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

## RESUMEN TRABAJO DE GRADO

AUTOR(ES):  
 NOMBRE(S): YURLEY DAYANA APELLIDOS: VILLAMIZAR CÁCERES

NOMBRE(S): \_\_\_\_\_ APELLIDOS: \_\_\_\_\_

FACULTAD: INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA CIVIL

DIRECTOR:  
 NOMBRE(S): JAVIER ALFONSO APELLIDOS: CÁRDENAS GUTIÉRREZ

CO-DIRECTOR:  
 NOMBRE(S): \_\_\_\_\_ APELLIDOS: \_\_\_\_\_

TÍTULO DEL TRABAJO (TESIS): EVALUACIÓN DE MEZCLAS DE ARCILLA ADICIONANDO CENIZAS DE CARBÓN DE TERMOTASAJERO PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE CONSTRUCCIÓN

### RESUMEN

Este proyecto trata acerca de evaluación de mezclas de arcilla adicionando cenizas de carbón de termotasajero para la fabricación de bloques de construcción. Para ello, se implementó una investigación tipo aplicada. La información se obtuvo mediante una observación directa. La población y muestra correspondió a tres materias primas utilizadas para la fabricación del bloque. Se logró desarrollar el producto utilizando diferentes porcentajes (2,5%, 5% y 7,5%) de cenizas de carbón de Termotasajero a nivel de laboratorio. Posteriormente, se evaluó el producto desarrollado a nivel de laboratorio. Finalmente, se establecieron los costos del producto normal y los costos del producto usando la ceniza de Termotasajero.

PALABRAS CLAVE: mezclas de arcilla, cenizas de carbón, bloques de construcción, costos del producto.

CARACTERÍSTICAS:

PÁGINAS: 123 PLANOS:      ILUSTRACIONES:      CD ROOM:   1  

\*\*Copia No Controlada\*\*

EVALUACIÓN DE MEZCLAS DE ARCILLA ADICIONANDO CENIZAS DE CARBÓN DE  
TERMOTASAJERO PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE CONSTRUCCIÓN

YURLEY DAYANA VILLAMIZAR CÁCERES

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA CIVIL

SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2021

EVALUACIÓN DE MEZCLAS DE ARCILLA ADICIONANDO CENIZAS DE CARBÓN DE  
TERMOTASAJERO PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE CONSTRUCCIÓN

YURLEY DAYANA VILLAMIZAR CÁCERES

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

Ingeniera Civil

Director:

JAVIER ALFONSO CÁRDENAS GUTIÉRREZ

Magíster en Administración de Empresas

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA CIVIL

SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2021

## ACTA DE SUSTENTACION DE TRABAJO DE GRADO

FECHA: 22 DE OCTUBRE DE 2021 HORA: 2:00 p. m.

LUGAR: VIDEOCONFERENCIA – GOOGLE MEET

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERIA CIVIL

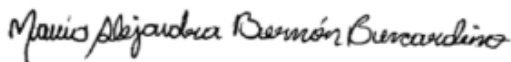
TITULO DE LA TESIS: "EVALUACIÓN DE MEZCLAS DE ARCILLA ADICIONANDO CENIZAS DE TERMOTASAJERO PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE CONSTRUCCIÓN".

JURADOS: ING. MARIA ALEJANDRA BERMON BENCARDINO  
ING. CLAUDIA PATRICIA CHAUSTRE SANCHEZ

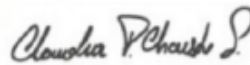
DIRECTOR: ING. JAVIER ALFONSO CARDENAS GUTIERREZ

NOMBRE DE LOS ESTUDIANTES:	CODIGO	CALIFICACION	
		NUMERO	LETRA
YURLEY DAYANA VILLAMIZAR CACERES	1112433	4,6	CUATRO, SEIS

## MERITORIA



ING. MARIA ALEJANDRA BERMON BENCARDINO



ING. CLAUDIA PATRICIA CHAUSTRE SANCHEZ



Vo. Bo.

JAVIER ALFONSO CARDENAS GUTIERREZ  
Coordinador Comité Curricular

Betty M.



Vigilada Mineducación

GESTIÓN DE SERVICIOS ACADÉMICOS Y BIBLIOTECARIOS



**CARTA DE AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA  
LA CONSULTA, LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y LA PUBLICACIÓN  
ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO**

Cúcuta,

Señores  
BIBLIOTECA EDUARDO COTE LAMUS  
Ciudad

Cordial saludo:

Yurley Dayana Villamizar Cáceres, identificado(s) con la C.C. N° 1094268738, autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado titulado Evaluación de mezcla de arcilla adicionando cenizas de Termotasajero para la fabricación de bloques de construcción. Presentado y aprobado en el año 2021 como requisito para optar al título de Ingeniero Civil; autorizo(amos) a la biblioteca de la Universidad Francisco de Paula Santander, Eduardo Cote Lamus, para que, con fines académicos, muestre a la comunidad en general a la producción intelectual de esta institución educativa, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo de grado en la página web de la Biblioteca Eduardo Cote Lamus y en las redes de información del país y el exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad Francisco de Paula Santander.
- Permita la consulta, la reproducción, a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato CD-ROM o digital desde Internet, Intranet etc.; y en general para cualquier formato conocido o por conocer.

Lo anterior, de conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la ley 1982 y el artículo 11 de la decisión andina 351 de 1993, que establece que **“los derechos morales del trabajo son propiedad de los autores”**, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

*Yurley Dayana Villamizar C.*

YURLEY DAYANA VILLAMIZAR CACERES  
C.C. 1.094.268.738 EXP. PAMPLONA

## **Agradecimientos**

Le agradezco a Dios, por darme vida, salud y fortaleza para culminar con mi pregrado, gracias a él por concederme la mejor madre que siempre está presente y padre que me cuida del cielo.

Especialmente muy agradecida con mi hermano Alexander que me ha brindado su apoyo incondicional a lo largo de mi carrera y que siempre me ha dado una voz de aliento en los momentos difíciles, por otra parte, presento mis más sinceros agradecimientos a mi director de grado el Ing. Javier Alfonso Cárdenas, a la codirectora la Ing. Leidy Peñaloza y al Ing. Jorge Sánchez Molina por la experiencia en el sector cerámico y la gestión del nutriente tecnológico con la termoeléctrica Termotasajero, a los laboratoristas del CIMAC ya que sin la ayuda de ellos no se habría logrado culminar este proyecto.

## Contenido

	<b>pág.</b>
Introducción	19
1. Problema	21
1.1 Título	21
1.2 Planteamiento de Problema	21
1.3 Formulación del Problema	22
1.4 Objetivos	22
1.4.1 Objetivo general	22
1.4.2 Objetivos específicos	22
1.5 Justificación	23
1.6 Alcances y Limitaciones	23
1.6.1 Alcances	23
1.6.2 Limitaciones	24
1.7 Delimitaciones	24
1.7.1 Delimitación espacial	24
1.7.2 Delimitación temporal	24
1.7.3 Delimitación conceptual	24
2. Marco Referencial	25
2.1 Antecedentes y Estado del Arte	25
2.1.1 Antecedentes regionales	25
2.1.2 Antecedentes nacionales	27
2.1.3 Antecedentes internacionales	30
2.2 Marco Teórico	31

2.2.1 Termoeléctricas	33
2.2.2 Extracción de arcilla	35
2.3 Marco conceptual	37
2.4 Marco Contextual	39
2.5 Marco Legal	41
3. Diseño Metodológico	43
3.1 Tipo de Investigación	43
3.2 Población y Muestra	44
3.2.1 Población	44
3.2.2 Muestra	44
3.3 Instrumentos para la Recolección de Datos	45
3.3.1 Información primaria	45
3.3.2 Fuentes secundarias	47
3.4 Fases y Actividades Específicas	47
4. Metodología	49
4.1 Materias Primas Utilizadas	49
4.1.1 Arcilla mina támesis CR – Cerámica Italia	49
4.1.2 Cenizas volantes	59
4.2 Proceso de Conformado	62
4.3 Ensayos Realizados	66
4.3.1 Análisis físico-cerámico	66
4.3.2 Determinación de la absorción de agua en unidades de mampostería	67
4.3.3 Determinación de la resistencia mecánica a la compresión en unidades de mampostería	71



4.4 Normas Aplicadas	73
5. Desarrollo de los Objetivos	74
5.1 Diagnóstico del Sector de Cenizas de Termotasajero	74
5.1.1 Textura y color	76
5.1.2 Numero de especímenes a analizar	77
5.1.3 Análisis físico cerámico por extruido	77
5.1.4 Absorción de agua	78
5.1.5 Resistencia mecánica a la compresión	79
5.2 Desarrollo del bloque H-10 Utilizando Diferentes Porcentajes del Nutriente a Nivel de Laboratorio	80
5.2.1 Dimensiones del espécimen en mezclas con 100% de arcilla	80
5.2.2 Textura y color	81
5.2.3 Numero de especímenes a analizar	82
5.2.4 Análisis físico cerámico por extruido a 100% de mezcla de arcilla	82
5.2.5 Absorción de agua en mezcla de arcilla 100%	83
5.2.6 Resistencia mecánica a la compresión en mezcla de arcilla 100%	85
5.2.7 Análisis Físico cerámico por extruido con adición de 2,5% de cenizas de carbón de la termoeléctrica	87
5.2.8 Absorción de agua a 2,5% de mezcla de arcilla con cenizas de carbón de la termoeléctrica	87
5.2.9 Resistencia mecánica a la compresión a 2,5% de mezcla de arcilla con ceniza de termoeléctrica	89
5.2.10 Análisis Físico cerámico por extruido con adición de mezcla de arcilla con el 5% de cenizas de carbón de Termotasajero	90

5.2.11 Absorción de agua a (5%) de mezcla de arcilla con (Cenizas de carbón de la termoeléctrica)	91
5.2.12 Resistencia mecánica a la compresión a 5% de mezcla de arcilla con ceniza de carbón de la termoeléctrica	93
5.2.13 Análisis Físico cerámico por extruido con adición de 7,5% de cenizas de carbón de termotasajero	94
5.2.14 Absorción de agua a 7,5% de mezcla de arcilla con ceniza de carbón de la termoeléctrica	95
5.2.15 Resistencia mecánica a la compresión a 7,5% de mezcla de arcilla con cenizas de carbón de la termoeléctrica	96
5.3 Evaluación del Bloque h 10 Desarrollado a nivel de Laboratorio	97
5.4 Costos del bloque H-10 Normal y del Bloque Fabricado con Cenizas de Carbón de la Termoeléctrica	102
5.4.1 Determinación de las relaciones entre costo y actividad	107
6. Conclusiones	112
7. Recomendaciones	113
Referencias Bibliográficas	114
Anexos	122

