerámica y el medio ambiente.

1.3. Formulación del Problema

¿Qué propiedades físicas tienen las mezclas formuladas de bloques de construcción H-10, y qué diferencias de costo se tiene con los bloques de arcilla pura?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Evaluar Mezclas de Arcilla adicionando Chamota Esmaltada para la Fabricación de Bloque de Construcción.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Realizar un diagnóstico del sector de la Chamota esmaltada.
- Desarrollar el producto utilizando diferentes porcentajes de Chamota esmaltada a nivel de laboratorio.
- Evaluar el producto desarrollado a nivel de laboratorio.
- Establecer los costos del producto normal y del nutriente tecnológico usado.

1.5. Justificación

Este proyecto de investigación a nivel de laboratorio se realizó teniendo en cuenta el enfoque holístico de la sostenibilidad, considerando no solo las consecuencias ambientales, sino también las sociales y económicas, debido a la importancia de estas 3 en la industria de la construcción. De ahí nace la preocupación por la construcción sostenible, iniciando desde la producción del bloque, reutilizando residuos industriales, en este caso la chamota esmaltada.

Debido a la importancia del enfoque ambiental para la vida, es fundamental cuidar nuestro planeta, ya que es cuidar el lugar que proporciona vida a la humanidad y que da esperanza de una seguridad y posibilidades para las próximas generaciones.

Adicionalmente, esta investigación proporciona información muy importante, debido a los laboratorios ya establecidos para la evaluación de la chamota esmaltada, dando caracterización, que es valiosa para conocer el material, lo que sirve para futuras investigaciones.

Aplicando los principios de la construcción sostenible, se minimiza el consumo de recursos, se maximiza la reutilización de recursos, se utiliza recursos reciclables, se protege el medio ambiente natural, obteniendo el principio fundamental de la economía circular, con el fin de ayudar a cuidar el medio ambiente, reduciendo, la entrada de materiales vírgenes y de la producción de desechos, y así poder darle un buen uso a este residuo industrial, reutilizarlo para disminuir la explotación de materia prima que tanto afecta al medio ambiente.

1.6. Alcances y Limitaciones

1.6.1. Alcances

El proyecto de investigación inicio con la realización de un diagnóstico del proceso productivo de la cerámica, con el fin de determinar el momento en que las baldosas cerámicas esmaltadas se convierten en Chamota. Seguidamente, se elaboró el bloque de construcción de arcilla H-10, proporcionando diferentes porcentajes de Chamota a nivel de laboratorio, donde se evaluó el producto final, seleccionando la mejor mezcla formulada, de acuerdo a la Norma Técnica Colombiana NTC 4205. Finalmente, se calculó los costos, realizando un comparativo del producto normal A (arcilla 100%), con el producto final B (arcilla + chamota esmaltada).

1.6.2. Limitaciones

La ejecución de este proyecto fue restringida por la pandemia que está ocurriendo en el mundo, debido a esto no se pudo salir de la casa fácilmente y se presentó inconvenientes en la realización de los laboratorios y la búsqueda de información de las empresas seleccionadas.

2. Marco Referencial

2.1. Antecedentes y Estado del Arte

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Zouaoui, H. y Bouazis, J. (2017). Mejora del rendimiento de los productos cerámicos mediante la adición de arena, chamota y ladrillo residual a una arcilla porosa de Bir Mcherga (Túnez). *Process Safety and Environmental Protection*. En este artículo se evaluaron cinco mezclas de arcillaporosa y arcillas no plásticas para determinar los cambios físicos, químicos y mecánicos, la cocción de dichas mezclas estuvo entre 900 °C y 1150 °C. Cada mezcla tuvo porcentajes diferentes de masa de arcilla, chamota y arena. Para determinar la evolución de fase y microestructura de las mezclas sintetizadas se realizaron difracción de rayos X (DRX), análisis térmico (DTA / TG), dilatometría, microscopía electrónica de barrido (SEM) y análisis físico-mecánicos como resistencia a la tracción, absorción de agua, contracción lineal y densidad aparente. La fase anortita, mullita y vítrea tuvieron un aspecto positivo ya que mejoraron el rendimiento requerido del producto cerámico.

Elías, X. (2015). Nutrientes tecnológicos para la industria cerámica estructural. Universidad de Jaén- Escuela politécnica Superior de linares- España. En esta tesis se busca utilizar la mínima cantidad posible de materia prima en este caso la arcilla, esta falta de arcilla se va a reemplazar por residuos industriales, y así contribuir con el medio ambiente reutilizando estos desechos. El material cerámico elaborado presenta propiedades térmicas muy buenas. Exhibe una densidad aparente baja y la porosidad interna es elevada esto significa que el producto elaborado es aislante térmico.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Zuluaga, D. et al. (2016). Caracterización térmica, química y mineralógica de un tipo de arcilla roja propia de la región andina colombiana, empleada para la producción de ladrillos para construcción. *Revista Colombiana de Materiales*. En este trabajo se estudió una muestra de arcilla, se determinó su composición química, fases cristalinas, distribución granulométrica, análisis térmicos, la densidad y los límites de Atterberg. Se prepararon las mezclas en probetas con una temperatura de 1050 °C y se identificaron las fases cristalinas por medio del análisis de difracción de rayos X. El análisis de fluorescencia de rayos X presentó porcentajes químicos elementales coherentes con el análisis de difracción de rayos X. Las coordenadas de color cumplen con los requisitos deseados. Los resultados obtenidos presentan que es una arcilla inorgánica de mediana plasticidad y es posible la aplicación de esta arcilla roja para la elaboración de ladrillos tradicionales.

Idarraga, S. et al. (2020). Utilización de chamota posconsumo en la formulación de una pasta refractaria como sustitución de la alúmina. *Revista ION*. En este trabajo se usa el material posconsumo para la formulación de patas refractarias y esto ayuda con el desarrollo sostenible y el medio que nos rodea. La propuesta es elaborar una pasta refractaria adicionando la chamota posconsumo y así evaluar las propiedades que se obtengan. La chamota posconsumo se obtuvo de ladrillos refractarios que ya habían cumplido su ciclo. Se caracterizó la chamota mediante fluorescencia de rayos X, se elaboraron cuatro mezclas a una temperatura de 1600 °C. Se evaluó la dilatometría, contracción lineal, porosidad, cono pirométrico y densidad. Los resultados obtenidos sobre el cono pirométrico tienen un aspecto positivo ya que disminuye de 36 a 32. Se aumentó la densidad al adicionar la chamota y la porosidad y contracción disminuyó. Los

cambios que tuvo el ensayo de dialometria fueron buenos ya que se aumenta la formación de fase líquida y mulita.

2.1.3. Antecedentes Regionales.

Gelves, J., Sánchez, J. y Peña, G. (2016). Comportamiento de las arcillas del área metropolitana de Cúcuta sometidas a proceso de moldeo por extrusión. En este trabajo se compara materiales arcillosos de diferente formación geológica, en el municipio de Cúcuta se extrajeron muestras de formación león y en el municipio de El Zulia y Los Patios muestras de formación guayabo. Se determinaron parámetros como índice de plasticidad, absorción de agua y resistencia a la flexión. Las muestras fueron secadas en una estufa de circulación forzada durante 24 horas a 110 °C a una temperatura máxima de 1000 °C en un horno eléctrico se cocinaron las muestras. Para las dos formaciones geológicas no se presente un cambio en el porcentaje de arcilla, lo que si represento una variación fue la concentración de arena, para la formación león su índice de plasticidad fue de 29.5% y para la guayabo de 24.5%. El rango ideal para la realización de pastas cerámicas debe estar para la fracción arcillosa 47 y 58%, 23 y 28% para la fracción de limos y entre 20 y 27% para la fracción arenosa, verificando que cada fracción este en el rango adecuado se garantiza una excelente calidad del producto fabricado.

Sánchez, J., Corpas, F. y Álvarez, D. (2018), Aplicaciones de los nutrientes tecnológicos en la industria cerámica del área metropolitana de Cúcuta. Este trabajo enfocado en la economía circular, su objetivo es reducir la entrada de materiales como la obtención de desechos, la propuesta que se planteo fue sustituir una fracción de la materiaprima como lo es la arcilla por estos desechos derivados de otras actividades de la región.

Se caracterizó las materias primas con la difracción de rayos X (DRX), la fluorescencia de rayos X (FRX), la microscopia electrónica de barrido (MEB), el análisis termo gravimétrico

(TG) y la calorimetría diferencial de barrido (DSC), se fabricaron los cerámicos por una técnica llamada extrusión, se sustituyó el residuo en la pasta cerámica entre 5% y 20 % de la pasta cerámica tradicional. La cocción de estas pastas cerámicas estuvo entre 900 °C y 1200 °C. Los resultados conseguidos por el cisco de café y las cenizas de la central termoeléctrica fueron positivos, y el de los residuos sustituidos mayores a 10% en la pasta cerámica no cumplió con los requerimientos esperados.

2.2. Marco Teórico

2.2.1. Economía Circular

La economía circular es un paradigma de actuación que ha evolucionado basándose en la sostenibilidad y sus aplicaciones en la sociedad, economía y el cuidado del medio ambiente. Teniendo en cuenta esto la economía circular se ha convertido en un paradigma en busca del desarrollo sostenible llevando a cabo estrategias para su realización (Prieto et al., 2017).

La economía circular no está en contra del crecimiento económico, la propuesta es cerrar ciclos de energía y materiales reutilizando los recursos que ya están en nuestra disposición y así disminuir la explotación de materia prima disminuyendo también el daño al medio que nos rodea (Prieto et al., 2017).

La economía circular permite aprovechar los recursos para darles otra vida y devolverlos al mercado con una forma nueva. Este innovador modelo, aboga por los materiales biodegradables y que la fabricación de los productos sea lo menos invasiva posible, con el fin de que no contaminen. El objetivo final es que, cuando haya que desecharlos porque no se puedan reutilizar, se reciclen de una manera respetuosa con el medioambiente (BBVA, 2021).

2.2.2. Fabricación del Bloque de Construcción

Para la fabricación del producto cerámico se utilizan las mismas técnicas de haceya miles de años, la mezcla de tierra, agua y fuego. La elaboración del material cerámico está dada por las siguientes etapas: extracción de la materia prima, preparación de las arcillas, moldeado de la pasta, secado y por último cocción. La excelencia del producto depende exclusivamente de cada fase mencionado anteriormente (Cultrone, 2001).

Después de extraída la arcilla, se procede a reducir el tamaño del grano con una serie de técnicas. El moldeado se puede hacer por tres procesos diferentes: método manual, método de prensado y método de extrusión. Cuando el proceso de moldeado se hallevado a cabo, procedemos a eliminar el agua que hemos agregado en la arcilla para así poder pasar a la siguiente a la fase de cocción, esta etapa es muy importante para el desarrollo de las propiedades características del bloque. El rango de temperatura para la cocción del producto cerámica esta entre 800 °C y 1200°C (Cultrone, 2001).

2.2.3. Proceso de Fabricación de Baldosas Cerámicas

Las baldosas cerámicas están formadas por unos fragmentos de naturaleza arcillosa y porosidad, y por lo general un esmalte cerámico. Depende de las materias primas utilizadas, se pueden dar dos tipos de baldosas, cocción roja o cocción blanca y ese resultado lo observamos ya una vez cocidas las piezas (ITC, 2011). El proceso de fabricación de las baldosas cerámicas es parecido al de toda la industria, para este proyecto se expone el proceso del Instituto de Tecnología Cerámica de España, publicado en el 2011. Esta entidad lo clasifica así:

- Preparación de la composición
- Preparación de la pasta
- Conformado y secado en crudo de la pieza

- Esmaltado y decoración
- Cocción
- Tratamientos especiales
- Clasificación y embalaje

2.2.4. Preparación de la Composición

Lo primero que se debe hacer es la elección de las materias primas que van a intervenir y en qué cantidad, estas materias primas claramente se encuentran en su estado natural, se someten a un tratamiento previo para así poder clasificarlas en materias primas plásticas y no plásticas. Generalmente, estas dos tipos de materias primas mezcladas se pueden aceptar con la condición de que se pueda realizar un correcto moldeo de la pieza, y esta a su vez tenga una resistencia óptima en crudo, para que pueda ser procesada. Por otra parte, la mezcla de las materias primas debe contar con una composición química y mineralógica que al momento de pasar por el proceso de cocción y sufran unas transformaciones fisicoquímicas no interfiera en el producto final con las características técnicas deseadas.

Tenemos distintos tipos de cerámicas y cada una de ellas con sus respectivas formulaciones, las composiciones de soportes de cocción roja que se utiliza para pavimentos y revestimientos se formulan, por lo general con mezclas de arcillas de alto contenido de hierro, para los soportes de cocción blanca, la relación es del 50 % de materiales plásticos y de materiales desgrasantes, para la fabricación de azulejos se utilizan arcillas con altos contenidos de carbonato de calcio.

Para su dosificación las materias primas son entregadas desde su origen tras surgir el tratamiento previo, luego, de este punto son trasladadas en camiones hasta los silos de almacenamiento, donde la mezcla se dosifica gravimétricamente.



Figura 1. Preparación de la Composición

Nota. Fuente: *Procesos de fabricación de baldosas cerámicas, Conocimientos básicos* por Instituto de Tecnología Cerámica-AICE, 2011, https://issuu.com/itceramica/docs/procesos_fabricacion.

2.2.5. Preparación de la Pasta

En esta etapa el material pesado es triturado para garantizar su total homogenización y obtener una distribución de tamaños de la partícula óptima para sus etapas posteriores del proceso, esta operación de molienda se puede hacer de dos maneras, la vía húmeda suministra una mayor homogenización, menor tamaño de la partícula y mejoras en las características del polvo de prensas, debido a esto el producto final aumenta la calidad pero no dejamos de lado que

tiene un coste más elevado pero sigue siendo la molienda vía húmeda la que más se utiliza, por otro lado, la vía seca se puede utilizar cuando las baldosas no requieran tantas exigencias técnicas o en países donde el coste del proceso vía húmeda sea inviable.

La molturación vía húmeda se lleva a cabo mediante un molino de bolas de aluminio, por un lado, del molino se introduce los sólidos mezclados con un 35% de agua aproximadamente, estas bolas someten a la mezcla a un sin número de acciones de fuerza, rozamiento. Por otro lado, del molino se obtiene ya la mezcla molturada, llamada barbotina, con un tamaño medio mayor, ya que eso influirá el tiempo que estuvo en el molino y la velocidad de rotación que se le fue ejercida. La barbotina es pasada por un vibrotamiz para eliminar las partículas grandes y luego se mantienen en balsas para homogenizar el producto.

La barbotina obtenida tras la molienda se seca por atomización con contenido de humedad opimo, una forma y un tamaño adecuado para las posteriores etapas. El polvo atomizado se transporta a los silos y allí va a permanecer 3 días aproximadamente para que tenga una adecuada homogeneidad y se pueda empezar con la etapa del conformado.

La molturación por vía seca se lleva a cabo con molinos de martillos que son capaces de reducir el tamaño de las partículas. El resultado del material puede utilizarse en la fabricación de piezas por extrusión o por prensado.

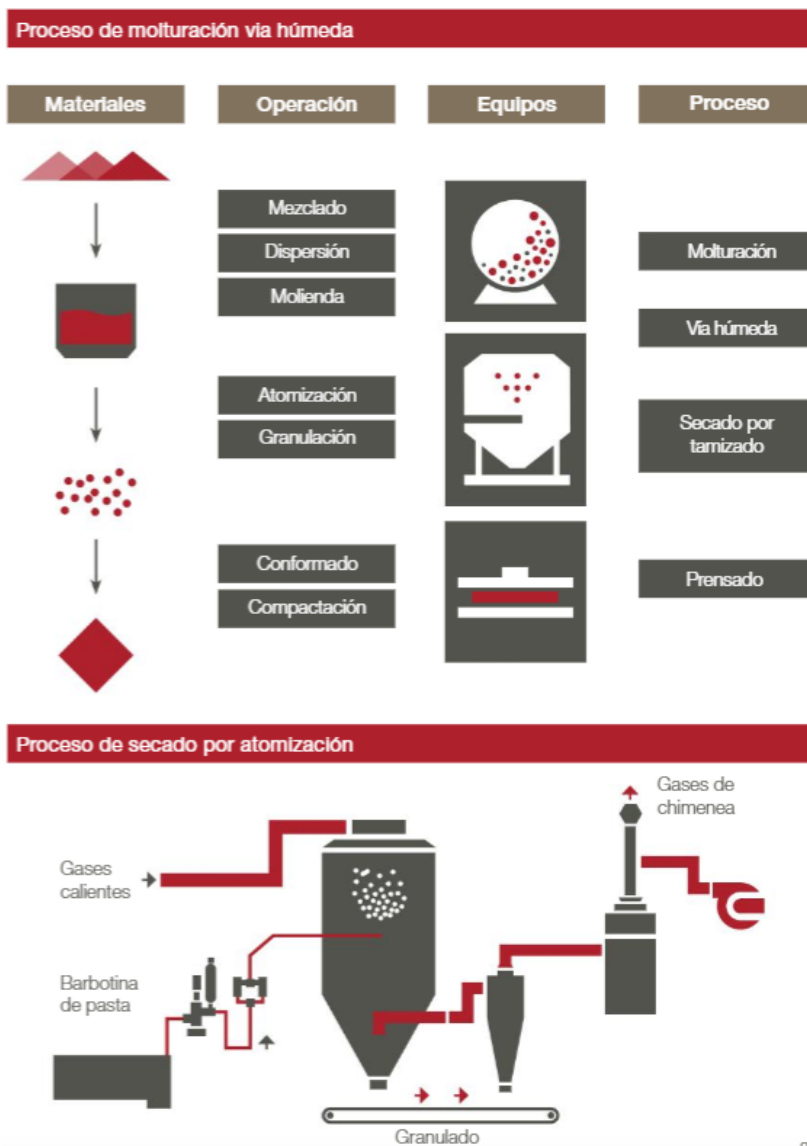


Figura 2. Preparación de la Pasta

Nota. Fuente: *Procesos de fabricación de baldosas cerámicas, Conocimientos básicos* por Instituto de Tecnología Cerámica-AICE, 2011, https://issuu.com/itceramica/docs/procesos_fabricacion.

2.2.6. Conformado y Secado en Crudo de la Pieza

El prensado en seco es la técnica más utilizada para las materias primas molidas vía húmeda y secadas por atomización, mientras que la extrusión es el empleado para las mezclas obtenidas por vía seca.

El prensado en seco es una técnica que facilita la automatización y permite tener una elevada producción, a parte de la facilidad del secado de las piezas después del prensado y la mínima deformación de las piezas en sus etapas posteriores. Este método se lleva a cabo mediante prensas hidráulicas debido a su capacidad de control en el ciclo de prensado.

