	GESTIÓN DE SERVICIOS ACADÉMICOS Y BIBLIOTECARIOS		CÓDIGO	FO-GS-15
	ESQUEMA HOJA DE RESUMEN		VERSIÓN	02
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): CAMILA ANDREA APELLIDOS: NEGRÓN POSADA

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 CENIZA DE LADRILLERA PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUE DE CONSTRUCCIÓN

Esta investigación presenta los resultados obtenidos de la evaluación de mezclas de arcilla adicionándole 2,5%, 5% y 7,5% de ceniza de ladrillera para fabricar bloques H-10 de construcción, elaborados en Cúcuta y su área metropolitana. Se realizaron ensayos físico-cerámico, ensayo de absorción de agua y resistencia a la compresión en el laboratorio del Centro de Investigación de Materiales Cerámicos, con el fin de obtener las propiedades mecánicas de los bloques y siguiendo los parámetros establecidos en la Norma NTC 4205, se determina que los tres porcentajes de mezclas trabajadas permiten la fabricación de bloques funcionales para mampostería no estructural tanto para uso exterior como uso interior, siendo aptos para la producción puesto que en el factor económico la investigación demuestra una disminución en los costos de producción comparados con los bloques convencionales.

PALABRAS CLAVES: Arcilla, Bloque de Construcción, Ceniza de Ladrillera,

Sostenibilidad.

CARACTERÍSTICAS:

PÁGINAS: 126 PLANOS:      ILUSTRACIONES: 24 CD ROOM:     

**\*\*Copia No Controlada\*\***

EVALUACIÓN DE MEZCLAS DE ARCILLA ADICIONANDO “CENIZA DE  
LADRILLERA” PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUE DE CONSTRUCCIÓN

CAMILA ANDREA NEGRÓN POSADA

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 “CENIZA DE  
LADRILLERA” PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUE DE CONSTRUCCIÓN

CAMILA ANDREA NEGRÓN POSADA

Proyecto de grado presentado como requisito para optar por el título de Ingeniera 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: 5:00 p. m.

LUGAR: VIDEOCONFERENCIA – GOOGLE MEET

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERIA CIVIL

TITULO DE LA TESIS: "EVALUACIÓN DE MEZCLAS DE ARCILLA ADICIONANDO CENIZA DE LADRILLERA PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUE DE CONSTRUCCIÓN".

JURADOS: ING. JOSE RAFAEL CACERES RUBIO  
ING. CLAUDIA LILIANA CASADIEGOS PERALTA

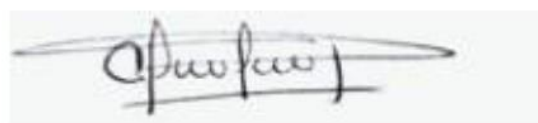
DIRECTOR: MSc. LEIDY KATHERINE PEÑALOZA ISIDRO  
CODIRECTOR: MSc. JAVIER ALFONSO CARDENAS GUTIERREZ

NOMBRE DE LOS ESTUDIANTES:	CODIGO	CALIFICACION NUMERO	LETRA
CAMILA ANDREA NEGRON POSADA	1112993	4,7	CUATRO, SIETE

# MERITORIA



ING. JOSE RAFAEL CACERES RUBIO



ING. CLAUDIA LILIANA CASADIEGOS PERALTA

Vo. Bo. \_\_\_\_\_

JAVIER ALFONSO CARDENAS GUTIERREZ



Coordinador Comité Curricular

Betty M.

## **AGRADECIMIENTOS**

Son muchas las personas que han contribuido a llevar a cabo este proyecto. En primer lugar, quiero agradecer a Dios por permitir realizar una meta más en mi vida profesional y llevarme por el mejor camino. A mis padres por estar siempre presente en todo momento y darme siempre consejos, por confiar en mi proceso desde el primer momento. A la gestión y colaboración de mi director, la ingeniera Leidy Peñaloza y mi codirector, el ingeniero Javier Cárdenas por su dedicación en este proceso, de igual forma quiero agradecerle al ingeniero Jorge Sánchez por ayudar en todo el proceso a la realización de los laboratorios en el centro de investigación de materiales cerámicos (CIMAC). Y por último y no menos importante quiero agradecerles a todos los profesores que dedican su tiempo y esfuerzo para enseñar sus conocimientos de la universidad.

## **TABLA DE CONTENIDO**

Introducción	17
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	23
1.7. Delimitaciones	23
1.7.1. Delimitación Espacial	23
1.7.2. Delimitación Temporal	23
1.7.3. Delimitación Conceptual	23
2. Marco Referencial	24
2.1. Antecedentes y Estado del Arte	24
2.1.1. Antecedentes Internacionales	24
2.1.2. Antecedentes Nacionales	28

2.1.3. Antecedentes Regionales.	32
2.2. Marco Teórico	35
2.2.1. Bloque H10	35
2.2.2. Arcilla	36
2.2.3. Minería de arcillas	38
2.2.4. Producción del Ladrillo o Bloque	38
2.2.5. Nutrientes Tecnológicos	40
2.2.6. Producción de Ceniza de Ladrilleras	41
2.2.7. Producción de Residuos en la Explotación de Arcillas	43
2.2.8. Economía Circular	43
2.2.9. Reutilización de Residuos de Ladrilleras	44
2.3. Marco Conceptual	45
2.4. Marco Contextual	47
2.5. Marco Legal	49
3. Diseño Metodológico	52
3.1. Tipo de Investigación	52
3.2. Población y Muestra	53
3.2.1. Población	53
3.2.2. Muestra	53
3.3. Instrumentos para la Recolección de Información	54

3.3.1. Fuentes Primarias	54
3.3.2. Fuentes Secundarias	54
3.4. Fases y Actividades Específicas	54
4. Metodología	56
4.1. Materias Primas Utilizadas	56
4.1.1. Arcilla	57
4.1.2. Arcillas Cerámicas	59
4.1.3. Arcillas Comunes	60
4.1.4. Cenizas de Ladrillera	64
4.1.5. Inquemados de Carbón	64
4.1.6. Inquemados del Proceso de Cocción en Horno Colmena en la Industria Cerámica Regional	65
4.1.7. Caracterización Estructural	66
4.2. Proceso de Conformado	70
4.3. Ensayos Realizados	73
4.3.1. Análisis Físico-cerámico	73
4.3.2. Determinación de la Absorción de Agua en Unidades de Mampostería	74
4.3.3. Determinación de la Resistencia Mecánica a la Compresión en Unidades de Mampostería	78
4.4. Normas Aplicadas	80



4.4.1. Propiedades Físicas	80
5. Desarrollo de los Objetivos	82
5.1. Diagnóstico del Sector del Nutriente Tecnológico	82
5.2. Desarrollo del Bloque H-10 Utilizando Diferentes Porcentajes del Nutriente a nivel de Laboratorio	87
5.2.1. Muestreo	88
5.2.2. Procedimiento de Ensayos de Laboratorio realizados a las Muestras de Arcilla	89
5.2.3. Elaboración de Bloques	93
5.2.4. Resultados obtenidos con 2.5% de Ceniza de Ladrillera a la Mezcla de Arcilla	96
5.2.5. Resultados obtenidos con 5% de Ceniza de Ladrillera a la Mezcla de Arcilla	100
5.2.5. Resultados obtenidos con 7,5% de Ceniza de Ladrillera a la Mezcla de Arcilla	104
5.6. Evaluación del Bloque H-10 Desarrollado a Nivel de Laboratorio	108
5.6.1. Análisis de Resultados del Ensayo de Absorción de Agua	109
5.6.3. Análisis de Resultados de Resistencia Mecánica a la Compresión	111
5.7. Costos del Bloque H-10 Normal y del Bloque Fabricado con Nutriente Tecnológico	113
5.7.1. Determinación de las Relaciones entre Costo y Actividad	116

6. Conclusiones	121
7. Recomendaciones	122
8. Referencias Bibliográficas	123

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Bloque H-10	36
Figura 2. Ubicación del Laboratorio CIMAC	47
Figura 3. Diagrama de Actividades Específicas del Proyecto	55
Figura 4. Mapa de Localización de la Mina Támesis	59
Figura 5. Frente de Explotación de la Arcilla (Cerámica Támesis S.A.)	59
Figura 6. Análisis Comparativo por Difracción de Rayos-X de las Fases Identificadas en el Espécimen Seleccionado de la Muestra	63
Figura 7. Aspecto Macroscópico de los Inquemados del Horno Colmena	66
Figura 8. Patrón de Difracción de Rayos X de los Inquemados de Carbón	67
Figura 9. Microfotografías (MEB) de los Inquemados procedentes del Horno Colmena	69
Figura 10. Extrusora de Laboratorio con Vacío	71
Figura 11. Apisonador de la Arcilla (Trituración)	72
Figura 12. Molino de Martillos (Molienda Vía Seca)	72
Figura 13. Tamiz Malla 10 (Tamizado)	72
Figura 14. Estufa de 128 litros	72
Figura 15. Horno Mufla	73
Figura 16. Pie de Rey Digital de 200 mm	74
Figura 17. Balanza Digital de 20 kg	75
Figura 18. Tanque para realizar Absorción de Agua por el Método de Inmersión	76
Figura 19. Termohigrómetro EXTECH	76
Figura 20. Crometro (Prensa de Presión)	79

Figura 21. Porcentaje Promedio de Absorción de Agua en Mezcla de Arcilla con 2,5%, 5% y 7,5% de Ceniza de Ladrillera	109
Figura 22. Datos Promedio de Absorción de Agua en 2.5%, 5% y 7.5% de Ceniza de Ladrillera	110
Figura 23. Valores en $\text{kgf/cm}^2$ de Resistencia Mecánica a la Compresión en Mezcla de Arcilla Adicionando 2,5%, 5% y 7,5% de Ceniza de Ladrillera	111
Figura 24. Valores Promedio de Resistencia Mecánica a la Compresión en $\text{kgf/cm}^2$ de Mezcla de Arcilla con adición de 2,5%, 5% y 7,5% de Ceniz de Ladrillera	112

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Composición Estructural del Material Arcilloso	60
Tabla 2. Resultados Obtenidos por Fluorescencia de Rayos-X de la Muestra Identificada	62
Tabla 3. Composición Estructural de los Inquemados de Carbón en Horno Colmena	67
Tabla 4. Composición Química de los Inquemados del Carbón	68
Tabla 5. Microquímica de algunas Partículas presentes en los Inquemados del Carbón (% atómico)	69
Tabla 6. Propiedades Físicas de las Unidades de Mampostería Estructural	81
Tabla 7. Propiedades Físicas de las Unidades de Mampostería no Estructural	81
Tabla 8. Porcentaje de Participación en la Producción Nacional por Departamento de Arcilla Cocida	83
Tabla 9. Distribución según tipo de Horno por Departamentos	84
Tabla 10. Distribución de la Producción según Tipo de Horno por Departamentos	85
Tabla 11. Consolidados de Índices por Departamentos	86
Tabla 12. Distribución según el Tipo de Combustible por Departamento	87
Tabla 13. Plan de Muestreo para Ensayos de Laboratorio de Ladrillos y Bloques no Estructurales	89
Tabla 14. Mezclas Elaboradas y Ensayadas	93
Tabla 15. Análisis Físico-Cerámico por Extrusión al 100% de Mezcla de Arcilla	93
Tabla 16. Resultados de Ensayo de Absorción de Agua a M1 con 100% Arcilla	94
Tabla 17. Resultados de Ensayo de Absorción de Agua a M2 con 100% Arcilla	94

Tabla 18. Resultados de Ensayo de Absorción de Agua a M3 con 100% Arcilla	94
Tabla 19. Resultados de Resistencia Mecánica a la Compresión a M1 con 100% Arcilla	95
Tabla 20. Resultados de Resistencia Mecánica a la Compresión a M2 con 100% Arcilla	95
Tabla 21. Resultados de Resistencia Mecánica a la Compresión a M3 con 100% Arcilla	96
Tabla 22. Análisis Físico Cerámico a 2,5% de Ceniza de Ladrillera	97
Tabla 23. Porcentaje de Absorción de Agua del M1 a 2,5% de la Mezcla de Arcilla con Ceniza de Ladrillera	98
Tabla 24. Porcentaje de Absorción de Agua del M2 a 2,5% de la Mezcla de Arcilla con Ceniza de Ladrillera	98
Tabla 25. Porcentaje de Absorción de Agua del M3 a 2,5% de la Mezcla de Arcilla con Ceniza de Ladrillera	99
Tabla 26. Resistencia Mecánica a la Compresión de M1 con 2,5% de Mezcla de Ceniza de Ladrillera	99
Tabla 27. Resistencia Mecánica a la Compresión de M2 con 2,5% de Mezcla de Ceniza de Ladrillera	100
Tabla 28. Resistencia Mecánica a la Compresión de M3 con 2,5% de Mezcla de Ceniza de Ladrillera	100
Tabla 29. Análisis Físico Cerámico a 5% de Ceniza de Ladrillera	101
Tabla 30. Porcentaje de Absorción de Agua del M1 a 5% de la Mezcla de Arcilla con Ceniza de Ladrillera	102

Tabla 31. Porcentaje de Absorción de Agua del M2 a 5% de la Mezcla de Arcilla con Ceniza de Ladrillera	102
Tabla 32. Porcentaje de Absorción de Agua del M3 a 5% de la Mezcla de Arcilla con Ceniza de Ladrillera	103
Tabla 33. Resistencia Mecánica a la Compresión de M1 con 5% de Mezcla de Ceniza de Ladrillera	103
Tabla 34. Resistencia Mecánica a la Compresión de M2 con 5% de Mezcla de Ceniza de Ladrillera	104
Tabla 35. Resistencia Mecánica a la Compresión de M3 con 5% de Mezcla de Ceniza de Ladrillera	104
Tabla 36. Análisis Físico Cerámico a 7,5% de Ceniza de Ladrillera	105
Tabla 37. Porcentaje de Absorción de Agua del M1 a 7,5% de la Mezcla de Arcilla con Ceniza de Ladrillera	106
Tabla 38. Porcentaje de Absorción de Agua del M2 a 7,5% de la Mezcla de Arcilla con Ceniza de Ladrillera	106
Tabla 39. Porcentaje de Absorción de Agua del M3 a 7,5% de la Mezcla de Arcilla con Ceniza de Ladrillera	107
Tabla 40. Resistencia Mecánica a la Compresión de M1 con 7,5% de Mezcla de Ceniza de Ladrillera	107
Tabla 41. Resistencia Mecánica a la Compresión de M2 con 7,5% de Mezcla de Ceniza de Ladrillera	108
Tabla 42. Resistencia Mecánica a la Compresión de M3 con 7,5% de Mezcla de Ceniza de Ladrillera	108

Tabla 43. Valores Promedio de Propiedades Físicas de Mezcla de Arcilla con diferentes Porcentajes de Ceniza de Ladrillera en Ensayo de Absorción de Agua	110
Tabla 44. Análisis Comparativo de Resultados	113
Tabla 45. Descripción de Actividades en el Proceso Productivo de la Elaboración de Bloques H-10	113
Tabla 46. Componente del Costo Vs Actividad	117
Tabla 47. Consolidado de los Costos de las Actividades de Producción en el Periodo Analizado	118
Tabla 48. Costo del Bloque Utilizando Ceniza de Ladrillera	119



## Introducción

En el departamento de Norte de Santander es común encontrar empresas dedicadas al sector cerámico, con producción de baldosas y productos estructurales: unidades de mampostería de perforación horizontal: bloques, y de perforación vertical: ladrillos; y tejas. Es debido a que en esta zona se presenta en gran proporciones suelos arcillosos, principal nutriente de esta industria. Para nadie es un secreto que la construcción genera gran demanda, es por eso que los materiales de construcción van en aumento con el pasar del tiempo y el desarrollo industrial. En Colombia es habitual el uso de materiales cerámicos en esta industria, puesto que es apto para las condiciones climáticas y ambientales generales del país, debido a ello, la producción de estos materiales es muy común. La revista del tiempo Economía y negocios (06 de diciembre 2019), dice que, según la encuesta anual manufacturera, el sector del ladrillo es censado por el Dane y está conformado por 1.508 ladrilleras con más de 2.435 hornos que producen un total de 12'703.872 toneladas de arcilla cocida por año en las 16 regiones que trabajan con este material.

Por causa de la industria ladrillera, en Colombia y en el mundo se genera un fuerte impacto al ambiente que debe ser reducido para promover una construcción más sostenible y amigable con el ambiente. Buscando nuevos nutrientes tecnológicos con base de aquellos residuos sobrantes que no pretenden ser usados de alguna forma y son desechados normalmente.

Se han desarrollado investigaciones sobre el uso de residuos como nuevas medidas para reducir el impacto ambiental que trae la producción del ladrillo. Diversos investigadores como Souza et al. (2011) y Dana et al. (2004) plantean reemplazar porcentajes de arcilla por los residuos rescatados del proceso; con la ventaja de obtener un buen material que contenga todas las características necesarias para hacerlo de calidad constructiva.

Con la presente investigación se trabaja en evaluar mezclas de arcilla y ceniza extraída de la quema en hornos de ladrilleras, para elaborar bloques de construcción tipo H-10, estudiando sus capacidades en producción y las propiedades físico-mecánicas de especialmente en los ensayos de absorción de agua y resistencia a la compresión.

Con la ventaja de rescatar los residuos industriales que no pretenden ningún uso específico y crearles un nuevo espacio como materia prima para la elaboración de bloques en la construcción.

En la siguiente investigación se realiza la evaluación de la mezcla de arcilla adicionándole diferentes porcentajes de ceniza de ladrillera para fabricar bloques H-10 con el fin de poder usar este residuo e implementarlo como una nueva materia prima en la fabricación de bloques, con lo siguiente se logra disminuir los niveles de arcilla utilizada en las mezclas y a la vez reducir costos significativos de estos.

El principal objetivo de esta investigación es evaluar la mezcla de arcilla adicionándole 2,5%, 5% y 7,5% de ceniza de ladrillera según la norma técnica colombiana NTC 4205:2000, de la cual se exponen los valores recomendados para cada estudio. Se realizan ensayos físico-cerámicos para poder conocer las propiedades físicas (contracción en estado seco y húmedo, la pérdida de masa y la temperatura que es aplicada); de igual forma se realiza el ensayo de absorción de agua y de resistencia a la compresión para conocer las propiedades mecánicas de los bloques y poder conocer si el producir bloques de este tipo son factibles según la calidad y economía.

Al desarrollar la investigación se obtuvo resultados satisfactorios respecto a los parámetros que deben seguirse para cada ensayo en especial el porcentaje de absorción de agua y la resistencia mecánica a la compresión, partiendo del estudio que se le hizo a las mezclas

adicionándole los tres porcentajes antes mencionados, cumplen los parámetros para mampostería no estructural tanto para bloques de exterior como interior. Respecto a los resultados el del 2,5% de ceniza de ladrillera fue quien obtuvo mejor porcentaje de absorción de agua con un 9,9% y en la resistencia mecánica a la compresión los valores más altos con resistencia hasta de un 53,88 kgf/cm<sup>2</sup>.

Este proyecto también demuestra los costos llevados a cabo para la realización de los bloques con adición de ceniza de ladrillera de lo que se obtiene un ahorro de 13,64 pesos por bloque dándole gran importancia a este proyecto en base de crear bloques funcionales, económicos y que cumplan todos los estándares de resistencia mecánica y absorción de agua.

## **1. Descripción del Problema**

### **1.1. Título**

Evaluación de Mezclas de Arcilla adicionando Ceniza de Ladrillera para la Fabricación de Bloque de Construcción.

### **1.2. Planteamiento del Problema**

Es evidente ver como los procesos industriales en todo el mundo generan daños al medio ambiente y sus recursos. Uno de esos procesos industriales más importantes es el de la construcción, esta industria presenta gran demanda en producción, por sus proyectos, debido a ello presentan un alto consumo en los recursos naturales.

Los ladrillos de arcilla son materiales ampliamente usados en la construcción debido a su economía, funcionalidad y facilidad de obtención.

El departamento de Norte de Santander presenta terrenos ricos en arcilla generando comodidades de obtención, por ello el departamento dispone de un extenso número de empresas en la industria ladrillera. Los ladrillos cocidos son un material muy completo, presentan capacidades de resistencia mecánicas favorables para ser un instrumento de amplio interés.