## Lista de Figuras

	<b>pág.</b>
Figura 1. Unidades de mampostería horizontal NTC 4205	31
Figura 2. Unidades de mampostería vertical NTC 4205	31
Figura 3. Esquema de la producción de las cenizas volantes, escorias y cenizas de fondo	35
Figura 4. Formato para el ensayo de absorción de agua en unidades de mampostería	45
Figura 5. Formato para el ensayo de resistencia mecánica a la compresión en unidades de mampostería	46
Figura 6. Formato para el análisis físico-cerámico por extruido en unidades de mampostería	47
Figura 7. Fases del proyecto.	48
Figura 8. Mapa de localización de la mina Támesis 1	50
Figura 9. Frente de explotación de la Arcilla (cerámica Támesis S.A.)	51
Figura 10. Análisis comparativo por difracción de rayos-X de las fases identificadas en el espécimen seleccionado de la muestra	55
Figura 11. Patrón de difracción de la ceniza volante	59
Figura 12. Microfotografías (MEB) de la ceniza volante	61
Figura 13. Extrusora de laboratorio con vacío	63
Figura 14. Apisonador de la Arcilla (trituración)	64
Figura 15. Molino de martillos (molienda vía seca)	64
Figura 16. Tamiz malla 10 (tamizado)	64
Figura 17. Estufa de 128 litros	65
Figura 18. Horno mufla	65
Figura 19. Pie de Rey digital de 200 mm	66
Figura 20. Balanza digital de 20 kg	68

Figura 21. Tanque para realizar absorción de agua por el método de inmersión	69
Figura 22. Termohigrómetro extech	69
Figura 23. Crometro (prensa de presión)	72
Figura 24. Promedio de los 3 lotes fabricados para absorciones de agua	99
Figura 25. Datos promedios de absorción de agua en 2,5%, 5% y 7,5% cenizas de carbón de la termoeléctrica	99
Figura 26. Resistencia mecánica a la compresión en mezcla de arcilla valores en Kf/cm <sup>2</sup>	100
Figura 27. Valores promedio de resistencia mecánica a la compresión en kgf/cm <sup>2</sup> de mezcla de cenizas de carbón de la termoeléctrica	101

## Lista de Tablas

	<b>pág.</b>
Tabla 1. Composición estructural del material arcilloso	51
Tabla 2. Resultados obtenidos por fluorescencia de rayos-x de la muestra identificada	57
Tabla 3. Análisis físico cerámico (datos tomados de Cerámica Italia)	58
Tabla 4. Composición estructural de la ceniza volante de termoeléctrica	60
Tabla 5. Composición química de la ceniza volante de termoeléctrica	60
Tabla 6. Macroquímica de algunas partículas presentes en la ceniza volante (% atómico)	62
Tabla 7. Resultados análisis N, C, H, S	62
Tabla 8. Comparación de dimensiones reales vs laboratorio	76
Tabla 9. Propiedades físicas de las unidades de mampostería estructural	79
Tabla 10. Propiedades físicas de las unidades de mampostería no estructural	80
Tabla 11. Análisis Físico cerámico por extruido de la mezcla 100% de arcilla	83
Tabla 12. Absorción de agua muestra N° 1 mezcla 100% de arcilla	84
Tabla 13. Absorción de agua muestra N° 2 mezcla 100% de arcilla	84
Tabla 14. Absorción de agua muestra N° 3 mezcla 100% de arcilla	85
Tabla 15. Resistencia mecánica a la compresión muestra N° 1 arcilla 100%	86
Tabla 16. Resistencia mecánica a la compresión muestra N° 2 arcilla 100%	86
Tabla 17. Resistencia mecánica a la compresión muestra N° 3 arcilla 100%	86
Tabla 18. Análisis físico cerámico por extruido de mezcla de arcilla con 2,5% (cenizas de	87
Tabla 19. Absorción de agua muestra N°1 de mezcla de arcilla con (2,5% cenizas carbón de la termoeléctrica)	88
Tabla 20. Absorción de agua muestra N°2 de mezcla de arcilla con (2,5% cenizas de carbón de la termoeléctrica)	88

Tabla 21. Absorción de agua muestra N°3 de mezcla de arcilla con (2,5% cenizas de carbón de la termoeléctrica)	89
Tabla 22. Resistencia mecánica a la compresión muestra N° 1 con adición de 2,5% cenizas de carbón de la termoeléctrica con arcilla	89
Tabla 23. Resistencia mecánica a la compresión muestra N° 2 con adición de 2,5% cenizas de carbón de la termoeléctrica con arcilla	90
Tabla 24. Resistencia mecánica a la compresión muestra N° 3 con adición de 2,5% cenizas de carbón de la termoeléctrica con arcilla	90
Tabla 25. Análisis físico cerámico por extruido de mezcla de arcilla con 5% (cenizas de carbón de la termoeléctrica)	91
Tabla 26. Absorción de agua muestra N° 1 mezcla de arcilla con (5% de cenizas de carbón de la termoeléctrica)	91
Tabla 27. Absorción de agua muestra N° 2 mezcla de arcilla con (5% de cenizas de carbón de la termoeléctrica)	92
Tabla 28. Absorción de agua muestra N° 3 mezcla de arcilla con (5% de cenizas de carbón de la termoeléctrica)	92
Tabla 29. Resistencia mecánica a la compresión muestra N° 1 con adición de 5% cenizas de carbón de la termoeléctrica con arcilla	93
Tabla 30. Resistencia mecánica a la compresión muestra N° 2 con adición de 5% cenizas de carbón de la termoeléctrica con arcilla	93
Tabla 31. Resistencia mecánica a la compresión muestra N° 3 con adición de 5% cenizas de carbón de la termoeléctrica con arcilla	94
Tabla 32. Análisis físico cerámico por extruido de mezcla de arcilla con 7,5% (cenizas de carbón de la termoeléctrica)	94

Tabla 33. Absorción de agua muestra N° 1 mezcla de arcilla con (7,5% de cenizas de carbón de la termoeléctrica)	95
Tabla 34. Absorción de agua muestra N° 2 mezcla de arcilla con (7,5% de cenizas de carbón de la termoeléctrica)	95
Tabla 35. Absorción de agua muestra N° 3 mezcla de arcilla con (7,5% de cenizas de carbón de la termoeléctrica)	96
Tabla 36. Resistencia mecánica a la compresión muestra N° 1 con adición de 7,5% cenizas de carbón de la termoeléctrica con arcilla	96
Tabla 37. Resistencia mecánica a la compresión muestra N° 2 con adición de 7,5% cenizas de carbón de la termoeléctrica con arcilla	97
Tabla 38. Resistencia mecánica a la compresión muestra N° 3 con adición de 7,5% cenizas de carbón de la termoeléctrica con arcilla	97
Tabla 39. Análisis comparativo de resultados	102
Tabla 40. Actividades de Empresa que fabrica Bloque H-10	103
Tabla 41. Componente del costo vs actividad	108
Tabla 42. Consolidado de los costos de las actividades de producción en el periodo analizado	110
Tabla 43. Costo del bloque usando cenizas de carbón de la termoeléctrica	111

## **Lista de Anexos**

	<b>pág.</b>
Anexo 1. Evidencia fotográfica	123



## **Resumen**

Este proyecto trata acerca de evaluación de mezclas de arcilla adicionando cenizas de carbón de termotasajero para la fabricación de bloques de construcción. Para ello, se implementó una investigación tipo aplicada, según el nivel en exploratoria y descriptiva y finalmente según la estrategia en investigación experimental. La información se obtuvo mediante una observación directa, la entrega de los resultados de cada ensayo realizado por el personal del laboratorio. La población y muestra correspondió a tres materias primas utilizadas para la fabricación del bloque, entre las que se tiene, la arcilla de la formación Guayabo de Norte de Santander, y cenizas de carbón de termoeléctrica Termotasajero. Se logró realizar un diagnóstico del sector de las cenizas de carbón de Termotasajero. Seguidamente, se desarrolló el producto utilizando diferentes porcentajes (2,5%, 5% y 7,5%) de cenizas de carbón de Termotasajero a nivel de laboratorio. Posteriormente, se evaluó el producto desarrollado a nivel de laboratorio. Finalmente, se establecieron los costos del producto normal y los costos del producto usando la ceniza de Termotasajero.

## **Abstract**

This project deals with the evaluation of clay mixtures adding thermotank coal ash for the manufacture of building blocks. For this, an applied research type was implemented, according to the exploratory and descriptive level and finally according to the experimental research strategy. The information was obtained through direct observation, the delivery of the results of each test carried out by the laboratory personnel. The population and sample corresponded to three raw materials used to manufacture the block, including clay from the Guayabo formation in Norte de Santander, and coal ash from Termotasajero thermoelectric plant. A diagnosis of the Termotasajero coal ash sector was carried out. Next, the product will be developed using different percentages (2.5%, 5% and 7.5%) of coal ash from Termotasajero at the laboratory level. Subsequently, the product developed at the laboratory level was evaluated. Finally, the costs of the normal product and the costs of the product using the Termotasajero ash were established.

## Introducción

El siguiente proyecto evalúa el uso de cenizas de carbón de la Termoeléctrica como agregado a la mezcla de arcilla para fabricación de bloques de construcción, comprobando su comportamiento físico-mecánico a nivel de laboratorio y la comparación de costos, para evaluar su viabilidad. Aparte de conocer las propiedades de los bloques elaborados con este agregado, se tiene en cuenta el factor ambiental de reutilizar este material, una razón fundamental del presente estudio. Los ensayos de laboratorio fueron llevados a cabo en el centro de investigación de materiales cerámicos (CIMAC) de la universidad Francisco de Paula Santander (Sede Cúcuta), con personal capacitado y con experiencia en el tema. Se trabajó según lo indicado en la norma técnica colombiana NTC 4205:2000 con una mezcla patrón de arcilla al 100% y tres porcentajes diferentes del agregado (2,5%, 5% y 7,5%), realizando ensayos físico-cerámicos para conocer sus propiedades físicas (Contracción en estado seco y húmedo, Pérdida de Masa, temperatura aplicada, adsorción de agua, etc.), ensayo de Absorción de agua y ensayo de resistencia mecánica a la compresión para conocer las propiedades mecánicas de los bloques, también la composición mineralógica y química del nutriente tecnológico.

Se utilizaron las cenizas de carbón de la termoeléctrica Termotasajero, teniendo en cuenta los antecedentes previamente investigados, donde se mencionan las mejoras que éste agregado aporta a la mezcla de arcilla y así mismo contribuyendo con el medio ambiente para disminuir la huella de carbono y mejorar la optimización del proceso de fabricación de bloques cerámicos.

Todo esto nos lleva a un análisis comparativo de calidad de los bloques con los diferentes porcentajes de cenizas de carbón de la termoeléctrica dispuestos para este estudio, también para hacer la respectiva comparación con la norma y verificar el cumplimiento de la misma, además,

se incluye un diagnóstico completo del sector productivo de la industria cerámica en el

departamento de Norte de Santander, principalmente en su capital, San José de Cúcuta y su área metropolitana. A lo anterior se le agrega que este estudio además aporta información sobre el costo de producción de los bloques de arcilla y el costo de producción del mismo con una adición de 2,5% de cenizas de carbón de la Termoeléctrica. Con el fin de aprovechar los recursos para fabricar nuevos productos, este sistema se conoce como “economía circular”, alternativas de producción limpia con aprovechamiento de residuos, sin alterar la calidad de los nuevos productos, realizando los respectivos estudios y ensayos a nivel de laboratorio.

En la industria de la construcción, y en particular la producción de materiales cerámicos, constituye una de las áreas más efectivas para la reutilización de residuos industriales. (Quarantana, 2009) La producción del ladrillo en Norte de Santander es una de las actividades económicas más importantes para la región, sin embargo, es una de las principales fuentes de contaminantes atmosféricos del departamento.

## **1. Problema**

### **1.1 Título**

EVALUACIÓN DE MEZCLAS DE ARCILLA ADICIONANDO CENIZAS DE CARBÓN DE TERMOTASAJERO PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE CONSTRUCCIÓN.