La extrusión es un procedimiento lo cual es utilizado con el material vía seca, este se somete a un amasado, se almacena, y luego es amasado nuevamente para así introducirlo en la extrusora. Se hace pasar una columna de pasta a través de una matriz, mediante un sistema propulsor, después de esto se corta a la medida que se requiere.

Las piezas ya prensadas se introducen a un secadero, para poder reducir su humedad y así aumente su resistencia mecánica.



Figura 3. Conformado y Secado en Crudo de la Pieza

Nota. Fuente: *Procesos de fabricación de baldosas cerámicas, Conocimientos básicos* por Instituto de Tecnología Cerámica-AICE, 2011, https://issuu.com/itceramica/docs/procesos_fabricacion

2.2.7. Esmaltado y Decoración

La operación de esmaltado se realiza aplicando sucesivamente, mediante diferentes técnicas las suspensiones de esmaltes.

La línea de esmaltado está compuesta por un sistema de correas que son movidas por poleas, encima de los cuales son depositadas las piezas después del secado. Se le aplica engobe y esmalte, ambos en forma de suspensión acuosa, y con la pieza en curso, mediante el empleo de discos.

Por otro lado, se tiene varios sistemas decorativos de las baldosas cerámicas, como la serigrafía, aerografía, huecograbado, flexografía e impresión por chorro tinta.



Figura 4. Esmaltado y Decoración

Nota. Fuente: *Procesos de fabricación de baldosas cerámicas, Conocimientos básicos* por Instituto de Tecnología Cerámica-AICE, 2011, https://issuu.com/itceramica/docs/procesos_fabricacion

2.2.8. Cocción

Esta es la etapa más importante de las baldosas cerámicas, porque es donde apreciamos si las baldosas han obtenido las características técnicas deseadas, debido a que se van a someter a un cambio en sus propiedades, ocasionando así unas piezas duras y resistentes al agua, la cocción empieza por la etapa de calentamiento, donde el horno poco a poco va ir subiendo la temperatura hasta alcanzar los 400 °C, para ir eliminando el exceso de humedad presentada en las piezas.

En el caso de las baldosas esmaltadas, los esmaltes sufren una transformación similar a la de la pasta, pero en general la cantidad de fase vítrea producida es mayor, presentando un mayor grado de vitrificación.

Dependiendo del tipo de producto que se encuentre en el horno, se tendrá una temperatura máxima entre 1130 y 1220 °C por 2 o 3 minutos.

La etapa de enfriamiento se divide en tres:

a) Enfriamiento forzado a alta temperatura: Se lleva a cabo por convección forzada, incorporando aire a temperatura ambiente a una poca distancia de las piezas, esto lo que producirá es un choque térmico y de esta manera se puedan enfriar las piezas de forma rápida.

b) Enfriamiento natural: En este punto el enfriamiento se realiza por radiación y convección natural, en esta etapa el cuarzo sufre transformaciones lo cual puede provocar imperfectos en la pieza, es la transformación más significativa y por eso se debe hacer lento para que la pieza continúe en perfecto estado.

c) Enfriamiento forzado a baja temperatura: En esta etapa volvemos a la convección forzada, sometiéndolo al choque térmico para hacer llegar al producto a una temperatura manipulable que es aproximadamente 100 °C.

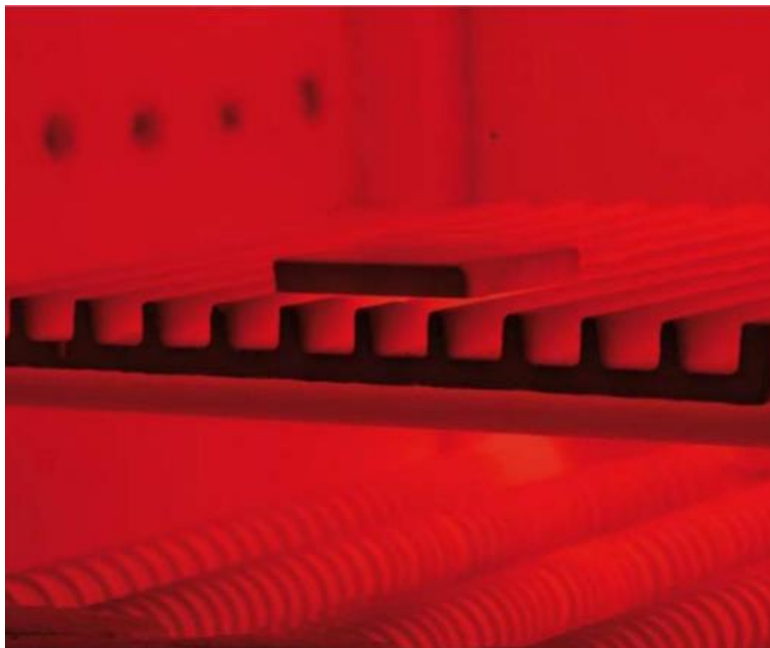


Figura 5. Cocción

Nota. Fuente: *Procesos de fabricación de baldosas cerámicas, Conocimientos básicos* por Instituto de Tecnología Cerámica-AICE, 2011, https://issuu.com/itceramica/docs/procesos_fabricacion

2.2.9. Tratamientos Adicionales

En esta etapa se le da una serie de tratamientos que requiera la pieza, como por ejemplo:

- Pre corte
- Pulidos superficiales
- Rectificados
- Aplicación de decoraciones especiales mediante tercer y cuarto fuego
- Decoraciones por deposición física de vapor o laser
- Biselado
- Eliminación de las juntas laterales

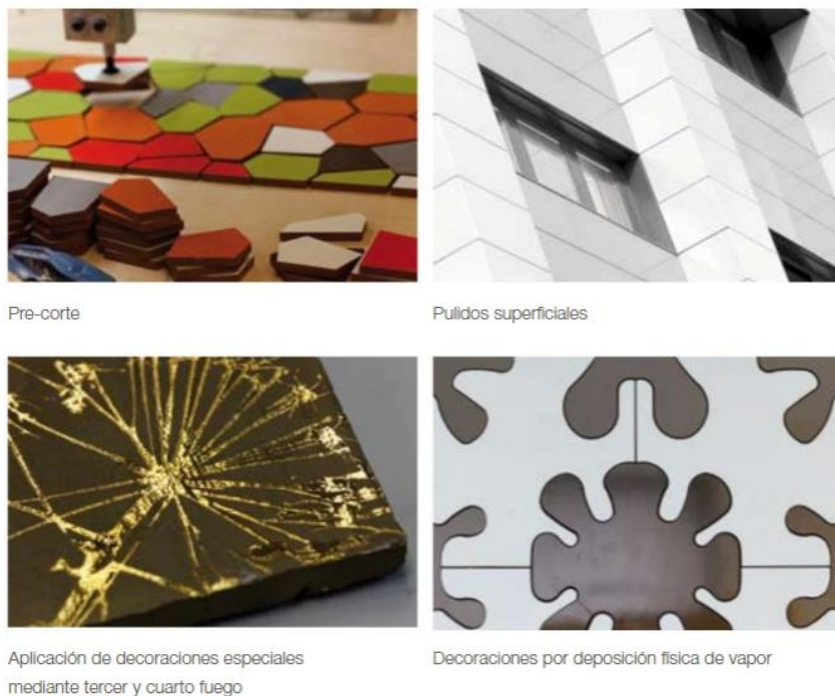


Figura 6. Tratamientos Especiales

Nota. Fuente: *Procesos de fabricación de baldosas cerámicas, Conocimientos básicos* por Instituto de Tecnología Cerámica-AICE, 2011, https://issuu.com/itceramica/docs/procesos_fabricacion

2.2.10. Clasificación y Embalaje

La clasificación de las baldosas se hace de forma automatizada mediante equipo mecánicas y observación superficial, controlando todas las características técnicas deseadas desde el inicio. Luego se procede a la última etapa del proceso de fabricación de baldosas cerámicas que es el embalaje que claramente se hace de misma manera automatizada.



Figura 7. Clasificación y Embalaje

Nota. Fuente: *Procesos de fabricación de baldosas cerámicas, Conocimientos básicos* por Instituto de Tecnología Cerámica-AICE, 2011, https://issuu.com/itceramica/docs/procesos_fabricacion

2.3. Marco Conceptual

Arcilla. Son minerales naturales que se formaron hace varios millones de años y que reúnen las características peculiares de composición y formación relacionadas con el curso de la evolución de la Tierra (Domínguez & Schifter, 2003).

Bloque de construcción. Son elementos de alta resistencia a la compresión y de gran durabilidad, utilizados principalmente en la construcción de edificaciones, para conformar muros de contención, muros divisorios, muros estructurales, cerramientos y elementos de fachada para viviendas y edificaciones industriales y comerciales (Hernández & León, 2020).

Chamota. La chamota es un residuo sólido producido durante la fabricación de ladrillos cerámicos que simplemente se retira a vertedero (Zawrah et al., 2016).

Evaluación. Es la parte fundamental del estudio, dado que es la base para decidir sobre el proyecto, depende en gran medida del criterio adoptado de acuerdo con el objetivo general del proyecto (Baca, 2006).

Fabricación. La fabricación de lo que sea suele implicar la conversión de las características de una materia prima en un producto. La mencionada transformación puede ser efectuada a través de máquinas o bien con el trabajo manual de expertos en la materia.

Reciclaje. Es el proceso de recolección y transformación de materiales para convertirlos en nuevos productos, y que de otro modo serían desechados como basura (BBVA, 2020).

Sostenibilidad. Se rige bajo el principio de asegurar las necesidades del presente sin comprometer las necesidades de las generaciones futuras, siempre sin renunciar a la protección del medioambiente, el crecimiento económico y el desarrollo social. La emergencia climática nos obliga como consumidores a replantear los hábitos de vida y urge a empresas e instituciones a cambiar su propósito hacía una economía no lineal e inclusiva que tenga en cuenta lo social y lo ambiental (BBVA, 2020).

2.4. Marco Contextual

Los laboratorios programados para evaluar la eficiencia de la chamota de cerámica, se realizaron en el Centro de Investigación de Materiales Cerámicos CIMAC de la Universidad Francisco de Paula Santander UFPS, ubicado en la Avenida Gran Colombia N° 12E-96 Barrio Colsag, Cúcuta, Norte de Santander, Colombia. Cuenta con un Área de Innovación y Desarrollo Tecnológico, en la cual se realizan experimentos a nivel de laboratorio y posterior reproducción a nivel semi-industrial en la Planta Piloto del Centro de Investigación. Además, el CIMAC se asocia con empresas del sector, con el Grupo de Investigación de Tecnología Cerámica GITEC y otros grupos de investigación de la Universidad Francisco de Paula Santander UFPS para la formulación de proyectos con el objetivo de generar y mejorar nuevas técnicas y tecnologías en beneficio del sector.

La empresa de cerámica esmaltada es una industria especializada en la producción de productos de revestimiento y comercialización de sanitarios, lavamanos, griferías y muebles de baños para el sector de la construcción y remodelación, cuenta con instalaciones y procesos productivos que persiguen de manera constante la excelencia, y el incremento permanente de la calidad.

La población beneficiada con este proyecto son las empresas cerámicas ya que disminuiría la explotación de materia prima al utilizar la chamota de cerámica como nutriente tecnológico también se beneficia el ecosistema, porque estos desperdicios que dejan los procesos industriales, se pueden reutilizar y no terminarían contaminando el medio ambiente.

2.5. Marco Legal

NTC 4017:2018 Método para Muestreo y Ensayos de Unidades de Mampostería y otros Productos de Arcilla. Esta norma establece los procedimientos de muestreo y ensayo, para todo tipo de ladrillos de arcilla cocida, incluidas las tejas, los adoquines y los bloques. En esta norma se incluyen los ensayos de: módulo de rotura, resistencia a la compresión, absorción de agua, coeficiente de saturación, resistencia al congelamiento y descongelamiento, eflorescencias, tasa inicial de absorción, determinación del peso, tamaño, alabeo, uniformidad dimensional, área de las perforaciones, análisis térmico-diferencial, térmico-dilatométrico y expansión por humedad, aunque no todos los ensayos son aplicables necesariamente a todos los tipos de unidades o están referidos a otras normas complementarias. Todas las especificaciones que contengan las respectivas normas de productos relacionadas con métodos de muestreo y ensayos priman sobre lo establecido en esta norma.

NTC 4205:2000 Ingeniería Civil y Arquitectura. Unidades de Mampostería de Arcilla Cocida. Ladrillos y Bloques Cerámicos. Esta norma establece los requisitos que deben cumplir los ladrillos y bloques cerámicos utilizados como unidades de mampostería y fija los parámetros con que se determinan los distintos tipos de unidades.

NTC 4205:2009 Unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos. Parte 1: Mampostería Estructural. Establece los requisitos que deben cumplir los ladrillos de arcilla cocida, utilizados como unidades de mampostería estructural en muros interiores o exteriores y establece los parámetros con lo que se determinan los distintos tipos de unidades.

NTC 4205:2009 Unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos. Parte 2: Mampostería No Estructural. Establece los requisitos que deben cumplir los ladrillos de arcilla, utilizados como unidades de mampostería no estructural en muros interiores divisorios y cortafuegos no estructurales o muros exteriores que tengan un acabado de protección con revoque.

NTC 4205:2009 Unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos. Parte 3: Mampostería de Fachada. Reúne los requisitos de las unidades de arcilla cocida utilizadas para muros en ladrillo a la vista interiores o exteriores (fachadas). Las unidades para fachadas pueden ser fabricadas tanto para usosen muros divisorios o de cierre, no estructurales.

3. Diseño Metodológico

3.1. Tipo de Investigación

El proyecto “Evaluación de Mezclas de Arcilla adicionando Chamota de Cerámica Esmaltada “para la Fabricación de Bloque de Construcción”, se enmarca según el propósito en una investigación aplicada; según el nivel en exploratoria y descriptiva y finalmente según la estrategia en investigación experimental.

Es Investigación Aplicada porque se utilizaron los conocimientos que se tienen y se llevan a la práctica, aplicándolos en los diferentes procedimientos del proceso productivo de la fabricación del bloque, para finalmente enriquecer el conocimiento según el comportamiento que arroje el material de construcción con la adicción del nutriente utilizado.

La investigación aplicada recibe el nombre de “investigación práctica o empírica”, que se caracteriza porque busca la aplicación o utilización de los conocimientos adquiridos, a la vez que se adquieren otros, después de implementar y sistematizar la práctica basada en investigación (Vargas, 2008, p.5).

Es de tipo exploratorio porque el proyecto se enfoca en un problema que no se ha abordado ampliamente en la región, ni se encuentran datos específicos sobre la fabricación de un prototipo de bloque de construcción a nivel de laboratorio, para ser empleado en construcciones sostenibles.

“Los estudios exploratorios se realizan cuando el objetivo es examinar un tema o problema de investigación poco estudiado, del cual se tienen muchas dudas o no se ha abordado antes”. (Hernández et al., 2014, p. 91)

Es de tipo descriptiva porque en el proyecto se evaluarán las mezclas de arcilla a nivel de laboratorio, simulando las etapas del proceso productivo para la fabricación de un prototipo de

bloque de construcción, mediante la formulación de diferentes porcentajes de nutriente tecnológico en las muestras. Así mismo, la investigación en el laboratorio permitirá obtener la información necesaria para la fabricación del bloque y el desarrollo de los objetivos propuestos.

“Con los estudios descriptivos se busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis”. (Hernández et al., 2014, p.92)

Los diseños experimentales nacen del término experimento que se refiere a “elegir o realizar una acción” y después observar las consecuencias (Hernández et al., 2014, p. 129). Con la elaboración del proyecto se mostrarán los datos obtenidos de la realización de los ensayos requeridos, para así efectuar la acción de analizar los resultados y evaluar según los criterios establecidos en las normas indicadas.

3.2. Población y Muestra

La población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones, es decir, lo que va ser estudiado y sobre el cual se pretende generalizar los resultados. Las poblaciones deben situarse claramente por sus características de contenido, lugar y tiempo (Hernández et al., 2014, p. 174).

La muestra es, en esencia, un subgrupo de la población, es decir, un subconjunto de elementos que pertenecen a ese conjunto definido en sus características al que llamamos población (Hernández et al., 2014, p. 175).

3.2.1. Población

La población a tener en cuenta para la realización del proyecto, involucra a las materias primas utilizadas para la fabricación del bloque, entre las que se tiene, la arcilla de la formación

Guayabo de Norte de Santander, y el otro componente es la chamota de cerámica esmaltada de una empresa del área metropolitana de Cúcuta.

3.2.2. Muestra

El tamaño de la muestra se seleccionó a convenir de la empresa Cerámica Támesis S.A., porque es la mejor mina explotada en el Área Metropolitana de Cúcuta, cumpliendo con los requisitos ambientales y sistema de explotación adecuado, con patios de almacenamiento de materias primas, botadero de los residuos y con sistema siembra de árboles en zonas explotadas. Además, esta mina es utilizada para una empresa del sector cerámico reconocida del Área Metropolitana de Cúcuta, debido a sus propiedades químicas y a su comportamiento en la industria cerámica para elaboración de productos de construcción.

La chamota de cerámica se seleccionó de una empresa de cerámica del área metropolitana de Cúcuta, para este estudio se contó con un total de 15 kilogramos ya molida, se escogió esta empresa porque es una industria especializada en la producción de productos de revestimiento para el sector de la construcción y remodelación, cuenta con instalaciones y procesos productivos que persiguen de manera constante la excelencia, y el incremento permanente de calidad. Y también tienen la amabilidad y disponibilidad de proporcionar el material.

3.3. Instrumentos para la Recolección de Información

3.3.1. Fuentes Primarias

Para este estudio, se llevó a cabo inicialmente la observación directa, la entrega de los resultados de cada ensayo realizado por el personal del laboratorio.

3.3.1. Fuentes Secundarias

La búsqueda de información en bases de datos, proyectos de investigación, artículos de investigación, NTC 4017, NTC 4205 y, conocimientos adquiridos por el personal del laboratorio que es idóneo y capacitado para el desarrollo de los mismos.

3.4. Fases y Actividades Específicas

Los datos obtenidos según los resultados dados por el laboratorio de la caracterización físico cerámica de las diferentes formulaciones, son tabulados y presentados en cuadros comparativos con el fin de evaluar las muestras a nivel de laboratorio, obteniendo la muestra apropiada para fabricar un prototipo de bloque de construcción.