El principal problema de la industria ladrillera es la contaminación producida por la quema del carbono en los hornos y los desechos cerámicos, por ello es fundamental crear nuevos usos a los desechos que se producen en las ladrilleras, con ello crear un ambiente de producción-reutilización, donde todo el desecho que se genera por la producción es reutilizado como nutriente tecnológico, con esto crear un ladrillo con base de arcilla y ceniza extraída de ladrilleras. El empleo de estos residuos industriales son ideas que se vienen planteando para

contrarrestar el problema de la explotación de arcilla, para usar un porcentaje menor al usual, combinándolos con otros materiales.

### **1.3. Formulación del Problema**

¿Cómo se puede implementar residuos del proceso productivo de la ladrillera en la fabricación de bloques de construcción?

### **1.4. Objetivos**

#### ***1.4.1. Objetivo General***

Evaluar mezclas de arcilla adicionando ceniza de ladrillera para la fabricación de bloque de construcción.

#### ***1.4.2. Objetivos Específicos***

- Realizar un diagnóstico del sector de la ceniza de ladrilleras.
- Desarrollar el producto utilizando diferentes porcentajes del nutriente 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**

Es de importancia señalar las problemáticas ambientales generadas por producto de las actividades ladrilleras del departamento Norte de Santander, ya que en esta zona las empresas ladrilleras y tejares son de estilo convencional y poco tecnológico lo que lleva a tener un proceso de elaboración muy tradicional, con índices altos en contaminación por la quema del carbono.

Por lo que se crea la necesidad de encontrarle una solución al conflicto ambiental, aportando con una construcción sostenible y respetuosa con el entorno, con lo que se plantea desarrollar estrategias claves innovando el proceso de elaboración de materiales de construcción como lo es; el bloque de arcilla, siendo este mismo diseñado con elementos recuperados de aquellos considerados desechos sin ninguna utilidad actual. Es decir, que el sector cerámico desarrolle y adopte métodos que permitan que los procesos productivos cerámicos de la región sean más sostenibles, asumiendo que los problemas más importantes de las ladrilleras podrían estar relacionados con la explotación de los recursos naturales, el alto consumo energético que ocasionan impactos al medio ambiente.

Este trabajo es una oportunidad para elaborar bloques de construcción hacia un escenario sostenible en el proceso productivo, combinando con la reducción del impacto ambiental, encontrándole una función a los desechos industriales, en este caso a la cenizas de la etapa de cocción, aplicando el concepto de economía circular, la cual proyecta a generar en una industria tan contaminante como la de la construcción, el reciclaje de materiales sobrantes.

## **1.6. Alcances y Limitaciones**

### ***1.6.1. Alcances***

El presente proyecto busca hacer un diagnóstico sobre la ceniza de ladrillera con la cual se pretende elaborar mezclas de arcilla y ceniza de la empresa Támesis S.A para la fabricación de bloques de construcción. Evaluando distintos porcentajes de aplicación de dichos materiales, con el fin de conocer resultados específicos que cumplan con las propiedades de porcentaje de absorción de agua y resistencia mecánica a la compresión, según la indicada en la Norma Técnica Colombiana NTC 4205.

### ***1.6.2. Limitaciones***

Las limitaciones que se pueden presentar en la elaboración de este proyecto son que, en el presente año, se ha producido la epidemia del Covid-19, la cual pide distanciamiento social y otras prevenciones, lo que genera un retraso en desarrollar actividades académicas e investigativas. Por lo que es difícil disponer de los laboratorios de la Universidad Francisco de Paula Santander.

### **1.7. Delimitaciones**

#### ***1.7.1. Delimitación Espacial***

El desarrollo de este proyecto se llevó a cabo en las instalaciones del Centro de Investigación de Materiales Cerámicos CIMAC de la Universidad Francisco de Paula Santander, ubicado en la Avenida Gran Colombia N° 12E-96 Colsag del municipio de San José de Cúcuta, Norte de Santander.

#### ***1.7.2. Delimitación Temporal***

El proyecto se ejecutó a partir de la fecha de aprobación del mismo, con una duración de 6 meses.

#### ***1.7.3. Delimitación Conceptual***

El proyecto se desarrolló con base a los procedimientos de realización de ensayos del laboratorio CIMAC, basados en las normas NTC 4017:2018 Método para Muestreo y Ensayos de Unidades de Mampostería y otros productos de Arcilla; y NTC 4205:2000 Ingeniería Civil y Arquitectura. Unidades de Mampostería de Arcilla Cocida. Ladrillos y Bloques Cerámicos.

## 2. Marco Referencial

### 2.1. Antecedentes y Estado del Arte

#### 2.1.1. Antecedentes Internacionales

**Xavier, E. (2015).** “Nutrientes Tecnológicos Para La Industria Cerámica Estructural”. Universidad de Jaén- Escuela politécnica Superior de linares- España. Esta Tesis doctoral persigue la fabricación de cerámica estructural de la manera más sostenible posible. En primer lugar y referente al uso de las materias primas. Uno de los objetivos estriba en usar la mínima cantidad de arcilla, la materia prima característica de la cerámica, con la finalidad de no emplear recursos minerales finitos. Esta carencia de arcilla se suplementará con la adición de nutrientes tecnológicos, todos ellos clasificados como residuos industriales. Con ello se evita que gran cantidad de materiales terminen en el vertedero.

Complementariamente se procura que los nutrientes tecnológicos contengan una cantidad de materia orgánica, lo que aporta energía al sistema y hace la fabricación más sostenible desde el punto de vista energético. Es de destacar el empleo del denominado CSR (Combustible Sólido Recuperado) de los residuos urbanos, lo que, a su vez, resuelve otro gran problema. Finalmente se demuestra que el material cerámico fabricado presenta unas propiedades térmicas muy interesantes. Al disponer de una densidad aparente baja, la porosidad interna es elevada, lo que equivale a decir que el material obtenido es aislante térmico. Es decir, se trata de un material que favorece la sostenibilidad cuando está en servicio, ya que reduce los consumos de calefacción y/o aire acondicionado.

**Aguilar, A. (2017).** “Fabricación de bloques ecológicos a base de material producto de la construcción”. Universidad Nacional Autónoma de México, Programa de maestría y doctorado en ingeniería civil – construcción (Ciudad de México). La presente tesis plantea y estudia el



aprovechamiento de los residuos de la construcción, elaborando bloques ecológicos a partir de materiales producto de la construcción y demolición. Así mismo se presenta la factibilidad que tiene la construcción de estos bloques, con la finalidad de disminuir el impacto ambiental que la fabricación de materiales existentes genera, contribuyendo en la reducción del gasto de energía y materias primas. Como objetivo central buscan implementar el uso de materiales producto de la industria de la construcción para reducir el daño al medio ambiente, así como el desarrollo de nuevos elementos identificando y montando técnicas que se requieran para la caracterización del suelo.

Se determina que al realizar comparaciones entre las etapas de la mezcla permitió interpretar las deficiencias que presentaron las propiedades mecánicas de las mezclas de la Etapa II en comparación con la Etapa I y con ello poder proponer las recomendaciones adecuadas para posteriores investigaciones. A pesar de haber presentado en la Etapa II disminución de la resistencia a compresión y aumento de la absorción de agua, los ladrillos estudiados en esta tesis, son una alternativa sustentable para el aprovechamiento de los residuos de la construcción puesto que cumplen con los parámetros de calidad establecidos en la normativa mexicana. El empleo del mucílago de nopal para la integración de la mezcla líquida para la fabricación de los bloques representa una alternativa de aprovechamiento de las grandes cantidades de nopal que se disponen como residuos, puesto que además de darle un nuevo uso a ese material orgánico se demostró que ayuda a mejorar las propiedades mecánicas. El proceso constructivo planteado resultó eficiente para la fabricación de ladrillos, el cual puede ser empleado a mayor o menor escala de fabricación. El comportamiento final de los ladrillos estudiados en esta tesis demuestra que pueden ser empleados sin mayor problema en el sector de la construcción.

**Maza, O. (2017).** “Efecto de la incorporación de residuos industriales en la resistencia y durabilidad de ladrillos de arcilla”. Instituto Politécnico Nacional centro interdisciplinario de investigación para el desarrollo integral regional, unidad Oaxaca. Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca. Esta tesis estudio de manera práctica y aplicada evaluando el efecto de la sustitución de arcilla por ceniza de bagazo de caña, ceniza volante y humo de sílice en la manera en que se efectuaba la resistencia mecánica y durabilidad de ladrillos. En este proyecto se desarrollaron diversas mezclas entre las materias de estudio, se evaluó la plasticidad de las mezclas por medio de los límites de Atterberg. Con las mezclas binarias se elaboraron ladrillos y se cocieron a 900 y 1000°C; los ladrillos elaborados con las mezclas ternarias fueron cocidos a 900, 1000 y 1100°C. A el proyecto se le aplicaron diversas pruebas para determinar la resistencia a flexión y a compresión, también evaluaron la durabilidad, porosidad y la absorción del material al agua. Se estudió la microestructura de los ladrillos y se cuantificó la fase amorfa mediante DRX; también se obtuvieron micrografías con MEB. Como resultados de estos estudios y aplicaciones determinadas concluyen que la ceniza de bagazo de caña influyo de manera negativa en el índice plástico de las mezclas; sin embargo, con la adición de ceniza volante y el humo de sílice se obtuvieron índices plásticos similares al de la mezcla control.

Para los ladrillos ya cocidos, la adición de ceniza bagazo de caña produjo reducciones en la resistencia mecánica e incrementó su porosidad, sin embargo, estos efectos negativos se eliminaron con la adición de ceniza volante y humo de sílice. El incremento de la temperatura de cocción a 1000°C incrementó la resistencia mecánica de los ladrillos y redujo su porosidad aparente.

**Nande, J. (2018).** “Fabricación de nuevos materiales geopoliméricos a partir de mezclas de residuos de cerámica sanitaria y catalizador gastado de craqueo catalítico”. Universidad

Politécnica de Valencia. Departamento de ingeniería de construcción y de proyectos de ingeniería Civil. Esta investigación se basa en la importancia de fabricar nuevos materiales geopoliméricos a base de residuos cerámicos con el fin de disminuir el uso de cemento portland ya que es un material comúnmente utilizado en la construcción pero altamente contaminante ya que su producción genera gran cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmosfera.

En esta investigación se ha planteado usar mezclas de residuos de la cerámica sanitaria junto con un residuo de la industria petroquímica, el catalizador de craqueo catalítico. Previamente a estudio de este material se hizo estudio PH y conductividad eléctrica suspensiones acuosas cal/puzolana, para distintas mezclas ternarias FCC/CS/cal, a fin de analizar la influencia de la cerámica sanitaria en la reactividad de la mezcla. Una vez realizado el estudio anterior, se procedió a la fabricación de morteros de activación alcalina, para los que se utilizaron el residuo de cerámica sanitaria molido (CS) y el catalizador de craqueo catalítico usado (FCC) como materiales precursores en distintas proporciones (100/0 hasta 50/50) y como disolución activadora se utilizó una mezcla de hidróxido de sodio y silicato sódico, estudiando la influencia de las distintas proporciones de silicato de sodio en las mismas. Estos morteros se curaron a diferentes edades de curado y distintas temperaturas, utilizando baño térmico y cámara húmeda. Se analizaron sus valores de resistencia mecánica. De igual forma realizaron pastas para más ensayos, se usó la cascarilla de arroz. Los resultados obtenidos en este trabajo final de máster han permitido demostrar que el uso de materiales residuales en conjunto puede emplearse para la generación de matrices geopoliméricas y abre la posibilidad de seguir combinando distintos materiales precursores y activadores para obtener geopolímeros con buenas prestaciones mecánicas y una menor huella de carbono.

**Viera, L., Chicaiza, C. y Guerra, G. (2017).** “Estudio del uso de residuos cerámicos como sustituto de un porcentaje del cemento para la fabricación de morteros”. UCE. En la presente investigación se estudia el uso de desechos cerámicos triturados provenientes de la empresa Franz Viegner fv como material sustituto de cemento para la fabricación de morteros; donde se trabaja mortero elaborado con cemento al 100% y el mortero elaborado con diferentes porcentajes de cerámica triturada (3%, 5%, 7%, 10%, 15%). En la realización de las mezclas de mortero se usó cemento tipo GU - construcción en general- y agregado fino procedente de San Antonio de Pichincha, mina Fucusucu III. Se efectuó la caracterización de los materiales constituyentes del mortero mediante ensayos normados por la ASTM (American Society Testing Materials) y NTE (Norma Técnica Ecuatoriana). Para determinar la capacidad resistente a la compresión del mortero se usó la norma NTE INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización) 488 “Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50 mm de arista”.

### ***2.1.2. Antecedentes Nacionales***

**Lozano, M. y González, S. (2016).** “Uso de residuos cerámicos en la producción de ladrillos de arcilla cocidos del sector alfarero de Candelaria”. Pontificia Universidad Javeriana sede Cali. La industria alfarera del municipio de Candelaria en su proceso de fabricación genera un alto impacto ambiental desde la explotación de la materia prima, hasta el manejo inadecuado de los residuos sólidos provenientes de la producción. En este trabajo se estudió la influencia de la incorporación de los residuos cerámicos en el proceso productivo de elementos de arcilla cocidos, teniendo como referencia dos empresas (La Gloria y Tres Puertas) del sector alfarero de Candelaria. El objetivo principal era evaluar el efecto de la incorporación de residuos de la producción de ladrillo en la mezcla para nuevos elementos de arcilla cocida, para las empresas alfareras de dicho municipio. Se efectuaron ensayos para la caracterización de la materia prima

como: granulometría, humedad natural, límites de consistencia, límite de contracción y gravedad específica. Adicionalmente, se realizaron ensayos sobre los ladrillos de cada una de las ladrilleras y sobre los prototipos elaborados en el laboratorio para determinar dos características de calidad que los ladrillos deben cumplir, resistencia a la compresión y absorción. Las propiedades de caracterización muestran que las ladrilleras no hacen usos de cuatro diferentes suelos como ellos lo expresan y los ensayos de calidad indican que el residuo cerámico puede ser empleado como material para la producción de ladrillos. Para el caso de la ladrillera La Gloria, se pudo establecer que la adición de residuo cerámico no genera cambios significativos en las propiedades de resistencia y absorción del producto terminado, pero es recomendable utilizar un 10% de adición de residuo cerámico.

Respecto a la ladrillera Tres Puertas, se determinó que la adición de residuo cerámico no tiene efectos significativos sobre la resistencia a la compresión, pero si sobre la absorción, donde una adición de residuo cerámico del 5% permite tener mejorar los resultados en la absorción del producto.

**Duran, L, Guevara, D., Hernández, F. y Ramírez, F. (2017).** “Estrategia y aprovechamiento de materiales sobrantes del proceso de explotación de la mina y de producción de la ladrillera Framar Ltda. Durante la implementación del pmrra”. Universidad católica de Colombia-Programa de especialización en gerencia de obras- Bogotá. La presente investigación busca diseñar estrategias de valoración y aprovechamiento de los materiales y productos sobrantes derivados del proceso de explotación de arcilla en la mina de la Ladrillera Framar Ltda., articulada dentro del Plan de Manejo Recuperación y Restauración Ambiental (PMRRA) de la empresa.

Ya que la industria ladrillera en Colombia es una gran fuente de ingresos produciendo empleo, es de importancia este medio. Ya que la arcilla es un material que Colombia posee en cantidad es factible desarrollar esta industria.

Al realizar el análisis de granulometría por tamizado, se encontró que las dimensiones de las partículas de chamote triturado no favorecen un proceso de reincorporación de las mismas al proceso productivo, debido a que el elevado número de partículas con modificaciones físicas no permite la obtención de bloques con las especificaciones técnicas requeridas por la normativa colombiana. Es posible generar estrategias de uso y aprovechamiento de estériles y materiales sobrantes de la explotación de arcillas y producción de ladrillo, de tal forma que sea económicamente viable y ambientalmente amigable. Así mismo, una evaluación económica de los beneficios ambientales y sociales permitiría establecer con mayor claridad los beneficios reales, por lo cual es recomendable realizar una valoración económica de estos parámetros, bajo estándares establecidos para Colombia

**Mora, J., Castillo, C. y Pardo, K. (2018).** “Evaluación del comportamiento físico y mecánico de bloques de arcilla macizos con adición de ceniza volante”. Universidad La Gran Colombia, Bogotá. El presente estudio, se basa en el comportamiento de bloques de arcilla macizos con adición de ceniza volante en diferentes dosificaciones, esto con el propósito de disminuir las emisiones que produce la industria ladrillera al medio ambiente, y que a su vez suelen ser grandes contaminantes del planeta junto con la industria termoeléctrica, se hace necesaria la presente investigación con el fin de determinar la adición en porcentajes favorables de 15%, 20% y 25% de adición ceniza volante al proceso de fabricación de bloques de arcilla macizos, esto con el fin de causar una disminución en los impactos ambientales causados por la industria. De esta manera y teniendo en cuenta el procedimiento para la fabricación de bloques

de arcilla macizos es pertinente determinar las propiedades de la arcilla y la ceniza volante, realizando ensayos de laboratorio como: Granulometría, Límites de Atteberhg, Azul de metileno y Difracción de rayos x, por otra parte es necesario realizar un análisis comparativo de los bloques macizos propuestos con los convencionales, determinando el comportamiento físico y mecánico de los bloques; para obtener resultados óptimos y dar cumplimiento a los parámetros mínimos exigidos por la normatividad vigentes.

**Vargas, J. (2019).** “Modelo de aprovechamiento de residuos sólidos cerámicos para almacenes Corona S.A.S en Bogotá”. Universidad EAN Bogotá- Colombia. Esta tesis se basa en la problemática ambiental por los residuos sólidos cerámicos que se generan diariamente por la industria, buscando la manera de desarrollar estrategias que sirvan para aprovechar estos residuos. Este trabajo adopta el modelo de reciclaje y establece el correcto aprovechamiento de los residuos sólidos cerámicos derivados de la producción y comercialización productos para remodelación y acabados de la construcción en Colombia para la empresa Almacenes Corona SAS. Buscando principalmente la reducción de los volúmenes de vertimientos al ambiente en paralelo con la reducción en costos de disposición final que debe invertir esta empresa para cumplir con los requisitos normativos de ley y políticas organizacionales de Corona S.A.

Con el fin de crear buenas prácticas de almacenamiento y control de inventarios se disminuye las perdidas en esta producción de igual forma al generar un proceso de reciclaje de los residuos sólidos cerámicos constituyen una solución sostenible, al proyectar esta solución se determina una recuperación del 50% de RCD con un beneficio económico de más de noventa millones de pesos.

**Suarez, S., Betancout, C., Mahecha, L. y Benavides, J. (2019).** “La gestión de los residuos de construcción y demolición en Villavicencio: estado actual, barreras e instrumentos de

gestión”. El objetivo de este artículo, consiste en identificar el estado actual, las barreras y los instrumentos que podrían ayudar a mejorar la gestión de los residuos de construcción y demolición en esta ciudad.

Para llevar a cabo el estudio, se empleó el método de observación y de análisis, y el tipo de estudio descriptivo. Con el fin de obtener la información, fue necesario realizar visitas y encuestas a empresas constructoras. Posteriormente, la información recopilada fue examinada por medio del análisis multiatributo y el software estadístico SSPS. Como resultado, se obtuvo que las tierras de excavación y el concreto son los residuos que más se generan en las actividades constructivas. Como medida para reducir los residuos y mejorar su gestión, las empresas dieron mayor importancia a la etapa de prevención. La falta de conciencia medioambiental y de control en el cumplimiento de la legislación fueron las principales barreras detectadas. Los incentivos tributarios fueron considerados como instrumentos relevantes para la gestión.