### **1.2 Planteamiento de Problema**

La generación de energía eléctrica en centrales termoeléctricas a nivel mundial, tiene un gran porcentaje de participación; es así que podemos encontrar que el mayor productor de cenizas de carbón producto de la combustión del carbón es China, el segundo lugar es ocupado por Rusia y en tercero se encuentra Estados Unidos.

La producción de cenizas volantes de la combustión del carbón en E.E.U.U. y Europa se estima en 88 y 55 millones de toneladas por año respectivamente. De esta producción, una porción muy baja es reciclada, 22% en E.E.U.U en un promedio sólo el 50% en la Unión Europea, presentándose grandes diferencias de un país a otro. (Newman, 1995, p.13)

Los dirigentes mundiales y en general las naciones en los últimos veinte años se han venido preocupando por la conservación del medio ambiente, dentro los temas discutidos en las convenciones de Rio de Janeiro en 1992 y Kioto en 1997, se mostró que las emisiones de gases de combustión de combustibles fósiles que se realizan sin control a la atmosfera no se pueden permitir por más tiempo ni ser aceptadas por la sociedad. Durante las convenciones mencionadas anteriormente se hizo referencia a las cenizas volantes producto de la combustión del carbón donde se afirmó lo siguiente: “La sustitución de una tonelada de cemento portland por una tonelada de ceniza volante elimina una tonelada de CO<sub>2</sub> emitido durante la producción de

cemento” (Kalyonku, 1998, p.20).

Pensando en la contribución de disminuir los niveles de contaminación al medio ambiente surge la idea de reutilizar diferentes porcentajes (2,5%, 5% y 7,5%) de cenizas de Termotasajero como nutriente para realizar bloques H-10 para construcción que normalmente se realizan con un 100% de arcilla perteneciente a la formación Guayabo de Cúcuta, Norte de Santander.

### **1.3 Formulación del Problema**

¿Qué propiedad físico-mecánica mejoraría si se elabora el bloque de construcción con cenizas de carbón de Termotasajero?

### **1.4 Objetivos**

**1.4.1 Objetivo general.** Evaluar mezclas de arcilla adicionando cenizas de carbón de Termotasajero para la fabricación de bloques de construcción.

**1.4.2 Objetivos específicos.** Los objetivos específicos se muestran a continuación:

Realizar un diagnóstico del sector de las cenizas de carbón de Termotasajero.

Desarrollar el producto utilizando diferentes porcentajes (2,5%, 5% y 7,5%) de cenizas de carbón de Termotasajero a nivel de laboratorio.

Evaluar el producto desarrollado a nivel de laboratorio.

Establecer los costos del producto normal y los costos del producto usando la ceniza de Termotasajero.

## **1.5 Justificación**

Como se mencionó en el problema, las cenizas de carbón producidas en las calderas de la central Termoeléctrica se almacenan en un patio a cielo abierto en donde fácilmente son arrastradas por las corrientes de aire que circulan por esta zona, transportándolas a través de la sabana. De obtenerse resultados positivos, durante la evaluación del desempeño de los ladrillos, se tendrían bases confiables las cuales pueden impulsar el consumo de la ceniza como material primario en la elaboración de ladrillos refractarios, proceso que generaría una notable disminución en la cantidad de ceniza que se dispondría en el patio. Esta situación disminuye el área superficial sobre la cual los vientos circularían evitando arrastre y disminuyendo la concentración de material particulado que afecta en forma directa el sistema respiratorio del personal que labora en la planta y las comunidades que se encuentran asentadas en los alrededores de la central Termoeléctrica.

Con la reducción del volumen de ceniza acumulada en el patio a cielo abierto, se favorece la disminución de lixiviación de metales que forman parte de la composición química del material. De esta manera se baja la cantidad de arcilla explotada para cada bloque y se les da un buen uso a las cenizas de carbón de la termoeléctrica.

## **1.6 Alcances y Limitaciones**

**1.6.1 Alcances.** Este proyecto pretendió evaluar los bloques de construcción, utilizando como material para su elaboración la arcilla presente en la región, y diferentes proporciones o porcentajes de cenizas de carbón de la termoeléctrica Termotasajero, esperando alcanzar resultados en donde el nutriente pueda servir para darle mayor resistencia al bloque de construcción, sin dejar atrás el beneficio ambiental u económico que esto conlleve.

**1.6.2 Limitaciones.** Este proyecto se encuentra limitado en la recolección y transporte del nutriente tecnológico de la empresa al laboratorio de estudio. Ya que con la situación actual a nivel nacional y global del virus Covid-19 se postergaron los laboratorios y análisis de los mismos.

## **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 fue ejecutado a partir de la fecha de aprobación del mismo, con una duración de 4 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 regionales.** Díez, Sánchez & Torres (2020). “Elaboración y caracterización de bloques cerámicos extruidos usando cenizas de la combustión de carbón a escala de laboratorio”. Las cenizas producto de la combustión del carbón utilizado para alimentar los hornos colmena de la industria cerámica de Norte de Santander, contienen contaminantes potencialmente peligrosos para el medio ambiente y hasta el momento no tienen ninguna aplicación práctica, por lo cual, se convierten en un material de desecho en el departamento. En este estudio, se desarrolló una formulación para realizar un material cerámico compuesto de una mezcla de arcilla de Norte de Santander (Colombia) y residuos de cenizas provenientes de la combustión del carbón utilizado para alimentar hornos colmena de la región, 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. Los resultados permitieron seleccionar 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.

Mediante este antecedente se toma como referencia utilizar una temperatura promedio de 1000 °C con unos porcentajes de mineral tecnológico de CDC de la termoeléctrica un poco más bajos para verificar si cumplen los rasgos establecidos en la norma.

Sánchez, Corpas & Rojas (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”. Se empleó ceniza volante de una central termoeléctrica, como sustituto parcial de material arcilloso, para la elaboración de cerámicos de construcción. Las probetas se realizaron con sustituciones del 5, 10, 15 y 20% (peso), mediante conformado por extrusión, se emplearon varias temperaturas de cocción (900 a 1200°C). Esto para establecer correlaciones entre la microestructura, la topografía y las propiedades tecnológicas del cerámico tales como la resistencia mecánica a la flexión, la resistencia a la abrasión profunda, el porcentaje de absorción de agua, la conductividad térmica y la contracción lineal de secado/cocción. El análisis microestructural y de topografía dejó en evidencia que la ceniza volante es rica en fase amorfa y con presencia de elementos de carácter fundente (K y Fe). Los fenómenos de recristalización 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.

Con esta referencia se logra obtener información de la caracterización química y metodología del nutriente tecnológico CDC de Termotasajero y su composición con los ensayos de Difracción de Rayos X, Fluorescencia de Rayos X, Análisis Térmicos TG/DTG, en cuanto a los prototipos se les realizó ensayos físico-cerámicos para evaluar las propiedades tecnológicas del material

cerámico, conductividad térmica, caracterización estructural y morfológica y análisis térmico/gravimétrico.

Peñaloza, Ortiz & Sánchez (2018). “Estudio de la huella de carbón en un proceso productivo cerámico en el área metropolitana de Cúcuta”. El proceso experimental fue propuesto a fin de establecer la viabilidad de sustituir parte de la fracción mineral usada en la actualidad (material arcilloso) por residuos de procesos de combustión (cenizas) de carbón mineral en termoeléctrica, como elemento para reducir la huella de carbono del proceso de producción de productos cerámicos, sin alterar la calidad, propiedades y funcionalidad del producto final. El estudio se centra en el caso concreto de una empresa ladrillera del área metropolitana de Cúcuta, y en la sustitución de un 10% de la materia prima (arcilla) por cenizas procedentes de la central termoeléctrica, para la producción de bloque cerámico. Los análisis realizados establecen un ahorro energético derivado del uso de un 10% de ceniza volante equivalente a 997.12Kg de carbón de Norte de Santander por quema. Los resultados determinan que, para el caso de la producción de la ladrillera, la reducción anual de emisiones asociadas al proceso productivo, con el uso de cenizas de la termoeléctrica, sería de 849.48 toneladas de CO<sub>2</sub>. Así, la huella de carbono se ve reducida en 16.39 kg CO<sub>2</sub> equiv/t producto acabado, lo que supone un descenso de un 5,99% de la huella de carbono con respecto al proceso convencional.

Esta investigación nos confirma que si se reutiliza las cenizas de termoeléctrica de la región se logra bajar una cantidad de contaminación al medio ambiente y se contribuye en la economía circular.

**2.1.2 Antecedentes nacionales.** Aguilar (2019). “Elaboración de ladrillos mediante la inclusión de ceniza de carbón proveniente de la ladrillera bella vista de Tunja Boyacá”. En esta

investigación se evaluó la inclusión de ceniza de carbón (CDC) como sustituto parcial de arcilla (Ar) en la elaboración de ladrillos cerámicos, con el fin de dar un valor agregado a un material considerado un desecho producto de la actividad industrial de la Ladrillera Bella Vista en Tunja-Boyacá. La caracterización mineralógica de las materias primas se realizó a través de la técnica de difracción de rayos X (DRX). Se elaboraron elementos con porcentajes de sustitución (CDC – Ar) del 5%, 10% y 15% en peso, de dimensiones modulares de acuerdo con la Norma Técnica Colombiana (NTC) 296 efectuando un proceso de cocción a una temperatura de 950°C. Para determinar las propiedades mecánicas de los ladrillos de AR y CDC se efectuaron ensayos de absorción y resistencia a la compresión según lo indicado en la NTC 4017 y se clasificaron según los requisitos establecidos en la NTC 4205 para mampostería estructural y no estructural.

Con esta tesis se logra revisar la caracterización de la materia prima y las normas bajo las cuales compararon los resultados de los ensayos, éste me da un concepto más claro ya que en mi proyecto cambia es el tipo de materiales y los porcentajes a utilizar.

Treviño & Lancheros (2015). “Utilización de los residuos de la extracción de carbón y del proceso de coquización junto con desechos plásticos, como alternativa de obtención de materiales”. Residuos de carbón como las cenizas volantes generados en termoeléctricas fueron utilizadas para desarrollar cementos especiales y para la fabricación de ladrillos (Minicelli D, 2008) a partir de estudios en varios países como China se ha podido aprovechar 600 millones de toneladas de cenizas y rezagos de calderas que se generan anualmente, para ser usadas como material de aporte en construcciones y como agregado para la fabricación de ladrillos, con un alto grado de calidad y resistencia, factores importantes en el campo de la construcción (Vinai R, 2013) con el aprovechamiento de los residuos del carbón es posible la obtención de componentes básicos para la producción de yeso y cemento portland materiales fundamentales para el

desarrollo de elementos prefabricados para la construcción de edificaciones (Deg, 2008; Telesca, 2013).

Con esta investigación se logra identificar la problemática de las termoeléctricas con la contaminación del medio ambiente y lo importante que es el aprovechamiento o reutilización de los residuos producidos para desarrollar productos que aporten al sostenimiento y economía circular.

Mora, Castillo & Pardo (2018). “Evaluación del comportamiento físico y mecánico de bloques de arcilla macizos con adición de ceniza volante”. 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; pues el proceso de quema de carbón en central termoeléctrica genera grandes cantidades de energía el cual produce grandes cantidades de residuos, dentro de ellos se encuentra la ceniza volante, material que no tiene buena disposición final. Con base en lo anterior, 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 Atterberg, 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 vigente.