Para el análisis de la información en la evaluación del producto desarrollado se utilizó las siguientes técnicas:

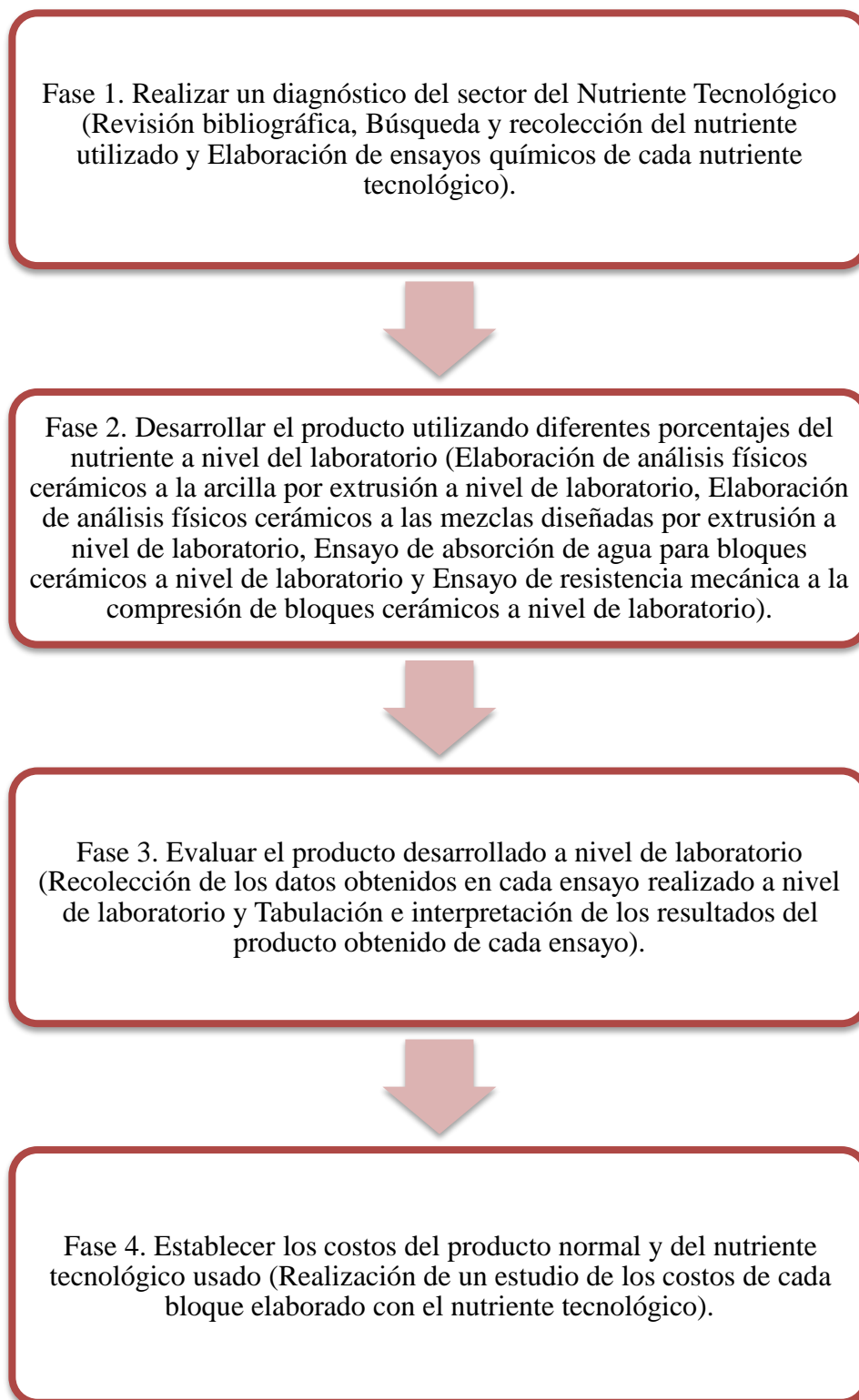


Figura 8. Fases de la Investigación

4. Metodología

La investigación que se llevó a cabo en este proyecto fue de tipo aplicada, descriptiva y de campo. El estudio se enfocó en la evaluación de la arcilla del Área Metropolitana de Cúcuta con los diferentes porcentajes de nutriente tecnológico utilizado en cada mezcla.

El área de estudio donde se realiza el proyecto, es una arcilla de la mina de Cerámica Tamices S.A. y el nutriente tecnológico, en este caso, la chamota de cerámica esmaltada, fue tomada de una empresa del Departamento de Norte de Santander. La recolección de información se realizó en dos fases:

En la primera se tuvo en cuenta los estudios químicos de la arcilla y del nutriente utilizado, complementando la información con la observación de reconocimiento en el área de estudio y con asesorías técnicas de profesionales con conocimiento en el tema (tomado de tesis de grado, proyectos realizados en el CIMAC, artículos de investigación).

Durante la segunda fase se hizo la recolección de información de los resultados de los análisis de laboratorio realizados por el laboratorio del Centro de Investigación de Materiales Cerámicos CIMAC, el cual se encuentran relacionados en el desarrollo de los objetivos planteados.

Las técnicas de análisis que se contemplaron son los ensayos requeridos según la norma NTC 4205, para clasificación del bloque, según sus requisitos técnicos.

Finalmente, se presenta un estudio de costos del bloque normal H-10, comparado con la mejor mezcla de las tres que se realizaron utilizando el nutriente tecnológico en diferentes porcentajes.

4.1. Materias Primas Utilizadas

Las principales arcillas explotadas en el departamento de Norte de Santander se encuentran en el área metropolitana de Cúcuta, la cual cuenta con una superficie de 2.196 km², que ocupa el 10,1% de la extensión departamental. De todo el departamento, la zona metropolitana de Cúcuta es el área donde mayoritariamente se encuentran yacimientos arcillosos, además de ser el lugar donde se concentra casi la totalidad de la industria dedicada a la explotación y transformación de este material. “En vecindades de la ciudad de Cúcuta se explotan las arcillas estratificadas de la parte superior del Grupo Guayabo y la Formación León, de edad Neógena, de origen continental (Ngc) y de excelente calidad como un gres típico” (Sánchez, 2014).

Estas arcillas se encuentran formando parte de la litología de las formaciones terciarias de León y Guayabo. En algunos sectores de Cúcuta los estudios sobre la composición mineralógica y química de las arcillas de Cúcuta las muestran como materiales de primera calidad, desde el punto de vista cerámico (Pedroza, 1996).

4.1.1. Arcilla

El término “arcilla” encierra en sí mismo un significado bastante ambiguo que requiere varias acepciones para su comprensión (tamaño de partícula, mineralogía, petrografía, propiedades físicas, etc.). Las arcillas son fruto de los agentes de meteorización físico-químicos actuantes sobre la roca madre original, se las puede considerar como unas acumulaciones naturales, consolidadas o no, de tamaño de grano fino ($< 1 \mu\text{m}$ según los químicos que estudian los coloides, $< 2 \mu\text{m}$ según los mineralogistas e investigadores del suelo, y $< 4 \mu\text{m}$, según los sedimentólogos), constituidas por variados minerales arcillosos (silicatos alumínicos hidratados, con iones principalmente de Mg, Fe, K y Na) y otros minerales acompañantes como el cuarzo,

los feldespatos, los carbonatos, etc. Además, salvo excepciones, poseen un comportamiento físico muy peculiar frente al agua el cual es la plasticidad, e incluso endurecen cuando son secadas o sometidas a tratamientos térmicos a alta temperatura (Alonso, 1961; Bernal et al., 2003; Diaz & Torrecillas, 2002; De Pablo, 1964).

Mineralógicamente están constituidas en su mayoría por filosilicatos, los cuales son un subgrupo de la familia de los silicatos que tienen por principal característica la disposición planar de las redes poliméricas de tetraedros de sílice. Este es un grupo variado, y la principal característica de los filosilicatos arcillosos es su alto contenido de aluminio (Bernal et al., 2003; De Pablo, 1964).

Los principales minerales que componen la arcilla son:

- Caolinita: $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$
- Illita: $(\text{K},\text{H}_3\text{O})(\text{Al},\text{Mg},\text{Fe})_2(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}[(\text{OH})_2,(\text{H}_2\text{O})]$
- Montmorillonita: $(\text{Na},\text{Ca})_{0.33}(\text{Al},\text{Mg})_2(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
- Vermiculita: $(\text{Mg},\text{Fe},\text{Al})_3(\text{Al},\text{Si})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

Las arcillas tienen otros minerales diferentes de los anteriores, que se denominan minerales asociados (cuarzo, feldespatos, calcita, pirita) y ciertas fases asociadas no cristalinas, que pueden o no impartir plasticidad, y la materia orgánica (Guggenheim et al., 1995).



Figura 9. Frente de Explotación de la Arcilla (Cerámica Támesis S.A.)

4.1.2. Arcillas Cerámicas

El término de arcillas cerámicas se refiere a los materiales arcillosos que usualmente son utilizados por la industria para la elaboración de piezas cerámicas. Como se sabe, la industria cerámica es la encargada de generar diferentes productos a partir de procesos especializados o artesanales utilizando como materia prima la arcilla. Las arcillas cerámicas se han clasificado según el uso en la industria de los productos que se pretende realizar, lo cual es una consecuencia de su composición química, su mineralogía y su distribución textural (Díaz & Torrecillas, 2002).

4.1.3. Arcillas Comunes

Los principales usos a los que se destinan estas arcillas son para la industria de la construcción, como ladrillos huecos o caravista, tejas, azulejos para gres y revestimientos. También se emplean en el sector de la alfarería, en las industrias del cemento y como agregados ligeros. El color del producto acabado lleva una componente roja característica, originada por los

altos contenidos en óxidos de hierro que suelen estar por encima del 2-2,5%, estas son las arcillas usadas por Cerámica Italia (Díaz & Torrecillas, 2002).

Tabla 1

Composición Estructural del Material Arcilloso

Fase	No. Tarjeta PDF-2	Nombre	Cuantitativo (% peso)
Cristalino	SiO ₂	Cuarzo	34.8
	KAl ₃ Si ₃ O ₁₀ (OH) ₂	Moscovita	11.7
	TiO ₂	Anatasa	0.8
	Al ₂ (Si ₂ O ₅)(OH) ₄	Caolinita	23.2
	Fe ₂ O ₃	Hematita	0.9
	K(AlSi ₃ O ₈)	Microclina	1.8
	Na(AlSi ₃ O ₈)	Albita	1.5
Total cristalino			74,7
Amorfos y otros			25,3

Nota. Fuente: *Aplicaciones de los nutrientes tecnológicos en la industria cerámica del área metropolitana de Cúcuta*, por J. Sánchez et al., 2018, Ecoe Ediciones Limitada.

La fracción arcilla está constituida fundamentalmente por minerales denominados filosilicatos de la arcilla. Se trata de filosilicatos hidratados que poseen una estructura cristalina formada por una red de oxígenos organizada en capas tetra y octaédricas. Si se unen una capa tetraédrica y una octaédrica se forma un mineral 1:1, tipo caolinita, y si se unen dos capas tetraédricas alternando con una octaédrica se da lugar a la formación de un mineral 2:1, tipo montmorillonita (Brindley & Brown, 1980).

El método de difracción de rayos X por la técnica de polvo, vía fotográfica (cámara Debye Scherrer) o difractométrica, puede aplicarse a las diversas fases granulométricas del suelo arena, limo y arcilla). Aunque todos los componentes minerales pueden ser estudiados por difracción, se tratará especialmente lo concerniente a los minerales de la arcilla (ángel justo).

En la figura 10 observamos las agudas líneas espectrales de las fases identificadas, ejecutadas por la difracción de rayos X.

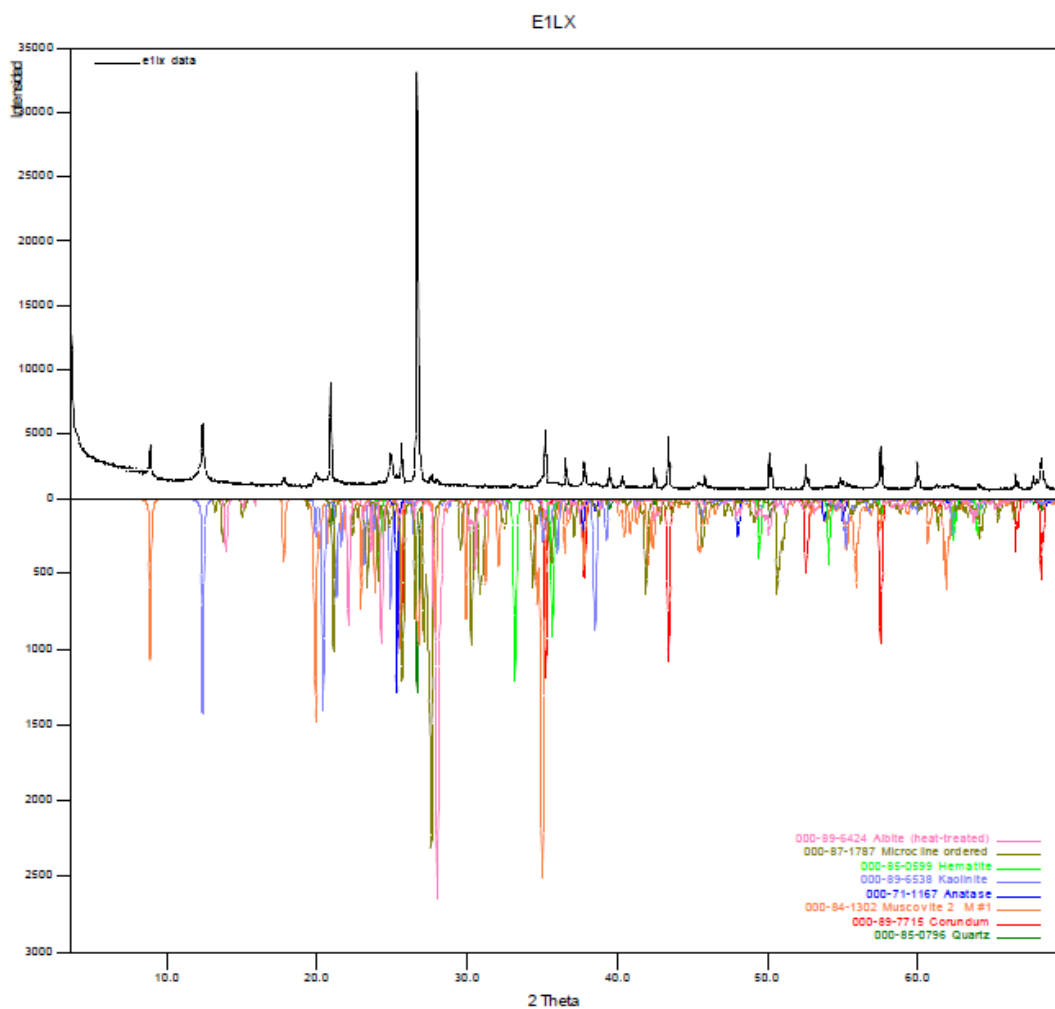


Figura 10. Análisis Comparativo por Difracción de Rayos X de las Fases Identificadas en el Espécimen Seleccionado de la Muestra

Nota. Fuente: *Aplicaciones de los nutrientes tecnológicos en la industria cerámica del área metropolitana de Cúcuta*, por J. Sánchez et al., 2018, Eco Ediciones Limitada.

La fluorescencia de rayos X, es una técnica utilizada para determinar la composición química de los varios tipos de muestras, en este caso la arcilla, es una técnica con una alta precisión y exactitud con preparación rápida de mezclas, a continuación, se muestra el porcentaje de los varios elementos encontrados en la muestra de arcilla tomada de la mina expresados en forma de óxidos son los siguientes:

Tabla 2.

Resultados Obtenidos por Fluorescencia de Rayos-X de la Muestra Identificada

Elemento	Número atómico (Z)	Concentración	Óxido	Concentración
Si	14	27,89%	SiO ₂	59,67%
Al	13	11,50%	Al ₂ O ₃	21,72%
Fe	26	3,70%	Fe ₂ O ₃	5,29%
K	19	1,64%	K ₂ O	1,98%
Ti	22	0,57%	TiO ₂	0,95%
Mg	12	0,41%	MgO	0,67%
Ca	20	0,27%	P ₂ O ₅	0,57%
Na	11	0,26%	CaO	0,38%
P	15	0,25%	Na ₂ O	0,35%
Ba	56	0,05%	BaO	0,06%
Zr	40	0,03%	SO ₃	0,04%
V	23	0,02%	V ₂ O ₅	0,04%
Mn	25	0,02%	ZrO ₂	0,03%
S	16	0,02%	MnO	0,03%
Zn	30	0,01%	ZnO	0,02%
Cl	17	0,01%	Cr ₂ O ₃	0,01%
Sr	38	0,01%	CuO	0,01%
Cu	29	0,01%	SrO	0,01%
Cr	24	0,01%	Cl	0,01%
Rb	37	0,01%	Rb ₂ O	0,01%
---			*L.O.I	8,12%
<i>Elementos minoritarios</i>				
Elemento	Número atómico (Z)	Concentración	Óxido	Concentración
Ni	28	41 mg/Kg	NiO	52 mg/Kg
Pb	82	25 mg/Kg	Y ₂ O ₃	30 mg/Kg
Y	39	23 mg/Kg	Ga ₂ O ₃	29 mg/Kg
Ga	31	22 mg/Kg	PbO	26 mg/Kg
Nb	41	16 mg/Kg	Nb ₂ O ₅	23 mg/Kg

Nota. Fuente: Aplicaciones de los nutrientes tecnológicos en la industria cerámica del área metropolitana de Cúcuta, por J. Sánchez et al., 2018, Ecoe Ediciones Limitada.

4.1.4. Chamota de Cerámica Esmaltada

La chamota es un residuo sólido producido durante la fabricación de ladrillos cerámicos que simplemente se retira a vertedero (Zawrah et al., 2016).

La industria de fabricación de elementos de cerámica genera una serie de piezas que pueden presentar defectos y roturas. Si estos elementos cerámicos se llevan a tamaño de partícula pequeño (chamota), se pueden utilizar como incorporación a las materias primas utilizadas en la elaboración de bloques de arcilla produciéndose de esta forma un importante ahorro en materias primas (Martínez et al., 2016).

Composición Mineralógica.

Tabla 3.

Chamota 100% Preparada con Pasta Cerámica Esmaltada

Fase	NO. Tarjeta PDF-2	Nombre	Cuantitativo (en % peso)
Cristalino	01-070-7344	Cuarzo	13,9
	01-089-8937	Cuarzo α	11,2
	01-074-4146	Mullita	32,6
	01-076-0766	Anortita, sódica	4,0
	01-071-0955	Microclina	<1,0
	01-072-6225	Hematita	1,5
		Total cristalino	63,2
	Amorfos y otros	36,8	

Nota. Fuente: Aplicaciones de los nutrientes tecnológicos en la industria cerámica del área metropolitana de Cúcuta, por J. Sánchez et al., 2018, Ecoe Ediciones Limitada.