### ***2.1.3. Antecedentes Regionales.***

**Sarabia, A., Sánchez, J. y Leyva, J. (2017).** “Uso de nutrientes tecnológicos como materia prima en la fabricación de materiales de construcción en el paradigma de la economía circular”. Respuestas. Universidad Francisco de Paula Santander sede Cúcuta. Este artículo centra su interés en aplicar la economía circular, la cual hace referencia la recuperación y producción a costa de residuos en este caso en el sector de la construcción siendo uno de los que genera mayores cantidades sobrantes en la elaboración de materiales constructivos en Colombia. El objetivo principal es facilitar el acceso a información académico-científica actualizada sobre el manejo de los residuos industriales y su aplicación en la fabricación de materiales de construcción. Como conclusión principal el artículo al recopilar la información de diversos trabajos de investigación ha sido posible modificar propiedades de esos materiales, se lograron



obtener diferentes beneficios según el nutriente tecnológico trabajado. Con ello ayuda a reducir la contaminación por estos residuos de construcción.

**Sánchez, J., Corpas, F. y Rojas, J. (2019).** Revista científica, Scielo. “Cenizas Volantes de Termoeléctrica como Materia Prima para la Fabricación de Materiales Cerámicos de Construcción: Efecto de la Temperatura de Cocción sobre el Material”. En esta investigación se empleó ceniza volante de una central termoeléctrica, para sustituir el material arcilloso en la elaboración de materiales cerámicos para construcción. Se desarrollaron probetas específicas con sustituciones porcentuales del material, llevándolo a varias temperaturas de cocción entre 900 a 1200°C. con tal fin establecen correlaciones entre la microestructura, la topografía y las propiedades tecnológicas del cerámico, como son la resistencia mecánica a flexión, la resistencia a la abrasión profunda, el porcentaje de absorción de agua, la conductividad térmica y la contracción lineal de secado/cocción. Al desarrollar un análisis microestructural y de topografía se evidencio que la ceniza volante es rica en fase amorfa presenta elementos de carácter fundente. Los fenómenos de re cristalización de sílice presente y el aumento de porosidad parecen explicar el comportamiento obtenido. Sustituciones hasta del 10% de CV permite obtener cerámicos con aplicabilidad en el sector de la construcción.

**Díez, K., Sánchez, J., y Torres, D. (2020).** “Elaboración y caracterización de bloques cerámicos extruidos usando cenizas de la combustión de carbón a escala de laboratorio”. Respuestas, 25(s1), 28-35. La investigación de este artículo, se basa en el producto de la combustión de carbono utilizado para alimentar los hornos colmena de la industria cerámica de Norte de Santander, el cual es una ceniza que aún no tiene ninguna aplicación aparente siendo un desecho. Con tal fin se desarrolló una formulación para obtener material cerámico con la combinación de arcilla y residuos de cenizas, las cuales fueron adicionadas en proporciones de

10, 20 y 30% en peso, conformando con las mezclas prototipos de bloques cerámicos extruidos y sinterizados en un rango de temperatura entre 900 a 1100 °C, con gradientes de 50°C. Se usó FTIRATR para identificar la presencia de diferentes grupos funcionales y se estudió la composición mineralógica mediante DRX de las materias primas; así mismo, se evaluó el comportamiento tecnológico de las mezclas desarrolladas. Con los resultados obtenidos, se determinó que a la mezcla en la que se agregó el 10 % de cenizas de carbón y una temperatura de cocción de 950 °C, ya que presentó un porcentaje de absorción de agua y una resistencia a la compresión acorde a los rangos establecidos por las normas colombianas, generando como valor agregado el aligeramiento y reducción de la temperatura de cocción, convirtiéndose en una alternativa de innovación y desarrollo que se puede utilizar en los procesos de producción de materiales tradicionales de la región con un sello ecológico

**Flores, A., Sánchez, J. y Meneses, D. (2018).** “Las arcillas de las formaciones geológicas de un área metropolitana, su uso en la industria cerámica e impacto en la economía regional” Revista EIA. Este estudio realizó una síntesis sobre la industria cerámica del área metropolitana de Cúcuta, siendo su objetivo principal caracterizar y relacionar los diferentes factores que se involucran en el sector cerámico del área describiendo el encadenamiento de los mismos, desde las fuentes naturales donde se encuentran las materias primas, las actividades de extracción, procedimiento y beneficio, también el impacto económico que genera esta industria en la comunidad. Se dedica a la descripción de los depósitos de arcilla en las formaciones geológicas León y grupo Guayabo donde trabajan con estos grupos por sus características, de igual forma se realizó un recuento de los datos mineros en la base de datos de catastro minero 2017, encontrándose que Cúcuta es el municipio con mayor actividad extractiva y contando con reservas, la industria que se ha podido desarrollar por esta materia prima ha permitido un

crecimiento económico en la región siendo el principal grupo de la industria de la zona metropolitana.

Principalmente este artículo señala la importancia que tiene la arcilla como principal materia prima de la industria cerámica proporcionando trabajo a su comunidad gracias a la exploración que se realiza en las minas y el ingenio para desarrollar dichos materiales cerámicos. Crea una importancia especial en la arcilla.

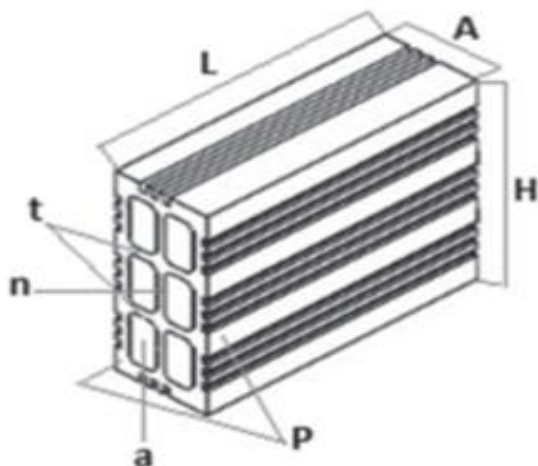
**Sánchez, J. (2018).** “Aplicaciones de los nutrientes tecnológicos en la industria cerámica del área metropolitana de Cúcuta”. Universidad Jaén España. Esta investigación se piensa desarrollar a partir de los principios de economía circular y el campo de acción del proyecto es la industria cerámica del área metropolitana de Cúcuta. Siendo de propuesta trabajar los residuos de la industria regional como son la cascarilla de café y arroz, cenizas termoeléctricas e inquemados de los hornos cerámicos. El objetivo principal de la investigación va encaminada a evaluar el efecto de la concentración y el tamaño de grano de estos residuos en las principales propiedades tecnológicas del material cerámico (contracciones de secado/cocción, absorción de agua, resistencia mecánica a la flexión y conductividad térmica) en función de la temperatura de cocción. Se establecerán correlaciones entre la microestructura y morfología. Y como resultado se pretende conocer la influencia de los residuos en la reducción de la energía embebida cuando se usa como sustituto de las pastas cerámicas.

## **2.2. Marco Teórico**

### **2.2.1. Bloque H10**

Estos son los bloques que vienen en presentaciones de seis huecos cuadrados y ocho huecos mixtos y tienen como función soportar cargas uniaxiales, estos bloques se usan para

mampostería en obras civiles. Este tipo de bloques se debe poseer un bajo nivel de absorción de agua que evite dilataciones y fisuras, ya que generalmente se encuentra expuesto a humedad en el interior o exterior (Rozo, Sánchez, & Álvarez, 2014).



**Figura 1.** Bloque H-10

*Nota.* Fuente: Asociación española de fabricantes de ladrillos y tejas de arcilla cocida HISPALYT.

Para realizar la fabricación de este tipo de bloque, se realiza en tres fases. Las cuales corresponden a: la primera fase es la modificación de la composición y plasticidad de la arcilla para poder obtener una mezcla homogénea, después se le da la forma deseada por extrusión. Luego que se tenga la pieza moldeada, se realiza el secado de forma controlada, esto con el fin de evitar distorsiones o daños en el diseño. Finalmente, se lleva a cocción para minimizar la presencia de poros y así aumentar la densidad y la resistencia mecánica (Barranzuela, 2014, Muñoz, Muñoz, Mancilla, & Rodríguez, 2007).

### **2.2.2. Arcilla**

La definición de arcilla indica que está constituida por un agregado de minerales y de sustancias coloidales que se han formado mediante la desintegración química de las rocas alúminas. Ésta ha sido obtenida por procesos geológicos de envejecimiento del planeta. Debido a

que el proceso de envejecimiento es continuo y ocurre en cualquier punto del planeta, es considerada un material corriente y bastante abundante. La gran mayoría de las rocas que conforman la corteza terrestre están formadas de feldespato ya que es el mineral más común de la Tierra. A este tipo de rocas formadas por feldespato se le conoce como rocas feldespáticas. Debido a la descomposición de estas rocas es que se da origen a la formación de arcilla (Rhodes, 1990).

Las arcillas, como materia prima natural, contienen una cantidad de impurezas que pueden clasificarse en dos grandes grupos: los que afectan a toda la masa de arcilla y las de carácter puntual. Entre las primeras, las más habituales, se encuentran las sales solubles (sulfatos, cloruros y carbonatos) y la materia orgánica. Una cantidad importante de sales solubles provoca eflorescencias en el material acabado. La presencia de iones de carácter flocculante, como  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{Ca}^{2+}$  en ciertas cantidades

Hornbostel (2002) define la arcilla como un material natural, terroso, de grano fino que es plástico cuando está húmedo y duro cuando es sometido a procesos de cocción. La arcilla está formada por minerales finamente divididos, principalmente silicatos de aluminio, de estructura cristalizada laminar. La mayor parte de cualquier arcilla está formada por los siguientes materiales arcillosos: el grupo de la caolinita, el grupo de la montmorillonita y la arcilla potásica o ilítas.

La arcilla presenta la siguiente clasificación:

- La arcilla de China o caolín, se usa para papel, hule, refractarios y los grados más finos de alfarería.
- La arcilla de bola, se emplea para alfarería, loseta de cerámica y chapa de cerámica (terracotta) para aumentar la plasticidad.

- La arcilla refractaria, se emplea para materiales refractarios, ladrillo, loseta de cerámica y loseta o teja estructural 11.

- Las arcillas misceláneas, se emplean para ladrillo, loseta de arcilla estructural, chapa de cerámica, loseta de cerámica y cemento.

La arcilla que se dispone para este estudio se caracteriza por ser de color rojo de la formación Guayabo, por presentar mejores características de plasticidad y consistencia, a su vez, la arcilla roja se encuentra en mayor abundancia y su costo es menor.

### ***2.2.3. Minería de arcillas***

La minería se puede definir, es la acción de extraer y dar uso a recursos minerales naturales. Este proceso produce transformaciones en el medio, en esto se encuentran los sistemas geológicos-geoquímicos, de la hidrosfera, atmósfera, litosfera y la biosfera, las actividades mineras siempre representaran un factor de riesgo para el ambiente (Cramer, 2011).

Las arcillas tienen muchos usos en la industria de la cerámica y en la minería son las principales materias primas para la elaboración de los distintos materiales de construcción cerámicos, como los ladrillos cocidos de mampostería, ladrillos de chimenea, de cubiertas, Clinker de alcantarillas, de obras hidrotécnicas, y muchos más tipos de materiales.

### ***2.2.4. Producción del Ladrillo o Bloque***

Los pasos para la producción del ladrillo son los siguientes:

**a) Extracción y Almacenamiento de Materia Prima.** Proceso en el cual se realiza el arranque y recolección de la arcilla luego el transporte de la misma al lugar donde se realiza el beneficio o maduración. Se realiza de manera superficial, a cielo abierto. La arcilla se transporta mediante vehículos de carga hasta la zona de almacenamiento puede estar a la intemperie.

**b) Molienda y Preparado.** La arcilla debe ser sometida a ciertos tratamientos de trituración, homogenización y reposo en acopio, para obtener una adecuada consistencia y uniformidad de las características mecánicas y químicas. La materia prima se lleva a la máquina trituradora primaria para separarla en piezas pequeñas que son molidas en partículas finas por medio de un molino de rodillos.

**c) Mezclado y Moldeo.** Un alimentador de caja coloca una cantidad específica de arcilla molida dentro de la mezcladora; se le añade agua hasta obtener una textura adecuada; en esta etapa, se le da forma a la arcilla puede ser de manera manual o empleando maquinaria, La fabricación mecánica puede ser mediante una máquina que se conoce como galletera de hélice o mediante una prensa de vacío. La galletera de hélice consiste en un cilindro horizontal, dentro del cual gira un eje guarnecido con una hélice que impulsa la pasta y la obliga a salir por una boquilla. Además de ser moldeada en columnas rectangulares largas que en su momento dan la forma del ladrillo, estas son cortadas por alambres muy finos dando la medida.

También se pueden producir ladrillos perforados, a través de un cambio simple en la matriz de la máquina extrusora. El consumo está determinado en la producción, es decir, solo para el funcionamiento de las máquinas.

**d) Secado.** Dentro del proceso de secado hay un proceso conocido como pre-secado, el cual consiste en dejar durante un tiempo el ladrillo recién moldeado en el mismo lugar donde fue hecho para que pierda humedad y sea posible su manipulación. En el proceso de secado se involucran dos fenómenos físicos: Transferencia de calor y Transferencia de masa. La transferencia de calor se da cuando el ladrillo y el ambiente encuentran un equilibrio térmico, del cual dependerá en parte la velocidad de difusión del agua presente en la arcilla. El fenómeno de transferencia de masa se da siempre y cuando exista un gradiente de humedad entre el ambiente

y la arcilla, ya que se produce cuando el vapor de agua se difunde a través de los poros de la matriz arcillosa. El tiempo de secado dependerá de la velocidad de difusión, misma que está en función del tamaño, longitud y forma del poro de la arcilla (Rhodes, 1990).

El secado puede ser natural o artificial. En el primer caso el secado está condicionado a las características climáticas de la región y algunas veces el lugar de secado es colocado sobre los hornos para que de esta manera se pueda recuperar algo de la energía perdida a través de la bóveda del horno.

En el caso de secado artificial, este proceso es acelerado por acondicionamiento del aire. Existen muchos tipos de secadores artificiales pero los más conocidos son los de cámara y los de túnel. Los productos a secar son llevados por medio de pequeñas vagonetas en donde son sometidos a un proceso de secado regulado al contenido de agua de los productos. El aire caliente utilizado para el secado proviene de máquinas especiales que algunas veces aprovechan el calor de los hornos cuando éstos están en proceso de enfriamiento.

e) **Cocción.** La cocción es la etapa de mayor impacto en la elaboración del ladrillo, puesto que deben estar expuestos a temperaturas muy elevadas. El proceso se realiza en hornos tipo colmena a altas temperaturas que garanticen la cocción del ladrillo para elevar su resistencia a roturas.

### ***2.2.5. Nutrientes Tecnológicos***

Son aquellos componentes tecnológicos que son poco aptos para los seres vivos y, por ello, suelen ser abandonados degradando el entorno, contaminando el medio ambiente, ya que carecen de utilidades básicas. Dichos recursos abandonados se deberían diseñar para poder ser ensamblados y reusados un gran número de veces, favoreciendo la reutilización de materiales y el ahorro energético (Sánchez, 2019).



### **2.2.6. Producción de Ceniza de Ladrilleras**

El nutriente tecnológico que se usa para la elaboración de estos bloques será la ceniza sobrante de la cocción del ladrillo en horno.

La recopilación de la materia prima considera el almacenamiento de todos los insumos necesarios en este caso es la ceniza de fondo del horno, es un proceso constante debido a la dificultad que trae almacenarla. Dicha ceniza debe disponerse a limpieza para luego pasar por una mezcladora, ya cuando esa mezcla esta lista se pasa por la prensa para darle forma al bloque.

El área metropolitana de Cúcuta cuenta con un amplio desarrollo del sector cerámico y ladrillero. Del cual se nombran las principales plantas de esta área (Sánchez et al., 2019).

- Tejar de Pescadero.
- Ladrillera Casablanca S.A.S.
- Ladrillera Arcigres Ltda.
- Ladrillera Colbee S.A.S.
- Arcillas del Oriente.
- Tejar San Gerardo Ltda.
- Tejar Santa Rosa Ltda.
- Tejar Santa Teresa.
- Arcillas Castilla.
- Ladrillera Merkagres de Colombia Ltda.
- Tejar Santa María Ltda.
- Ladrillera El Pomar.
- Cerámica Murano.
- Arcillas Zuligres.

- Ladrillera Cúcuta.
- Margres S.A.
- Ladrillera Norsan Ltda.
- Ladrillera Patiño.
- Tejar Cerámica Babilonia.
- Arcillas San Felipe Ltda.
- Ladrillera el Topacio.
- Arcillas del Rosario.
- Cerámica Támesis S.A.
- Ladrillera Sigma Ltda.
- Cerámicas América.
- Cerámica La Española.
- Tejar Los Vados.
- Cerámica Andina Ltda.
- Arcillas los Ángeles Ltda.
- Ladrillera Mejía & Mora Cía. Ltda.
- Chircal el Zafiro.
- Tejar La Esperanza de María.

La cantidad de ceniza que se extrae del proceso de cocción de los ladrillos en el horno tipo colmena es de 15000 Kilos mensuales según la empresa Támesis SA. De Norte de Santander. Según lo anterior se tiene en cuenta que en el área metropolitana de Cúcuta se encuentran 32 empresas dedicadas al sector de ladrilleras, de las cuales aproximadamente extraen 400.000 kg mensuales.

### ***2.2.7. Producción de Residuos en la Explotación de Arcillas***

Para Colombia, la industria ladrillera es fuente significativa de materiales constructivos que al mismo tiempo lleva a generar residuos sólidos de diversas características y naturaleza, que deben ser manejados según la disposición y el uso pertinente que tienen. Dentro de los principales residuos sólidos en la explotación de arcillas y fabricación de ladrillos se encuentran:

a) Residuos de la extracción, los cuales incluyen el suelo vegetal, terrenos de recubrimiento, roca estéril y el mineral de baja ley. Estos residuos generan un gran volumen, por lo cual se requieren grandes escombreras para su disposición. Los minerales de baja ley se acopian en escombreras cercanas al yacimiento para su posterior recuperación (Romero, 2007).

b) Los estériles de mina son materiales que no tienen ningún tipo de valor económico, permiten la explotación del mineral útil, por ejemplo, la capa superficial del suelo, así como las rocas encajantes (Romero, 2007).

### ***2.2.8. Economía Circular***

Es un modelo de economía que plantea sistemas restauradores con el fin de reducir daños ocasionados por residuos que no presentan ninguna utilidad siendo contaminantes ambientales, partiendo de estos residuos son transformados en materia prima o material para crear nuevos productos tecnológicos, con la funcionalidad de generar usos a residuos teniendo un mínimo gasto económico y energético. Es considerado un modelo cíclico ya que buscan recolectar, reducir y reutilizar el residuo con el fin, de que este mantenga el valor, de igual forma ayuda impulsar la innovación y eficiencia empresarial, así como crear un ambiente de sostenibilidad y competitividad del producto. Se concibe como un ciclo de desarrollo positivo continuo que preserva y mejora el capital natural, optimiza los rendimientos de los recursos y minimiza los

riesgos del sistema al gestionar reservas finitas y flujos renovables. (Economía circular: crecimiento inteligente, sostenible e integrador)

### ***2.2.9. Reutilización de Residuos de Ladrilleras***

Esta práctica cada vez más se utiliza alrededor del mundo. En Europa, cuya producción se caracteriza por ser más industrializada y de gran tradición cerámica, cerca del 3-7 % de la producción de la industria cerámica es desechada, debido a esto se generan altos costos de disposición con muy pocas prácticas de uso o aprovechamiento.

En Latinoamérica se han implementado procesos de aprovechamiento orientados a la producción de agregados reciclados, sin embargo, la producción de sobrantes excede la de reutilización. De acuerdo con la guía Minero Ambiental, en el sector minero en Colombia, el manejo de los residuos sólidos es prioritariamente preventivo y de control; se tiene una elevada heterogeneidad de residuos sólidos, propios o no, de la actividad minera, clasificados en reciclables, reutilizables, orgánicos, tóxicos comerciables, tóxicos no comerciables y no clasificados (Ministerio de Minas y Energía - Ministerio del Medio Ambiente, 2005).