Aunque mi proyecto consiste en realizar bloque número 10 para mampostería no estructural, esta investigación dice que se obtienen resultados óptimos y cumplen con la normativa vigente esto hace que mi investigación pueda llegar a un buen término.

### **2.1.3 Antecedentes internacionales.** Andreola, Barbieri, Lancellotti & Pozzi (2005).

“Reciclado de residuos industriales en la fabricación de ladrillos de construcción”. El continuo aumento de la cantidad de residuos (desechos) que se generan en los procesos industriales, induce a buscar nuevos métodos alternativos a la disposición final que sean altamente eficientes y a bajo costo. La industria manufacturera de ladrillos resulta muy prometedora desde este punto de vista. En este trabajo ha sido investigada la posibilidad de usar distintos residuos industriales, entre ellos barros de pulido del gres porcelanito. Cenizas de carbón, cenizas de acerías y de incinerador municipal para la fabricación de ladrillos de exteriores. Fueron analizados los problemas que podrían derivar al introducir estos residuos en la pasta. En particular, en esta primera parte del trabajo se muestran los resultados derivados de la introducción de los residuos considerados, en distintos porcentajes, sobre las propiedades físicas y tecnológicas del producto final. En la segunda parte se desarrollarán los efectos causados sobre las propiedades químicas, mecánicas y microestructurales.

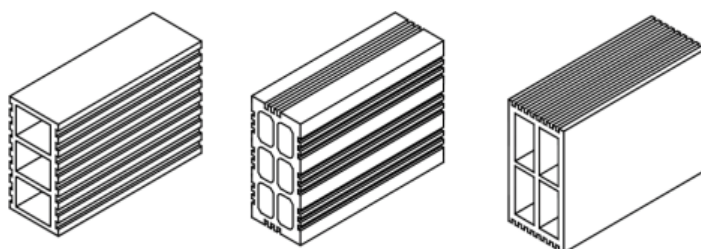
Con esta investigación se quiere llegar a utilizar gran parte de los desechos industriales que se producen en nuestra región y darles una alternativa viable que contribuya al sostenimiento y economía, así poder realizar un aporte ambiental.

## 2.2 Marco Teórico

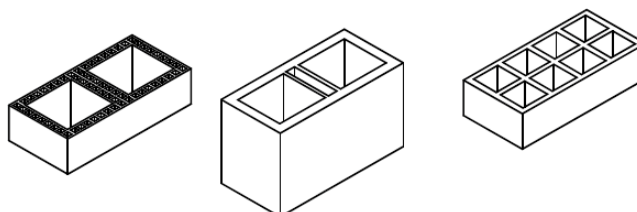
**¿Qué es un bloque?** Bloque de arcilla cocida que posee perforaciones horizontales o verticales, por lo que su peso se reduce notablemente. Hay dos tipos generales de ladrillos huecos:

**Unidad de mampostería de perforación vertical (Bloques) PV** unidad cuyas celdas o perforaciones son perpendiculares a la cara o superficie en que se asiente en el muro. El área neta de las celdas o perforaciones, medida en cualquier sección perpendicular a sus ejes, no puede ser superior al 65% del área bruta en esa misma sección.

**Unidad de mampostería de perforación horizontal (Bloques) PH** unidad cuyas celdas o perforaciones son paralelas a la cara o superficie en que se asientan en el muro.



**Figura 1. Unidades de mampostería horizontal NTC 4205**



**Figura 2. Unidades de mampostería vertical NTC 4205**

En Cúcuta y su área metropolitana se fabrican diferentes productos para construcción, dentro de los cuales sobresale el bloque H10, en presentaciones como seis huecos cuadrados y ocho

huecos mixtos (Rozo, Sanchez & Alvarez, 2010). Estos productos se emplean como mampostería en obras civiles. Su función consiste en soportar cargas uniaxiales de fuerza perpendicular al área (Lopez, Oller & Oñate, 1998). Este tipo de productos se encuentra expuesto a humedad del interior o exterior por lo cual debe poseer un bajo índice de absorción de agua, que evite dilataciones, fisuras y desprendimiento del mortero.

Las empresas representan la mayor parte de la productividad económica de la región, el cual se encuentra constituida por 136 empresas formales entre pequeñas y medianas en su gran mayoría, según la cámara de comercio de Cúcuta, el sector cerámico genera en promedio de empleos directos por año 1998 personas ocupadas conforme a datos del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), consume mensualmente entre 17.000 y 25.000 toneladas de carbón, su producción está dirigida casi en su totalidad a la industria de la construcción y le genera a la economía regional ingresos cercanos a los \$25.600 miles de millones de pesos (Sánchez & Gelves, 2012) (Sin embargo, en los últimos años la productividad en el sector cerámico se ha visto afectada por la poca participación de las empresas en la innovación de sus procesos, ya que la innovación se ha convertido en un factor clave para el desarrollo económico, tecnológico y social, jugando un papel importante en la competitividad de los sectores.

La mayor proporción de productos fabricados en las empresas corresponde al bloque (15%), ladrillo perforado (14%), Teja española (11%), tableta colonial (9%) y enchapes y revestimientos (9%) y en menor proporción se encuentra los tubos (0%), tablón (1%), y tableta esmaltada (0%). Se aclara que el 0% no significa que no se fabrique en las empresas, sino que, en proporción, comparado con la producción de los otros productos, es insignificante. (Sánchez & Gelves, 2012).



**2.2.1 Termoeléctricas.** Contaminación como consecuencia de la obtención de energía. En general, todo uso de energía conlleva diferentes tipos de contaminación y alteración del medio ambiente.

La polución atmosférica parece ser actualmente el principal aspecto negativo del uso de energía en el mundo y es provocada por la combustión tanto de combustible de origen fósil, leña u otros. Los efectos de este proceso pueden ser locales, regionales o globales. Los efectos locales corresponden principalmente a aquellos provocados por emisión de partículas, óxidos nitrosos y monóxido de carbono, los que conforman el denominado smog, proveniente de vehículos y chimeneas industriales y residenciales; los principales efectos regionales se refieren a la lluvia ácida, provocada principalmente por la emisión de dióxido de azufre, mientras que los efectos globales corresponden al efecto invernadero provocado por las emisiones de metano y dióxido de carbono.

La industria química necesita gran cantidad de energía que procede principalmente de la combustión de productos petrolíferos, del gas natural, del carbón o de reactores nucleares. Como consecuencia de estas operaciones los mismos tipos de contaminantes que en las centrales térmicas convencionales: partículas, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono e hidrocarburos. (Química General, 2018, p.1)

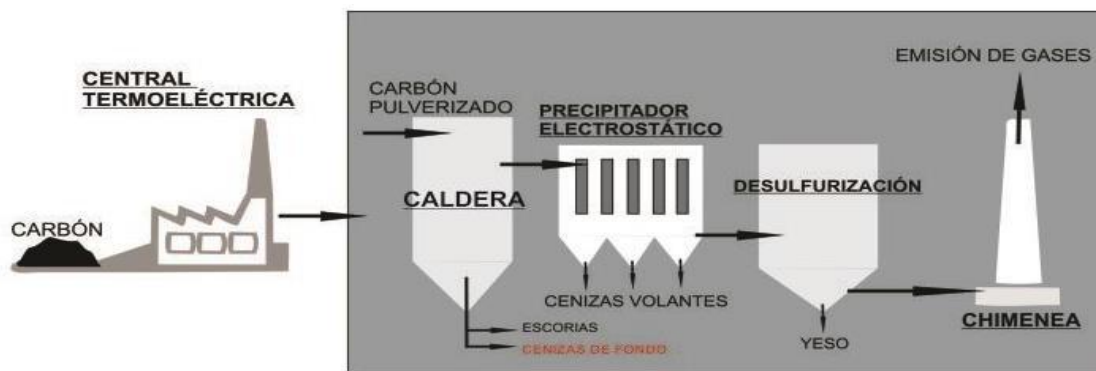
Esta forma de conseguir energía eléctrica se basa en la combustión de los productos a utilizar, los cuales dejan un residuo el cual es el contaminante. Las plantas funcionan a base de petróleo, gas natural o carbón.

La tecnología necesaria para proteger el medio ambiente se basa en los mismos principios que la tecnología utilizada en la industria química, aunque debe operar sobre concentraciones de

especies químicas mucho más pequeñas y lograr que al final del tratamiento las emisiones cumplan la legislación establecida para el medio ambiente.

Los recursos ocupados por las termoeléctricas son productos no renovables, esto quiere decir que sus fuentes de reservas son limitadas, por lo que pueden llegar a agotarse. "El carbón, el petróleo y el gas natural proporcionan el 88% del consumo total de energía en el mundo; la energía nuclear la mayor parte del resto". El uso masivo de estos combustibles es una amenaza real al medio ambiente, que se manifiesta, principalmente, a través del calentamiento global de la tierra y de la acidificación del ciclo de agua. El calentamiento global se origina debido al llamado "efecto invernadero", originado en las emisiones de CO<sub>2</sub>; La acidificación del ciclo de agua se debe a las emisiones de SO<sub>2</sub>. Cabe destacar que uno de los más importantes daños que en la actualidad sufre el medio ambiente es el deterioro de la capa de ozono.

La Central Termoeléctrica de Termotasajero S.A, ubicada en el área metropolitana de San José de Cúcuta (Norte de Santander, Colombia), produce gran cantidad de cenizas volantes producto de la combustión de carbón. En la actualidad, dichas cenizas son utilizadas principalmente en la industria cementera como sustituto del clinker en la fabricación de cemento Portland, lo cual reduce costos y disminuye la contaminación por CO<sub>2</sub> asociada a la producción de cemento (Mohan-Malhotra, 2014) (Davidovits, 1994). Otras aplicaciones de las cenizas volantes están en la remoción del ácido bórico y de sales de boro del agua usada por las industrias de vidrios, de porcelanas, de producción de cueros y de cosméticos (Kavak, 2005; Polat, 2004).



**Figura 3. Esquema de la producción de las cenizas volantes, escorias y cenizas de fondo**

**2.2.2 Extracción de arcilla.** Las problemáticas ambientales más frecuentes en las minas de arcilla se ven generalizadas por: la afectación y modificación morfológica del suelo, atrasando la Génesis del suelo, la tala de árboles, la pérdida de la capa vegetal, erosión del suelo, pérdida de hábitat en términos de fauna y problemas futuros en términos de O<sub>2</sub> ya conociendo que son estas plantas las que disminuyen el CO<sub>2</sub> de la atmosfera para convertirlo en O<sub>2</sub>. “formular un programa de seguimiento y monitoreo del plan de manejo para el control del impacto ambiental generado por la explotación minera de arcilla en el municipio de Cúcuta”; llevando a cabo las fases de planeación, diseño, ejecución, control y evaluación que implicase el seguimiento de dichos planes de manejo en las empresas mineras dedicadas a la extracción y el procesamiento de arcilla del municipio San José de Cúcuta; se utilizó una metodología de campo, descriptiva, aplicando como técnica de recolección de información la observación directa y la entrevista, tomando una muestra intencional no probabilística, conformada por un grupo de 10 empresas del sector minero dedicadas a la extracción y transformación de la arcilla; llegando a la obtención de información suficiente que permitió comprobar no solo la vulnerabilidad ambiental de los sistemas naturales y sociales utilizados o afectados por las actividades de estas industrias, sino también que sus planes de manejo ambiental no han sido lo suficientemente eficaces (Mantilla, 2019).