Composición Química

Tabla 4

Resultados FRX de Chamota Preparada 100% con Pasta Cerámica Esmaltada

Oxido	Porcentaje de Participación
SiO ₂	66,69
TiO ₂	0,8
Al ₂ O ₃	21,78
Fe ₂ O ₃	4,1
Mn ₃ O ₄	0,02
MgO	0,73
CaO	1,15
Na ₂ O	1,281
K ₂ O	2,697
P ₂ O ₅	0,1
SO ₃	0,05
V ₂ O ₅	0,045
Cr ₂ O ₃	0,014
SrO	0,036
ZrO ₂	0,033
BaO	0,089
NiO	0,004
CuO	0,008
ZnO	0,038
PbO	0,005
HfO ₂	0,06
LOI	0,24

Nota. Fuente: Aplicaciones de los nutrientes tecnológicos en la industria cerámica del área metropolitana de Cúcuta, por J. Sánchez et al., 2018, Ecoe Ediciones Limitada.

Tabla 5

Resultados FRX de Chamota de Rotura Cocida CRC-I (Muestra de Resultados FRX Argos)

Oxido	Porcentaje de Participación
SiO ₂	68,51
TiO ₂	0,774
Al ₂ O ₃	18,98
Fe ₂ O ₃	4,52
Mn ₃ O ₄	0,026
MgO	0,71
CaO	1,77
Na ₂ O	1,206
K ₂ O	2,234
P ₂ O ₅	0,119
SO ₃	0,140
V ₂ O ₅	0,043
Cr ₂ O ₃	0,011
SrO	0,023
ZrO ₂	0,175
BaO	0,094
NiO	0,001
CuO	0,001
ZnO	0,165
PbO	0,001
HfO ₂	0,049
LOI	0,45

Nota. Fuente: *Aplicaciones de los nutrientes tecnológicos en la industria cerámica del área metropolitana de Cúcuta*, por J. Sánchez et al., 2018, Ecoe Ediciones Limitada.

4.2. Proceso de Conformado

Para el desarrollo del proyecto se contó con una extrusora de laboratorio con vacío modelo NEW WAVE fabricada por la empresa Metal Souza Ltda. (Figura 11).

Inicialmente las mezclas conformadas fueron sometidas al proceso de reducción de tamaño de partícula, se trituraron con el apisonador de arcilla (Figura 12), seguidamente se molturaron por vía seca en el molino de martillos (Figura 13), y finalmente el material molido se le realizó un proceso de tamizado utilizando el tamiz malla 10 (Figura 14), para obtener una

distribución granulométrica uniforme. Después se obtuvo las diferentes mezclas para fabricar el bloque H-10, adicionando 2,5%; 5% y 7,5% de chamota de cerámica esmaltada. Cada mezcla elaborada se humectó manualmente y se mantuvo por 12 horas para conseguir una buena homogenización. Posteriormente se realizó el proceso de extrusión de las pastas cerámicas obtenidas y se obtuvo bloque cerámico H-10 por cada mezcla.

Los bloques conformados de las mezclas se secaron en una estufa de secado de 128 litros (Figura 15) de resistencia eléctrica comenzando a temperatura ambiente (30°C), durante las primeras 5 horas del proceso, se realizaron incrementos de temperatura de 10 °C/hora, finalmente se llevó a la temperatura de 110°C hasta completar 24 horas de secado. Una vez alcanzaron la temperatura ambiente, los bloques se pesaron y se midieron.

Los bloques secos se llevaron a un horno mufla de laboratorio (Figura 16) con calentamiento eléctrico, sometiendo cada bloque a temperaturas de cocción de 1000°C.

Después del ciclo de cocción, cada bloque se pesó y se midió, una vez alcanzaron la temperatura ambiente, para mejor manipulación. Finalmente se realizó la prueba de absorción de agua por inmersión y resistencia mecánica a la compresión, utilizando la metodología establecida en la norma Técnica Colombia NTC 4017.



Figura 11. Extrusora de Laboratorio con Vacío



Figura 12. Apisonador de la Arcilla
(Trituración)



Figura 13. Molino de Martillos (Molienda
Vía Seca)



Figura 14. Tamiz Malla 10 (Tamizado)



Figura 15. Estufa de 128 litros



Figura 16. Horno Mufla

4.3. Ensayos Realizados

4.3.1. Análisis Físico-cerámico

Objeto. Establecer el método de ensayo para realizar el análisis físico cerámico de productos estructurales, con el fin de obtener las especificaciones de producto.

Equipos.

- **Extrusora (Figura 11)**

Se utilizó la extrusora de laboratorio para conformar los bloques cerámicos mezclados con chamota de cerámica esmaltada y se obtuvo bloque cerámico H-10 por cada mezcla.

- **Estufa de secado (Figura 15)**

Elimina la humedad de los bloques, debido a que se programa su secado a una temperatura de 110 °C, durante 24 horas.

- **Pie de Rey**

Mide los largos, anchos y espesores de cada bloque.

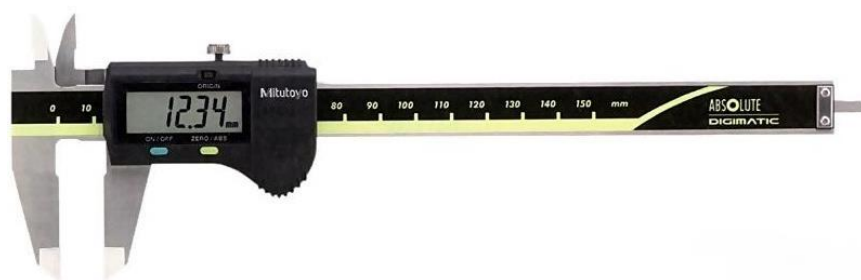


Figura 17. Pie de Rey Digital de 200 mm

Reactivos y/o Materiales.

- ACPM
- Paño de limpieza
- Cortador de bloques
- Marcador para rotular

Procedimiento. Se inicia con el proceso de conformado por extrusión para elaborar los bloques en condiciones húmedas, los cuales se deben medir con calibrador pie de rey (Figura 17), y pesar con balanza digital (Figura 18), obteniendo dimensiones de longitud entre 80 y 100 mm y masa entre 150 y 190 g. Posteriormente los bloques se secan en la estufa de secado

iniciando a temperatura ambiente de 30°C hasta llegar a temperatura de 110 °C durante 24 horas. Luego se dejan secar a temperatura ambiente para ser manipulados, con el fin de tomar de nuevo medias en condiciones secas. Finalmente se queman en el horno mufla a temperatura de 1000 °C, se deja enfriar cada bloque para obtener las medidas finales de en condiciones cocidas. Después de tener todos los datos mencionados en las 3 condiciones, se calcula la contracción seca y cocida, las pérdidas de masa seca y cocida de cada mezcla.

4.3.2. Determinación de la Absorción de Agua en Unidades de Mampostería

Objeto. Establecer el método de ensayo para determinar la absorción de agua en bloques cerámicos, con el fin de obtener las especificaciones de producto.

Equipos.

• Estufa de secado (Figura 15)

Se secan los bloques a una temperatura entre 105 °C y 115 °C, en un secadero durante no menos de 24 horas, hasta que, en dos pesajes sucesivos a intervalos de 2 horas, no se presente un cambio superior al 0,2% del último peso del bloque determinado previamente.

• Balanza

Balanza, con precisión 0,1 g.



Figura 18. Balanza Digital de 20 kg

- **Tanque de absorción**

Equipo para determinar la absorción de agua por inmersión, está fabricado en plástico, con apoyos inferiores que permiten la libre circulación del agua por todas las caras, evitando que cualquiera de sus caras quede apoyada directamente sobre el fondo del recipiente. Por ende, el tanque tiene canastillas o rejillas con capacidad de soportar los especímenes por debajo del agua.



Figura 19. Tanque para realizar Absorción de Agua por el Método de Inmersión

- **Termohigrómetro**

Registrador de datos de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y humedad relativa (%) de Extech.



Figura 20. Termohigrómetro EXTECH

Reactivos y/o Materiales.

- Agua destilada o des ionizada
- Paño absorbente
- Paño de limpieza
- Brocha o cepillo duro
- Marcador para rotular

Procedimiento.

a) Preparación de los Especímenes de Ensayo

Se retira cualquier partícula que éste mal adherida o suelta de cada espécimen de ensayo con un cepillo duro, una brocha o un trapo de limpieza.

Se rotula cada espécimen con el código interno dado a la muestra y el respectivo número de espécimen.

b) Secado de los Especímenes

Se pesa cada espécimen de ensayo y se registra la masa inicial como m_1 en la hoja de ensayo, posteriormente se introducen en la estufa de secado, la cual se mantiene a una temperatura entre 105 °C y 115°C; después de 24 horas de secado, se sacan los especímenes de la estufa de secado, se dejan enfriar a temperatura ambiente, y se pesan registrando la masa como m_2 .

Seguidamente se introducen los especímenes a la estufa de secado y se mantiene durante 2 horas más, se retiran y se dejan enfriar a temperatura ambiente; se pesan nuevamente y se registra la masa como m_3 . Se verifica si los especímenes han alcanzado una masa constante, es decir, cuando la diferencia entre dos pesajes m_2 y m_3 , sea menor que 0,2 %; de lo contrario se repite el procedimiento de secado.

c) Aplicación del Ensayo

Cuando los especímenes se han enfriado en el cuarto hasta mantener la temperatura de $24\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 8\text{ }^{\circ}\text{C}$, con una humedad relativa entre 30 y 70%, se colocan verticalmente, sin contacto entre ellos, en el tanque de absorción, de forma que exista una altura de 5 cm de agua destilada por encima y por debajo de las piezas a través de todo el ensayo.

Seguidamente se sumergen completamente los especímenes en agua destilada a una temperatura entre $15,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, durante 24 h (sin inmersión parcial preliminar). Mantener el nivel de agua 5 cm por encima de los especímenes que se están ensayando.

Finalmente se prepara el paño absorbente humectándolo y exprimiéndolo a mano, se coloca sobre una superficie plana y suavemente se seca cada lado de los especímenes uno a la vez.

Inmediatamente después de este procedimiento, se pesa cada espécimen m_4 y se registra los resultados, en la hoja de ensayo.

El valor de m_4 se registra como masa húmeda del espécimen en el reporte interno.

4.3.3. Determinación de la Resistencia Mecánica a la Compresión en Unidades de Mampostería

Objeto. Establecer el método de ensayo para determinar la resistencia mecánica a la compresión en bloques cerámicos, con el fin de obtener las especificaciones de producto.

Equipos.

- **Pie de Rey (Figura 17)**

Mide los largos, anchos y espesores de cada bloque.

- **Crometro o Prensa de Flexión**

La máquina de ensayo debe tener suficiente capacidad para fallar todos los especímenes de ensayo, pero la escala o capacidad de la misma debe ser tal que la carga de rotura aplicada sea mayor de un quinto de la lectura de la escala completa.



Figura 21. Crometro (Prensa de Presión)

Materiales.

- Paño de limpieza
- Brocha o cepillo duro para limpiar el crometro
- Marcador para rotular

Procedimiento. Se ensayan los bloques en una posición tal que la carga sea aplicada en la dirección en que van a estar puestos en servicio. Centre los bloques bajo el soporte esférico superior con una tolerancia de 1,6 mm.

Limpie los platos de la máquina de ensayo con un trapo, elimine todas las impurezas sueltas que existan en las caras de apoyo del bloque. Alinee cuidadosamente el bloque con el centro del plato, de manera que queda asentado uniformemente. Las piezas que tengan una sola

hendidura deben colocarse con ésta hacia arriba. En el caso en que la pieza tenga hendiduras en ambas caras, la cara que tenga la hendidura de mayor tamaño debe colocarse hacia arriba.

Se debe aplicar la carga con una velocidad adecuada hasta la mitad de la máxima esperada de acuerdo con el estimativo previsto para el producto o en su defecto con base en el requisito de resistencia propio de él acorde a la norma respectiva. Luego de aplicada esta carga inicial se deben ajustar los controles de la máquina de tal forma que la carga faltante se aplique a una velocidad uniforme en no menos de 60 segundos ni más de 120 segundos.

4.4. Normas Aplicadas

Para el desarrollo de la investigación fueron empleados los ensayos definidos en la siguiente normativa: a) NTC 4017:2018 Norma Técnica Colombiana NTC 4017. Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla 2008-05-23 ICONTEC. b) NTC 4205:2000 Norma Técnica Colombiana NTC 4205. Ingeniería civil y arquitectura. Unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos 200-10-25.

4.4.1. Propiedades Físicas

Absorción de Agua. Las unidades de mampostería de arcilla cocida, ensayadas según el procedimiento descrito en la NTC 4017 (ASTM C67), deben cumplir con los requisitos de absorción de agua en 24 h de inmersión (promedio y máximo individual) que se da en la Tabla 6 y 7.

En general, no se pueden tener absorciones inferiores al 5% en promedio, ni superficies vidriadas o esmaltadas en las caras en que se asientan o en las que se vayan a pañetar.

Si en razón de la materia prima utilizada, las unidades de mampostería de uso exterior (fachada) resultan con absorción mayor a la especificada, se puede acudir al análisis termo diferencial conjunto de la arcilla y el producto cocido, para demostrar si la temperatura de cocción es suficiente o no, y para evitar la rehidratación de la arcilla cuando las piezas estén expuesta a la intemperie. También se puede tomar como criterio de estabilidad a la intemperie, la relación de módulos de rotura, establecida entre una pieza saturada de agua durante 24 horas a temperatura ambiente y el de una pieza seca. Dicha relación no puede ser inferior a 0,8. Este ensayo se efectúa sobre cinco muestras para cada estado, según el método descrito en la NTC 4017.

Resistencia Mecánica a la Compresión. Las unidades de mampostería de arcilla cocida deben cumplir con la resistencia mínima a la compresión que se especifica en la Tabla 6 y 7, cuando se ensayan según el promedio descrito en la NTC 4017.

Tabla 6.

Propiedades Físicas de las Unidades de Mampostería Estructural

Tipo	Resistencia mínima a la compresión Pa (Kgf/cm ²)		Absorción de agua máxima en %			
			Interior *		Exterior	
	Prom 5 U	Unid	Prom 5 U	Unid	Prom 5 U	Unid
PH ^a	5,0 (50)	3,5 (35)	13	16	13,5	14
PV ^b	18,0 (180)	15,0 (150)	13	16	13,5	14
M ^c	20,0 (200)	25,0 (150)	13	16	13,5	14

Nota. Fuente: NTC 4017.

^aPH = unidad de mampostería de perforación horizontal (ladrillo y bloque)

^bPV = unidad de mampostería de perforación vertical (ladrillo y bloque)

^cM = unidad de mampostería maciza (ladrillo)

Tabla 7.*Propiedades Físicas de las Unidades de Mampostería no Estructural*

Tipo	Resistencia mínima a la compresión Pa (Kgf/cm ²)		Absorción de agua máxima en %			
			Interior *		Exterior	
	Prom 5 U	Unid	Prom 5 U	Unid	Prom 5 U	Unid
PH	3,0 (30)	2,0 (20)	17	20	13,5	14
PV	14,0 (140)	10,0 (100)	17	20	13,5	14
M	14,0 (140)	10,0 (100)	17	20	13,5	14

Nota. Fuente: NTC 4017.

^aPH = unidad de mampostería de perforación horizontal (ladrillo y bloque)

^bPV = unidad de mampostería de perforación vertical (ladrillo y bloque)

^cM = unidad de mampostería maciza (ladrillo)

5. Informe Final

5.1. Diagnóstico del Sector Productivo de Chamota esmaltada en Norte de Santander

Para dar cumplimiento a este objetivo, gran parte de la información fue tomada del libro “EL CLÚSTER CERÁMICO. Apuesta de desarrollo socioeconómico de Norte de Santander” publicado por Jorge Sánchez, Julio Gonzáles y William Avendaño, en el año 2019.

La industria minera es el principal proveedor de materia prima para el sector cerámico, de los cuales encontramos arcilla, caolines, feldespatos, cuarzo, carbonato de calcio, dolomita, bentonita y mica.

El sector de la industria de la cerámica está conformado por un alto porcentaje de chircales (75%), medianas empresas (7%) y pequeñas empresas (13%) que no poseen procesos productivos estandarizados altamente competitivos y, además no cuentan con un alto grado de innovación debido al costo que esto nos genera. Por otra parte, esta industria se encuentra afectada por una legislación ambiental cada vez más rigurosa y por el cambio en el perfil del consumidor (constructor) que ahora demanda una construcción sostenible.

En esta región del país se continúa distribuyendo los productos cerámicos por las rutas habituales como los son: distribuidores minoristas, grandes superficies y puntos propios de distribución. Sin embargo, algunas empresas han promocionado sus productos en el exterior por medio de instituciones de orden nacional y agremiaciones de carácter privado como: Cámara de Comercio, Proexport, Asociación Nacional de Exportadores (Analdex), entre otros.

Actualmente en Colombia, los eslabones productivos de la industria cerámica se clasifican en arcillas plásticas, baldosas y azulejos, cerámica de arcilla común cocida, fundentes, lojería y otras cerámicas, porcelana sanitaria, porcelana uso industrial y eléctrico, cuyas fuentes

de materias primas son principalmente el sector minero y el químico, importando resinas, pigmentos y lacas que no se producen actualmente en el país.

En 2012, según la Cámara de Comercio de Cúcuta había 67 empresas productoras que conformaban el clúster cerámico del departamento de Norte de Santander, estas empresas enfocadas en producir y comercializar productos cerámicos derivadas de las formaciones geológicas Guayabo y León. Entre estos productos, el bloque, el ladrillo multiperforado y la teja española fueron los productos más representativos de esta industria. Norte de Santander cuenta con una gran cantidad de reserva de arcilla de muy buena calidad, tanto, como para estar posicionados a nivel nacional e internacional con nuestros productos cerámicos, y esto se ve como una oportunidad de negocio factible, pero desafortunadamente no tenemos un equipo calificado, la inversión para la innovación de productos es baja y los sobrecostos en el transporte son algunos de los factores por los cuales nuestra industria cerámica no se encuentra posicionada globalmente. Así, apenas se logra comercializar cerca del 60% de la producción en la localidad o en mercados regionales.

Además de los productores, la cadena de valor del clúster de la cerámica en el departamento está conformada por cerca de 1.338 actores, a saber: proveedores de materia prima, de energía, embalaje y maquinaria, empresas de transporte de carga, intermediarios de ventas, clientes intermedios, mercados, entidades del gobierno, centros de formación e investigación, banca y entidades financieras, sindicatos, asociaciones, medios de comunicación y las demás instituciones de apoyo tanto del sector público como privado.

En un estudio hecho por Sánchez y Ramírez (2013), se logró caracterizar el sector cerámico de Cúcuta y su área metropolitana, contando con una población de 59 empresas

dedicada a la fabricación de productos derivados de la arcilla y 42 empresas que comercializan y/o compran materiales cerámicos de construcción, encontraron que:

a) El 46% de las empresas tienen activos en un rango de 501 a 5.000 salarios mínimos mensuales legales vigentes (SMMLV) y el 75% cuenta con 11-50 empleados. Esto las cataloga como pequeñas empresas según la clasificación de la ley 905 de 2004.

b) El 56% de las empresas reportan ingresos entre 50 y 250 millones de pesos mensuales.

c) El 48% de las empresas tiene una capacidad instalada entre 51 y 1.000 toneladas/mes.