Es importante señalar la importancia de la reutilización, así como la investigación, la innovación y el rediseño de procesos siendo fundamentales para la gestión ambiental de industria ladrillera, ayudan a controlar y a reducir costos operacionales en beneficio de la empresa y del medio ambiente. Algunas estrategias de reutilización en la industria minera son la recuperación de las cenizas resultantes de la quema para utilizarlas como componente de las mezclas en la preparación de ladrillos crudos, la utilización de los escombros de ladrillo procedentes de la quema como relleno para mejorar los caminos de acceso a la zona o base para pisos de las viviendas, la reincorporación al proceso de elaboración de arcilla, entre otras estrategias, podrían

ser alternativas viables al reciclaje de residuos y optimización de los procesos (Ministerio de la Producción, 2010).

### 2.3. Marco Conceptual

**Ceniza.** Del latín cinisia, que a su vez se deriva de cinis, el término ceniza se refiere al polvo grisáceo que deja un proceso de combustión, las cenizas están compuestas por óxidos metálicos, sílice y otras sustancias. Puede decirse que las cenizas son el residuo de una combustión. Por lo general una parte de las cenizas queda en la zona como polvo mientras que el resto se esparce en el humo.

**Horno tipo Abovedado (Colmena).** Los hornos tipo abovedado se emplean mayormente en Latinoamérica, Brasil, Colombia y Perú. Son utilizados en la industria ladrillera, en Brasil y Colombia se estima que representan entre el 30% y 40% de los hornos empleados en la industria ladrillera del país, con una tendencia estable de participación, ya que aún se usan este tipo de hornos muy convencionales a comparación de otras tecnologías que se están abarcando.

En general el desempeño del horno colmena con régimen discontinuo (que es por lotes), presenta un rendimiento general aceptable. Proporcionando por su sección circular menores limitaciones a la distribución del calor dentro del horno por no presentar pérdidas por su forma. Por otro lado, la distribución de calor en la sección vertical no es muy homogénea. En cuanto a la temperatura interna del horno en la parte superior esta sube rápidamente mientras que en el suelo la temperatura no llega con la misma intensidad. Así, el porcentaje de productos de primera calidad generalmente es superior a 60%, pero raramente sobrepasa el 80%. Por ser un horno con régimen intermitente, el horno abovedado también toma bastante tiempo para calentarse y enfriar, o sea, tiene gran inercia térmica. Con esto, sumadas las pérdidas de calor por radiación y

convección por las paredes laterales, techo (abovedado) y puertas de alimentación de combustible, el rendimiento energético no es muy elevado. El horno tipo abovedado presenta consumo específico de leña variando entre 0,75 y 1,0 toneladas por millar, que resulta en un consumo específico de energía en el rango de 552 a 884 Kcal/kg (2,31 a 3,7 MJ/kg) y una eficiencia térmica promedio de 38%. (Manual de hornos eficientes en la industria ladrillera Septiembre – 2015)

**Ladrillos.** Los ladrillos son pequeñas piezas cerámicas en forma de paralelepípedo, formadas por tierras arcillosas, moldeadas, comprimidas y sometidas a una cocción. Pueden utilizarse en toda clase de construcciones por ser su forma regular y fácil su manejo (Moreno, 1981). Gallegos (2005) define al ladrillo como el componente básico para la construcción de la albañilería y la construcción.

**Manejo Integral de Residuos.** Es un proceso caracterizado por implementar medidas necesarias en actividades comunes que buscan desarrollar algún tipo de producto con un fin determinado, la cual produce algún residuo que pueda ser o no contaminante. Por ello, se crean medidas de prevención, minimización, separación, almacenamiento y recolección, también aprovechamiento y valoración de las mismas para encontrarle una disposición final, buscando las condiciones más favorables para generar un ambiente de cuidado por la salud humana y la contaminación ambiental. Según el origen sectorial, los residuos pueden ser domiciliarios, hospitalarios, mineros, entre otros.

En la producción minera, en especial la ladrillera, se desarrollan dos tipos de residuos; los no peligrosos como reciclables (papel, plástico, chatarra), ordinarios (residuos de oficinas y zona administrativa) y biodegradables (residuos orgánicos, alimentos), e inertes, aquellos que no

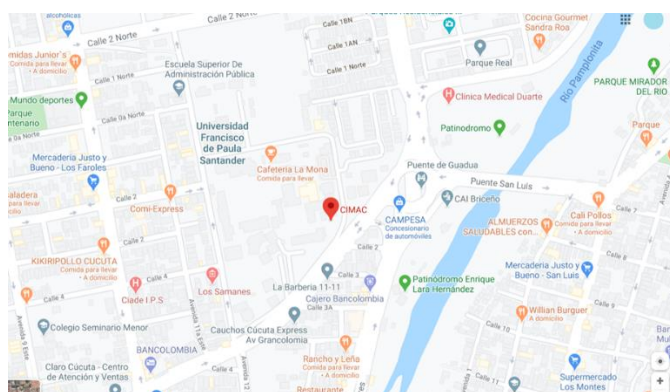
permiten su descomposición, ni su transformación en materia prima y su degradación natural requiere grandes períodos de tiempo. (Durán et al., 2017)

**Materia Prima.** Es todo aquel elemento que se transforma e incorpora en un producto final. Un producto terminado tiene incluido una serie de elementos y subproductos, que mediante un proceso de transformación permitieron la confección del producto final. Es utilizada principalmente en las empresas industriales que son las que fabrican un producto.

**Materia Vegetal.** Es todo material que se extrae de una base natural en el momento que se inicia la excavación. La zona presenta vegetación secundaria (vegetación en recuperación luego de intervención como agricultura y ganadería), en algunos sectores más espesa, caracterizada por árboles y arbustos de bajo porte y matorral, gran parte del terreno se encuentra cubierto por pastos limpios con evidencia de actividad agrícola y pecuaria.

## 2.4. Marco Contextual

El proyecto se desarrolló en la Universidad Francisco de Paula Santander, se ubica en la Avenida Gran Colombia No. 12E-96, Cúcuta, Norte de Santander, en el Centro de Investigación de Materiales Cerámicos CIMAC (Figura 2).



**Figura 2.** Ubicación del Laboratorio CIMAC

*Nota.* Fuente: Tomada de Google Maps, 2021.

**¿Quiénes son?.** El Centro de Investigación de Materiales Cerámicos CIMAC de la Universidad Francisco de Paula Santander UFPS se encarga de centralizar todo tipo de información relacionada con el sector cerámico. Esta información se refiere básicamente a: estudios e investigaciones realizadas por instituciones públicas y privadas a nivel regional, Nacional e Internacional, tesis, Normas Técnicas de calidad Nacionales e Internacionales, revistas científicas, boletines de novedades, recopilación de artículos y catálogos, entre otras.

Cuenta con un Área de Innovación y Desarrollo Tecnológico, en la cual se realizan los ensayos 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.

**Misión.** El laboratorio de ensayos del Centro de Investigación de Materiales Cerámicos CIMAC de la Universidad Francisco de Paula Santander, ofrece asistencia técnica empresarial, acompañamiento en la ejecución de proyectos, análisis integral de las etapas de fabricación de productos a nivel experimental y de campo, servicios de transferencia científica, tecnológica y muestreo de emisiones atmosféricas generadas por fuentes fijas, dirigido al sector cerámico.

Cuenta con un equipo interdisciplinario de Profesionales altamente capacitados, con amplia experiencia y comprometidos con su labor, que hacen uso eficiente de los recursos, herramientas, instrumentos y equipos de medición, análisis y comparación de última tecnología, para lograr la consecución de los objetivos propuestos y alcanzar los resultados esperados por el clientes, ciñendo siempre sus acciones y actividades a los requerimientos y exigencias de las normas técnicas y de calidad.



**Visión.** Para el año 2025, el laboratorio de ensayos del Centro de Investigaciones de Materiales Cerámicos CIMAC de la Universidad Francisco de Paula Santander, se consolidará como una institución rentable, reconocida, acreditada y certificada; Líder en Latinoamérica en investigación, generación de nuevos conocimientos, avances en innovación de productos, prestación de servicios de toma de muestras de emisiones atmosféricas generadas por fuentes fijas, realización de ensayo de productos terminados y desarrollo de actividades conducentes al fortalecimiento productivo y competitivo del sector cerámico. Que continuará integrando e implementando de forma armónica en sus procesos tecnología de punta acorde a las necesidades de producción y de servicios, lo que le permitirá responder efectivamente a las necesidades, tendencias y exigencias de los actores generadores del conocimiento, riqueza y bienestar en general.

La población que hace parte del proyecto, se encuentran las ladrilleras y tejares del municipio de Cúcuta, que quieran aprovechar los residuos de ceniza de las ladrilleras.

## **2.5. Marco Legal**

La certificación alcanzada por el laboratorio del Centro de Investigación de Materiales Cerámicos CIMAC, el 17 de julio del 2015, para su sistema de gestión de calidad, contempla la prestación de servicios de ensayos técnicos a materiales cerámicos, realizados dentro de sus instalaciones físicas permanentes, conforme a los criterios establecidos en la norma NTC-ISO 9001:2008.

**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 bloquelones. 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 Ceniza de Ladrilleras 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**

### ***3.2.1. Población***

La población a tener en cuenta para la realización del proyecto, involucra a la principal materia prima para la fabricación del bloque, que es la arcilla de la formación Guayabo de Norte de Santander, de la misma forma se toma como población veinte empresas del área metropolitana de Cúcuta que trabajan con arcilla y producen bloque.

### ***3.2.2. Muestra***

La muestra para esta investigación se eligió 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. Y la muestra que se toma para desarrollar esta investigación es la ceniza de los hornos de la ladrillera tomada del proceso productivo de ladrillera Casa Blanca S.A y el tamaño de la muestra se seleccionará a convenir según la empresa Támesis S.A.

### **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.

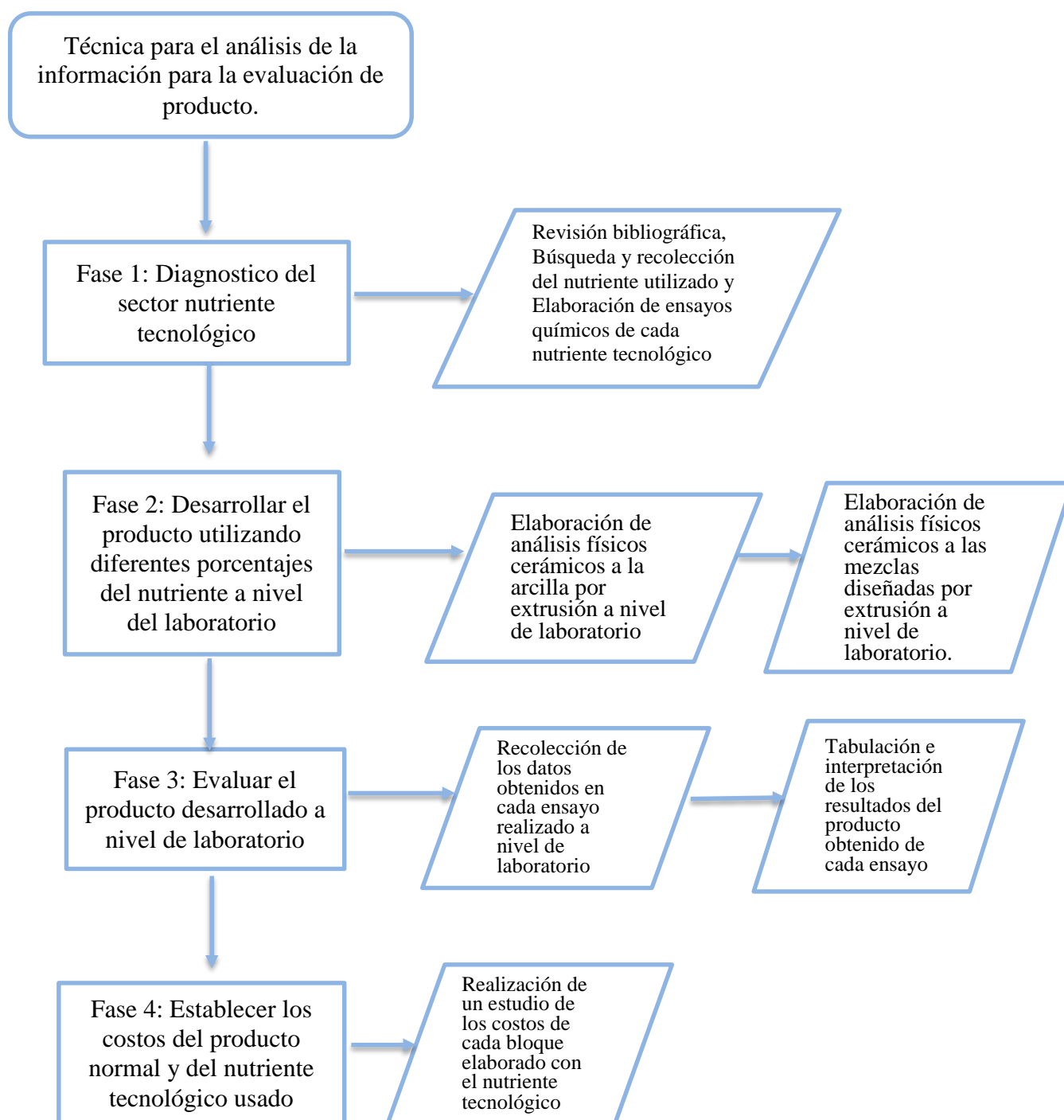
#### ***3.3.2. Fuentes Secundarias***

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 arrojados por el laboratorio de la caracterización físico cerámica de las diferentes formulaciones, serán 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 3.** Diagrama de Actividades Específicas del Proyecto

## 4. Metodología

Para este proyecto se llevó a cabo la investigación 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 es ceniza de ladrillera. 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 km<sup>2</sup>,



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 aluminicos 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

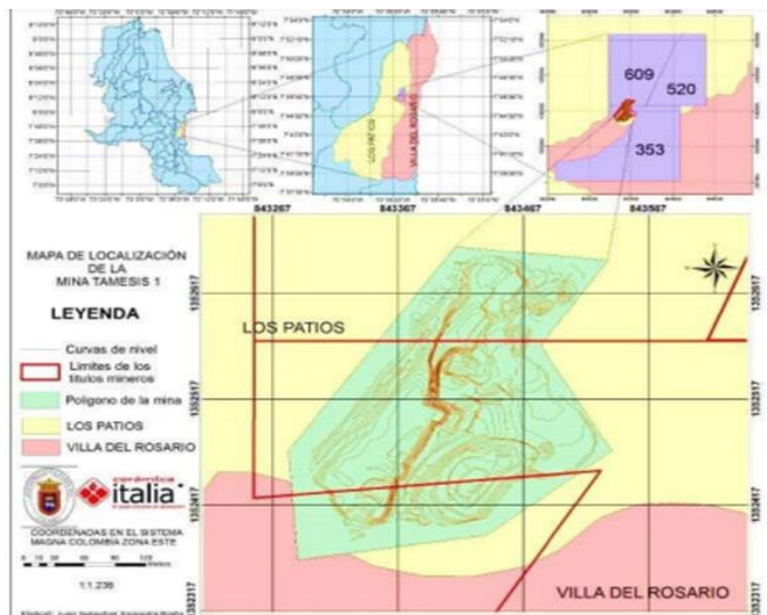
secadas o sometidas a tratamientos térmicos a alta temperatura (Alonso, 1961; Bernal et al., 2003; Diaz & Torrecillas, 2002; De Pablo, 1964).

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:  $(\text{MgFe}, \text{Al})_3(\text{Al},\text{Si})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

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 4.** Mapa de Localización de la Mina Támesis

*Nota.* Fuente: Corponor, 2011.



**Figura 5.** 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).

En la siguiente tabla se muestra la composición mineralógica del material arcilloso y el porcentaje que tienen cada mineral.

**Tabla 1**

*Composición Estructural del Material Arcilloso*

Fase	No. Tarjeta PDF-2	Nombre	Cuantitativo (% peso)	
Cristalino	SiO <sub>2</sub>	000-85-0796	Cuarzo	34.8
	KAl <sub>3</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	000-84-1302	Moscovita	11.7
	TiO <sub>2</sub>	000-71-1166	Anatasa	0.8
	Al <sub>2</sub> (Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )(OH) <sub>4</sub>	000-89-6538	Caolinita	23.2
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	000-85-0599	Hematita	0.9
	K(AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )	000-87-1787	Microclina	1.8
	Na(AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )	000-89-6424	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.

El conocimiento de la composición química de las arcillas es vital en la evaluación del uso específico que se le dará a esta, sin embargo, esta información debe ser usada conjuntamente con las propiedades físicas para una visión completa. Toda la arcilla está compuesta, principalmente de arcilla pura que es el aglutinante de la mezcla que constituye el ladrillo. La muestra de arcilla utilizada para los ensayos está compuesta a su vez de un 59,67% de sílice, un 21,72% de alúmina y un 14% de agua. Para conocer la composición química de la muestra de arcilla se realizó un ensayo de fluorescencia de rayos x (XRF, siglas en inglés), que consiste en emitir rayos x secundarios (o fluorescentes) característicos de un material que ha sido excitado al ser bombardeado con rayos x de alta energía o rayos gamma (Beckhoff, 2006).

Al exponer un material a rayos X de longitudes de onda cortas o a rayos gamma, pueden ionizarse los átomos que constituyen el material. La ionización consiste en eyección de uno o más electrones desde el átomo. Puede ocurrir si a este se le expone a radiación cuya energía exceda la del potencial de ionización (Bertin, 1970).

Tanto los rayos X como los gamma pueden ser suficientemente energéticos para desprender electrones fuertemente ligados en los orbitales internos del átomo. Tal remoción electrónica deja en condición inestable a la estructura electrónica del átomo, y los electrones de orbitales más elevados «caen» hacia el orbital más bajo, que luego ocupan los huecos de los electrones internos desprendidos (Buhrke, 1998).

Este fenómeno es muy utilizado para análisis elemental y análisis químico, particularmente en la investigación de metales, vidrios, cerámicos y materiales de construcción, así como en la de geoquímica, ciencia forense y arqueología. El porcentaje de los distintos elementos encontrados en la muestra de arcilla tomada de la mina expresados en forma de óxidos se presentan en la Tabla 2.