**Que es nutriente tecnológico:** Disposición de residuos industriales como aditivos para generar nuevos productos y con eso disminuir el consumo de las materias primas naturales.

Las cenizas de fondo no tienen ningún uso, se producen 200.000 Toneladas al mes y la venden a \$ 3.000 pesos cada una. En el momento estas cenizas no las utilizan para ninguna actividad específica, pero se quiere iniciar la producción de bloque con este agregado tecnológico en caso de que los ensayos cumplan las normas, se contribuye con el medio ambiente y la sostenibilidad.

En el paradigma de la economía circular se puede apreciar cómo se han avanzado estudios, que promueven el cambio de los procesos productivos, donde los residuos se observan ahora como recursos para la producción de nuevos productos, manteniendo e incluso mejorando algunas de sus propiedades, favoreciendo una producción más limpia y generando un nuevo sistema económico para las empresas: “economía circular”. Para adoptar este nuevo sistema, se necesita el apoyo de los gobiernos y las comunidades, siendo estos los promotores de una conciencia ambiental que incluya los objetivos encaminados a disminuir la contaminación y el aprovechamiento de residuos (Ren, 2017), de no ser así las reservas de recursos a nivel mundial desaparecerán; sin embargo, se ha expuesto que el crecimiento de este nuevo modelo se ve amenazado por los costos del uso de estos residuos y la proporción de su uso (George, 2016), representando retos a nivel de ingeniería, teniendo como tarea principal transformar los procesos de producción incluyendo como materias primas residuos de otros procesos, por lo que se deberá intervenir en el tratamiento de materias primas, productos intermedios y control de calidad de productos finales (Reh, 2013).

### 2.3 Marco conceptual

A continuación, algunos conceptos claves para la interpretación y familiarización con el proyecto:

**Arcilla:** La arcilla es un mineral del grupo de los filosilicatos. Está compuesta por silicatos de aluminio hidratados o feldespatos, provenientes de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias descompuestas por la meteorización o alteración hidrotermal. En su estado puro es de color blanco. Pero también puede encontrarse roja, cobriza o café, según la intervención de otros componentes.

La arcilla tiene propiedades plásticas, lo que significa que al humedecerla puede ser modelada fácilmente. Al secarse se torna firme y cuando se somete a altas temperaturas aparecen reacciones químicas que, entre otros cambios, causan que la arcilla se convierta en un material permanentemente rígido, denominado cerámica.

Por estas propiedades la arcilla es utilizada para hacer objetos de alfarería, de uso cotidiano o decorativo. Los diferentes tipos de arcilla, cuando se mezclan con diferentes minerales y en diversas condiciones, son utilizados para producir loza, gres y porcelana. Dependiendo del contenido mineral de la tierra, la arcilla, puede aparecer en varios colores, desde un pálido gris a un oscuro rojo anaranjado. Un horno diseñado específicamente para cocer arcilla es llamado horno de alfarero.

La humanidad descubrió las útiles propiedades de la arcilla en tiempos prehistóricos, y los recipientes más antiguos descubiertos son las vasijas elaboradas con arcilla. También se utilizó, desde la prehistoria, para construir edificaciones de tapial, adobe y posteriormente ladrillo,

elemento de construcción cuyo uso aún perdura y es el más utilizado para hacer muros y paredes en el mundo moderno.

**Cenizas de carbón:** Las cenizas volantes según Cook (1983), son partículas muy finas, vitrificadas y esféricas, residuo de la combustión del carbón utilizado en centrales termoeléctricas. Este material está compuesto por tres elementos predominantes: silicio, aluminio y hierro, los cuales se presentan en forma de óxidos que representan del 75% al 95% del total del material. Análisis mineralógicos muestran que del 65% al 90 % de la ceniza se encuentra en estado vítreo.

Las cenizas volantes presentan diferentes propiedades físicas y químicas, dependiendo del tipo de carbón usado y el proceso de combustión de la central termoeléctrica (Santaella, 2001). La combustión de las centrales térmicas de alta temperatura se realiza a temperaturas de 1500 a 1700

°C; las cenizas caen a un baño de agua y se recolecta de forma sólida. Los precipitadores electrostáticos recolectan una pequeña cantidad de ceniza volante. En las centrales térmicas de combustión seca, el carbón es quemado a temperaturas de 1100 a 1400 °C; el 90 % de ceniza (Heufers, 1984).

**Economía circular:** Se refiere a la integración de la reducción actividades (consumo de energía y residuos), reutilización y valorización durante la producción, intercambio y consumo. Esto quiere decir que además reduce la contaminación generada por residuos de los sectores productivos, mejora de determinadas tecnologías, las propiedades de estos materiales de construcción se han obtenido mediante el uso de residuos (Sarabia, 2017).

**Ladrillo:** Un ladrillo es un material de construcción, normalmente cerámico y con forma ortoédrica, cuyas dimensiones permiten que se pueda colocar con una sola mano por parte de un operario. Se emplea en albañilería para la construcción en general. Hoy día, en cualquier fábrica de ladrillos se llevan a cabo una serie de procesos estándar que comprenden desde la elección del material arcilloso al proceso de empacado final. La materia prima utilizada para la producción de ladrillos es, fundamentalmente, la arcilla. Este material está compuesto, en esencia y cantidades variables de óxidos de hierro y otros materiales alcalinos, como los óxidos de calcio y los óxidos de magnesio.

Las partículas del material son capaces de absorber higroscópicamente hasta un 70 % de su peso en agua. Cuando está hidratada, la arcilla adquiere la plasticidad suficiente para ser moldeada, a diferencia de cuando está seca; estado en el que presenta un aspecto terroso.

Durante la fase de endurecimiento, por secado o por cocción, el material arcilloso adquiere características de notable solidez, y experimenta una disminución de masa, por pérdida de agua, de entre un 5 y un 15 %.

## **2.4 Marco Contextual**

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.

Existe información que abarca: defectos de fabricación de pavimentos y revestimientos cerámicos, manual para el control de las materias primas arcillosas, materias primas para la fabricación de soportes de baldosas cerámicas, manual para el control de la calidad de las materias primas empleadas en la preparación de vidriados cerámicos, temas sobre medio ambiente para un técnico del sector cerámico, estructuras cristalinas de los silicatos y óxidos de las materias primas cerámicas, Normas Técnicas Colombianas para Fabricación de Productos Cerámicos, normas españolas, entre otros.

Cuenta con un Área de Innovación y Desarrollo Tecnológico, en la cual se realizan experimentos a nivel de laboratorio y posterior reproducción a nivel semi-industrial en la Planta Piloto del Centro de Investigación. Además, el CIMAC se asocia con empresas del sector, con el Grupo de Investigación de Tecnología Cerámica (GITEC) y otros grupos de investigación de la Universidad Francisco de Paula Santander (UFPS) para la formulación de proyectos con el objetivo de generar y mejorar nuevas técnicas y tecnologías en beneficio del sector.

**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.

**Visión:** Para el año 2020, 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.

## **2.5 Marco Legal**

**NTC 4017:2018 Método para Muestreo y Ensayos de Unidades de Mampostería y otros Productos de Arcilla.** Esta norma establece los procedimientos de muestreo y ensayo, para todo tipo de ladrillos de arcilla cocida, incluidas las tejas, los adoquines y los 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 usos en muros divisorios o de cierre, no estructurales.

### **3. Diseño Metodológico**

#### **3.1 Tipo de Investigación**

El proyecto “Evaluación de Mezclas de Arcilla adicionando cenizas de carbón de la termoeléctrica Termotasajero 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 utilizan 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 adición 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).

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, Fernández & Baptista, 2014, p.12).

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.15).

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). 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 las materias primas utilizadas para la fabricación del bloque, entre las que se tiene, la arcilla de la formación Guayabo de Norte de Santander, y cenizas de carbón de termoeléctrica Termotasajero.

**3.2.2 Muestra.** El tamaño de la muestra solicitada fue 15000 g del nutriente tecnológico (cenizas) de la termoeléctrica Termotasajero SA ESP de los residuos de la quema de carbón producida por dicha empresa.

### 3.3 Instrumentos para la Recolección de Datos

**3.3.1 Información primaria.** Para este estudio, se llevará a cabo inicialmente la observación directa, la entrega de los resultados de cada ensayo realizado por el personal del laboratorio en tres formatos que se observan a continuación:



 <b>Universidad Francisco de Paula Santander</b> <small>Vigilada Mineducación</small>	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER																																					
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL																																					
	CENTRO DE INVESTIGACION DE MATERIALES CERAMICOS - CIMAC																																					
Ensayo No.		Oferta de Servicio No.																																				
Fecha:																																						
<b>ENSAYO DE ABSORCIÓN DE AGUA EN UNIDADES DE MAMPOSTERIA</b>																																						
Norma NTC 4017:2005																																						
Tipo de Bloque:	Características:																																					
Medidas:	Tipo de Ensayo:																																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">REGISTRO DE DATOS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="width: 30%;">NÚMERO DE LA MUESTRA:</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> </tr> <tr> <td>MASA DE LA MUESTRA SECA (g):</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MASA DE LA MUESTRA HUMEDA (g):</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>ABSORCIÓN (%):</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">ABSORCIÓN PROMEDIO (%):</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			REGISTRO DE DATOS						NÚMERO DE LA MUESTRA:						MASA DE LA MUESTRA SECA (g):						MASA DE LA MUESTRA HUMEDA (g):						ABSORCIÓN (%):						ABSORCIÓN PROMEDIO (%):					
REGISTRO DE DATOS																																						
NÚMERO DE LA MUESTRA:																																						
MASA DE LA MUESTRA SECA (g):																																						
MASA DE LA MUESTRA HUMEDA (g):																																						
ABSORCIÓN (%):																																						
ABSORCIÓN PROMEDIO (%):																																						
OBSERVACIONES: _____																																						
_____																																						
_____																																						
_____																																						
ENSAYÓ:	CALCULÓ:	VERIFICÓ:																																				

Figura 4. Formato para el ensayo de absorción de agua en unidades de mampostería



 <b>Universidad Francisco de Paula Santander</b> <small>Vigilancia Mineducación</small>	<b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE MATERIALES CERÁMICOS - CIMAC</b>		
Ensayo No.		Oferta de Servicio No.	
Fecha:			
<b>ENSAYO DE RESISTENCIA MECÁNICA A LA COMPRESIÓN EN UNIDADES DE MAMPOSTERÍA</b>			
Norma NTC 4017:2005			
Tipo de Bloque:		Características:	
Medidas:		Tipo de Ensayo:	
<b>REGISTRO DE DATOS</b>			
NÚMERO DE LA MUESTRA:			
DIMENSIONES DE LA MUESTRA (mm):			
ÁREA NETA DE LA MUESTRA (cm <sup>2</sup> ):			
CARGA DE ROTURA POR COMPRESIÓN (Kgf):			
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kgf/cm <sup>2</sup> ):			
OBSERVACIONES: _____			
_____			
_____			
_____			
ENSAYÓ:	CALCULÓ:	VERIFICÓ:	

Figura 5. Formato para el ensayo de resistencia mecánica a la compresión en unidades de mampostería



 Universidad Francisco de Paula Santander <small>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER</small>	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER		 <small>Centro de Investigación de Materiales Cerámicos</small>													
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL															
	CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE MATERIALES CERÁMICOS - CIMAC															
Ensayo No. _____			Oferta de Servicio No. _____													
Fecha: _____																
<b>ANÁLISIS FÍSICO-CERÁMICO POR EXTRUIDO EN UNIDADES DE MAMPOSTERÍA</b>																
Norma NTC 4017:2005																
Tipo de Bloque:		Características:														
Medidas:		Tipo de ensayo:														
PROBETA	TEMPERATURA (°C)	CONDICIÓN HUMEDA			CONDICIÓN SECA		CONDICIÓN COCIDA				CONTRACCIÓN		PÉRDIDAS DE MASA		ABSORCIÓN DE AGUA	
		LONGITUD	MASA	EMPUJE	LONGITUD	MASA	LONGITUD	MASA	EMPUJE	MASA DE ABSORCIÓN DE AGUA	SECA	COCIDA	SECA	COCIDA		
		[mm]	[g]	[g]	[mm]	[g]	[mm]	[g]	[g]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]		
OBSERVACIONES: _____																
_____																
_____																
ENSAYO:					CÁLCULO:					VERIFICÓ:						

Figura 6. Formato para el análisis físico-cerámico por extruido en unidades de mampostería

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

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



**Figura 7. Fases del proyecto.**



## 4. Metodología

### 4.1 Materias Primas Utilizadas

El lugar de recolección de la arcilla y ceniza de carbón fue en Cúcuta, Norte De Santander, las cuales fueron suministradas por la empresa Termoeléctrica “Termotasajero”. El material arcilloso se extrajo de la formación Guayabo y la ceniza de carbón de los depósitos existentes de la Termoeléctrica.