De la misma forma, que la proporción de los productos cerámica producidos por las empresas son las siguientes: (15%), ladrillo perforado (14%), teja española (11%), tableta colonial (9%) y enchapes y revestimientos (9%) y, en menor proporción, los tubos (0%), el Tabelaon (1%), y la tableta esmaltada (0%).

Las empresas que conforman el sector cerámico en Norte de Santander son 46% pequeñas, 36% medianas, 9% grandes y 9% microempresas.

Entre los años 2003 a 2008, se logró tener un muy buen volumen de ventas debido al auge de la construcción en Venezuela, exportaban toda clase de productos como los bloques, tejas, tableta vitrificada, enchapes, decorados y rosetones, entre otros. Lamentablemente el cierre de la frontera en el 2008, causó una crisis por el cual la producción y comercialización de los productos cerámicos se vio fuertemente afectada. El sector ha sufrido una pérdida mensual en ventas estimada en USD 1.116.312 según la Cámara de Comercio de Cúcuta (2015).

Los datos más recientes tenemos que el 59% de las empresas facturan entre 250 y 1.000 millones, el 32% más de 1.000 millones y el 9% entre 50 y 250 millones de pesos mensuales.

Los productos que se producen en la industria cerámica no han cambiado hasta entonces, el grado de innovación y creación es bajo, y casi todas las empresas tienen el mismo

catálogo de productos, en la Tabla 8 expuesta por Sánchez y Ramírez (2013) observamos los productos fabricados en la región.

Tabla 8

Productos Fabricados en la Región

Producto	Porcentaje de empresas que lo producen
Bloque	77.3
Ladrillo perforado	54.5
Tableta colonial	45.5
Teja española	40.9
Ladrillo	31.8
Enchapes revestimiento	31.8
Teja	27.3
Teja plana	27.3
Caballetes	27.3
Tableta vitrificada	27.3
Cenefas	22.7
Tapetes	13.6
Rosetones	13.6
Decorados	13.6

Nota. Fuente: Sánchez y Ramírez (2013).

Los sistemas de comercialización y mercadeo que utilizan las empresas para dar a conocer su producto y cautivar al cliente son: Venta directa 95,5%, Puntos venta 68,2 %, Comercializadoras 18,2%, Otras 13,6%, Hipermercados 4,5%.

Los mercados de la industria cerámica hace algunos años exportaba a mercados internacionales como Venezuela entre el 65% y 70 % de la producción, desde el cierre de la frontera no se pudo seguir comercializando a ese país, y desde ese momento se fueron buscando nuevas alternativas con mercados nacionales y/o internacionales. Actualmente, algunas empresas venden sus productos a Centro América, Ecuador, Panamá, los Estados Unidos y claramente a nivel local y nacional.

Tabla 9*Mercados en los que Participa el Sector*

Mercado en el que Participan las Empresas de Cerámica	% de empresas
Local	100
Regional	100
Nacional	95,5
Internacional	45,5

Nota. Fuente: *El clúster cerámico: apuesta de desarrollo socioeconómico de Norte de Santander* (p. 51), por J. Sánchez et al., 2019, Ecoe Ediciones.

La ventaja competitiva que se tiene frente a otras industrias es la calidad, porque en Norte de Santander se cuenta con una materia prima con características especiales, debido a esto el producto en otras regiones es muy solicitado porque tiene propiedades excelentes, otro elemento que se observa es la resistencia del producto dado que es transportado por largos tiempos y el producto llega en perfecto estado a su lugar de destino sin dañarse ninguna pieza.

También se tiene desventajas en la industria en departamento como la posición geoestratégica, las vías de comunicación en mal estado, la tecnología obsoleta, los mercados naturales cerrados, la indiferencia del gobierno y la falta de capacidad de asociación entre los industriales.

La capacidad instalada es el volumen máximo de producción y se mide en toneladas de producción por mes, lo ideal es que el volumen de producción este cerca de la capacidad instalada porque esto quiere decir que están utilizando la materia prima adecuadamente, pero si el volumen de producción es bajo con respecto a la capacidad instalada quiero decir que no se está dando un buen uso de las materias primas y se están malgastando. En la Figura 22 observamos la capacidad instalada de las empresas.

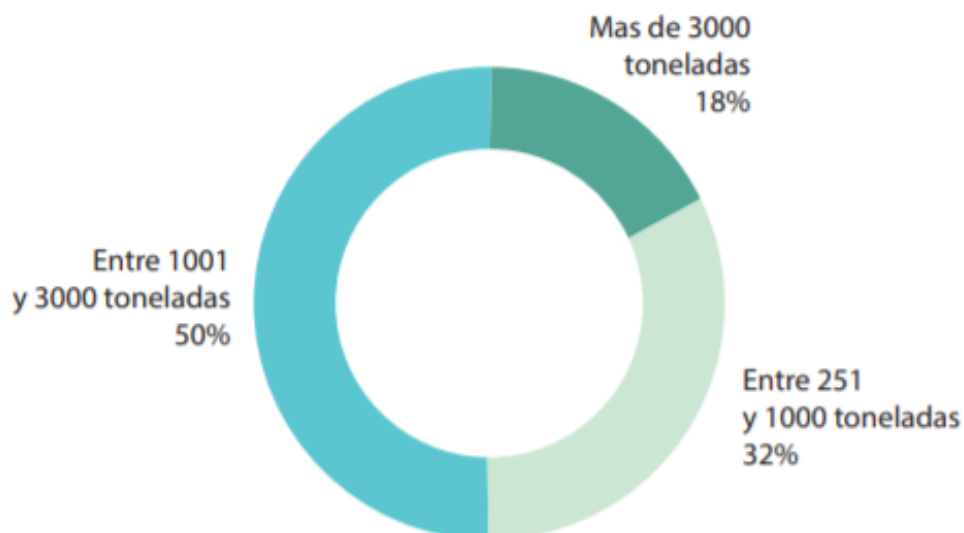


Figura 22. Capacidad Instalada

Nota. Fuente: *El clúster cerámico: apuesta de desarrollo socioeconómico de Norte de Santander* (p. 55), por J. Sánchez et al., 2019, Ecoe Ediciones.

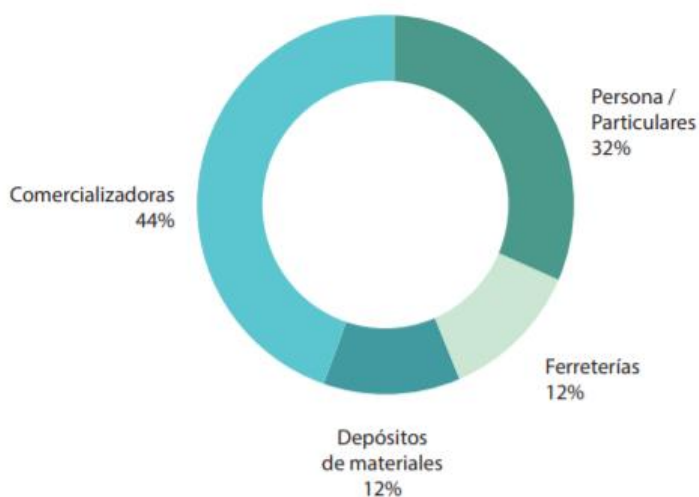
La investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías es un factor de competitividad muy importante para la industria, porque si se quiere posicionar en mercados internacionales, se debe invertir en nuevas prácticas e innovación para que el producto sea apetecido por los clientes. Otra forma de innovación puede tener lugar a aumentar la producción y disminuir los costos y esto se pueda ver reflejado en la calidad final del producto o en un ahorro para el mismo cliente. Sin embargo, las empresas no cuentan con infraestructura y el personal calificado para realizar dichas investigaciones y desarrollos tecnológicos, por eso se debe buscar alianzas con las universidades que si tienen el potencial y así poder mejorar el producto final y sea posicionado globalmente. En la Tabla 10 podemos observar a las empresas que buscan un apoyo en diferentes entidades.

Tabla 10*Alianzas Estratégicas para la Investigación y Desarrollo*

Entidades	% de empresas que han presentado proyectos de investigación
Universidades	66,7
Sector público	33,3
Sector privado	20,0
Ninguno	13,3

Nota. Fuente: *El clúster cerámico: apuesta de desarrollo socioeconómico de Norte de Santander* (p. 57), por J. Sánchez et al., 2019, Ecoe Ediciones.

El factor administrativo en esta industria es importante para tener de forma clara cada uno de los objetivos de la empresa y poder cumplirlos, según Sánchez y Ramírez (2013), el 80% de las empresas de la industria cerámica suponen tener una estructura administrativa organizada y definida, y el 20% cree que no cuenta con un área administrativa. Los clientes son razón de ser de la empresa son los clientes y en el sector cerámico están representados por comercializadora, las personas particulares, las ferreterías y los depósitos de materiales. La participación de los clientes se presenta en la Figura 23.

**Figura 23.** Clientes del Sector Cerámico

Nota. Fuente: *El clúster cerámico: apuesta de desarrollo socioeconómico de Norte de Santander* (p. 62), por J. Sánchez et al., 2019, Ecoe Ediciones.

La mayoría de los clientes están ubicados en el mercado local y en otras zonas del país de la zona nororiental como Santander, Magdalena, Cesar, la Guajira, parte de Bolívar, la costa atlántica, el centro de país y Villavicencio. Más allá el sector no es competitivo porque la distancia hace que los costos de transporte y logística sean muy altos.

Algunas empresas han logrado alcanzar los mercados de Costa Rica y Panamá, Guatemala y algunas islas del Caribe, estos tienen aranceles relativamente bajos pese a que no se tienen tratados de libre comercio. Estos son mercados potencialmente interesantes, eventualmente se han logrado colocar productos en Estados Unidos en la zona de la Florida.

Los principales proveedores del sector son la industria minera, la industria petroquímica, el sector metalmecánico, los madereros, la industria del plástico, las empresas de energía eléctrica, las empresas de embalaje y maquinaria y las empresas de transporte de carga. De acuerdo con la información recabada, el sector manifiesta no tener mayores preocupaciones al respecto, con excepción de las consecuencias de la crisis que viven algunos sectores económicos regionales.

La competencia está dada por las mismas empresas que conforman el sector de la cerámica, si bien se ha tratado de unir todas las empresas, se evidencia que no ha sido posible, porque no hay unificación de precios y de estándares de producción entre los productores, las estrategias de cooperación y asistencia mutua básicamente se han quedado en el papel y cada empresa está tomando decisiones que incluso llegan a ser nocivas para otras empresas.

Producción Local de Cerámica Esmaltada de una Empresa Líder en el Área

Metropolitana de Cúcuta. Actualmente, la empresa cuenta con una capacidad de producción de 900.000 metros cuadrados al mes. Esta tiene un porcentaje de rotura del 4.5%, lo que genera un total de 40500 metros en pérdidas, teniendo en cuenta que un metro cuadrado de cerámica pesa 17 kilogramos, se tiene un total de 688500 kilogramos de chamota de cerámica, aproximadamente, que pueden ser potencialmente utilizados de ser favorables los resultados de esta investigación.

5.2. Desarrollo del Bloque H-10 Utilizando Diferentes Porcentajes del Nutriente a nivel de Laboratorio

En este objetivo se muestra los resultados obtenidos en el laboratorio del Centro de Investigación de Materiales Cerámicos CIMAC de la Universidad Francisco de Paula Santander.

Para la realización de este proyecto se propuso desarrollar diferentes tipos de porcentajes, la arcilla 100% y tres tipos de mezclas con chamota de cerámica esmaltada como lo podemos observar en la Tabla 11, y estas fueron sometidas a diferentes tipos de ensayos como: análisis físico cerámicos a la arcilla por extrusión a nivel de laboratorio, análisis físicos cerámicos a las mezclas diseñadas por extrusión a nivel de laboratorio, ensayo de absorción de agua para bloques cerámicos a nivel de laboratorio y ensayo de resistencia mecánica a la compresión de bloques cerámicos a nivel de laboratorio, basándonos en la NTC 4017:2108 Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla.

Tabla 11*Mezclas Elaboradas y Ensayadas*

Mezcla	Chamota de Cerámica Esmaltada	Arcilla
M1	2,5 %	97,50 %
M2	5,0 %	95,00 %
M3	7,5 %	92,50 %

5.2.1. Selección y Preparación de los Especímenes de Ensayo

Para este proyecto se tomó en cuenta las indicaciones dadas por la NTC 4017:2018, lo cual especifica que los especímenes que se van a ensayar deben ser representativos del lote entero de unidades del que se toman, de la variedad, de colores, texturas y tamaños del lote. Los especímenes deben estar limpios, libres o ser limpiados de materias no asociadas con el proceso de fabricación como restos de suciedad, lodo o mortero. Los especímenes que no puedan ser limpiados o retirados los contaminantes, deben ser descartados, para efectos de los ensayos.

5.2.2. Número de Especímenes

Las muestras de bloques para muros de mampostería se deben escoger aleatoriamente de cada lote de producción, un lote no debe ser mayor a la producción de una semana según la NTC 4017:2018.

Para este proyecto se poseían tres lotes independientes para cada muestra de material, para cumplir con lo establecido en la norma.

En la Tabla 12 se indica el número de especímenes que se debe tomar de cada lote de unidades para realización los ensayos de laboratorio.

Tabla 12*Plan de Muestreo*

Producto	Ensayos	Número de Especímenes	Norma de Referencia
Ladrillos y Bloques Estructurales	Resistencia a la compresión	6(b)	
	Absorción de agua por inmersión 24 h	5	
	Absorción de agua por ebullición 1 h	5	
	Tasa inicial de absorción	5	
	Tolerancia dimensional	10	NTC 4205-1
	Análisis térmico-diferencial (o térmico dilatométrico) (c)	100 g de materia prima y tres fragmentos de más de 50 g de ladrillo	
	Alabeo	10	

Nota. Fuente: NTC 4017:2018.

5.2.3. Identificación

Para las muestras y los ensayos de laboratorio se deben tomar únicamente especímenes que estén rotulados, además, cada espécimen que se haya tomado como muestra para ensayos debe marcarse de tal manera que en cualquier momento se puede identificar su procedencia y por último estas marcas no deben cubrir más del 5% de la superficie del espécimen.

5.3. Análisis Físico Cerámico por Extruido

5.3.1. Arcilla 100%

Tabla 13.

Análisis Físico Cerámico Arcilla 100%

Probeta	Temp.	Condición húmeda			Condición seca		Condición cocida			Masa de absorción de agua	Contracción		Perdidas de masa		Absorción de agua
		Long.	Masa	Empuje	Long.	Masa	Long.	Masa	Empuje		Seca	Cocida	Seca	Cocida	
		° C	mm	G	Mm	g	mm	g	g		%	%	%	%	
1		80.48	152.47		77.83	124.99	74.84	119.90		133.02					
2		80.12	154.78		78.35	126.72	75.65	121.69		134.46					
3		80.32	151.32		78.69	124.38	74.92	119.44		132.16					
4		79.93	148.57		73.97	122.11	72.74	117.24		129.89					
5	1000	78.58	148.43	NA	76.55	121.58	73.49	116.70		129.29	4.771	3.001	17.939	3.971	10.735
6		82.61	155.44		77.31	127.48	76.51	122.47	NA	135.72					
7		81.09	147.64		79.76	127.84	75.48	122.79		136.00					
8		78.37	154.19		73.82	121.36	72.90	116.51		128.65					
9		83.69	155.48		77.23	126.52	75.73	121.57		134.76					
10		99.54	184.84		91.02	151.16	88.58	145.25		161.00					

5.3.2. Arcilla 97,5 % y Chamota de Cerámica Esmaltada 2,5 %

Tabla 14.

Análisis Físico Cerámico Chamota de Cerámica Esmaltada 2,5%

Probeta	Temp.	Condición húmeda			Condición seca		Condición cocida			Masa de absorción de agua	Contracción		Perdidas de masa		Absorción de agua
		Long.	Masa	Empuje	Long.	Masa	Long.	Masa	Empuje		Seca	Cocida	Seca	Cocida	
		° C	mm	G	G	Mm	g	mm	g		g	G	%	%	
1		82.89	158.78		78.71	132.28	77.73	126.11		138.09					
2		84.15	160.70		79.15	133.73	78.02	127.39		139.53					
3		81.73	158.17		77.11	131.75	76.22	125.54		137.47					
4		80.20	158.82		76.27	130.22	75.39	124.18		136.12					
5	1000	81.96	158.26	NA	78.15	131.95	77.45	125.66	NA	138.58	5.179	1.272	16.804	4.688	9.783
6		82.23	159.52		77.58	132.90	76.54	126.69		139.19					
7		82.33	159.06		77.53	132.59	76.54	126.44		138.89					
8		83.16	160.50		78.87	133.22	77.97	127.03		140.04					
9		82.47	157.61		78.63	131.62	77.64	125.55		137.92					
10		83.64	159.97		80.04	133.71	78.58	127.31		139.52					

5.3.3. Arcilla 95,0 % y Chamota de Cerámica Esmaltada 5,0 %

Tabla 15

Análisis Físico Cerámico Chamota de Cerámica Esmaltada 5,0 %

Probeta	Temp.	Condición húmeda			Condición seca		Condición cocida			Contracción		Perdidas de masa		Absorción de agua	
		Long.	Masa	Empuje	Long.	Masa	Long.	Masa	Empuje	Masa de absorción de agua	Seca	Cocida	Seca		Cocida
		° C	mm	G	G	Mm	g	mm	g	g	G	%	%		%
1		82.54	156.70		78.57	130.94	77.72	125.26		137.17					
2		82.02	155.22		77.33	129.28	76.27	123.66		135.81					
3		82.35	157.92		77.54	131.45	76.40	125.81		137.84					
4		80.89	155.35		76.22	129.29	75.10	123.88		135.99					
5	1000	83.03	161.15	NA	79.34	135.50	78.53	129.67	NA	143.44	5.054	1.263	16.534	4.284	9.891
6		81.83	154.33		78.15	128.89	77.22	123.33		135.36					
7		82.02	157.19		77.37	131.06	76.35	125.46		137.62					
8		79.40	154.99		75.30	130.08	74.59	124.52		137.61					
9		81.13	155.56		77.90	129.43	76.93	123.93		135.98					
10		79.21	151.95		75.53	126.49	74.38	121.09		133.12					

5.3.4. Arcilla 92,5 % y Chamota de Cerámica Esmaltada 7,5 %

Tabla 16

Análisis Físico Cerámico Chamota de Cerámica Esmaltada 7,5 %

Probeta	Temp.	Condición húmeda			Condición seca		Condición cocida			Contracción		Perdidas de masa		Absorción de agua	
		Long.	Masa	Empuje	Long.	Masa	Long.	Masa	Empuje	Masa de absorción de agua	Seca	Cocida	Seca		Cocida
		° C	mm	G	G	Mm	g	mm	g	g	G	%	%		%
1	1000	80.81	157.19		76.69	131.74	75.88	122.20		138.38					
2		83.91	163.26		79.73	136.52	78.76	120.85		144.37					
3		81.29	158.43		77.77	133.01	76.83	121.46		140.06					
4		83.64	159.58		79.09	134.47	77.77	125.85		141.48					
5		82.41	158.53	NA	78.59	132.26	77.72	121.80		139.50	4.697	1.259	16.164	4.180	9.966
6		83.89	163.78		80.05	136.85	79.03	125.15		144.38					
7		80.98	157.97		77.30	132.43	76.38	126.87		139.82					
8		78.31	151.60		74.60	127.72	73.65	122.32		134.28					
9		82.39	161.51		78.72	135.36	77.73	120.70		142.84					
10		81.08	154.92		77.70	129.87	76.50	122.43		136.58					

De las tablas 13, 14, 15 y 16 se puede observar el análisis físico cerámico que se le hizo a la mezcla de arcilla 100%, y las tres mezclas utilizando los diferentes porcentajes de chamota de cerámica esmaltada de 2.5%, 5% y 7.5%, se puede evidenciar que la contracción seca estuvo muy similar a la mezcla patrón que es la arcilla 100% y la contracción cocida estuvo 1.7 puntos porcentuales por debajo de la mezcla patrón. Por otra parte, las pérdidas de masa seca y cocida de las mezclas con nutriente tecnológico no tuvieron mucha diferencia porcentual con respecto a la mezcla patrón.