**Tabla 2.**

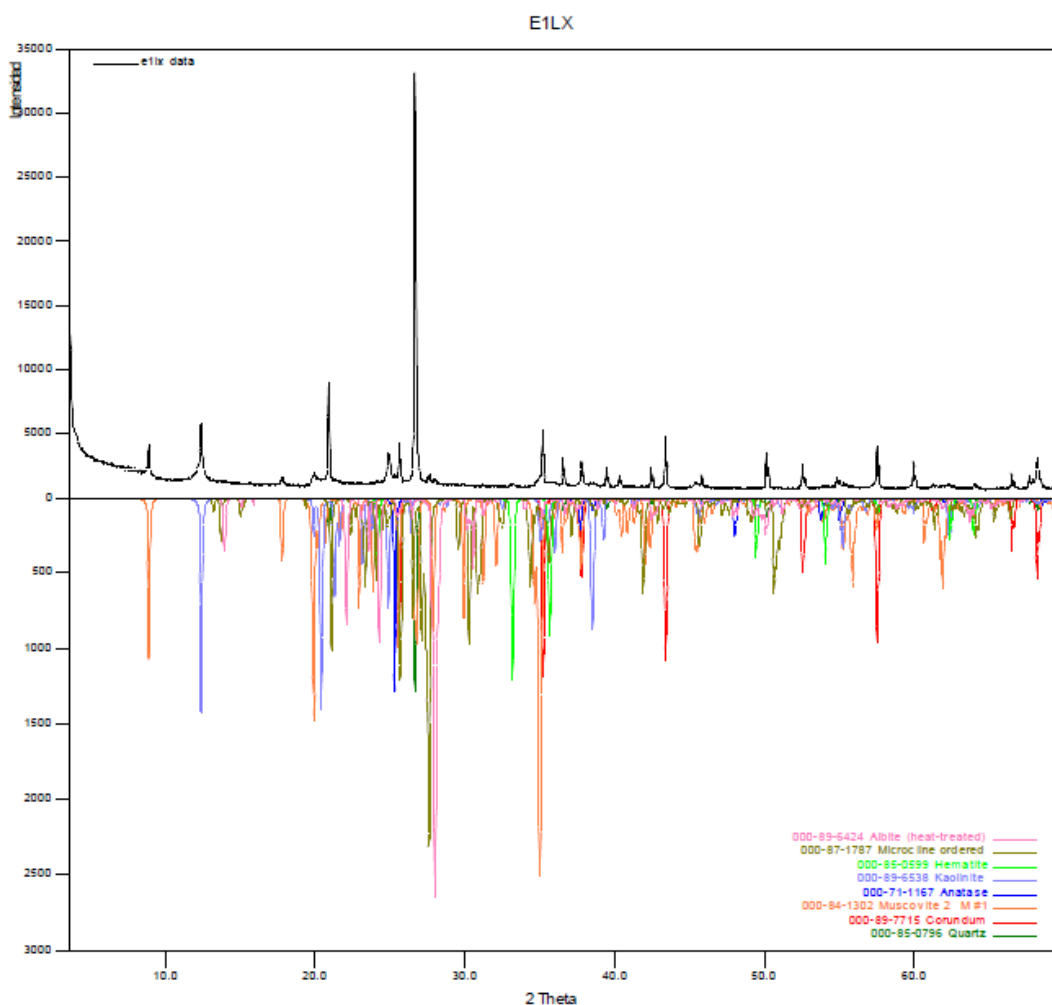
*Resultados Obtenidos por Fluorescencia de Rayos-X de la Muestra Identificada*

Elemento	Nombre	Número atómico (Z)	Concentración	Óxido	Concentración
Si	Silicio	14	27,89%	SiO <sub>2</sub>	59,67%
Al	Aluminio	13	11,50%	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21,72%
Fe	Hierro	26	3,70%	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,29%
K	Potasio	19	1,64%	K <sub>2</sub> O	1,98%
Ti	Titanio	22	0,57%	TiO <sub>2</sub>	0,95%
Mg	Magnesio	12	0,41%	MgO	0,67%
Ca	Calcio	20	0,27%	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,57%
Na	Sodio	11	0,26%	CaO	0,38%
P	Fósforo	15	0,25%	Na <sub>2</sub> O	0,35%
Ba	Bario	56	0,05%	BaO	0,06%
Zr	Circonio	40	0,03%	SO <sub>3</sub>	0,04%
V	Vanadio	23	0,02%	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,04%
Mn	Manganeso	25	0,02%	ZrO <sub>2</sub>	0,03%
S	Azufre	16	0,02%	MnO	0,03%
Zn	Zinc	30	0,01%	ZnO	0,02%
Cl	Cloro	17	0,01%	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,01%
Sr	Estroncio	38	0,01%	CuO	0,01%
Cu	Cobre	29	0,01%	SrO	0,01%
Cr	Cromo	24	0,01%	Cl	0,01%
Rb	Rubidio	37	0,01%	Rb <sub>2</sub> O	0,01%
---				<sup>a</sup> L.O.I	8,12%
<i>Elementos minoritarios</i>					
Elemento	Nombre	Número atómico (Z)	Concentración	Óxido	Concentración
Ni	Níquel	28	41 mg/Kg	NiO	52 mg/Kg
Pb	Plomo	82	25 mg/Kg	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	30 mg/Kg
Y	Itrio	39	23 mg/Kg	Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	29 mg/Kg
Ga	Galio	31	22 mg/Kg	PbO	26 mg/Kg
Nb	Niobio	41	16 mg/Kg	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	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.

<sup>a</sup>L.O.I: *Los son ignition (Pérdida por Ignición)*

Por otra parte, la radiación fluorescente se puede clasificar mediante análisis de las energías de los fotones (análisis dispersivo de energía) o por separación de las longitudes de onda de la radiación (análisis dispersivo de longitud de onda) (Jenkins, 1999). En la Figura 6 se muestra la forma típica de las agudas líneas espectrales fluorescentes obtenidas mediante el método dispersivo de energía para el espécimen seleccionado de la muestra.



**Figura 6.** Análisis Comparativo por Difracción de Rayos-X de las Fases Identificadas en el Especimen 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, Ecoe Ediciones Limitada.

#### ***4.1.4. Cenizas de Ladrillera***

Esta ceniza es también llamada escoria o ceniza de hogar, son aquellas que caen por gravedad al fondo durante el proceso de combustión, se diferencian de las cenizas volantes por el tamaño de las partículas. Son características del proceso de cocción en hornos convencionales u hornos invertidos, este último nombrado es uno de los hornos más contaminantes, a pesar de ello son muy usados en Norte de Santander y en general en la zona de la cordillera Oriental (en el país existen más de 625 hornos de llama invertida), y se observa que cumplir con las normas ambientales en estos casos resulta muy costoso debido a los procesos y equipos adicionales que hay que utilizar para controlar el proceso de combustión de forma adecuada. (Sánchez Molina Jorge)

#### ***4.1.5. Inquemados de Carbón***

Debido a la combustión del carbón generalmente en los hornos colmena los característicos para el proceso de cocción de arcilla los cuales generan grandes cantidades de ceniza como residuo, estas cenizas contienen carbón sin quemar que comúnmente se denomina inquemado. Este tiene un tamaño de partícula mayor que el material mineral y, por lo tanto, se puede separar en un porcentaje considerable para su uso como combustible o como precursor para la producción de carbón activado, y para la utilización del material mineral en la industria de la construcción ya que se le ha retirado la materia orgánica que imposibilita su uso (Velásquez et al., 2007).

La disposición final de estos desechos resulta siendo un grave problema medioambiental para la industria cerámica de la región. Bartoñová (2015) expone que, si bien los niveles de inquemados de carbón en las cenizas son muy variado, se puede establecer que será por lo menos



del 1%. Otros autores exponen contenidos entre 1-12% (Mehment & Kizgut, 2016), el 23% (Senneca, 2008) e incluso hasta el 50% (Velásquez et al., 2007).

Según el libro de Jorge Sánchez, Aplicaciones de los nutrientes tecnológicos en la industria cerámica del área metropolitana de Cúcuta, se dice que:

Para separar los inquemados del carbón de las cenizas volantes se puede realizar por procedimientos en húmedo (como separación por densidad, flotación de la espuma y de aglomeración de aceite) o en seco (como tamizado, fluidización incipiente y separaciones triboelectrostáticas). Estos últimos no representan ningún riesgo en cuanto se trata de contaminación de la muestra, contrario a las técnicas en húmedo (Bartoňová, 2015).

En la literatura se evidencia que uno de los métodos utilizados para trabajar con inquemados supone la separación de estos por tamizado de las cenizas en diversas mallas. A cada retenido se le realiza un análisis próximo para determinar la cantidad de inquemados en cada uno, y con ello se identifica la malla que retiene la mayor cantidad de partículas inquemadas, la cual es usada para separar la muestra total. De este modo se obtienen buenos porcentajes de recuperación (Velásquez et al., 2007).

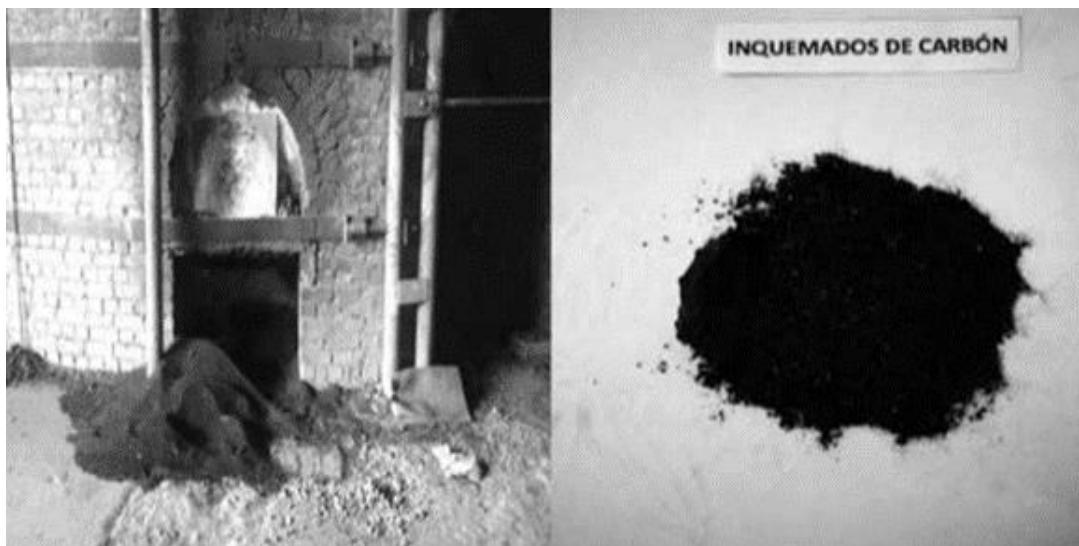
Las partículas de inquemados están compuestas por porciones variables de materiales inorgánicos (principalmente minerales de cuarzo, anhidrita, caolinita, mica, calcita, óxido de calcio, magnetita, hematita y anatasa) y componentes orgánicos (Kisella et al., 2016).

#### ***4.1.6. Inquemados del Proceso de Cocción en Horno Colmena en la Industria Cerámica Regional***

Las características del proceso de combustión en el horno colmena en la industria cerámica regional (alimentación manual y tamaño de grano del carbón mineral usado), así como

el hecho de ser un proceso de producción por lotes, permiten la generación de un residuo rico en cenizas y carbón aún sin reaccionar, el cual por lo general va a parar a los vertederos.

A continuación se muestra el aspecto del material usado en este trabajo, el cual fue adquirido de una empresa ladrillera del sector, vía al municipio de El Zulia (Sánchez et al., 2018).

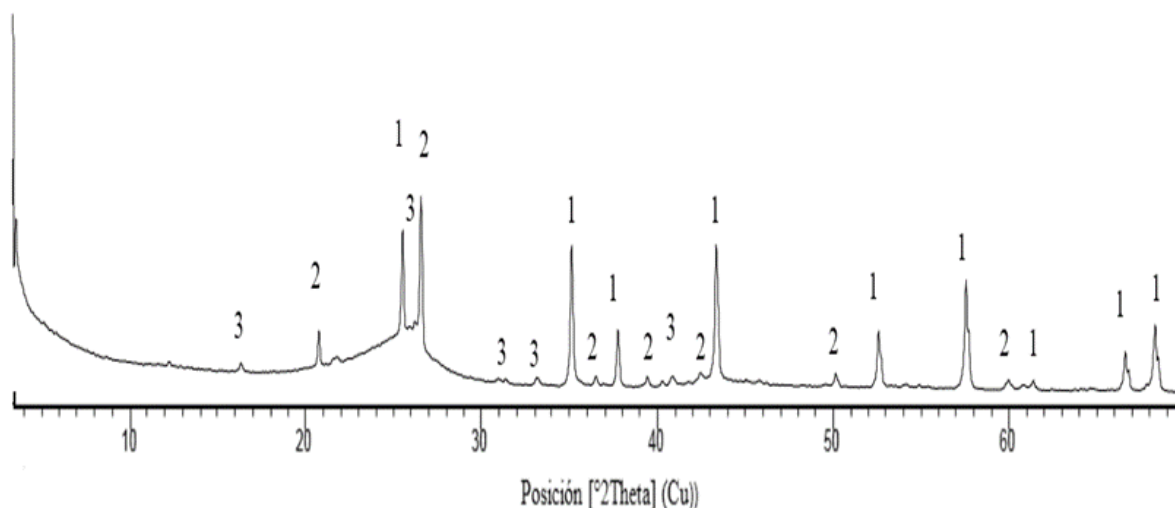


**Figura 7.** Aspecto Macroscópico de los Inquemados del Horno Colmena

Se muestra la composición microestructura de los quemados de carbón, tomado por la tesis Doctoral de Jorge Sánchez Molina. Aplicaciones de los nutrientes tecnológicos en la industria cerámica de Cúcuta.

#### ***4.1.7. Caracterización Estructural***

Se muestran a continuación los resultados obtenidos por la investigación (Sánchez Jorge).



**Figura 8.** Patrón de Difracción de Rayos X de los Inquemados de Carbón

*Nota.* La enumeración representa 1: Corindón, 2: Cuarzo y 3: Mullita. 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 3.**

*Composición Estructural de los Inquemados de Carbón en Horno Colmena*

Fase	NO. Tarjeta PDF-2	Nombre	Cuantitativo (en % peso)	
Cristalino	SiO <sub>2</sub>	010-75-8321	Cuarzo	4,8
	Al <sub>4</sub> .52	010-79-1547	Mullita	3,3
	Si <sub>1</sub> .48			
	O <sub>9</sub> .74			
Total cristalino			8,1	
Amorfos y otros			91,9	

*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

Los resultados de fluorescencia de rayos X son presentados en la tabla 4.

**Tabla 4***Composición Química de los Inquemados del Carbón*

Elemento	Nombre	Número atómico (Z)	Concentración (peso)	Óxido	Concentración (% peso)
Si	Silicio	14	5,77	SiO <sub>2</sub>	12,34
Al	Aluminio	13	4,73	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,94
Fe	Hierro	26	0,62	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,89
K	Potasio	19	0,08	K <sub>2</sub> O	0,1
Ca	Calcio	20	0,24	CaO	0,33
Ti	Titanio	22	0,12	TiO <sub>2</sub>	0,2
Mg	Magnesio	12	0,12	MgO	0,29
Na	Sodio	11	0,06	Na <sub>2</sub> O	0,09
S	Azufre	16	0,12	SO <sub>3</sub>	0,77
Ba	Bario	56	0,02	BaO	0,02
		---		<sup>a</sup> L.O.I	76,01

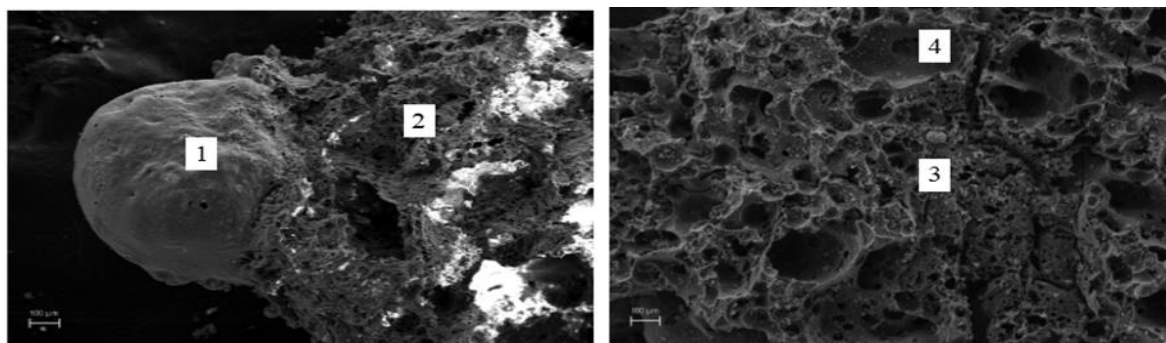
*Nota.* Fuente: *Aplicaciones de los nutrientes tecnológicos en la industria cerámica del área metropolitana de Cúcuta*, por J. Sánchez et al., 2018, Ecoe Ediciones Limitada.

<sup>a</sup>L.O.I: *Los son ignition (Pérdida por Ignición)*

Se puede concluir que solo 23,97% del peso de los quemados de carbón corresponde a fase inorgánica. El valor restante está asociado a la materia orgánica presente en el material. El silicio y el aluminio son los elementos más representativos de la fracción inorgánica, estando en concordancia con la tendencia del análisis de fases cristalinas establecidas por refinamiento.

### **Caracterización Microestructura**

Las principales características morfológicas de los quemados procedentes de Hornos colmena son presentadas en la Figura 9.



**Figura 9.** Microfotografías (MEB) de los Inquemados procedentes del Horno Colmena

Las anteriores imágenes son de los quemados de carbón, de estas no se observan granos separados. Se puede asociar a el tipo de elementos presentes en el material y al proceso combustión usado en el horno colmena. Se puede apreciar que hay dos regiones, las cuales se diferencian por la mayor o menor presencia de porosidad. La región menos porosa parece tener un aspecto redondeado con posiblemente presencia de fase vítrea. La otra región es bastante porosa, con diámetros de poro entre 20 y 200 micrómetros, posiblemente originados por la salida de gases del interior del carbón durante el proceso de combustión. Para este material se realizaron medidas de microanálisis químico en cuatro regiones, como se aprecia en la Tabla 5.

**Tabla 5**

*Microquímica de algunas Partículas presentes en los Inquemados del Carbón (% atómico)*

<b>Elemento</b>	<b>Sitio 1</b>	<b>Sitio 2</b>	<b>Sitio 3</b>	<b>Sitio 4</b>
O	68.83	70.42	71.26	74.56
Na	0.37	0.22	---	---
Mg	0.42	0.19	---	---
Al	9.58	10.84	8.71	7.48
Si	16.14	16.12	12.54	8.93
S	---	---	1.70	2.83
K	0.85	0.98	0.41	---
Ca	0.17	0.12	1.26	1.83
Ti	0.33	0.66	0.49	---
Fe	3.30	0.44	3.64	4.36

Sobre la microquímica de este material se puede concluir:

- Es un material rico en oxígeno, silicio y aluminio.
- La región porosa se caracteriza por la presencia de azufre y por la escasa presencia de sodio y magnesio.
- La región menos porosa (sitio 1 y sitio 6) aparentemente presenta más concentración de hierro.

#### **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 10)

Inicialmente las mezclas conformadas fueron sometidas al proceso de reducción de tamaño de partícula, se trituraron con el apisonador de arcilla (Figura 11), seguidamente se molturaron por vía seca en el molino de martillos (Figura 12), y finalmente el material molido se le realizó un proceso de tamizado utilizando el tamiz malla 10 (Figura 13), 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 Ceniza de ladrillera. 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 14) 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 15) 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 10.** Extrusora de Laboratorio con Vacío



**Figura 11.** Apisonador de la Arcilla  
(Trituración)



**Figura 12.** Molino de Martillos (Molienda  
Vía Seca)



**Figura 13.** Tamiz Malla 10 (Tamizado)



**Figura 14.** Estufa de 128 litros





**Figura 15.** 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 10)**

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

##### **• Estufa de secado (Figura 14)**

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 (Figura 16)**

Mide los largos, anchos y espesores de cada bloque.



**Figura 16.** 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 16), y pesar con balanza digital (Figura 17), 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 enfrían 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 14)

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 17.** 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 18.** Tanque para realizar Absorción de Agua por el Método de Inmersión

- **Termohigrómetro**

Registrador de datos de temperatura (°C) y humedad relativa (%) de Extech.



**Figura 19.** 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 °C  $\pm$  8 °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 °C y 30 °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 16)**

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 20.** 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**

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 <sup>2</sup> )		Absorción de agua máxima en %			
			Interior *		Exterior	
	Prom 5 U	Unid	Prom 5 U	Unid	Prom 5 U	Unid
PH <sup>a</sup>	5,0 (50)	3,5 (35)	13	16	13,5	14
PV <sup>b</sup>	18,0 (180)	15,0 (150)	13	16	13,5	14
M <sup>c</sup>	20,0 (200)	25,0 (150)	13	16	13,5	14

*Nota.* Fuente: NTC 4017.

<sup>a</sup>PH = unidad de mampostería de perforación horizontal (ladrillo y bloque)

<sup>b</sup>PV = unidad de mampostería de perforación vertical (ladrillo y bloque)

<sup>c</sup>M = 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 <sup>2</sup> )		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.

<sup>a</sup>PH = unidad de mampostería de perforación horizontal (ladrillo y bloque)

<sup>b</sup>PV = unidad de mampostería de perforación vertical (ladrillo y bloque)

<sup>c</sup>M = unidad de mampostería maciza (ladrillo)

## 5. Desarrollo de los Objetivos

### 5.1. Diagnóstico del Sector del Nutriente Tecnológico

El nutriente tecnológico que se usa en esta investigación es la ceniza de ladrillera. Este nutriente se caracteriza por ser un residuo procedente de la quema del ladrillo en horno.

La ceniza es el material mineral no combustible, cuya proporción depende del tipo de explotación que se haga en la mina (Sánchez J, Hornos ladrilleros a carbón pág. 25), para esta investigación se trabaja con la mina Támesis S.A, de la cual se extrae mensualmente 15.000 Kg de ceniza. Continuando con el sector trabajado, se determinan que el área metropolitana de Cúcuta cuenta con un aproximado de treinta empresas procedentes de la industria cerámica las cuales producen bloque y mampostería en arcilla. Y de manera general el departamento de norte de Santander está constituido por 87 empresas que trabajan en el sector ladrillero.