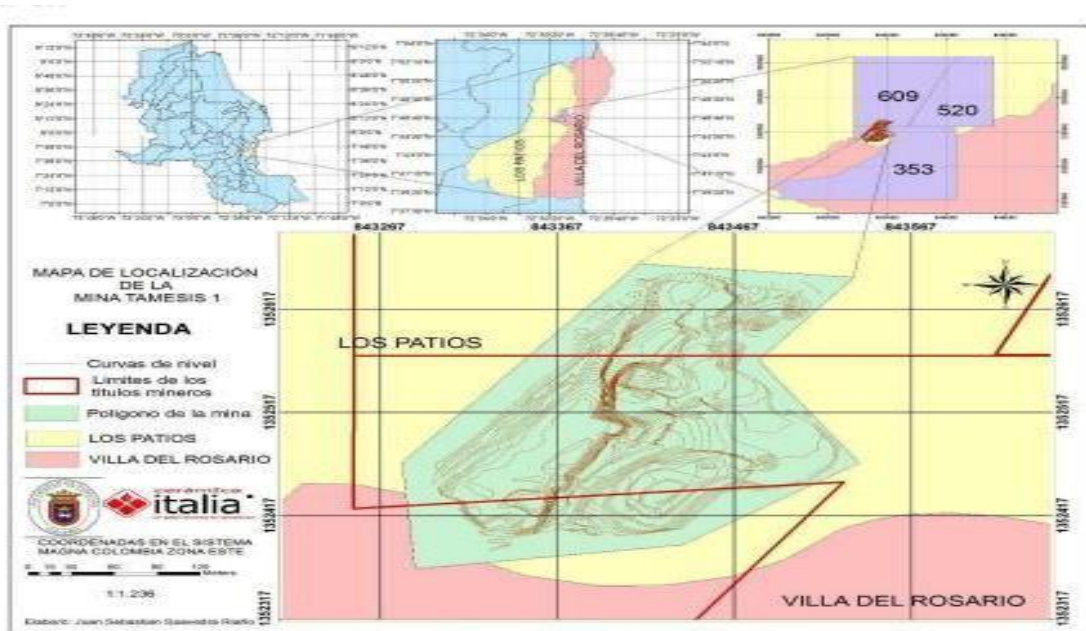
**4.1.1 Arcilla mina támesis CR – Cerámica Italia.** Las principales arcillas explotadas en el departamento de Norte de Santander se encuentran en el área metropolitana de Cúcuta, la cual cuenta con una superficie de 2.196 km<sup>2</sup>, que ocupa el 10,1% de la extensión departamental. De todo el departamento, 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, p.3).

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).

La zona de estudio es la mina Támesis, localizada entre el límite central de los municipios de Los Patios y Villa del Rosario, en el departamento de Norte de Santander, (figura 8) en el flanco

oriental de la Cordillera Oriental de los Andes Colombianos en donde esta se bifurca y se prolonga al Noreste formando la serranía del Perijá y al nororiente formando los Andes de

Mérida en Venezuela. La mina esta sobre los títulos mineros con contrato de concesión 609 y 353 cuyo titular es la empresa Cerámica Italia S.A. La mina tiene un área aproximada de 7,47 hectáreas (Riaño, 2016).



**Figura 8. Mapa de localización de la mina Támesis 1**



**Figura 9. Frente de explotación de la Arcilla (cerámica Támesis S.A.)**

**Composición mineralógica:**

**Tabla 1. Composición estructural del material arcilloso**

	<b>FASE</b>	<b>NO. TARJETA PDF-2</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>CUANTITATIVO [en % peso]</b>
	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
<b>Cristalino</b>	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
	<b>Total cristalino</b>			<b>74,7</b>
	<b>Amorfos y otros</b>			<b>25,3</b>

El termino de arcilla encierra en sí mismo un significado 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, 2003; Díaz, 2002).

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, 2003; Liberto, 1964).

Los principales minerales que componen la arcilla son:

El cuarzo, caolinita y la moscovita.

Las arcillas tienen otros minerales diferentes de los anteriores, que se denominan minerales asociados (anatasa, hematita, microclina, albita, calcita, pirita) y ciertas fases asociadas no cristalinas, que pueden o no impartir plasticidad, y la materia orgánica (Martín, 1995).

**Difracción de rayos X (DRX):** La difracción es un fenómeno característico de las ondas, que consiste en la dispersión de las ondas cuando atraviesan una rejilla de dispersión o un objeto

ordenado. Ocurre en todo tipo de ondas, desde las sonoras, hasta las electromagnéticas. Los rayos X tienen longitudes de onda similares a las distancias interatómicas en los materiales cristalinos de 10 a 10.1 nm, por lo que la difracción de rayos X se utiliza como método para explorar la naturaleza de la estructura molecular de los minerales. Mediante este análisis se pueden determinar estructuras cristalinas de composición química compleja y de baja simetría (Kraus, 1965).

Los rayos X se producen en unos tubos de los que se ha extraído casi por completo el aire.

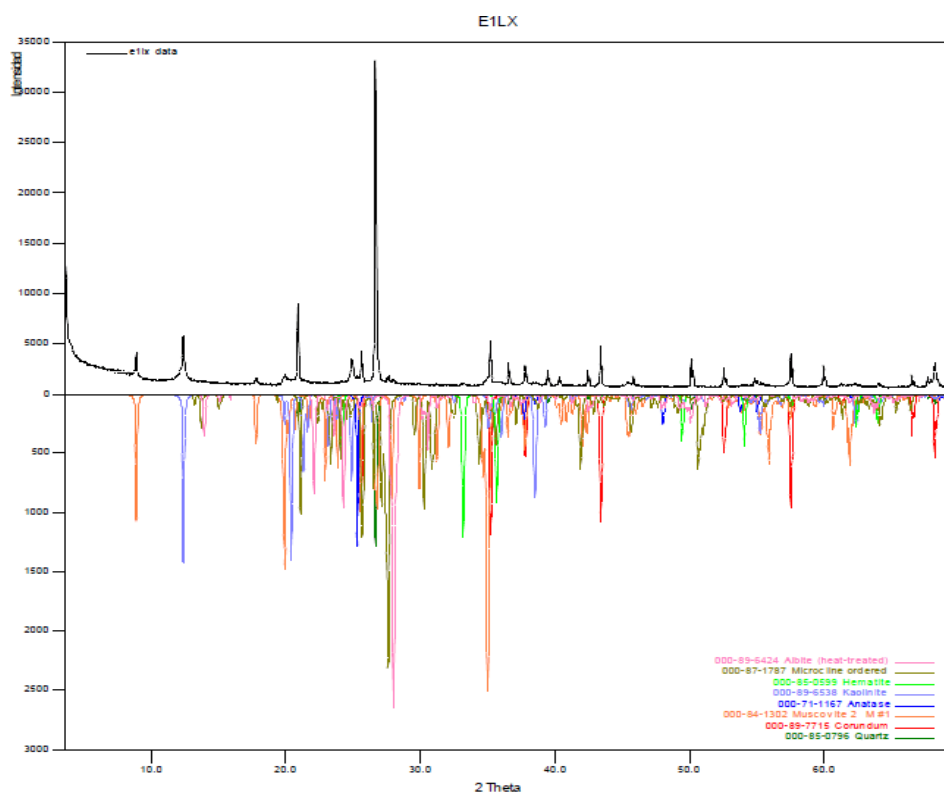
Son emitidos por el ánodo (anticátodo) al chocar sobre él, una corriente de electrones que vienen del cátodo a gran velocidad mientras está conectado al tubo un circuito de alta tensión, esta es de millares de voltios. La corriente es continua, su intensidad es muy pequeña, de milésimas de amperio (miliamperios, mA). Como en el caso de la luz, la longitud de onda de los rayos X es diferente, varía desde 0.1 a 100 Å. El carácter de la radiación, en particular su intensidad y longitud de onda que la componen, depende tanto de la composición química del metal del ánodo como de la tensión aplicada al circuito en que se ha conectado el tubo. Los rayos los emite el ánodo, que generalmente es plano, formando un pequeño ángulo con la superficie del mismo (Flint, 1966).

Cuando el haz de rayos X incide sobre un cristal, provocará que los átomos que conforman a éste se dispersen a la onda incidente tal que cada uno de ellos produce un fenómeno de interferencia que para determinadas direcciones de incidencia será destructivo y para otras constructivo de acuerdo al ángulo de desviación  $2\theta$  surgiendo así el fenómeno de difracción, esto es conocido como ley de Bragg (Cullity, 1967; Flint, 1966).

La información que proporciona el patrón de difracción de Rayos X, se puede ver como dos aspectos diferentes pero complementarios: por un lado, la geometría de las direcciones de difracción (condicionadas por el tamaño y forma de la celdilla elemental del cristal) ofrece información sobre el sistema cristalino; y por otro lado la intensidad de los rayos difractados, están íntimamente relacionados con la naturaleza de los átomos y las posiciones que ocupan en la red, tal que su medida constituye la información tridimensional necesaria para conocer la estructura interna del cristal (Flint, 1966).

La selección del tipo de radiación depende de la composición de la muestra y el objetivo del estudio. Para el análisis de difracción por rayos X normalmente se utilizan radiaciones de Cu, Co,

Fe y Cr, cada uno de ellos tiene diferente poder de difracción al poseer longitudes de onda características, donde las de Cu son las más utilizadas en análisis de arcillas (Brindley, 1980). En la figura 10 se muestra la forma típica de las agudas líneas espectrales fluorescentes obtenidas mediante el dispersivo de energía para el espécimen de la muestra.