5.4. Ensayo de Absorción de Agua

5.4.1. Absorción de Agua para cada Espécimen Analizado

La ecuación 1 representa el porcentaje de absorción de agua de cada espécimen.

$$E = \frac{m_4 - m_3}{m_3} \times 100 \quad (1)$$

Donde:

E = Absorción de agua en %

m3 = Masa del espécimen seco, en g (antes del ensayo)

m4 = Masa del espécimen impregnada con agua hirviendo, en g (después del ensayo)

5.4.2. Absorción de Agua de la Muestra

La absorción de agua promedio de la muestra, se calcula como el promedio de todos los resultados obtenidos de absorción de agua de cada espécimen analizado. Tal como se indica en la Ecuación 2.

$$\bar{X}E_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i \quad (2)$$

5.4.2.1. Espécimen Arcilla 100%. En el ensayo de absorción de agua realizado a la mezcla 100% arcilla, se puede evidenciar que los tres de lotes de cinco especímenes tuvieron un porcentaje de absorción de agua óptimo de acuerdo a la norma NTC 4205:2000.

Tabla 17

Porcentaje de Absorción de Agua de Especímenes del Lote 1 con Arcilla 100%

Espécimen N.º	Masa seca del espécimen (g)	Masa húmeda del espécimen (g)	Absorción de agua (E) (%)
1	119,90	133,02	10,9
2	121,69	134,46	10,5
3	119,44	132,16	10,6
4	117,24	129,89	10,8
5	116,70	129,29	10,8
Promedio de la muestra	119,0	131,8	10,7

Tabla 18

Porcentaje de Absorción de Agua de Especímenes del Lote 2 con Arcilla 100%

Espécimen N.º	Masa seca del espécimen (g)	Masa húmeda del espécimen (g)	Absorción de agua (E) (%)
1	118,28	131,6	11,3
2	119,92	133,5	11,3
3	120,74	134,5	11,4
4	114,86	127,8	11,2
5	146,14	162,5	11,2
Promedio de la muestra	124,0	138,0	11,3

Tabla 19

Porcentaje de Absorción de Agua de Especímenes del Lote 3 con Arcilla 100%

Espécimen N°	Masa seca del espécimen (g)	Masa húmeda del espécimen (g)	Absorción de agua (E) (%)
1	118,42	131,5	11,0
2	119,85	133,4	11,3
3	121,25	134,5	10,9
4	116,49	129,7	11,4
5	118,44	131,4	10,9
Promedio de la muestra	118,9	132,1	11,1

5.4.2.2. Arcilla 97.5% y Chamota de Cerámica Esmaltada 2.5%. A continuación, se puede observar en las Tablas 20, 21 y 22 los bloques ensayados con mezcla de 2.5% de chamota de cerámica esmaltada, se logra evidenciar que para el lote 1 se obtuvo un promedio de 10% de absorción de agua, para el lote 2 un 10.4% y por ultimo 9.5%.

Tabla 20

Porcentaje de Absorción de Agua de Especímenes del Lote 1 con Chamota de Cerámica Esmaltada 2.5%

Espécimen N°	Masa seca del espécimen (g)	Masa húmeda del espécimen (g)	Absorción de agua (E) (%)
1	131,15	144,38	10,1
2	126,87	139,82	10,2
3	122,32	134,28	9,8
4	129,70	142,84	10,1
5	124,43	136,58	9,8
Promedio de la muestra	126,9	139,6	10,0

Tabla 21

Porcentaje de Absorción de Agua de Especímenes del Lote 2 con Chamota de Cerámica

Esmaltada 2.5%

Especimen N°	Masa seca del espécimen (g)	Masa húmeda del espécimen (g)	Absorción de agua (E) (%)
1	125,03	138,55	10,8
2	127,62	142,12	11,4
3	122,68	134,73	9,8
4	128,31	141,54	10,3
5	127,45	140,07	9,9
Promedio de la muestra	126,2	139,4	10,4

Tabla 22

Porcentaje de Absorción de Agua de Especímenes del Lote 3 con Chamota de Cerámica

Esmaltada 2.5%

Especimen N°	Masa seca del espécimen (g)	Masa húmeda del espécimen (g)	Absorción de agua (E) (%)
1	123,33	135,91	10,2
2	126,45	138,55	9,6
3	126,91	138,51	9,1
4	126,68	138,29	9,2
5	126,43	138,47	9,5
Promedio de la muestra	126,0	137,9	9,5

5.4.2.3. Arcilla 95 % y Chamota de Cerámica Esmaltada 5%. En las tablas 23, 24 y 25 se presentan los resultados obtenidos de la absorción de agua, utilizando 5% de chamota de cerámica esmaltada de los tres lotes, de manera que siendo comparados con la NTC 4205:2000, los porcentajes del ensayo son óptimos.

Tabla 23*Porcentaje de Absorción de Agua de Especímenes del Lote 1 con Chamota de Cerámica**Esmaltada 5%*

Especimen N°	Masa seca del espécimen (g)	Masa húmeda del espécimen (g)	Absorción de agua (E) (%)
1	123,33	135,36	9,8
2	125,46	137,62	9,7
3	124,52	137,61	10,5
4	123,93	135,98	9,7
5	121,09	133,12	9,9
Promedio de la muestra	123,7	135,9	9,9

Tabla 24*Porcentaje de Absorción de Agua de Especímenes del Lote 2 con Chamota de Cerámica**Esmaltada 5%*

Especimen N°	Masa seca del espécimen (g)	Masa húmeda del espécimen (g)	Absorción de agua (E) (%)
1	124,15	135,30	9,0
2	132,04	145,46	10,2
3	124,86	135,96	8,9
4	123,86	135,62	9,5
5	122,04	133,90	9,7
Promedio de la muestra	125,4	137,2	9,4

Tabla 25

Porcentaje de Absorción de Agua de Especímenes del Lote 3 con Chamota de Cerámica Esmaltada 5%

Espécimen N°	Masa seca del espécimen (g)	Masa húmeda del espécimen (g)	Absorción de agua (E) (%)
1	124,35	135,83	9,2
2	126,72	138,99	9,7
3	122,90	133,96	9,0
4	125,31	137,12	9,4
5	127,32	139,07	9,2
Promedio de la muestra	125,3	137,0	9,3

5.4.2.4. Arcilla 92.5 % y Chamota de Cerámica Esmaltada 7.5%. A continuación, se puede observar en las tablas 26, 27 y 28 los bloques ensayados con mezcla de 7.5% de chamota de cerámica esmaltada, se logra evidenciar que para el lote 1 se obtuvo un promedio de 9.9% de absorción de agua, para el lote 2 y 3 un 9.5%.

Tabla 26

Porcentaje de Absorción de Agua de Especímenes del Lote 1 con Chamota de Cerámica Esmaltada 7.5%

Espécimen N°	Masa seca del espécimen (g)	Masa húmeda del espécimen (g)	Absorción de agua (E) (%)
1	126,69	139,19	9,9
2	126,44	138,89	9,8
3	127,03	140,04	10,2
4	125,55	137,92	9,9
5	127,31	139,52	9,6
Promedio de la muestra	126,6	139,1	9,9

Tabla 27

Porcentaje de Absorción de Agua de Especímenes del Lote 2 con Chamota de Cerámica

Esmaltada 7.5%

Especimen N°	Masa seca del espécimen (g)	Masa húmeda del espécimen (g)	Absorción de agua (E) (%)
1	123,43	134,79	9,2
2	125,36	137,00	9,3
3	125,84	138,62	10,2
4	125,56	137,65	9,6
5	123,28	134,45	9,1
Promedio de la muestra	124,7	136,5	9,5

Tabla 28

Porcentaje de Absorción de Agua de Especímenes del Lote 3 con Chamota de Cerámica

Esmaltada 7.5%

Especimen N°	Masa seca del espécimen (g)	Masa húmeda del espécimen (g)	Absorción de agua (E) (%)
1	122,95	135,00	9,8
2	124,87	136,97	9,7
3	126,81	138,60	9,3
4	128,06	140,01	9,3
5	128,71	141,10	9,6
Promedio de la muestra	126,3	138,3	9,5

5.5. Ensayo de Resistencia Mecánica a la Compresión

Se calculó la resistencia a la compresión de cada espécimen redondeándolos a la décima de MPa más cercana, como se indica en la ecuación 3.

$$C = WA \quad (3)$$

Donde:

C = resistencia del espécimen a la compresión, en MPa.

W= carga máxima de rotura, en N, indicada por la máquina de ensayo.

A = área neta del espécimen en cm^2 .

Así mismo, se llevó el ensayo hasta la carga máxima que cada espécimen sometido a prueba fue capaz de soportar.

5.5.1. Especimen Arcilla 100%. En el ensayo de resistencia mecánica a la compresión realizado a la mezcla 100% arcilla, se puede evidenciar que los tres de lotes de cinco especímenes tuvieron un porcentaje de resistencia mecánica a la compresión óptimo de acuerdo a la NTC 4205:2000.

Tabla 29

Resistencia Mecánica a la Compresión de Especímenes del Lote 1 con Arcilla 100%

Especimen Nº	Largo del especimen (mm)	Ancho del especimen (mm)	Alto del especimen (mm)	Área neta del especimen (mm^2)	Área neta del especimen (cm^2)	Carga de rotura por compresión (kgf)	Resistencia a la compresión (kgf/ cm^2)
1	74,84	26,53	46,62	1985,5	19,86	681,48	34,32
2	75,65	26,47	47,21	2002,5	20,02	631,50	31,54
3	74,92	26,65	45,37	1996,6	19,97	509,52	25,52
4	72,74	26,69	46,02	1941,4	19,41	595,02	30,65
5	73,49	26,53	47,17	1949,7	19,50	739,58	37,93
Promedio	74,33	26,57	46,48	1.975,14	19,75	631,42	31,99

Tabla 30*Resistencia Mecánica a la Compresión de Especímenes del Lote 2 con Arcilla 100%*

Espécimen N°	Largo del espécimen (mm)	Ancho del espécimen (mm)	Alto del espécimen (mm)	Área neta del espécimen (mm ²)	Área neta del espécimen (cm ²)	Carga de rotura por compresión (kgf)	Resistencia a la compresión (kgf/cm ²)
1	73,85	25,83	47,39	1907,5	19,08	510,87	26,78
2	75,16	26,26	47,45	1973,7	19,74	602,16	30,51
3	75,58	26,23	47,44	1982,5	19,82	716,42	36,14
4	74,31	26,73	46,68	1986,3	19,86	583,63	29,38
5	73,40	26,51	47,34	1945,8	19,46	719,12	36,96
Promedio	74,46	26,31	47,26	1.959,17	19,59	626,44	31,95

Tabla 31*Resistencia Mecánica a la Compresión de Especímenes del Lote 3 con Arcilla 100%*

Espécimen N°	Largo del espécimen (mm)	Ancho del espécimen (mm)	Alto del espécimen (mm)	Área neta del espécimen (mm ²)	Área neta del espécimen (cm ²)	Carga de rotura por compresión (kgf)	Resistencia a la compresión (kgf/cm ²)
1	75,29	26,32	46,85	1981,6	19,82	692,68	34,95
2	73,84	26,98	47,00	1992,2	19,92	467,83	23,48
3	74,77	26,31	46,52	1967,2	19,67	748,26	38,04
4	70,31	26,49	47,62	1862,5	18,63	581,90	31,24
5	93,74	26,17	46,81	2453,2	24,53	573,40	23,37
Promedio	77,59	26,45	46,96	2.051,34	20,51	612,81	30,22

5.5.2. Arcilla 97.5 % y Chamota de Cerámica Esmaltada 2.5%. A continuación se puede observar en las tablas 32, 33 y 34 los bloques ensayados con mezcla de 2.5% de chamota de cerámica esmaltada, se logra evidenciar que para el primer lote se obtuvo un promedio de 34.32 (kgf/cm²) de resistencia mecánica a la compresión, para el segundo lote 37.21 (kgf/cm²) y por ultimo 36.10 (kgf/cm²).

Tabla 32*Resistencia Mecánica a la Compresión de Especímenes del Lote 1 con Chamota de Cerámica**Esmaltada 2.5%*

Especímen N°	Largo del espécimen (mm)	Ancho del espécimen (mm)	Alto del espécimen (mm)	Área neta del espécimen (mm ²)	Área neta del espécimen (cm ²)	Carga de rotura por compresión (kgf)	Resistencia a la compresión (kgf/cm ²)
1	76,54	26,13	47,81	2000,0	20,00	543,49	27,17
2	76,54	26,03	48,03	1992,3	19,92	659,10	33,08
3	77,97	26,05	47,44	2031,1	20,31	848,24	41,76
4	77,64	26,18	47,23	2032,6	20,33	734,37	36,13
5	78,58	26,16	47,47	2055,7	20,56	687,66	33,45
Promedio	77,45	26,11	47,60	2.022,34	20,22	694,57	34,32

Tabla 33*Resistencia Mecánica a la Compresión de Especímenes del Lote 2 con Chamota de Cerámica**Esmaltada 2.5%*

Especímen N°	Largo del espécimen (mm)	Ancho del espécimen (mm)	Alto del espécimen (mm)	Área neta del espécimen (mm ²)	Área neta del espécimen (cm ²)	Carga de rotura por compresión (kgf)	Resistencia a la compresión (kgf/cm ²)
1	74,27	27,01	47,54	2006,0	20,06	709,85	35,39
2	76,77	26,90	47,63	2065,1	20,65	777,40	37,64
3	76,14	27,34	47,36	2081,7	20,82	641,92	30,84
4	76,73	26,02	47,28	1996,5	19,97	722,01	36,16
5	74,62	26,05	47,67	1943,9	19,44	894,36	46,01
Promedio	75,71	26,66	47,50	2.018,64	20,19	749,11	37,21

Tabla 34

Resistencia Mecánica a la Compresión de Especímenes del Lote 3 con Chamota de Cerámica

Esmaltada 2.5%

Espécimen N°	Largo del espécimen (mm)	Ancho del espécimen (mm)	Alto del espécimen (mm)	Área neta del espécimen (mm ²)	Área neta del espécimen (cm ²)	Carga de rotura por compresión (kgf)	Resistencia a la compresión (kgf/cm ²)
1	76,05	26,30	47,00	2000,1	20,00	753,09	37,65
2	76,41	26,39	47,09	2016,5	20,16	479,41	23,77
3	77,95	26,23	46,61	2044,6	20,45	776,44	37,97
4	77,19	27,34	47,53	2110,4	21,10	858,85	40,70
5	80,18	26,82	47,58	2150,4	21,50	869,19	40,42
Promedio	77,56	26,62	47,16	2.064,40	20,64	747,40	36,10

5.5.3. Arcilla 95 % y Chamota de Cerámica Esmaltada 5%. En las tablas 35, 36 y 37 se presentan los resultados obtenidos de resistencia mecánica a la compresión, utilizando 5% de chamota de cerámica esmaltada de los tres lotes, de manera que siendo comparados con la NTC 4205:2000, los porcentajes del ensayo son óptimos.

Tabla 35

Resistencia Mecánica a la Compresión de Especímenes del Lote 1 con Chamota de Cerámica

Esmaltada 5%

Espécimen N°	Largo del espécimen (mm)	Ancho del espécimen (mm)	Alto del espécimen (mm)	Área neta del espécimen (mm ²)	Área neta del espécimen (cm ²)	Carga de rotura por compresión (kgf)	Resistencia a la compresión (kgf/cm ²)
1	79,03	26,59	48,18	2101,4	21,01	550,63	26,20
2	76,38	26,93	48,14	2056,9	20,57	821,60	39,94
3	73,65	26,67	47,68	1964,2	19,64	877,19	44,66
4	77,73	26,85	48,31	2087,1	20,87	556,81	26,68
5	76,50	26,59	47,95	2034,1	20,34	710,82	34,94
Promedio	76,66	26,73	48,05	2.048,75	20,49	703,41	34,49

Tabla 36

Resistencia Mecánica a la Compresión de Especímenes del Lote 2 con Chamota de Cerámica

Esmaltada 5%

Especimen N°	Largo del espécimen (mm)	Ancho del espécimen (mm)	Alto del espécimen (mm)	Área neta del espécimen (mm ²)	Área neta del espécimen (cm ²)	Carga de rotura por compresión (kgf)	Resistencia a la compresión (kgf/cm ²)
1	76,31	27,44	47,83	2093,9	20,94	620,11	29,61
2	77,32	27,47	47,78	2124,0	21,24	609,49	28,70
3	73,03	27,01	47,87	1972,5	19,73	846,88	42,93
4	75,81	26,82	48,07	2033,2	20,33	899,19	44,22
5	76,85	26,62	47,99	2045,7	20,46	636,71	31,12
Promedio	75,86	27,07	47,91	2.053,89	20,54	722,48	35,32

Tabla 37

Resistencia Mecánica a la Compresión de Especímenes del Lote 3 con Chamota de Cerámica

Esmaltada 5%

Especimen N°	Largo del espécimen (mm)	Ancho del espécimen (mm)	Alto del espécimen (mm)	Área neta del espécimen (mm ²)	Área neta del espécimen (cm ²)	Carga de rotura por compresión (kgf)	Resistencia a la compresión (kgf/cm ²)
1	72,10	26,62	47,84	1919,3	19,19	543,49	28,32
2	76,79	26,57	47,47	2040,3	20,40	645,78	31,65
3	76,17	26,74	47,69	2036,8	20,37	836,85	41,09
4	77,39	26,63	47,72	2060,9	20,61	984,88	47,79
5	74,83	26,72	48,07	1999,5	19,99	918,10	45,92
Promedio	75,46	26,66	47,76	2.011,35	20,11	785,82	38,95

5.5.4. Arcilla 92.5 % y Chamota de Cerámica Esmaltada 7.5%. A continuación se puede observar en las tablas 38, 39 y 40 los bloques ensayados con mezcla de 7.5% de chamota de cerámica esmaltada, se logra evidenciar que para el primer lote se obtuvo un promedio de 39.85 (kgf/cm²) de resistencia mecánica a la compresión, para el segundo lote 44.07 (kgf/cm²) y por ultimo 38.88 (kgf/cm²).