Para continuar con el diagnóstico del sector de la ceniza de ladrillera, la información es tomada por el inventario nacional ladrillero del 2015, un documento desarrollado por la corporación Ambiental Empresarial CAEM, del cual se tiene:

**Caracterización Regional del Sector Ladrillero de Colombia.** Teniendo en cuenta la información recolectada por CAEM, respecto a la producción del sector ladrillero colombiano de la arcilla cocida, establecieron % de participación según los departamentos que trabajan con este sector, observando que los departamentos de Cundinamarca tienen el (22,69%), Antioquia el (14,9%), Norte de Santander con (13,92%), Cauca con el (10,83%) y Valle del Cauca con (10,19%).

Resaltando que Norte de Santander ocupa la tercera posición de los departamentos con mayor producción a base de la cocción de arcilla.

**Tabla 8**

*Porcentaje de Participación en la Producción Nacional por Departamento de Arcilla Cocida*

Posición Respecto al Total Nacional	Departamento	% Participación en la Producción Nacional de Arcilla Cocida
1	Cundinamarca	22.69
2	Antioquia	14.90
3	Norte de Santander	13.92
4	Cauca	10.83
5	Valle del Cauca	10.19
6	Huila	7.20
7	Cesar	4.41
8	Boyacá	3.80
9	Atlántico	2.90
10	Nariño (Zona de Jongovito-Pasto)	1.61
11	Santander	1.52
12	Caldas	1.17
13	Guajira	0.80
14	Tolima	0.56
15	Sucre	0.51

*Nota.* Fuente: Inventario nacional del sector ladrillero colombiano (2015).

Continuando con la información recolectada por la CAEM, Norte de Santander en el 2015 cuentan con 87 empresas constituidas en el sector ladrillero, las cuales trabajan con 328 hornos y la cantidad de arcilla cocida en el departamento es de 1.768.205 Ton/año, según esto el promedio de arcilla cocida por número de hornos en el departamento es de 5.391 Ton/año.

Al analizar los resultados obtenidos por CAEM; se tienen las siguientes tablas donde se exponen la cantidad de hornos según su tipo y de igual forma la producción de estos mismos.

**Tabla 9***Distribución según tipo de Horno por Departamentos*

Departamento	Número de hornos												
	Fuego dormido	Pampa	Arabe	Colmena	Baúl	Cámaras Continuas	Hoftman	Rodillos	Semi Continuo	Túnel	Vagón	Varios	ZIGZAG
Antioquia		2				3	3			13	10	12	
Atlántico				3			5			3			
Boyacá	381			45			3			2		10	
Caldas		1		5			3			2			
Cauca		39								13			1
Cesar		144		30			22						
Cundinamarca	241		2	110	10		43		11	25	1		7
Guajira		245											
Huila		185		4	2	2	2						
Nariño		149											
Norte de Santander				281				7		2		38	
Santander		2					11			2			
Sucre		1								1			
Tolima		14											
Valle del Cauca		273			2		5			1	1		
Total	622	1055	2	478	14	5	97	7	11	64	12	60	8

*Nota. Fuente: Inventario nacional del sector ladrillero colombiano (2015).*

**Tabla 10***Distribución de la Producción según Tipo de Horno por Departamentos*

Departamento	Arcilla Cocida Anual (Ton/año)												
	Fuego dormido	Pampa	Árabe	Colmena	Baúl	Cámaras Continuas	Hoftman	Rodillos	Semi Continuo	Túnel	Vagón	Varios	ZIGZAG
Antioquia		8176				25337	328320			622160	149388	618134	
Atlántico				29102			106177			232639			
Boyacá	185718			142536			66000			42336		46080	
Caldas		2484		27600			42725			76080			
Cauca		41527								1302221			31482
Cesar		372074		42000			146400						
Cundinamarca	346848		4380	440844	28684		946051		103716	1123334	14040		154776
Guajira		90896											
Huila		837444		5875	1652	31867	37944						
Nariño		204078											
Norte de Santander				1468549				85854		34560		179243	
Santander		5940					95853			90965			
Sucre		1638								63037			
Tolima		71346											
Valle del Cauca		1028281			5760		167670			69120	24000		
Total Nacional	532566	2663884	4380	2156506	36096	57204	1937140	85854	103716	3656453	187428	843457	186258

*Nota. Fuente: Inventario nacional del sector ladrillero colombiano (2015).*

De lo anterior se concluye que en norte de Santander trabajan con horno tipo colmena del que se produce 1.468.549 Ton/año de arcilla cocida, horno rodillos que produce 85.854 Ton/año, horno túnel que produce 34.560 Ton/año y varios 179.243 Ton/mes.

Respecto al nutriente trabajado que es la ceniza, Si se tienen en cuenta las empresas más significativas del sector quienes usan hornos convencionales para su proceso de producción, se calcula un aproximado de 400.000 kg/mes de ceniza de la quema de ladrilleras solo en el área metropolitana de Cúcuta. Esta ceniza es procedente de la quema de ladrillo en hornos donde su principal combustible es el carbón, tomando en cuenta lo anterior y según la información recolectada por CAEM se tiene:

**Tabla 11**

*Consolidados de Índices por Departamentos*

Departamento	Toneladas anuales de combustible (Ton/año)	Índice de consumo (kg combustible/ton arcilla)	Energía generada (GJ/año)	Energía generada (Tcal/año)
Antioquia	96519	87.3	2527396	605
Atlántico	16453	44.7	473359	113
Boyacá	33738	126.6	937005	224
Caldas	12676	138.2	338458	81
Cauca	75999	293.6	2105340	504
Cesar	78180	209	1893409	453
Cundinamarca	224713	116	7932351	1899
Guajira	54108	1827.1	1232589	295
Huila	39254	137	1223558	293
Nariño (Zona de Jongovito-Pasto)	15676	103.2	304299	73
Norte de Santander	228007	135.9	7313559	1750
Santander	12316	126.2	309164	74
Sucre	1980	1208.8	45104	11
Tolima	11547	161.8	206685	49
Valle del Cauca	165783	258.1	3743298	896
Total Nacional	1067220	226.7	30585574	7321

*Nota. Fuente: Inventario nacional del sector ladrillero colombiano (2015).*

**Tabla 12***Distribución según el Tipo de Combustible por Departamento*

Departamento	Consumo de Combustible Ton/año				
	Aserrín	Biomasa	Cisco de Café	Carbón	Gas Natural
Antioquia			62832	1829479	
Atlántico				367918	
Boyacá				482670	
Caldas			2484	146405	
Cauca		33887	5705	1335638	
Cesar		305492		254982	
Cundinamarca				2941261	322212
Guajira		102236			
Huila		10453	630906	273424	
Nariño (Zona de Jongovito-Pasto)	59010	139104	5964		
Norte de Santander				1768205	
Santander				192758	
Sucre		1638			63037
Tolima			71346		
Valle del Cauca		826680	199897	227064	
Total Nacional	59010	1419490	979133	9819804	385249

*Nota.* Fuente: *Inventario nacional del sector ladrillero colombiano (2015).*

Según lo anterior es evidente que el mayor tipo de combustible utilizado por las empresas es el carbón, el cual es altamente contaminante por lo que se cree la necesidad de implementar estrategias para mitigar la emisión del CO<sub>2</sub> y contaminantes climáticos. De todo este proceso se recoge la ceniza de la cocción de la arcilla.

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

Se desarrollan mezclas a base de arcilla y el nutriente tecnológico a emplear el cual es la ceniza de ladrillera, de estos dos materiales se usa a un porcentaje respectivo del cual se trabaja

100% de arcilla y 2,5%, 5%, 7,5% de ceniza de ladrillera, este anterior material es el remplazo de la arcilla en la mezcla, de las cuales son empleadas para la elaboración del bloque H-10. Para esta investigación se realizan los siguientes ensayos a nivel de laboratorio, teniendo en cuenta la norma NTC 4017:

- Contracción (seco y cocido).
- Perdidas de masa cocida.
- Pesos (húmedo, seco y cocido).
- Absorción de Agua

Esta investigación se desarrolla el laboratorio del Centro de Investigación de Materiales Cerámicos CIMAC de la Universidad Francisco de Paula Santander.

Estos laboratorios siguen los parámetros de la Norma NTC 4017 del instituto técnico colombiano de normas técnicas y certificación (ICONTEC), de la cual se extrae los procedimientos de los ensayos y muestreos para los bloques de arcilla cocida.

### ***5.2.1. Muestreo***

Los especímenes de ensayo deben ser seleccionados para que estos sean los más representativos del lote entero de las unidades que se toman, la variedad, el color, textura y tamaños.

Para la elección de los especímenes en ladrillos y bloques para muros en mampostería se deben escoger de forma aleatoria, no puede haber lotes mayores a los máximos establecidos en la norma, ni cantidades de muestras inferiores a las mínimas establecidas en las normas de origen de cada producto, cuando existan (NTC 4017).



Para este caso se tomaron tres lotes independientes de cada muestra del material trabajado. En la Tabla 13 se indica el número de especímenes que se deben tomar para realizar los ensayos de calidad.

**Tabla 13**

*Plan de Muestreo para Ensayos de Laboratorio de Ladrillos y Bloques no Estructurales*

Producto	Ensayos	Número de especímenes	Norma de referencia
Ladrillos y bloques no estructurales	Resistencia a la compresión	6b	NTC4205-2
	Absorción de agua	5	
	Tasa inicial de absorción	5	
	Tolerancia Dimensional	10	
	Alabeo	10	

### **5.2.2. Procedimiento de Ensayos de Laboratorio realizados a las Muestras de Arcilla**

Para elaborar este proyecto se tienen en cuenta los métodos internos de los laboratorios del CIMAC, algunos de los ensayos considerados claves para poder establecer el comportamiento de las propiedades físico-mecánicas fueron realizados siguiendo métodos como se observa a continuación:

#### **5.2.2.1. Contracción en Cocido.** Aparatos, equipos, reactivos e insumos utilizados:

- Calibrador pie de rey (+/- 0,01 mm)
- Estufa de secado ( $\pm 5$  °C)
- Recipiente
- Horno Mufla
- Pinzas
- Guantes Industriales

**Procedimiento.** Los bloques a nivel de laboratorio se secan completamente en una estufa a 110 °C, una vez secos, se mide longitud de cada uno y se registra este valor (LS), continuando

con el proceso, se someten al ciclo de cocción correspondiente y finalmente, se vuelve a medir la longitud de las probetas y se registra este valor (LC), la contracción se calculó a partir de la ecuación 1.

$$\%CC = \frac{LS-LC}{LS} * 100 \quad (1)$$

Donde:

% CC= Porcentaje de Contracción cocida

LS= Longitud del bloque seco (mm)

LC= Longitud del bloque cocido (mm)

#### 5.2.2.2. **Perdidas de Masa Cocida.** Aparatos, equipos, reactivos e insumos utilizados

-Balanza de precisión ( $\pm 0,001$  g)

-Estufa de secado ( $\pm 5$  °C)

-Guantes industriales

-Pinzas

-Recipientes

-Horno Mufla

**Procedimiento.** Se realiza el registro del valor de la magnitud pesando los bloques a nivel de laboratorio (masa en cocido, MC), realizando el siguiente cálculo para determinar el porcentaje de pérdida de masa.

Las pérdidas por calcinación se calculan a partir de la ecuación 2.

$$PMC = \frac{ms-mc}{ms} * 100 \quad (2)$$

Donde:

PMC= Perdidas de masa (%)

Ms= masa de la pieza seca (g)

Mc= Masa de pieza cocida (g)

### 5.2.2.3. Absorción de Agua. Aparatos, equipos, reactivos e insumos utilizados

-Balanza de precisión (+/- 0,01)

-Recipiente metálico

-Estufa eléctrica

-Pinzas

-Paño absorbente

-Bandeja metálica

-Guantes industriales

-Agua desionizada o destilada

**Procedimiento.** Se toma la medida de cada bloque y se registra la masa inicial con  $m_1$ , seguidamente se introducen en la estufa de secado, después de 24 h, se sacan y se dejan enfriar a temperatura ambiente, siendo esta la segunda masa a registrar como  $m_2$ .

Continuando con esto, se introducen los bloques a la estufa de secado y se dejan durante 2 horas más, se sacan de la estufa y se dejan enfriar a temperatura ambiente; se pesa y se registra la masa como  $m_3$ .

Se verifica si los bloques alcanzaron una masa constante, es decir, cuando la diferencia entre dos pesajes  $m_2$  y  $m_3$ , fuera menor que 0,2 %; de lo contrario se repetiría el procedimiento.

Seguidamente los bloques se enfrían y se colocan verticalmente, sin contacto entre ellos, en el tanque de absorción y de forma que exista una altura de 5cm de agua destilada por encima y debajo de las piezas. Continuando con el ensayo, se sumergen completamente los especímenes en agua destilada durante 24 horas (sin inmersión parcial preliminar).

Finalizando se prepara l paño absorbente y se humedece partiendo de ello se secan suavemente se secó cada lado de los especímenes uno a vez. Seguidamente de esto, se pesa cada bloque registrando la medida en m4

**5.2.2.4. Método de Ebullición.** De forma vertical se colocan los bloques separados unos de otros, en el recipiente metálico de forma que exista una altura de 5 cm de agua por encima y por debajo de las piezas a través de todo el ensayo. Es llevado el recipiente a la estufa y se calienta el agua hasta que ebulle y se continua con la ebullición durante 2 h. Se mantiene el nivel de agua 5 cm de las probetas que se están ensayando. Luego se retiran los bloques de la fuente de calor y se llevan a enfriamiento a temperatura ambiente, manteniéndolas completamente inmersa, durante 4 horas  $\pm 15$  min. Se prepara el paño absorbente y suavemente se seca cada lado de la probeta. Se golpean suavemente las superficies en relieve con el paño absorbente. Inmediatamente después de este procedimiento, se pesa cada bloque (P2b) y se registran los resultados con la misma precisión que para el seco. Para cada bloque, la absorción de agua (AA), expresado como porcentaje de la masa seca, se calcula empleando la ecuación 3.

$$\%AA = \frac{Ph - Pc}{Pc} * 100 \quad (3)$$

Dónde:

%AA = absorción de agua (%)

Pc = masa del bloque cocido (g)

Ph = masa del bloque húmedo (g)

Para la realización de los ensayos de laboratorio se establecieron 3 mezclas representadas en los siguientes porcentajes.

**Tabla 14***Mezclas Elaboradas y Ensayadas*

<b>Mezcla</b>	<b>Ceniza de ladrillera</b>	<b>Arcilla</b>
M1	2.50%	97.50%
M2	5%	95%
M3	7.50%	92.50%

**5.2.3. Elaboración de Bloques**

Inicialmente se realizó el análisis físico-cerámico para la Arcilla 100% utilizada como patrón, se determinó el porcentaje de absorción de agua y su resistencia mecánica a la compresión, para poder comparar los resultados con las mezclas desarrolladas.

**Tabla 15***Análisis Físico-Cerámico por Extrusión al 100% de Mezcla de Arcilla*

	<b>ENSAYO</b>	<b>RESULTADO</b>	<b>INCERTIDUMBRE</b>
Análisis físico cerámico por extruido (AFE)	Contracción en seco (%CS)	4.77%	± 0,01
	Contracción en cocido (%CC)	3.00%	± 0,01
	Perdidas de masa cocida (%PMC)	3.97%	± 0,02
	Peso húmedo (g)	155.32%	± 0,05
	Peso seco (g)	127.41%	± 0,05
	Peso Cocido (g)	122.36%	± 0,05

Según la Norma Técnica Colombiana NTC 4017, para tener repetitividad y reproducibilidad en los resultados se realizaron por triplicado, y de lo cual se obtiene los siguientes resultados.

### Absorción de Agua.

**Tabla 16**

*Resultados de Ensayo de Absorción de Agua a M1 con 100% Arcilla*

Espécimen N°	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
<b>Promedio de la muestra</b>	<b>119.0</b>	<b>131.8</b>	<b>10.7</b>

**Tabla 17**

*Resultados de Ensayo de Absorción de Agua a M2 con 100% Arcilla*

Espécimen N°	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
<b>Promedio de la muestra</b>	<b>123.99</b>	<b>137.95</b>	<b>11.26</b>

**Tabla 18**

*Resultados de Ensayo de Absorción de Agua a M3 con 100% Arcilla*

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
<b>Promedio de la muestra</b>	<b>118.89</b>	<b>132.11</b>	<b>11.12</b>

### Resistencia Mecánica a la Compresión con 100% de Arcilla.

**Tabla 19**

*Resultados de Resistencia Mecánica a la Compresión a M1 con 100% Arcilla*

Espécimen Nº	Largo del espécimen (mm)	Ancho del espécimen (mm)	Alto del espécimen (mm)	Área neta del espécimen (mm <sup>2</sup> )	Área neta del espécimen (cm <sup>2</sup> )	Carga de rotura por compresión (kgf)	Resistencia a la compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )
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 20**

*Resultados de Resistencia Mecánica a la Compresión a M2 con 100% Arcilla*

Espécimen Nº	Largo del espécimen (mm)	Ancho del espécimen (mm)	Alto del espécimen (mm)	Área neta del espécimen (mm <sup>2</sup> )	Área neta del espécimen (cm <sup>2</sup> )	Carga de rotura por compresión (kgf)	Resistencia a la compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )
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 21***Resultados de Resistencia Mecánica a la Compresión a M3 con 100% Arcilla*

<b>Espécimen Nº</b>	<b>Largo del espécimen (mm)</b>	<b>Ancho del espécimen (mm)</b>	<b>Alto del espécimen (mm)</b>	<b>Área neta del espécimen (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Área neta del espécimen (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Carga de rotura por compresión (kgf)</b>	<b>Resistencia a la compresión (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>
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

Según lo anterior, con los resultados obtenidos de la muestra de arcilla al 100% se procede a realizarlos con los porcentajes de 2,5%, 5% y 7,5% de ceniza de ladrillera para evaluar el comportamiento físico-mecánico realizándolo al igual que con la mezcla patrón, los ensayos de análisis físico-cerámico, absorción de agua y resistencia mecánica a la compresión para cada porcentaje.

#### **5.2.4. Resultados obtenidos con 2.5% de Ceniza de Ladrillera a la Mezcla de Arcilla**

A continuación se presentan los resultados del análisis físico-cerámico por extrusión realizado a la mezcla arcilla con 2,5% de ceniza de ladrillera, en este se muestra la cantidad de probetas usadas, a que temperatura fueron sometidas y las condiciones que se obtuvieron tanto húmeda, como seca y en cocción, también el porcentaje de contracción, la pérdida de masa y la absorción del agua.



**Tabla 22.***Análisis Físico Cerámico a 2,5% de Ceniza de Ladrillera*

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		82.68	155.87		78.66	131.04	77.58	123.68		136.83					
2		82.12	158.05		78.00	133.20	77.10	125.74		138.45					
3		82.59	160.66		78.03	135.49	77.27	127.65		140.38					
4		82.83	153.32		78.93	128.78	78.20	121.54		134.65					
5	1000	81.57	156.63	NA	77.14	131.74	76.07	124.55	NA	136.96	4.996	1.164	15.743	5.650	10.242
6		82.73	155.08		79.09	131.50	78.22	123.86		136.41					
7		79.59	154.89		76.12	130.43	75.38	123.22		135.72					
8		82.76	157.32		78.66	132.02	77.56	124.58		137.40					
9		81.55	158.68		77.50	134.22	76.54	126.50		139.42					
10		84.74	162.20		79.88	136.70	78.99	128.92		142.04					

**Absorción de Agua al 2,5% de la Mezcla de Ceniza de Ladrillera.** A continuación, se presentan los resultados obtenidos de los porcentajes de absorción al 2,5% de ceniza de ladrillera para los tres lotes fabricados para este ensayo.