**Figura 10. Análisis comparativo por difracción de rayos-X de las fases identificadas en el espécimen seleccionado de la muestra**

### **Composición química fluorescencia de rayos X (FRX):**

La espectrometría de fluorescencia de rayos X es una técnica de espectroscopía atómica. Esta se basa en las transiciones de electrones de los átomos que se producen cuando una radiación electromagnética de cierta energía incide con el material en estudio, produciendo una excitación del átomo, el cual pasa de un estado basal (estable) a otro de mayor energía (inestable) de lo que resultan transiciones en diferentes estados energéticos en el átomo, los cuales son únicos para cada átomo en particular. Esta característica se utiliza para la identificación de los analitos o compuestos que queremos analizar, por lo que es de gran utilidad en el análisis cualitativo (Beckhoff, 2006).

En la FRX se cuantifica la energía liberada en forma de fluorescencia cuando el electrón pasa de un orbital de mayor energía a otro de menor energía. En este caso específico se requiere de una radiación de rayos X para producir fluorescencia en determinados materiales; la cual se utiliza con fines de identificación y de cuantificación (Bertin, 1975).

Para que se dé el proceso de fluorescencia de rayos X, primero tiene que ocurrir la absorción fotoeléctrica por el elemento. La absorción fotoeléctrica por la muestra sucede cuando un fotón altamente energético proveniente de una radiación de rayos X interactúa con la materia. Cuando los átomos de la muestra a analizar absorben esta alta energía, un electrón de los más cercanos al núcleo de las capas internas K o L es expulsado del átomo. En este proceso de absorción, parte de la energía del fotón incidente de rayos X es utilizada para romper la energía de enlace del electrón interno del elemento y la energía restante acelera el electrón expulsado (Bertin, 1975).

Después de que el electrón es expulsado, el átomo queda en un estado altamente excitado y por lo tanto muy inestable. Para que se reestablezca la estabilidad, los electrones de las capas adyacentes llenarán el espacio vacante, al pasar un electrón de otra capa y con una energía diferente al del electrón saliente hay una diferencia de energía, la cual se emite en forma de radiación de rayos X. La energía emitida es única para cada elemento, lo que permite analizar la muestra cualitativamente, y la intensidad de la energía permite saber la concentración del elemento en la muestra lo cual permite cuantificarlo (Melendez, 2009).



El porcentaje de los distintos elementos hallados en la arcilla son los siguientes:

**Tabla 2. Resultados obtenidos por fluorescencia de rayos-x de la muestra identificada**

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

\*L.O.I. Loss on ignition (Pérdida por ignición).

La mayoría de los autores, lo que confiere a las arcillas sus propiedades para ser usadas como materiales dentro de la industria cerámica es la mineralogía, el quimismo y la textura. Con respecto al quimismo se espera que una buena arcilla este compuesta por proporciones grandes de sílice y alúmina (Liberto, 1964). Los materiales estudiados mostraron valores de 59,67% de SiO<sub>2</sub> y de 21,72% de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, el 5,29% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 5,29% K<sub>2</sub>O y un 14% de agua.

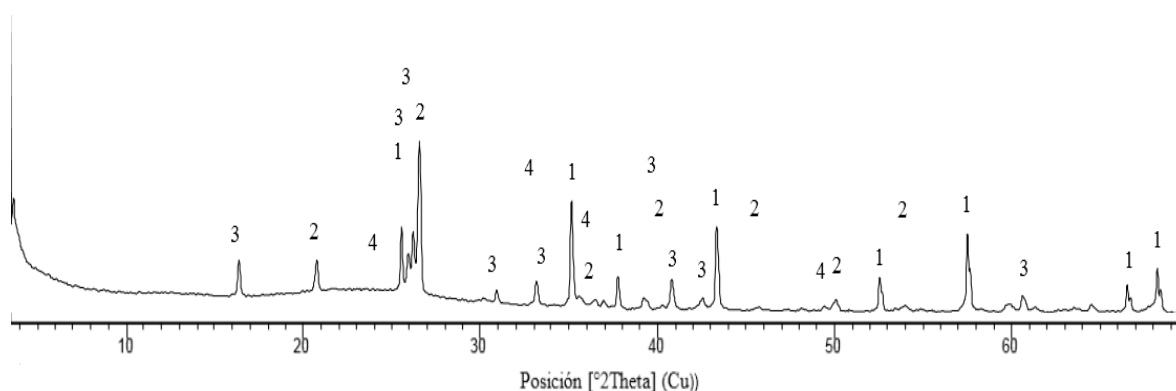
### Análisis físico cerámico:

**Tabla 3. Análisis físico cerámico (datos tomados de Cerámica Italia)**

<b>SEGUIMIENTO DE LA CALIDAD DEL LOTE TRINCHERA DE EXPLORACION MINATAMESIS CR</b>				
<b>Descripción</b>	<b>ID</b>	<b>EXPLOR TAMESIS CR TRINCHERA 1 M-1</b>	<b>EXPLOR TAMESIS CR TRINCHERA 1 M-2</b>	<b>EXPLOR TAMESIS CR TRINCHERA 1 M-3</b>
	Materia Prima			
	Fecha de Referencia	<b>17/03/2016</b>	<b>17/03/2016</b>	<b>17/03/2016</b>
Características Físicas	% Humedad	<b>5,2</b>	<b>5</b>	<b>5,6</b>
	% Arena	<b>20,6</b>	<b>7,4</b>	<b>15</b>
Condiciones Del Ensayo	% Residuo M230	<b>8,5</b>	<b>8</b>	<b>8,3</b>
	% Humedad de Prensado	<b>5,87</b>	<b>5,75</b>	<b>5,8</b>
Condiciones De Quema	Presión de Prensado	<b>240</b>	<b>240</b>	<b>240</b>
	Horno	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
	Ciclo, Min	<b>35</b>	<b>35</b>	<b>35</b>
	Temperatura de Cocción, Alta °C	<b>1130</b>	<b>1130</b>	<b>1130</b>
	Temperatura de Cocción, Baja °C	<b>1140</b>	<b>1140</b>	<b>1140</b>
	Contracción en Cocido %CC	<b>1,31%</b>	<b>1,09%</b>	<b>0,57%</b>
	Absorción de Agua %AA	<b>9,50%</b>	<b>8,78%</b>	<b>8,56%</b>
	Perdidas por Fuego %PPF	<b>4,18%</b>	<b>4,38%</b>	<b>3,59%</b>
	Resistencia Reologia	<b>322,6</b>	<b>228,1</b>	<b>201,2</b>
		<b>345-320-300-295%</b>	<b>355-355-350-350%</b>	<b>355-350-350-350%</b>
Observaciones De La Prueba		<b>MOLIENDA EN AGUA</b>	<b>MOLIENDA EN AGUA</b>	<b>MOLIENDA EN AGUA</b>

#### 4.1.2 Cenizas volantes. Como se muestra a continuación:

**Composición mineralógica.** Como se muestra en la figura 11, las cenizas volantes presentan los siguientes compuestos mineralógicos: corindón (1), cuarzo (2), mullita (3), hematita (4). La formación de cenizas volantes viene dada por una fase vítrea, la cual puede ocupar mayormente la composición de la ceniza y por una fase cristalina. Dado que en su composición se pueden identificar varios constituyentes cristalinos, su origen y el porcentaje de contenido, están relacionados al proceso que genera la ceniza en la planta o termoeléctrica de la que se obtenga, ya que en algunos casos el aire donde están situadas influye considerablemente en su generación. Para la determinación del contenido de la fase vítrea se puede realizar el procedimiento de difracción de rayos x (Santaella, 2001).



**Figura 11. Patrón de difracción de la ceniza volante**

Fuente: Sánchez & Gelves, 2012.

La estructura fue estudiada usando el método de polvos a través del difractómetro de rayos X. Las especificaciones técnicas usadas en la toma de los patrones de difracción. Los principales minerales que componen la ceniza volante son:

La Mullita con un 23,4%, el cuarzo 6 y 5,9%, caolinita.

Las cenizas volantes tienen otros minerales diferentes de los anteriores, que se denominan minerales asociados (hematita 1,9%) mostrados a continuación:

**Tabla 4. Composición estructural de la ceniza volante de termoeléctrica**

FASE		NO. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO [%]
Cristalino	SiO <sub>2</sub>	000-78-1252	Cuarzo	5,9
	SiO <sub>2</sub>	000-89-8937	Cuarzo	6,0
	Al <sub>4</sub> .59Si <sub>1.41</sub> O <sub>9.7</sub>	000-79-1455	Mullita	23,4
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	010-73-0603	Hematita	1,9
<b>Total cristalino</b>				<b>37,2</b>
<b>Amorfos y otros</b>				<b>62,8</b>

#### Composición química:

El porcentaje de los distintos elementos hallados en la ceniza volante son los siguientes:

**Tabla 5. Composición química de la ceniza volante de termoeléctrica**

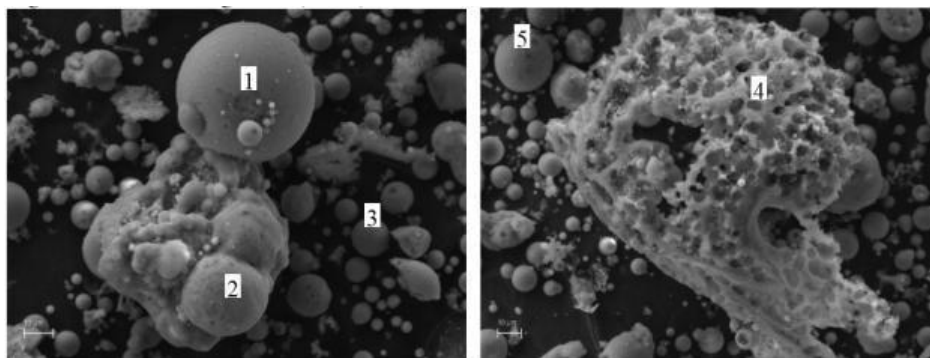
Elemento	Número atómico [Z]	Concentración[peso]	Óxido	Concentración[% peso]
Si	14	24,70%	SiO <sub>2</sub>	52,85
Al	13	13,90%	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26,27
Fe	26	5,44%	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,77
K	19	1,09%	K <sub>2</sub> O	1,31
Ca	20	0,83%	CaO	1,17
Ti	22	0,70%	TiO <sub>2</sub>	1,16
Mg	12	0,39%	MgO	0,65
P	15	0,25%	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,56
Na	11	0,16%	Na <sub>2</sub> O	0,26
S	16	0,11%	SO <sub>3</sub>	0,21
Ba	56	0,10%	BaO	0,11
V	23	0,06%	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,11
Cu	29	0,03%	CuO	0,04
Zn	30	0,03%	ZnO	0,04
Zr	40	0,02%	ZrO <sub>2</sub>	0,03
Sr	38	0,02%	SrO	0,02
Ni	28	0,02%	NiO	0,02
Mn	25	0,01%	MnO	0,02
---			<b>* L.O.I</b>	<b>7,36</b>

\*L.O.I. Loss on ignition (Perdida por ignición).

Los materiales estudiados mostraron valores de 52,85% de  $\text{SiO}_2$  y de 26,27% de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , el 7,77%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 1,31%  $\text{K}_2\text{O}$  y un 13% de agua.

### **Caracterización morfológica y microquímica:**

Es apreciable formas semiesféricas de superficie fibrosa formados a partir de microcristales que dan lugar al material zeolítico, existen estructuras en formación que al parecer no lograron constituir la semiesfericidad apreciable en 1, 2, 3, e igualmente hay acumulación de microcristales en configuraciones irregulares y material amorfo saliente de las partículas.