Tabla 38*Resistencia Mecánica a la Compresión de Especímenes del Lote 1 con Chamota de Cerámica**Esmaltada 7.5%*

Especimen N°	Largo del espécimen (mm)	Ancho del espécimen (mm)	Alto del espécimen (mm)	Área neta del espécimen (mm ²)	Área neta del espécimen (cm ²)	Carga de rotura por compresión (kgf)	Resistencia a la compresión (kgf/cm ²)
1	77,22	26,80	47,64	2069,5	20,69	647,13	31,27
2	76,35	26,22	47,94	2001,9	20,02	859,82	42,95
3	74,59	26,80	47,85	1999,0	19,99	648,09	32,42
4	76,93	26,63	47,77	2048,6	20,49	793,62	38,74
5	74,38	26,43	47,44	1965,9	19,66	1.059,38	53,89
Promedio	75,89	26,58	47,73	2.016,98	20,17	801,61	39,85

Tabla 39*Resistencia Mecánica a la Compresión de Especímenes del Lote 2 con Chamota de Cerámica**Esmaltada 7.5%*

Especimen N°	Largo del espécimen (mm)	Ancho del espécimen (mm)	Alto del espécimen (mm)	Área neta del espécimen (mm ²)	Área neta del espécimen (cm ²)	Carga de rotura por compresión (kgf)	Resistencia a la compresión (kgf/cm ²)
1	77,22	26,32	47,92	2032,4	20,32	830,09	40,84
2	80,83	26,63	47,87	2152,5	21,53	573,98	26,67
3	74,80	26,33	47,34	1969,5	19,69	1.094,31	55,56
4	75,41	26,20	47,24	1975,7	19,76	1.150,28	58,22
5	76,21	26,47	47,73	2017,3	20,17	788,41	39,08
Promedio	76,89	26,39	47,62	2.029,49	20,29	887,41	44,07

Tabla 40

Resistencia Mecánica a la Compresión de Especímenes del Lote 3 con Chamota de Cerámica Esmaltada 7.5%

Especímen N°	Largo del espécimen (mm)	Ancho del espécimen (mm)	Alto del espécimen (mm)	Área neta del espécimen (mm ²)	Área neta del espécimen (cm ²)	Carga de rotura por compresión (kgf)	Resistencia a la compresión (kgf/cm ²)
1	76,71	26,12	47,59	2003,7	20,04	654,46	32,66
2	75,23	26,47	47,94	1991,3	19,91	810,21	40,69
3	77,88	26,37	47,46	2053,7	20,54	571,09	27,81
4	74,81	26,36	47,39	1972,0	19,72	1.253,92	63,59
5	79,25	26,17	47,52	2074,0	20,74	615,28	29,67
Promedio	76.776	26.298	47.58	2018.94	20.19	780.992	38.884

5.6. Evaluación del Bloque H-10 Desarrollado a Nivel de Laboratorio

En este objetivo evaluaremos los resultados que se obtuvieron del bloque de arcilla con sus diferentes porcentajes de nutriente tecnológico, y verificaremos si cumple con los porcentajes de absorción de agua y la resistencia mecánica a la compresión mínima presentados en la NTC 4205:2000.

5.6.1. Análisis de Parámetros del Ensayo Físico Cerámico por Extrusión

El análisis físico cerámico realizado a la mezcla de arcilla 100% y con sus respectivos porcentajes de chamota de cerámica esmaltada, en este se puede observar varias tendencias al momento de ir agregado el nutriente tecnológico. En la Tabla 41, se puede observar que la pérdida de masa de las tres mezclas utilizadas con nutriente con respecto a la mezcla patrón es buena, debido a que no varía mucho su porcentaje cuando se agrega la chamota, y a medida que se le adiciona más nutriente este porcentaje fue disminuyendo y acercándose más a la mezcla patrón.

Con respecto a la contracción, los 3 diferentes porcentajes que se utilizaron no mostraron casi diferencias, se mantuvo siempre el mismo valor y por debajo de la mezcla patrón; la absorción de agua se observa que se encuentra en un porcentaje favorable para cumplir con unidades de mampostería estructural y no estructural según lo indicado en la norma, a medida que se agrega más cantidad de nutriente va aumentando su porcentaje de absorción, pero no supera la muestra patrón.

Tabla 41

Datos Promedio de las 3 Absorciones de Agua

Variable	Temperatura	Arcilla 100%	Chamota 2,5%	Chamota 5.0%	Chamota 7,5%
Pérdida de masa		3,97	4,69	4,28	4,18
Contracción		3,00	1,27	1,26	1,26
Absorción de agua	1000 °C	10,74	9,78	9,89	9,97

5.6.2. Análisis de Resultados del Ensayo de Absorción de Agua

Estos resultados se realizaron por triplicado, es decir, se tomó 3 veces el valor en la misma mezcla formulada. En la Figura 24, se puede observar las diferentes mezclas con sus respectivos porcentajes de chamota de cerámica esmaltada, se evidencia que la única alteración que se ve en la gráfica es en la mezcla 1 de 2.5% de nutriente tecnológico, por otra parte se observa que a medida que se agrega chamota de cerámica a la mezcla se evidencia una línea decreciente entre la mezcla 1 y 2, y entre la mezcla 2 y 3 es una línea constante, lo que indica un análisis en el porcentaje de absorción óptimo de acuerdo a la NTC 4205:2000.

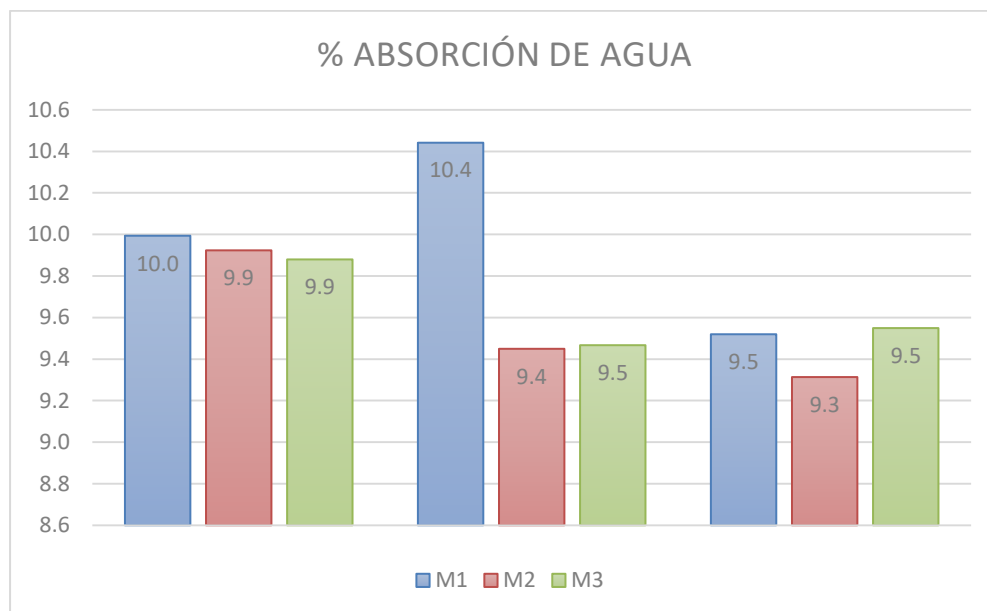


Figura 24. Porcentajes de Absorción de Agua de las Mezclas de 2.5%, 5% y 7.5% de Chamota de Cerámica Esmaltada

En la Figura 25 se muestran los resultados promedios obtenidos de cada mezcla con su respectivo porcentaje, como se dijo anteriormente, el ensayo de absorción de agua se realizó por triplicado fundamentado en la NTC 4205:2000, para que los resultados sean más confiables y poder evaluar de una mejor manera los resultados obtenidos.

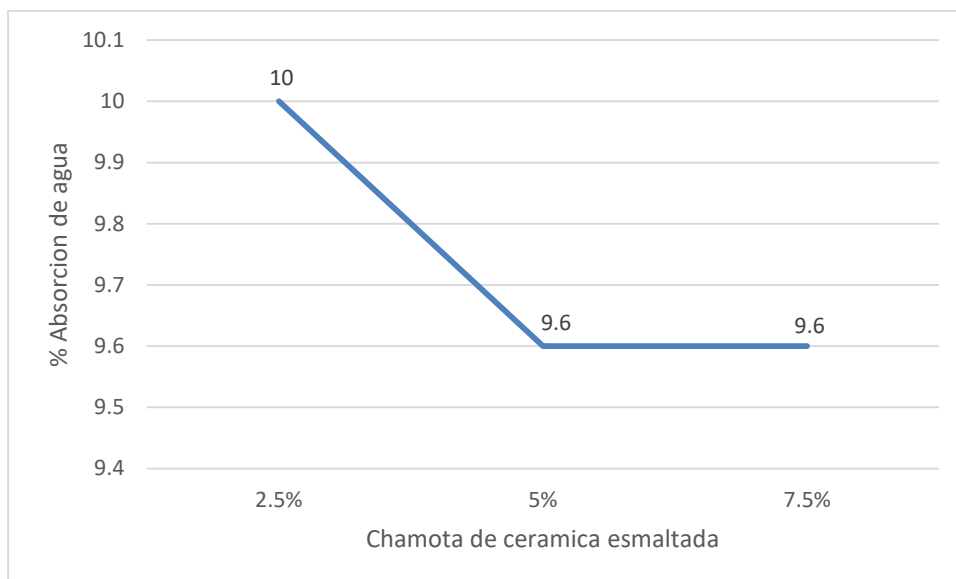


Figura 25. Porcentajes de Absorción de Agua Promedio de las Mezclas de 2.5%, 5% y 7.5% de Chamota de Cerámica Esmaltada

En la Figura 25 se logra evidenciar el promedio de las tres mezclas utilizadas, con el fin de evaluar de una mejor manera los porcentajes de absorción requeridos por la NTC 4205:2000, notándose que la absorción va en línea decreciente, bajando su porcentaje de absorción de agua a medida que se le agrega más chamota de cerámica esmaltada, según la Tabla 7 de la norma NTC 4205:2000, la absorción de agua, los porcentajes 2.5%, 5% y 7.5% de chamota de cerámica esmaltada cumple con la clasificación para uso interior y exterior.

5.6.3. Análisis de Resultados del Ensayo de Resistencia Mecánica a la Compresión

En la Figura 26, se muestra la misma metodología que se evidencio en el ensayo de absorción de agua, evidenciando en que a medida que se le agrega más porcentaje de chamota de cerámica esmaltada, se va incrementando la resistencia mecánica a la compresión.

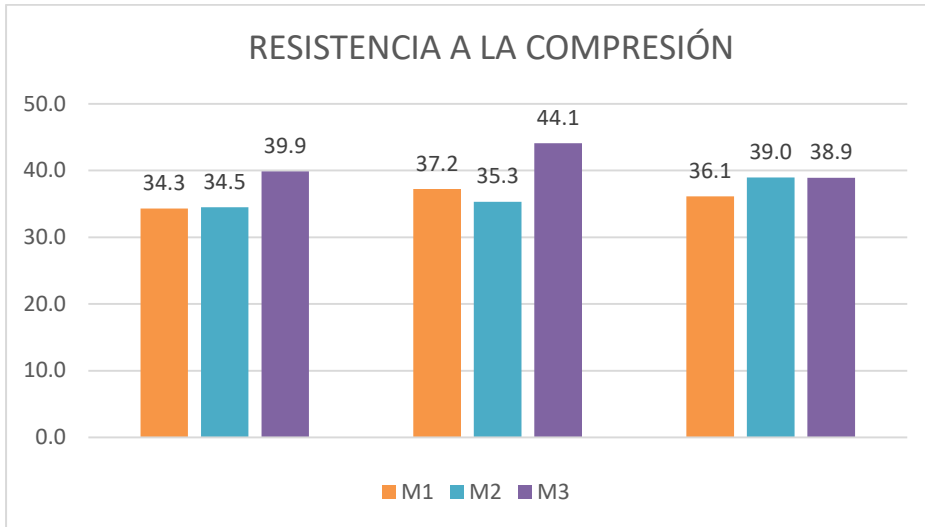


Figura 26. Resistencia Mecánica a la Compresión de las Mezclas de 2.5%, 5% y 7.5% de Chamota de Cerámica Esmaltada

En los resultados presentados en la Figura 27, se logra evidenciar la resistencia mecánica a la compresión promedio, y una línea creciente a medida que se le va agregando más cantidad de chamota de cerámica esmaltada.

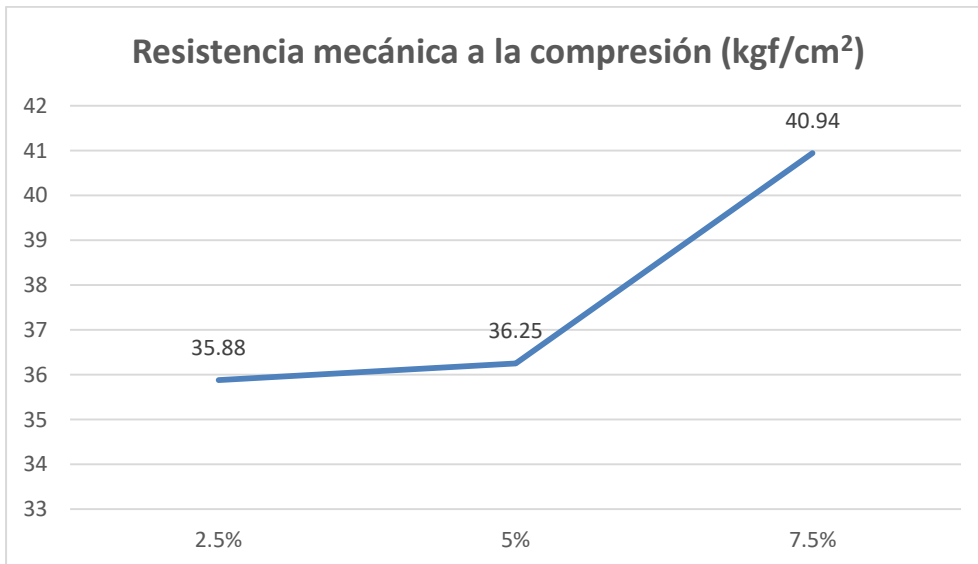


Figura 27. Resistencia Mecánica a la Compresión Promedio de las Mezclas de 2.5%, 5% y 7.5% de Chamota de Cerámica Esmaltada

Finalmente se puede concluir que de acuerdo a la Tabla 7 de la NTC 4205:2000, los valores de resistencia mecánica a la compresión clasificada como unidad de mampostería no estructural, es resistencia mínima de 30 (kgf/cm²); por ende en la Figura 27 se muestran los valores promedios de las tres mezclas utilizadas con 2.5%, 5% y 7.5 % de chamota de cerámica esmaltada, por tal motivo cumple de una manera óptima, debido a que las resistencias obtenidas superan este valor.

5.7. Costos del Bloque H-10 Normal y del Bloque Fabricado con Chamota de Cerámica

Esmaltada

A continuación, se muestra la Tabla 42, que detalla cada etapa del proceso productivo del bloque cerámico de una empresa que fabrica bloque H-10.

Tabla 42

Actividades de Empresa que Fabrica Bloque H-10

Etapas proceso productivo		
1. Costo de explotación y preparación		
Nº	Actividad	Descripción
1	Arranque de materia prima	Extracción de arcilla de la mina de la empresa, con maquinaria pesada tipo retroexcavadora.
2	Cargue de volquetas	A través de la retro se deposita la arcilla en las volquetas.
3	Transporte de materia prima a planta	Uso de volquetas que llevan la arcilla hasta el patio de la planta.
4	Supervisión del proceso de explotación	Verificación del proceso en mina y del tiempo de trabajo de la maquinaria.
5	Almacenamiento de materia prima en zona de molienda	Disposición de la arcilla de forma adecuada, uso de cargador para el proceso.
6	Supervisión operaciones del centro; vigilancia.	Logística del proceso, toma de decisiones, acompañamiento, registro de datos.
2. Costo de molienda y almacenamiento		

1	Transporte de arcilla a cajón alimentador	Acercar la arcilla de forma manual hasta el cajón alimentador.
2	Llenado de cajón alimentador	Alimentar el cajón mediante el trabajo de operarios con palas.
3	Molienda de la arcilla	El sistema de molienda, conformado por el funcionamiento del cajón alimentador, banda transportadora y molino de martillos, permiten reducir el tamaño de grano de la arcilla. Funcionamiento con energía eléctrica
4	Tamizado de la arcilla	El sistema de tamizado, lo conforma el elevador de cangilones, banda transportadora y tamiz, funcionamiento automático, movido por energía eléctrica.

3. Costo de explotación y preparación

1	Transporte y almacenamiento de materia prima molida	La arcilla que pasa el tamiz es llevada a los silos de almacenamiento mediante una banda movida con energía eléctrica, este material se almacena hasta ser requerido.
2	Lubricación y mantenimiento de maquinas	Mantener en disponibilidad el equipamiento, cambio de martillos, aplicación de grasa en rodamientos, reparación de malla del tamiz.
3	Supervisión y control del proceso, vigilancia.	Logística del proceso, toma de decisiones, acompañamiento, registro de datos.

4. Centro de costo de extrusión

1	Preparación de maquinas	Limpieza de residuos del día anterior, cambios de boquilla, alambres y lubricación de mesas de corte.
2	Transporte de arcilla a amasador	Una banda transportadora impulsada con energía eléctrica lleva la arcilla desde el silo hasta la amasadora.
3	Humectación de la arcilla	Mediante un equipo que funciona con energía eléctrica, la arcilla se mezcla con el agua hasta alcanzar un grado de homogenización.
4	Extrusión de la arcilla	En el equipo de extrusión se coloca la boquilla de bloque o teja española, que da la forma parcial al producto.
5	Corte de material	En el caso de la teja española se requiere la manipulación de un operario de la máquina de corte.
6	Acomodo de las pieza en carretas o estibas	Las piezas cortadas son acomodadas por los operarios en carretas para su posterior

transporte.