**Tabla 23.**

*Porcentaje de Absorción de Agua del M1 a 2,5% de la Mezcla de Arcilla con Ceniza de Ladrillera*

<b>Espécimen N°</b>	<b>Masa seca del espécimen (g)</b>	<b>Masa húmeda del espécimen (g)</b>	<b>Absorción de agua (E) (%)</b>
1	123.86	136.41	10.1
2	123.22	135.72	10.1
3	124.58	137.40	10.3
4	126.50	139.42	10.2
5	128.92	142.04	10.2
<b>Promedio de la muestra</b>	125.4	138.2	10.2

**Tabla 24.**

*Porcentaje de Absorción de Agua del M2 a 2,5% de la Mezcla de Arcilla con Ceniza de Ladrillera*

<b>Espécimen N°</b>	<b>Masa seca del espécimen (g)</b>	<b>Masa húmeda del espécimen (g)</b>	<b>Absorción de agua (E) (%)</b>
1	127.04	139.41	9.7
2	126.58	139.33	10.1
3	126.73	139.51	10.1
4	123.71	136.56	10.4
5	122.56	134.47	9.7
<b>Promedio de la muestra</b>	125.3	137.9	10.0

**Tabla 25.**

*Porcentaje de Absorción de Agua del M3 a 2,5% de la Mezcla de Arcilla con Ceniza de Ladrillera*

<b>Espécimen N°</b>	<b>Masa seca del espécimen (g)</b>	<b>Masa húmeda del espécimen (g)</b>	<b>Absorción de agua (E) (%)</b>
1	127.23	139.63	9.7
2	125.68	137.97	9.8
3	124.08	136.23	9.8
4	125.73	137.78	9.6
5	123.50	134.64	9.0
<b>Promedio de la muestra</b>	125.2	137.3	9.6

**Resistencia a la Compresión Mecánica a 2,5% de la Mezcla de Arcilla con Ceniza de Ladrillera.** A continuación, se presentan los resultados obtenidos de los porcentajes de absorción al 2,5% de ceniza de ladrillera para los tres lotes fabricados para este ensayo.

**Tabla 26**

*Resistencia Mecánica a la Compresión de M1 con 2,5% de Mezcla de Ceniza de Ladrillera*

<b>Espécimen N°</b>	<b>Largo del espécimen (mm)</b>	<b>Ancho del espécimen (mm)</b>	<b>Alto del espécimen (mm)</b>	<b>Área neta del espécimen (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Área neta del espécimen (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Carga de rotura por compresión (kgf)</b>	<b>Resistencia a la compresión (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>
1	77.10	27.01	48.30	2082.5	20.82	825.85	39.66
2	78.99	26.76	48.06	2113.8	21.14	900.73	42.61
3	75.94	26.86	47.76	2039.7	20.40	733.98	35.98
4	75.86	26.51	48.09	2011.0	20.11	721.05	35.85
5	76.54	26.56	48.13	2032.9	20.33	1,193.90	58.73
Promedio	76.89	26.74	48.07	2,055.99	20.56	875.10	42.57

**Tabla 27**

*Resistencia Mecánica a la Compresión de M2 con 2,5% de Mezcla de Ceniza de Ladrillera*

Espécimen Nº	Largo del espécimen (mm)	Ancho del espécimen (mm)	Alto del espécimen (mm)	Área neta del espécimen (mm <sup>2</sup> )	Área neta del espécimen (cm <sup>2</sup> )	Carga de rotura por compresión (kgf)	Resistencia a la compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	78.28	27.20	48.17	2129.2	21.29	1,294.07	60.78
2	77.04	26.89	48.13	2071.6	20.72	777.79	37.55
3	74.00	26.81	48.06	1983.9	19.84	941.07	47.43
4	76.51	26.96	48.03	2062.7	20.63	1,154.91	55.99
5	77.92	26.79	48.12	2087.5	20.87	673.18	32.25
Promedio	76.75	26.93	48.10	2,066.99	20.67	968.20	46.80

**Tabla 28**

*Resistencia Mecánica a la Compresión de M3 con 2,5% de Mezcla de Ceniza de Ladrillera*

Espécimen Nº	Largo del espécimen (mm)	Ancho del espécimen (mm)	Alto del espécimen (mm)	Área neta del espécimen (mm <sup>2</sup> )	Área neta del espécimen (cm <sup>2</sup> )	Carga de rotura por compresión (kgf)	Resistencia a la compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	76.69	26.78	47.93	2053.8	20.54	1,094.50	53.29
2	77.70	26.96	48.27	2094.8	20.95	981.41	46.85
3	76.38	26.68	48.17	2037.8	20.38	954.00	46.81
4	77.43	26.60	48.18	2059.6	20.60	1,099.14	53.37
5	77.28	26.91	48.17	2079.6	20.80	1,436.50	69.08
Promedio	77.10	26.79	48.14	2,065.12	20.65	1,113.11	53.88

### **5.2.5. Resultados obtenidos con 5% de Ceniza de Ladrillera a la Mezcla de Arcilla**

A continuación se presentan los resultados del análisis físico-cerámico por extrusión realizado a la mezcla arcilla con 5% de ceniza de ladrillera, en este se muestra la cantidad de probetas usadas, a que temperatura fueron sometidas y las condiciones que se obtuvieron tanto húmeda, como seca y en cocción, también el porcentaje de contracción, la pérdida de masa y la absorción del agua.

**Tabla 29.***Análisis Físico Cerámico a 5% de Ceniza de Ladrillera*

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	1000	84.58	158.27		80.94	133.54	80.05	125.13		138.17					
2		81.80	156.44		77.41	131.87	76.78	123.53		137.04					
3		81.88	154.88		78.51	130.76	77.97	122.47		135.22					
4		84.09	160.57		80.63	135.37	79.55	126.78		140.34					
5		81.96	153.76	NA	77.45	129.12	76.49	120.96		134.34	4.897	1.088	15.793	6.303	10.691
6		83.67	162.01		79.27	136.29	78.29	127.69		141.11					
7		80.89	156.74		76.67	132.59	75.91	124.27		137.41					
8		84.78	162.88		80.98	137.07	80.06	128.45		142.58					
9		81.56	159.45		77.21	133.95	76.38	125.51		138.75					
10		83.16	158.27		78.77	132.66	77.78	124.40		137.77					

**Absorción de Agua al 5% de la Mezcla de Ceniza de Ladrillera.** A continuación, se presentan los resultados obtenidos de los porcentajes de absorción al 5% de ceniza de ladrillera para los tres lotes fabricados para este ensayo.

**Tabla 30.**

*Porcentaje de Absorción de Agua del M1 a 5% de la Mezcla de Arcilla con Ceniza de Ladrillera*

<b>Espécimen N°</b>	<b>Masa seca del espécimen (g)</b>	<b>Masa húmeda del espécimen (g)</b>	<b>Absorción de agua (E) (%)</b>
1	127.69	141.11	10.5
2	124.27	137.41	10.6
3	128.45	142.58	11.0
4	125.51	138.75	10.5
5	124.40	137.77	10.7
<b>Promedio de la muestra</b>	126.1	139.5	10.7

**Tabla 31.**

*Porcentaje de Absorción de Agua del M2 a 5% de la Mezcla de Arcilla con Ceniza de Ladrillera*

<b>Espécimen N°</b>	<b>Masa seca del espécimen (g)</b>	<b>Masa húmeda del espécimen (g)</b>	<b>Absorción de agua (E) (%)</b>
1	124.19	136.68	10.1
2	127.33	140.00	10.0
3	127.64	139.80	9.5
4	122.51	134.92	10.1
5	126.51	140.99	11.4
<b>Promedio de la muestra</b>	125.6	138.5	10.2

**Tabla 32.**

*Porcentaje de Absorción de Agua del M3 a 5% de la Mezcla de Arcilla con Ceniza de Ladrillera*

<b>Espécimen N°</b>	<b>Masa seca del espécimen (g)</b>	<b>Masa húmeda del espécimen (g)</b>	<b>Absorción de agua (E) (%)</b>
1	124.45	138.07	10.9
2	122.04	134.15	9.9
3	123.10	136.68	11.0
4	123.62	136.48	10.4
5	126.48	139.57	10.3
<b>Promedio de la muestra</b>	123.9	137.0	10.5

### **Resistencia a la Compresión Mecánica a 5% de la Mezcla de Arcilla con Ceniza de**

**Ladrillera.** A continuación, se presentan los resultados obtenidos de los porcentajes de absorción al 5% de ceniza de ladrillera para los tres lotes fabricados para este ensayo.

**Tabla 33**

*Resistencia Mecánica a la Compresión de M1 con 5% de Mezcla de Ceniza de Ladrillera*

<b>Espécimen N°</b>	<b>Largo del espécimen (mm)</b>	<b>Ancho del espécimen (mm)</b>	<b>Alto del espécimen (mm)</b>	<b>Área neta del espécimen (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Área neta del espécimen (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Carga de rotura por compresión (kgf)</b>	<b>Resistencia a la compresión (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>
1	78.22	27.60	47.58	2158.9	21.59	542.68	25.14
2	75.38	26.44	47.85	1993.0	19.93	722.21	36.24
3	77.56	26.31	48.00	2040.6	20.41	744.02	36.46
4	76.54	26.34	48.20	2016.1	20.16	778.95	38.64
5	78.99	26.64	48.12	2104.3	21.04	446.41	21.21
Promedio	77.34	26.67	47.95	2,062.58	20.63	646.85	31.54

**Tabla 34***Resistencia Mecánica a la Compresión de M2 con 5% de Mezcla de Ceniza de Ladrillera*

Espécimen Nº	Largo del espécimen (mm)	Ancho del espécimen (mm)	Alto del espécimen (mm)	Área neta del espécimen (mm <sup>2</sup> )	Área neta del espécimen (cm <sup>2</sup> )	Carga de rotura por compresión (kgf)	Resistencia a la compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	78.73	26.64	48.08	2097.4	20.97	547.16	26.09
2	77.79	26.34	46.91	2049.0	20.49	552.37	26.96
3	76.28	26.31	48.30	2006.9	20.07	1,053.20	52.48
4	78.11	26.48	48.18	2068.4	20.68	453.74	21.94
5	76.03	26.26	47.77	1996.5	19.97	584.79	29.29
Promedio	77.39	26.41	47.85	2,043.64	20.44	638.25	31.35

**Tabla 35***Resistencia Mecánica a la Compresión de M3 con 5% de Mezcla de Ceniza de Ladrillera*

Espécimen Nº	Largo del espécimen (mm)	Ancho del espécimen (mm)	Alto del espécimen (mm)	Área neta del espécimen (mm <sup>2</sup> )	Área neta del espécimen (cm <sup>2</sup> )	Carga de rotura por compresión (kgf)	Resistencia a la compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	78.91	26.37	47.93	2080.9	20.81	994.34	47.78
2	77.64	26.36	48.26	2046.6	20.47	891.08	43.54
3	77.25	26.36	48.17	2036.3	20.36	532.29	26.14
4	76.23	26.19	48.22	1996.5	19.96	974.07	48.79
5	74.89	26.34	47.18	1972.6	19.73	752.12	38.13
Promedio	76.98	26.32	47.95	2,026.56	20.27	828.78	40.88

**5.2.5. Resultados obtenidos con 7,5% de Ceniza de Ladrillera a la Mezcla de Arcilla**

A continuación se presentan los resultados del análisis físico-cerámico por extrusión realizado a la mezcla arcilla con 7,5% de ceniza de ladrillera.



**Tabla 36.***Análisis Físico Cerámico a 7,5% de Ceniza de Ladrillera*

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		82.85	158.69		79.40	132.67	78.56	123.53		137.29					
2		82.17	159.17		77.17	132.53	76.21	123.36		136.72					
3		83.66	159.56		78.69	132.70	77.68	123.52		136.83					
4		82.43	158.91		78.00	132.22	77.01	123.05		136.24					
5	1000	81.34	158.49	NA	78.23	132.07	77.30	123.04	NA	136.22	5.155	0.823	16.676	5.570	10.421
6		82.23	154.95		78.08	129.48	77.10	120.59		133.34					
7		83.91	160.84		80.30	133.78	78.99	124.40		133.70					
8		81.20	160.58		77.20	133.84	75.94	124.64		137.82					
9		81.87	160.42		76.96	133.78	75.86	124.51		137.71					
10		82.35	159.91		77.50	133.04	76.54	123.89		137.28					

**Absorción de Agua al 7,5% de la Mezcla de Ceniza de Ladrillera.** A continuación, se presentan los resultados obtenidos de los porcentajes de absorción al 7,5% de ceniza de ladrillera para los tres lotes fabricados para este ensayo.

**Tabla 37.**

*Porcentaje de Absorción de Agua del M1 a 7,5% de la Mezcla de Arcilla con Ceniza de Ladrillera*

<b>Espécimen N°</b>	<b>Masa seca del espécimen (g)</b>	<b>Masa húmeda del espécimen (g)</b>	<b>Absorción de agua (E) (%)</b>
1	120.59	133.34	10.6
2	124.40	137.70	10.7
3	124.64	137.82	10.6
4	124.51	137.71	10.6
5	123.89	137.28	10.8
<b>Promedio de la muestra</b>	123.6	136.8	10.6

**Tabla 38.**

*Porcentaje de Absorción de Agua del M2 a 7,5% de la Mezcla de Arcilla con Ceniza de Ladrillera*

<b>Espécimen N°</b>	<b>Masa seca del espécimen (g)</b>	<b>Masa húmeda del espécimen (g)</b>	<b>Absorción de agua (E) (%)</b>
1	124.36	137.83	10.8
2	126.03	139.69	10.8
3	116.77	129.84	11.2
4	123.94	137.44	10.9
5	123.67	136.89	10.7
<b>Promedio de la muestra</b>	123.0	136.3	10.9

**Tabla 39.**

*Porcentaje de Absorción de Agua del M3 a 7,5% de la Mezcla de Arcilla con Ceniza de Ladrillera*

Espécimen N°	Masa seca del espécimen (g)	Masa húmeda del espécimen (g)	Absorción de agua (E) (%)
1	121.34	134.09	10.5
2	124.78	137.61	10.3
3	126.38	140.20	10.9
4	122.07	135.66	11.1
5	124.82	138.33	10.8
<b>Promedio de la muestra</b>	123.9	137.2	10.7

**Resistencia a la Compresión Mecánica a 7,5% de la Mezcla de Arcilla con Ceniza de Ladrillera.** A continuación, se presentan los resultados obtenidos de los porcentajes de absorción al 7,5% de ceniza de ladrillera para los tres lotes fabricados para este ensayo.

**Tabla 40**

*Resistencia Mecánica a la Compresión de M1 con 7,5% de Mezcla de Ceniza de Ladrillera*

Espécimen N°	Largo del espécimen (mm)	Ancho del espécimen (mm)	Alto del espécimen (mm)	Área neta del espécimen (mm <sup>2</sup> )	Área neta del espécimen (cm <sup>2</sup> )	Carga de rotura por compresión (kgf)	Resistencia a la compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	78.29	26.92	48.10	2107.6	21.08	605.63	28.74
2	75.91	26.47	48.21	2009.3	20.09	742.09	36.93
3	80.06	26.48	47.74	2120.0	21.20	839.74	39.61
4	76.38	26.82	48.15	2048.5	20.49	898.42	43.86
5	77.78	26.64	47.96	2072.1	20.72	928.33	44.80
Promedio	77.68	26.67	48.03	2,071.49	20.71	802.84	38.79

**Tabla 41**

*Resistencia Mecánica a la Compresión de M2 con 7,5% de Mezcla de Ceniza de Ladrillera*

Espécimen Nº	Largo del espécimen (mm)	Ancho del espécimen (mm)	Alto del espécimen (mm)	Área neta del espécimen (mm <sup>2</sup> )	Área neta del espécimen (cm <sup>2</sup> )	Carga de rotura por compresión (kgf)	Resistencia a la compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	76.16	26.77	48.72	2038.8	20.39	707.73	34.71
2	81.91	26.59	48.35	2178.0	21.78	741.70	34.05
3	80.29	26.92	48.17	2161.4	21.61	785.32	36.33
4	76.69	27.12	48.13	2079.8	20.80	472.46	22.72
5	80.17	26.68	48.24	2138.9	21.39	697.31	32.60
Promedio	79.04	26.82	48.32	2,119.39	21.19	680.90	32.08

**Tabla 42**

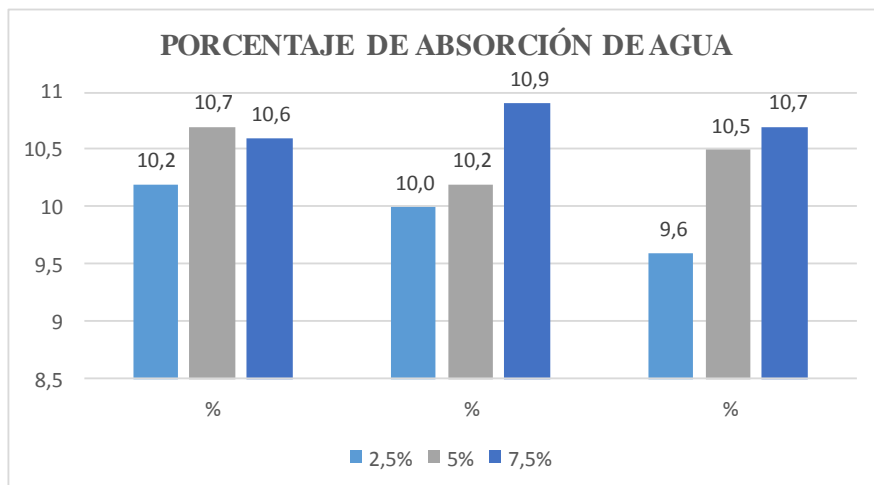
*Resistencia Mecánica a la Compresión de M3 con 7,5% de Mezcla de Ceniza de Ladrillera*

Espécimen Nº	Largo del espécimen (mm)	Ancho del espécimen (mm)	Alto del espécimen (mm)	Área neta del espécimen (mm <sup>2</sup> )	Área neta del espécimen (cm <sup>2</sup> )	Carga de rotura por compresión (kgf)	Resistencia a la compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	79.52	26.56	48.30	2112.1	21.12	444.48	21.04
2	74.58	26.66	47.84	1988.3	19.88	552.56	27.79
3	76.13	26.73	48.42	2035.0	20.35	473.62	23.27
4	75.80	26.71	47.97	2024.6	20.25	425.57	21.02
5	79.28	26.65	47.95	2112.8	21.13	624.93	29.58
Promedio	77.06	26.66	48.10	2,054.55	20.55	504.23	24.54

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

En este objetivo se hace un análisis de los resultados obtenidos en el laboratorio según la NTC 4205:2000 que anteriormente en el punto 5.1 se menciona. El cual especifica las propiedades físicas que deben cumplir los bloques para la construcción, de esta se tiene en cuenta los porcentajes de absorción de agua y de resistencia mecánica a compresión de los especímenes fabricados con el 100% de arcilla y con el 2,5%, 5% y 7,5% de la ceniza de ladrillera.

### 5.6.1. Análisis de Resultados del Ensayo de Absorción de Agua



**Figura 21.** Porcentaje Promedio de Absorción de Agua en Mezcla de Arcilla con 2,5%, 5% y 7,5% de Ceniza de Ladrillera

En la gráfica anterior se muestran los resultados obtenidos del porcentaje de absorción del agua en la mezcla de arcilla, por cada % trabajado de ceniza de ladrillera para los especímenes, se puede observar de manera general que según la NTC 4205:2000 se concluye que las mezclas trabajadas en los tres porcentajes de ceniza de ladrillera utilizada cumplen los % máximos de absorción tanto para bloques de interior como exterior, por lo que estas mezclas pueden ser utilizadas en ambos casos. De igual forma se puede evidenciar respecto a la adición de 2,5% de ceniza de ladrillera, en la mezcla da un porcentaje mucho menor que si se le adiciona 7,5% de ceniza de ladrillera, por lo cual se determina que a mayor porcentaje de adición del nutriente tecnológico aumentan los poros de absorción produciendo mayor impregnación de agua en los bloques.