7	Lubricación y mantenimiento de maquinas	Mantener en disponibilidad los equipos, lubricación, cambio de hélice y dados.
8	Supervisión y control del proceso, vigilancia.	Logística del proceso, toma de decisiones, acompañamiento, registro de datos.

5. Costo de secado

1	Transporte de material a patios de secado	Las carretas cargadas por los operarios de extrusión son llevadas a los patios de secado, ya sea cargadas con bloque o con tejas en estibas.
2	Endague del bloque o de estibas	El material una vez en patio de secado, es acomodado para que las condiciones ambientales actúen y la pieza pueda secarse.

6. Costo de explotación y preparación

1	Caracoleo del bloque/asoleado de bloques	El secado natural no es homogéneo, por tanto se requiere cambiar de posición los productos, los bloques son puestos al sol para acelerar el proceso.
2	Almacenamiento de bloques secos y de estibas	Los bloques una vez secos se retiran de las estibas y se almacenan de forma temporal para ser llevados al horno, las estibas se llevan a la zona de extrusión.
3	Limpieza de material de rotura	El material no conforme, es llevado hacia la zona de molienda, para su reproceso.
4	Supervisión y control del proceso, vigilancia.	Logística del proceso, toma de decisiones, acompañamiento, registro de datos.

7. Costo de cocción

1	Llenado de carretas y transporte a los hornos	El material seco se carga en las carretas y se lleva a los hornos, para su posterior acomodo
2	Endague del material en el horno	El material llevado al horno se acomoda, de forma especial para cada tipo de producto elaborado, al final de la etapa se cierran las puertas del horno con bloques o ladrillos macizos y se recubren con barro para no dejar agujeros.
3	Quema	Comprende el cargue del carbón hacia el horno, llenar las hornillas y encender el carbón, revisión y control de la temperatura.
4	Enfriamiento	Abertura controlada de las puertas del horno, encendido y ubicación de ventiladores.

5	Supervisión y control del proceso, vigilancia.	Logística del proceso, toma de decisiones, acompañamiento, registro de datos.
---	--	---

8. Costo de descargue, selección y almacenamiento

1	Cargue de carretas y transporte a patio	Ubicación del material en carretas para ser llevado al patio de almacenamiento, el horno debe dejarse limpio para una próxima quema
2	Clasificación de material	Selección del material que se lleva a patio de acuerdo a los criterios de calidad de la empresa.
3	Almacenamiento	Ubicación del material en módulos o secciones de acuerdo a los criterios de calidad.
4	Supervisión y control del proceso, vigilancia.	Logística del proceso, toma de decisiones, acompañamiento, registro de datos.

9. Costo administrativo

1	Dirección de la planta	Ubicación del material en carretas para ser llevado al patio de almacenamiento, el horno debe dejarse limpio para una próxima quema
2	Procesos contables	Selección del material que se lleva a patio de acuerdo a los criterios de calidad de la empresa.
3	Supervisión de ventas	Ubicación del material en módulos o secciones de acuerdo a los criterios de calidad.
4	Procesos de compra y logística	Logística del proceso, toma de decisiones, acompañamiento, registro de datos.
5	Seguridad y vigilancia de las instalaciones	Resguardo de las instalaciones de la empresa y de los inventarios de producto terminado.

5.7.1. Determinación de las Relaciones entre Costo y Actividad

Una vez establecido las diferentes actividades del proceso productivo y los componentes del costo, se determinó la relación existente entre sí.

Tabla 43

Componente del Costo Vs Actividad

Componente de costo	Actividad
Energía eléctrica	Molienda y tamizado de arcilla
	Transporte a silos
	Transporte a amasador
	Extrusión de la arcilla

Componente de costo	Actividad
	Corte de material bloque Enfriamiento del horno Iluminación y confort
Agua	Humectación de la arcilla Acueducto
Telefonía	Compra de materiales, atención al cliente, contacto interno.
ACPM	Lubricación durante extrusión Quema
Lubricante	Molienda de arcilla Tamizado de arcilla Extrusión Molienda de arcilla Tamizado de arcilla Extrusión
Repuestos	Secado Quema
Arriendo	Mobiliario oficina Adecuaciones planta Molienda de arcilla Tamizado de arcilla Extrusión
Depreciación	-Galpón planta distribuido a todas las actividades menos explotación -Carretas en transporte a secado -Carretas transporte horno -Carretas transporte a almacenamiento -Estibas en transporte a secado - Hornos durante la Quema - Equipo de taller a todas las actividades menos explotación - Equipo oficina en actividades administrativas
Carbón	Quema
Implementos de seguridad	Molienda de arcilla humectación quema Explotación Supervisión

Componente de costo	Actividad
	Arranque de materia prima
	Molienda de arcilla
	Tamizado de arcilla
Impuestos	Extrusión
	Secado
	quema
	Almacenamiento
Mantenimiento	Todos los centros
Palas	Molienda
	Quema
Alambre de corte	Corte de material extruido
Dados boquilla	Extrusión
Martillos	Molienda de arcilla
	Supervisión Explotación
	Molienda de arcilla
	Extrusión de la arcilla
Mano de obra indirecta	Secado de productos
	Quema
	Selección
	Lubricación equipos
	Administrativo
Papelería	Actividades contables y comerciales
Análisis Isocinéticos	Quema
Materia prima	Arranque de materia prima
Servicio retroexcavadora	Arranque de materia prima
Servicio de volquetas	Transporte a planta
Alquile cargador	Acomodo de materia prima en galpón

Tabla 44

Consolidado de los Costos de las Actividades de Producción en el Periodo Analizado

Actividades	Marzo (\$)
Arranque de materia prima y cargue	\$ 5,064,210.7
Transporte a planta	\$ 1,800,366.5
Acomodo de materia prima en galpón	\$ 371,279.2
Llenado cajón alimentador	\$ 2,888,244.0
Molienda y tamizado	\$ 6,885,102.8
Humectación -extrusión	\$ 8,067,766.7
Corte y acomodo de piezas	\$ 2,958,206.0
Transporte a patio de secado	\$ 2,114,270.1

Caracoleo	\$	718,733.7
Transporte y acomodo en horno	\$	2,369,245.5
Quema	\$	19,919,222.9
Descargue y transporte	\$	1,312,014.3
Clasificación y almacenamiento	\$	1,328,270.3
Actividades gerenciales	\$	1,603,528.5
Actividades contables. comerciales y de apoyo	\$	1,464,811.5
Total	\$	58,865,272.7

El costo del producto del bloque:

Costo - Producción	\$ 58'865.272,7
Producción de Bloque	180.000 Unid.
Costo Bloque	\$ 327,02

Tabla 45

Costo del Bloque Usando Chamota de Cerámica Esmaltada

Actividades	Marzo (\$)
Arranque de materia prima y cargue	4.000.000,0
Almacenamiento de chamota de cerámica esmaltada	700.000,0
Transporte a planta	1.500.000,0
Transporte de chamota de cerámica esmaltada	700.000,0
Acomodo de materia prima en galpón	380.000,0
Molienda, trituración de la chamota de cerámica esmaltada	1.300.000,0
Llenado cajón alimentador	288.244,0
Molienda y tamizado	6.885.102,8
Humectación -extrusión	8.067.766,7
Corte y acomodo de piezas	2.958.206,0
Transporte a patio de secado	2.114.270,1
Caracoleo	718.733,7
Transporte y acomodo en horno	2.369.245,5
Quema	19.919.222,9
Descargue y transporte	1.312.014,3
Clasificación y almacenamiento	1.328.270,3

Actividades gerenciales	1.603.528,5
Actividades contables. comerciales y de apoyo	1.464.811,5
Total	57.609.416,3

El costo del producto del bloque con chamota de cerámica esmaltada:

Costo - Producción	\$ 57.609.416,3
Producción de Bloque	180.000 Unid
Costo Bloque	\$ 320.05

El bloque con chamota de cerámica esmaltada disminuye el costo un 2.13% y la diferencia es de \$6.97 por bloque.

6. Conclusiones

El sector productivo de la industria cerámica de Norte de Santander, cuenta con una gran cantidad de empresas que producen y comercializan toda cantidad de productos derivados de la arcilla, como la cerámica esmaltada, y esta a su vez genera la chamota, un residuo con pocas aplicaciones, que en este estudio se pudo demostrar el buen uso que se le puede dar, y así generar un impacto ambiental positivo y reducir los costos del bloque.

De acuerdo a los resultados obtenidos en los laboratorios con las tres mezclas utilizadas con chamota de cerámica esmaltada, la absorción de agua fue óptima para los porcentajes utilizados, a medida que se le fue adicionando más chamota de cerámica esmaltada la absorción de agua disminuyó, debido esto los 3 porcentajes cumplieron con la absorción de agua mínima establecida en el NTC 4205:2000. Este comportamiento demuestra cómo la chamota mejora las propiedades de absorción de agua del bloque y que se puede incrementar el porcentaje de la misma en la fabricación de bloques en próximos estudios.

Los resultados obtenidos del ensayo de resistencia mecánica a la compresión también resultaron favorables para los 3 tipos de porcentajes utilizados, a medida que se fue aumentando la chamota de cerámica esmaltada del mismo modo fue incrementando la resistencia mecánica a la compresión, debido a esto si cumplió con la resistencia mínima establecido en la norma y también se pudo clasificar el bloque para uso tanto interior como para exterior en las tres diferentes mezclas de cerámica de chamota esmaltada. Por lo que, asimismo, se recomienda incrementar el porcentaje en otros estudios, para analizar qué cantidad de chamota máxima se puede agregar a la mezcla cumpliendo con el requisito mínimo de la norma.

La realización del bloque con chamota de cerámica esmaltada disminuyó el costo un 2.13% y la diferencia de un bloque comercial a uno con chamota de cerámica esmaltada es de

\$6.97 por bloque, por lo que resulta muy favorable para las empresas que producen bloques, porque habrá una disminución en los costos manteniendo la calidad y las exigencias de la norma.

7. Recomendaciones

Que se continúe la investigación de la elaboración de bloques con chamota de cerámica esmaltada, pero con los porcentajes de 10%, 12.5% y 15%, para poder comprobar si con estos porcentajes sigue cumpliendo los ensayos de absorción de agua y resistencia mecánica a la compresión fundamentos en la NTC 4205:2000.

Continuar evaluando las propiedades que tiene la chamota de cerámica esmaltada, para seguir ejecutando proyectos en otros productos derivados de la arcilla, y así contribuir con la sostenibilidad en la construcción.

Seguir realizando proyectos de este tipo, pero con otros nutrientes tecnológicos para aportar información que amplíe el conocimiento sobre este sector y el uso de los residuos basado en la economía circular.

8. Referencias Bibliográficas

- Baca, G. (2006). *Evaluación de proyectos* (4 ed). México D.F., México: McGraw-Hill.
- Banco Bilbao Vizcaya Argentaria-BBVA. (2021). ¿Qué es la economía circular?. *BBVA*.
<https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-la-economia-circular/>
- Banco Bilbao Vizcaya Argentaria-BBVA. (2020). ¿Qué es el reciclaje y por qué es importante reciclar?. *BBVA*. <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-el-reciclaje-y-por-que-es-importante-reciclar/>
- Banco Bilbao Vizcaya Argentaria-BBVA. (2020). ¿Qué es la sostenibilidad? Un camino urgente y sin marcha atrás. *BBVA*. <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-la-sostenibilidad-un-camino-urgente-y-sin-marcha-atras/>
- Bernal, I., Cabezas, H., Espitia, C., Mojica, J. & Quintero, J. (2003). Análisis próximo de arcillas para cerámica. *Academia colombiana de ciencias exactas, físicas y naturales*, 27(105), 569-578.
- Brindley, G. & Brown, G. (1980). Crystal Structures of Clay Minerals and their X-Ray Identification. *Mineralogical Society of Great Britain and Ireland*, (5). DOI: 10.1180/mono-5
- Cámara de Comercio de Cúcuta. (2015). Estudios Sectoriales: Sector externo en la crisis 2015. <http://www.datacucuta.com/index.php/estudios-sectoriales/cierre-de-frontera-con-venezuela-estudios-sectoriales/517-tesis-2015>
- Cámara de Comercio de Cúcuta. (2012). Arcillas Competitivas: Descripción del Clúster de Cerámica de Norte de Santander. <http://www.datacucuta.com/index.php/cluster/arcillas-competitivas>
- Cultrone, G. (2001). *Estudio mineralógico-petrográfico y físico-mecánico de ladrillos macizos*

- para su aplicación en intervenciones del patrimonio histórico*. Tesis doctoral, Universidad de Granada, España.
- De Pablo, L. (1964). Las arcillas: I. Clasificación, identificación, usos y especificaciones industriales. *Boletín de La Sociedad Geológica Mexicana*, 27(2), 49–91.
<http://www.jstor.org/stable/44173956>
- Díaz, L., & Torrecillas, R. (2002). Arcillas cerámicas: una revisión de sus distintos tipos, significados y aplicaciones. *Bol. Soc. Esp. Cerám. Vidrio*, 41(5), 459-470.
- Domínguez, J & Schifter, I. (2003). *Las arcillas: El barro noble* (2 ed). México: Fondo de Cultura Económica.
- Elías, X. (2015). *Nutrientes tecnológicos para la industria cerámica estructural*. Tesis doctoral, Universidad de Jaén, España.
- Gelves, J., Sánchez, J. & Peña, G. (2016). Comportamiento de las arcillas del áreametropolitana de Cúcuta sometidas a proceso de moldeo por extrusión. *Respuestas*, 14(2), 32–38.
<https://doi.org/10.22463/0122820X.543>
- Guggenheim, S., Martin, R., Alietti, A., Drits, V., Formoso, M., Galán, E., Köster, H., Morgan, D., Paquet, H., Watanabe, T., Bain, D., Ferrell, R., Bish, D., Fanning, D., Kodama, H. & Wicks, F. (1995). Definition of clay and clay mineral: Joint report of the AIPEA nomenclature and CMS nomenclature committees. *Clays and Clay Minerals*. (43). 255-256. 10.1346/CCMN.1995.0430213.
- Hernández, H. & León, J. (2020). *Diseño de un bloque de construcción construido de un material no metálico*. Trabajo final de grado, Tecnológico Nacional De México, Instituto Tecnológico de Celaya, México.
- Hernández, R., Fernández, C. & Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación* (6 ed).

México: McGraw-Hill.

- Idarraga, S., Figueroa, S., Vargas, F., Mesa, C. & Gil, S. (2020). Utilización de chamota posconsumo en la formulación de una pasta refractaria como sustitución de la alúmina. *ION*, 33(1), 39-45. DOI:10.18273/revion.v33n1-2020004
- Instituto de Tecnología Cerámica-AICE. (2011). Procesos de fabricación de baldosas cerámicas: Conocimientos básicos. España. https://issuu.com/itceramica/docs/procesos_fabricacion
- Martínez, S., Elíche, D., Pérez, L., Angelopoulos, G. & Sánchez, P. (2016). Valorización de chamota residual derivada de la producción de ladrillos de construcción cerámicos para el desarrollo de un nuevo tipo de Clinker de cemento belítico. *Conama2016*, Madrid.
- Prieto, V., Jaca, C. & Ormazabal, M. (2017). Economía circular. *Memoria Investigaciones En Ingeniería*, (15), 85-95. <http://revistas.um.edu.uy/index.php/ingenieria/article/view/308>
- Sánchez, J., Corpas, F. & Álvarez, D. (2018). Aplicaciones de los nutrientes tecnológicos en la industria cerámica del área metropolitana de Cúcuta. Bogotá: Ecoe Ediciones Limitada; San José de Cúcuta: Universidad Francisco de Paula Santander.
- Sánchez, J., González, J. & Avendaño, W. (2019). El clúster cerámico. Apuesta de desarrollo socioeconómico de Norte de Santander, Colombia. Cúcuta: Universidad Francisco de Paula Santander; Bogotá: Ecoe Ediciones.
- Sánchez, J. & Ramírez, R. (2013). *El clúster de la Cerámica del área metropolitana de Cúcuta: Principales Características del sector*. Cúcuta: Universidad Francisco de Paula Santander.
- Vargas, Z. (2009). La investigación aplicada: Una forma de conocer las realidades con evidencia científica. *Educación*, 33(1), 155-165.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=44015082010>

- Zawrah, M., Gado, R., Feltin, N., Ducourtieux, S. & Devoille, L. (2016). Recycling and utilization assessment of waste fired clay bricks (Grog) with granulated blast-furnace slag for geopolymer production. *Process Safety and Environmental Protection*, 103(A), 237-251. DOI: 10.1016/j.psep.2016.08.001.
- Zouaoui, H. & Bouazis, J. (2017). Performance enhancement of the ceramic products by adding the sand, chamotte and waste brick to a porous clay from Bir Mcherga (Tunisia). *Applied Clay Science*, 143, 430-436. DOI: 10.1016/j.clay.2017.04.015
- Zuluaga, D., Henao, A., García, D., Rodríguez, J., Hoyos, A., López, M. & Gómez, C. (2016). Caracterización térmica, química y mineralógica de un tipo de arcilla roja propia de la región andina colombiana, empleada para la producción de ladrillos para construcción. *Revista Colombiana de Materiales*, (9), 53-63.

Anexos

Anexo 1. Bloque de Arcilla H-10

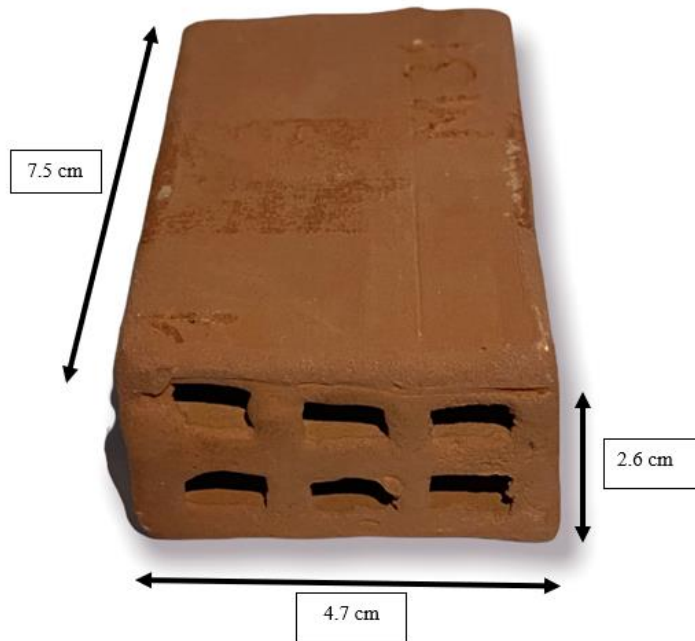


Figura A.1.1. Medidas del bloque a nivel de laboratorio



Figura A.1.2. Bloque con chamota de cerámica esmaltada 2.5%



Figura A.1.3. Bloque con chamota de cerámica esmaltada 5%



Figura A.1.4. Bloque con chamota de cerámica esmaltada 7.5%