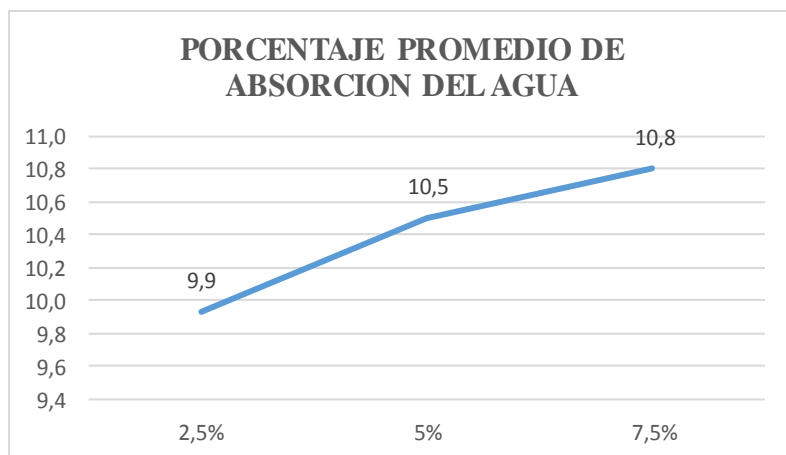
En la siguiente tabla se muestran las propiedades físicas según el comportamiento individual de cada mezcla. Se realizó el ensayo de absorción de agua por triplicado con el fin de obtener resultados más confiables.

**Tabla 43**

*Valores Promedio de Propiedades Físicas de Mezcla de Arcilla con diferentes Porcentajes de Ceniza de Ladrillera en Ensayo de Absorción de Agua*

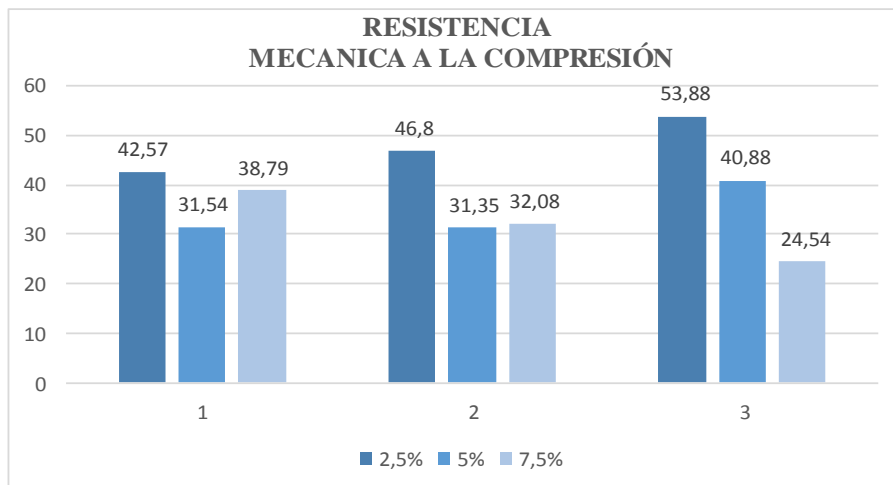
Porcentaje de Ceniza de Ladrillera	Masa seca del espécimen [g]	Masa húmeda del espécimen [g]	Absorción de agua E [%]
2.5%	125.3	137.8	9.9
5%	125.2	138.3	10.5
7.5%	123.5	136.8	10.8

Según la anterior tabla de los valores promedio de las propiedades físicas de la mezcla, se demuestra en la gráfica 38, los porcentajes de absorción de agua con el fin de evidenciar la línea de tendencia que en este caso es creciente a medida que se adiciona más porcentaje de la ceniza de ladrillera a la mezcla de los bloques. 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.



**Figura 22.** Datos Promedio de Absorción de Agua en 2.5%, 5% y 7.5% de Ceniza de Ladrillera

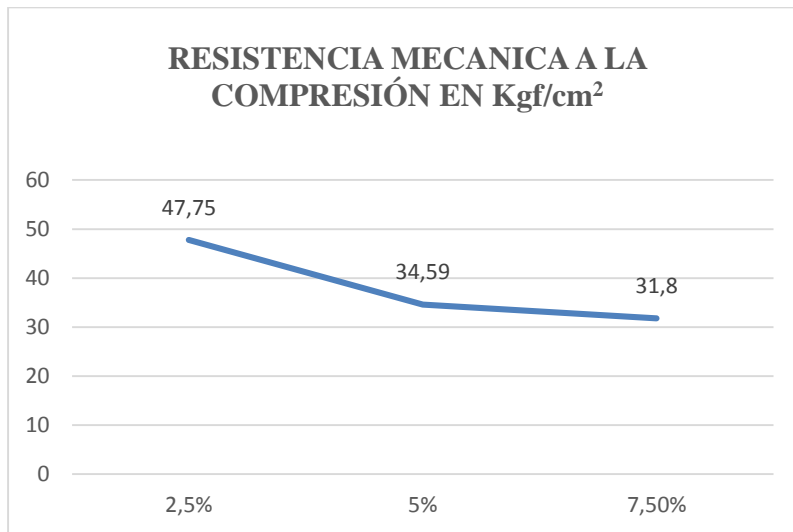
### 5.6.3. Análisis de Resultados de Resistencia Mecánica a la Compresión



**Figura 23.** Valores en  $\text{kgf/cm}^2$  de Resistencia Mecánica a la Compresión en Mezcla de Arcilla Adicionando 2,5%, 5% y 7,5% de Ceniza de Ladrillera

En la Figura 23 se pueden ver los resultados obtenidos por las tres muestras tomadas de cada % de la mezcla de arcilla y ceniza de ladrillera, al observar las tendencias de las mezclas se puede concluir que a menor porcentaje de ceniza de ladrillera usada en la mezcla mayor resistencia a la compresión sin embargo se aprecia que en la muestra 1 y 2 la resistencia menor es aquella trabajada con el 5% de ceniza de ladrillera. Por otra parte, según la información del punto 5.1 de la NTC 4205:2000, donde se exponen tablas de la resistencia mecánica a compresión para mampostería estructural y no estructural, de esos especímenes, la muestra 3 de la mezcla adicionando el 2,5% cumple con la resistencia mínima que deben soportar los bloques lo cual dice que en promedio de 5 unidades es de  $50 \text{ Kgf/cm}^2$  y cada unidad  $35 \text{ Kgf/cm}^2$ , mientras que las demás mezclas cumplen para mampostería no estructural. Ya que la resistencia mínima a la compresión en promedio de 5 unidades debe ser de  $30 \text{ Kgf/cm}^2$  y por unidad  $20 \text{ kgf/cm}^2$ .

Para continuar con el análisis de los resultados, se emplea los promedios de las resistencias mecánicas a la compresión obtenidas por los porcentajes trabajados de la ceniza de ladrillera



**Figura 24.** Valores Promedio de Resistencia Mecánica a la Compresión en kgf/cm<sup>2</sup> de Mezcla de Arcilla con adición de 2,5%, 5% y 7,5% de Ceniza de Ladrillera

Partiendo de la figura anterior se demuestra que las mezclas por los tres porcentajes tomados de ceniza de ladrillera cumplen en sus especímenes trabajados, ya que todos sobrepasan el valor mínimo de resistencia mecánica a la compresión puesto que son mayores que el mínimo que la norma expone, según esto los bloques elaborados con ceniza de ladrillera son factibles puesto que adquieren buena resistencia a la compresión.

Para finalizar el análisis de los resultados se muestra a continuación una tabla comparativa respecto a las mezclas al 100% de arcilla y las respectivas adiciones de % de ceniza de ladrillera.



**Tabla 44***Análisis Comparativo de Resultados*

Ensayo	100% de Arcilla	2,5% de ceniza de ladrillera	5% de ceniza de ladrillera	7,5% de ceniza de ladrillera	NTC 4205:2000 (Bloques No Ensayo 100% Arcilla Estructurales)	
					Para uso interior	Para uso exterior
					Absorción de agua	11%
Resistencia mecánica a compresión	31.39%	47.45%	34.59%	31.80%	30Kgf/cm <sup>2</sup>	30Kgf/cm <sup>2</sup>
Contracción en seco	4.77%	4.99%	4.89%	5.15%		
Contracción en cocido	3.00%	1.16%	1.08%	0.82%		
Pérdida de masa en seco	17.93%	15.74%	15.79%	16.67%		
Pérdida de masa en cocido	3.97%	5.65%	6.30%	5.57%		

**5.7. Costos del Bloque H-10 Normal y del Bloque Fabricado con Nutriente Tecnológico**

A continuación, en la Tabla 45 se detalla cada etapa del proceso productivo del bloque cerámico de una empresa que fabrica bloques H-10.

**Tabla 45***Descripción de Actividades en el Proceso Productivo de la Elaboración de Bloques 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

5	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.
6	Lubricación y mantenimiento de maquinas	Mantener en disponibilidad el equipamiento, cambio de martillos, aplicación de grasa en rodamientos, reparación de malla del tamiz.
7	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 46***Componente del Costo Vs Actividad*

<b>Componente de costo</b>	<b>Actividad</b>
Energía eléctrica	Molienda y tamizado de arcilla
	Transporte a silos
	Transporte a amasador
	Extrusión de la arcilla
	Corte de material bloque
	Enfriamiento del horno
Agua	Iluminación y confort
	Humectación de la arcilla
Telefonía	Acueducto
	Compra de materiales, atención al cliente, contacto interno.
ACPM	Lubricación durante extrusión
	Quema
Lubricante	Molienda de arcilla
	Tamizado de arcilla
	Extrusión
	Molienda de arcilla
Repuestos	Tamizado de arcilla
	Extrusión
	Secado
	Quema
	Mobiliario oficina
Arriendo	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

<b>Componente de costo</b>	<b>Actividad</b>
Implementos de seguridad	Molienda de arcilla
	humectación
	quema
	Explotación
Impuestos	Supervisión
	Arranque de materia prima
	Molienda de arcilla
	Tamizado de arcilla
	Extrusión
	Secado
	quema
Mantenimiento	Almacenamiento
	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
	Secado de productos
	Quema
	Selección
	Lubricación equipos
	Administrativo
	Papelería
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 47**

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

<b>Actividades</b>	<b>Marzo (\$)</b>
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
<b>Total</b>	<b>\$</b>	<b>58,865,272.7</b>

El costo del producto del bloque:

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

#### Tabla 48

*Costo del Bloque Utilizando Ceniza de Ladrillera*

<b>Actividades</b>	<b>Marzo (\$)</b>
Arranque de materia prima y cargue	3.900.000,00
Almacenamiento de ceniza de ladrillera	600.000,00
Transporte a planta	1.200.000,00
Transporte de ceniza de ladrillera	200.000,00
Acomodo de materia prima en galpón	280.000,00
Molienda, trituración de la ceniza de ladrillera	1.200.000,00
Llenado cajón alimentador	288.244,00
Molienda y tamizado	6.885.102,80
Humectación -extrusión	8.067.766,70
Corte y acomodo de piezas	2.958.206,00
Transporte a patio de secado	2.114.270,10
Caracoleo	718.733,70
Transporte y acomodo en horno	2.369.245,50

Quema	19.919.222,90
Descargue y transporte	1.312.014,30
Clasificación y almacenamiento	1.328.270,30
Actividades gerenciales	1.603.528,50
Actividades contables, comerciales y de apoyo	1.464.811,50
<b>Total</b>	<b>56.409.416,30</b>

El costo del producto usando ceniza de ladrillera:

Costo - Producción	\$ 56.409.416,3
Producción de Bloque	180.000 Unid
<b>Costo Bloque</b>	<b>\$ 313,38565</b>



## 6. Conclusiones

Se analizaron los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio según la Norma NTC 4205:2000 para cada porcentaje de ceniza de ladrillera usado en las mezclas para los bloques se concluyen que estos porcentajes cumplen con los parámetros de absorción de agua y resistencia mecánica a la compresión por lo que es factible desarrollar bloques a base de arcilla y el nutriente tecnológico de ceniza de ladrillera ya que es apto para la construcción aparte de haber obtenido buenos resultados en los ensayos y en el costo de la producción.

Respecto a los costos de la producción de estos bloques H-10 con la adición de ceniza de ladrillera se obtuvo una disminución de 13,64 pesos por bloque, respecto al costo del bloque en arcilla convencional, este resultado es viable ya que el bloque se crea con el fin de disminuir los residuos industriales que no tienen ningún uso comercial, convertirlos en una materia prima fundamental para la construcción es un gran avance en la economía circular.

En los resultados de absorción de agua, los porcentajes de (2,5%, 5% y 7,5%) de ceniza de ladrillera trabajados para los bloques H-10, cumplen con la NTC 4205:2000 tanto para exteriores como interiores puesto que el valor máximo de absorción del agua es de 17 por 5 unidades y 13,5 por 5 unidades respectivamente. Por lo que se resalta la funcionalidad de las mezclas.

Por otra parte, en los ensayos de resistencia mecánica a la compresión se obtuvo resultados satisfactorios. Partiendo del porcentaje de 2,5 de ceniza de ladrillera de la tercera muestra, cumple para mampostería estructural y no estructural ya que la norma sugiere valores máximos de 50 Kgf/cm<sup>2</sup> en promedio de 5 unidades, los demás porcentajes cumplen para mampostería no estructural.

## **7. Recomendaciones**

Partiendo de la investigación realizada y los resultados obtenidos, se recomienda seguir implementando el nutriente tecnológico de la ceniza de ladrilleras con el fin de continuar con las investigaciones para desarrollar mezclas base para materiales de construcción y así poder conseguir más de un uso a la ceniza de ladrilleras.

La investigación logra dar solución a una de las mayores problemáticas de la industria en construcción puesto que a medida que va aumentando el desarrollo constructivo aumentan los residuos de los cuales muchos aun no tienen ningún uso, con esto se logra convertir un residuo en una materia prima fundamental para producir bloques H-10 mucho más factibles y económicos.

Se recomienda seguir realizando ensayos con otros porcentajes y otras temperaturas para conseguir resultados más satisfactorios para poder clasificar los bloques en mampostería estructural y no estructural.

## 8. Referencias Bibliográficas

- Aguilar, A. (2017). *Fabricación de bloques ecológicos a base de material producto de la construcción*. Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, México.  
<http://132.248.52.100:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/13968/Tesis.pdf?sequence=1>
- Aguilar, J. (2019). *Elaboración de ladrillos mediante la inclusión de ceniza de carbón proveniente de la ladrillera bella vista de Tunja Boyacá*. Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás, Tunja, Colombia. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/20011>
- Elías, X. (2015). *Nutrientes tecnológicos para la industria cerámica estructural*. Tesis doctoral, Universidad de Jaén, España. <http://hdl.handle.net/10953/718>
- Chicaiza, C. & Guerra, G. (2017). *Estudio del uso de residuos cerámicos como sustituto de un porcentaje del cemento para la fabricación de morteros*. Trabajo de grado, Universidad Central del Ecuador, Quito. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/13045>
- Cramer, T., Amaya, Z., Franco, J., Bonilla, A. & Poveda, A. (2011). Caracterización de depósitos aluviales con manifestaciones de Tantalio y Niobio (Coltán) en las comunidades indígenas de Matraca y Caranacoa en el Departamento del Guainía) - Contrato Interadministrativo 021 de 2010. *Ingeominas, Universidad Nacional de Colombia*. Bogotá, Colombia.
- Duran L, Guevara D, Hernández F & Ramírez F. (2017). *Estrategia y aprovechamiento de la mina y de producción de la ladrillera Framar LTDA. Durante la implementación de PMRRA*. Proyecto de grado, Universidad Católica de Colombia, Bogotá.  
<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14660/1/DOCUMENTO.pdf>
- Economía y Negocios. (Diciembre 6 de 2019). Insumos, la clave en el sector constructor. *Revista*

*el Tiempo*. <https://www.eltiempo.com/economia/los-insumos-son-clave-para-reactivar-el-sector-de-la-construccion-441030>

Gallegos, H. (2005). *Albañilería estructural*. Perú: Fondo editorial PUCP.

Hernández, R., Fernández, C. & Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación* (6 ed). México: McGraw-Hill.

Hornbostel, C. (2002). *Materiales para construcción. Tipos usos y aplicaciones*. México: Limusa.

Lozano, M. & González, S. (2016). *Uso de residuos cerámicos en la producción de ladrillos de arcilla cocidos del sector alfarero de Candelaria*. Proyecto de grado, Pontificia universidad Javeriana de Cali, Santiago de Cali.  
[http://vitela.javerianacali.edu.co/bitstream/handle/11522/7796/Tesis+Uso+de+residuos+ceramicos+en+la+produccion+de+ladrillos+cocidos+del+sector+alfarero+de+Candelaria.+Gonzalez+&+Lozano\\_2.pdf?sequence=1](http://vitela.javerianacali.edu.co/bitstream/handle/11522/7796/Tesis+Uso+de+residuos+ceramicos+en+la+produccion+de+ladrillos+cocidos+del+sector+alfarero+de+Candelaria.+Gonzalez+&+Lozano_2.pdf?sequence=1)

Maza, O. (2017). *Efecto de la incorporación de residuos industriales en la resistencia y durabilidad de ladrillos de arcilla*. Trabajo de grado, Instituto Politécnico nacional centro interdisciplinario de investigación para el desarrollo integral regional, Oaxaca.  
[http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx/jspui/bitstream/LITER\\_CIIDIROAX/300/1/Maza%20Ignacio%20O.%20T.pdf](http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx/jspui/bitstream/LITER_CIIDIROAX/300/1/Maza%20Ignacio%20O.%20T.pdf)

Mora, J., Castillo, C. & Pardo K. (2018). *Evaluación del comportamiento físico y mecánico de bloques de arcilla macizos con adición de ceniza volante*. Trabajo de grado, Universidad La Gran Colombia, Bogotá. <https://repository.ugc.edu.co/handle/11396/5323>

Moreno, A. (2018). *Economía circular: Crecimiento inteligente, sostenible e integrador*.

- Monografía de grado, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, Bogotá D.C.  
<https://repository.udca.edu.co/bitstream/11158/954/1/Econom%C3%ADa%20Circular%20-%20Crecimiento%20Inteligente%2C%20Sostenible%20e%20Integrador.pdf>
- Moreno, F. (1981). *El ladrillo en la construcción*. España: Ediciones CEAC.
- Nande, J. (2018). *Fabricación de nuevos materiales geopoliméricos a partir de mezclas de residuos de cerámica sanitaria y catalizador gastado de craqueo catalítico*. Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Valencia, España.  
<http://hdl.handle.net/10251/111095>
- Pérez, J. & Gardey, A. (2017). Definición de ceniza. *Definición.DE*. <https://definicion.de/ceniza/>
- Rhodes, D. (1990). *Arcilla y vidriado para el ceramista*. España: Ediciones CEAC.
- Romero, E. (2007). *Residuos Mineros*. Bogotá: Informe. En.: uhu.es.  
<http://www.uhu.es/emilio.romero/docencia/Residuos%20Mineros.pdf>.
- Rozo, S., Sánchez, J. & Álvarez, D. (2014). Propiedades físico mecánicas de bloques H10 fabricados en el área Metropolitana de Cúcuta. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 24 (1), pp. 67-78.
- Sánchez, J. (2010). *Estrategias para la competitividad del clúster de la cerámica del área metropolitana de Cúcuta*. Tesis de maestría inédita, Universidad Nacional Experimental del Táchira, San Cristóbal, República Bolivariana de Venezuela.
- Sánchez, J., Corpas, F. & Álvarez, D. (2019). *Aplicaciones de los nutrientes tecnológicos en la industria cerámica del área metropolitana de Cúcuta*. Bogotá: Ecoe Ediciones, Universidad Francisco de Paula Santander.  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=255298>

- Sánchez, J., Corpas, F., & Rojas, J. (2019). Cenizas Volantes de Termoeléctrica como Materia Prima para la Fabricación de Materiales Cerámicos de Construcción: Efecto de la Temperatura de Cocción sobre el Material. *Información tecnológica*, 30(1), 285-298.  
<https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000100285>
- Sánchez, J., Díez, K., & Torres, D. (2020). Elaboración Y Caracterización De Bloques Cerámicos Extruidos Usando Cenizas De La Combustión De Carbón A Escala De Laboratorio. *Respuestas*, 25(S1), 28-35.  
<https://revistas.ufps.edu.co/index.php/respuestas/article/view/1897>
- Suarez, S., Betancout, C., Mahecha, L. & Benavides, J. (2019). “La gestión de los residuos de construcción y demolición en Villavicencio: estado actual, barreras e instrumentos de gestión”. *Entramado*. <http://dx.doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.1.5408>
- 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>