**Figura 12. Microfotografías (MEB) de la ceniza volante**

A continuación, se referencian los números mencionados en la gráfica para el desglose de porcentaje de cada elemento según el estudio de macroquímica.

**Tabla 6. Macroquímica de algunas partículas presentes en la ceniza volante (% atómico)**

Elemento	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4	Sitio 5
<b>O</b>	68.78	71.69	68.37	67.61	67.56
<b>Na</b>	---	0.22	0.42	---	0.18
<b>Mg</b>	0.28	0.27	0.38	---	0.29
<b>Al</b>	9.13	12.42	8.15	12.68	10.89
<b>Si</b>	15.29	14.39	18.74	16.68	18.41
<b>S</b>	---	---	---	1.30	---
<b>K</b>	0.38	0,29	0.93	0.33	0.41
<b>Ca</b>	---	---	0.13	0.21	0.46
<b>Ti</b>	0.11	0.23	0.27	0.33	0.35
<b>Fe</b>	6.03	0.48	2.62	0.85	1.36
<b>Cu</b>	---	---	----	---	0.08

**Análisis elemental N, C, H, S:****Tabla 7. Resultados análisis N, C, H, S**

Muestra	Nitrógeno %	Carbón %	Hidrogeno %	Azufre %
1	0,1474	10,3520	0,0635	0,2321
2	0,1406	9,9215	0,0596	0,2064

**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 13).

Inicialmente las mezclas conformadas fueron sometidas al proceso de reducción de tamaño de partícula, se trituraron con el apisonador de arcilla (Figura 14), seguidamente se molturaron por vía seca en el molino de martillos (Figura 15), y finalmente el material molido se le realizó un proceso de tamizado utilizando el tamiz malla 10 (Figura 16), 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 cenizas de carbón de la termoeléctrica. 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 17) 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 18) 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 13. Extrusora de laboratorio con vacío**



**Figura 14. Apisonador de la Arcilla (trituración)**

Fuente: CIMAC, 2020.



**Figura 15. Molino de martillos (molienda vía seca)**

Fuente: CIMAC, 2020.



**Figura 16. Tamiz malla 10 (tamizado)**

Fuente: CIMAC, 2020.





**Figura 17. Estufa de 128 litros**

Fuente: CIMAC, 2020.



**Figura 18. Horno mufla**

Fuente: CIMAC, 2020.

### 4.3 Ensayos Realizados

#### 4.3.1 Análisis físico-cerámico. Como se muestra a continuación:

**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 13).

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

Estufa de secado (Figura 19).

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

Pie de Rey.

Mide los largos, anchos y espesores de cada bloque.



**Figura 19. Pie de Rey digital de 200 mm**

Fuente: CIMAC, 2020.

**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 19), y pesar con balanza digital (figura 20), obteniendo dimensiones de longitud entre 80 y 100 mm y masa entre 150 y 190 g. Posteriormente los bloques se secan en la estufa de secado iniciando a temperatura ambiente de 30°C hasta llegar a temperatura de 110 °C durante 24 horas. Luego se dejan secar a temperatura ambiente para ser manipulados, con el fin de tomar de nuevo medias en condiciones secas. Finalmente se queman en el horno mufla a temperatura de 1000 °C, se deja enfriar cada bloque para obtener las medidas finales 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.** Como se muestra a continuación:

**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 17).

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 20. Balanza digital de 20 kg**

Fuente: CIMAC, 2020.

**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 21. Tanque para realizar absorción de agua por el método de inmersión**

Fuente: CIMAC, 2020.

### **Termohigrómetro:**

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



**Figura 22. Termohigrómetro extech**

Fuente: CIMAC, 2020.

**Reactivos y/o materiales:**

Agua destilada o desionizada.

Paño absorbente

Paño de limpieza

Brocha o cepillo duro.

Marcador para rotular.

**Procedimiento:**

**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.

**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.

**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.** Como se muestra a continuación:

**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 19).

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 23. Crometro (prensa de presión)**

Fuente: CIMAC, 2020.

**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**

**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.

**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.

## **5. Desarrollo de los Objetivos**

### **5.1 Diagnóstico del Sector de Cenizas de Termotasajero**

En Colombia, para generar energía eléctrica la más utilizada es la de combustión del carbón. Las termoeléctricas del país producen el residuo denominado “cenizas volantes”, que se deben evacuar en el menor tiempo posible por la contaminación que generan. La Central Termoeléctrica de Termotasajero S.A, produce gran cantidad de cenizas volantes producto de la combustión de carbón.

Es importante identificar posibles aplicaciones de los residuos del carbón, como material de construcción. La empresa, que opera como generadora y comercializadora de energía eléctrica originada en Norte de Santander, está en proceso de ampliar la producción de carbón de la región; con estudios ya realizados aumentará el consumo de este mineral. Desde hace varios años se investiga en diversas empresas y universidades, las posibles bondades de este residuo industrial, con el fin de disminuir la problemática ambiental que genera en los sitios donde se deposita, pues el porcentaje del residuo es alto aproximadamente 200.000 toneladas al mes. Uno de los campos en los que ha tenido interés es en la construcción, especialmente como adición en hormigones y también como materia prima en la fabricación de nuevos materiales cementantes.

Las cenizas volantes, además de servir como adición al hormigón, pueden ser utilizadas en fabricación del Cemento Portland, aditivos para el concreto, aditivos asfálticos, rellenos y nivelaciones de terrenos, fabricación de ladrillos, bloques, tabiques, estabilizantes de residuos industriales, agregados para fertilizantes, remoción del ácido bórico y de sales de boro del agua usada por las industrias de vidrios, de porcelanas, de producción de cueros y de cosméticos entre otros usos. Para que la ceniza volante se utilice como material de construcción debe permitir

beneficios técnicos, económicos y ambientales (Chávez, 2015).

Este material por sus características físico-químicas, tiene aplicaciones según (González, 2014), “en la conversión de los compuestos orgánicos en hidrocarburos, absorción de contaminantes presentes en el aire o el agua, la polimerización catalítica, mejorar el rendimiento en cultivos agrícolas”, adsorción de CO<sub>2</sub> a través del intercambio iónico y la formación de nanodepósitos en la estructura interna (Hernández, 2015), las zeolitas también aumentan la retención de iones en el suelo generando una disminución en los niveles de contaminación de lixiviados producto de las actividades agropecuarias, con ello una menor contaminación de aguas subsuperficiales (Chica, 2006).

En este sentido, la implementación de ceniza volante en la fabricación de bloques de arcilla, permitirá la disminución del impacto ambiental causado por la inadecuada disposición final de residuos de central termoeléctrica y la disminución de explotación de materia prima en ladrilleras. El ahorro generado se considera desde una perspectiva económicamente sostenible, ya que permite reducir costos asociados a explotación de materia prima (arcilla y ceniza volante), transportes y traslados (volquetas a las plantas) en el reciclaje de ceniza volante como utilización de material para la fabricación de bloques de arcilla.

En este orden de ideas, el ahorro está representado durante el proceso de fabricación del bloque con adición de ceniza volante el cual promete ser un material industrialmente sostenible y favorable para la industria teniendo en cuenta que se podría generar un incremento en el valor de venta, esto con base en los resultados obtenidos con sus propiedades de resistencia (Mora, 2008).

**Tabla 8. Comparación de dimensiones reales vs laboratorio**

LargoReal (mm)	AnchoReal (mm)	Alto Real(mm)	Largo del espécimen(mm)	Ancho del espécimen(mm)	Alto del espécimen(mm)
230,00	110,00	50,00	75,29	26,32	46,85
250,00	120,00	55,00	73,84	26,98	47,00
290,00	140,00	65,00	74,77	26,31	46,52
390,00	190,00	90,00	70,31	26,49	47,62

Fuente: Asociación Española de Fabricantes de Ladrillos y Tejas de Arcilla Cocida, 2021.

**5.1.1 Textura y color.** La textura y color deben especificarse por el fabricante toda modificación como estrías, escarificaciones etc. Se deben realizar sobre el producto crudo o por cualquier otro método que no produzca fisuras o debilitamiento de las paredes. Las estrías no pueden disminuir el espesor de los pares en más 5 mm, su profundidad mínima debe ser de 1,5 mm y el ancho menor de 10 mm.

El color varia dentro de la gama, según el tipo de arcilla y el proceso de fabricación, no puede usarse como parámetro de evaluación de calidad, sin que antes se realicen los ensayos de resistencia y adsorción. La exigencia de subjetiva de color se debe considerar como un requisito adicional a la norma. Se recomienda observar una muestra superior a cinco unidades, que contengan los extremos de variación a muros construidos con unidad de mampostería especificada.

Las unidades de mampostería para interior no deben tener ningún tipo de restricción o clasificación con base en su color o en su gama de variación.

Según la NTC 4017 (ASTM C67) O Mediante el ensayo de ataque químico para baldosines esmaltados. La mampostería que hayan sido coloreadas, superficialmente mediante esmaltes,

vidriados u otras aplicaciones dentro del proceso cerámico, no deben presentar decoloraciones o cambios de tonalidad al ser sometidos a una temperatura de 600 °C durante 2h.

**5.1.2 Numero de especimenes a analizar.** Las muestras de ladrillo y bloques deben ser escogidas aleatoriamente de cada lote de producción o por totalidad de despacho. De cada lote se deben extraer 10 muestras para evaluación de medida, color y defectos superficiales de esas mismas se realizan ensayos en 5 unidades de absorción y resistencia a la compresión según la NTC 4017: 2018.

**5.1.3 Análisis físico cerámico por extruido.** Arcilla material a agregado de origen mineral, de consistencia terrosa o pétreo, compuesto esencialmente de silicatos hidratados de alúmina, capaz de tornarse plástico con la adición limitada de agua, rígido cuando esté seco, y pétreo cuando es sometido a temperatura suficientemente alta.

Considerando las arcillas como un mineral natural complejo, constituido principalmente por una mezcla de sílice aluminatos cristalinos a los que denominamos minerales arcillosos y de otros silicatos y minerales de hierro, calcio, titanio, etc., acompañados frecuentemente por materia orgánica, su composición mineralógica es determinante en el comportamiento de los procesos a los que se destine (Bernal, 2003).

La investigación se llevó a cabo, utilizando muestras extraídas de la formación Guayabo.

Donde se toman 3 condiciones húmeda, seca (empuje – masa absorción de agua) y una cocida y así revisar la contracción, pérdida de masa, absorción de agua, la cocción se realizó a través de horno eléctrico a una temperatura máxima de 1000 °C por 6 horas.

Se entiende por contenido de humedad a la cantidad de masa de agua contenida en una pieza por unidad de volumen, lo cual se puede expresar tanto en términos relativos como en términos absolutos a la densidad de la misma cuando se encuentra seca.

Al hablar de capacidad de absorción, se puede determinar por medio de dos parámetros principales, la absorción total y la tasa inicial de absorción. Se conoce a la cantidad de agua para saturar la unidad de mampostería como absorción total, mientras que la masa de agua por unidad de área y por unidad de tiempo corresponde a la tasa inicial de absorción.

La absorción de cada espécimen se calcula de la siguiente forma:

$$\%Absorción = \frac{100*(W_s - W_d)}{W_d} \quad \text{Ecuación 1. \% Absorción}$$

$W_d$  = Peso espécimen seco

$W_s$  = Peso espécimen saturado luego de inmersión de agua fría.

**5.1.4 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 9 y 10.

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.

**5.1.5 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 Tablas 9 y 10, cuando se ensayan según el procedimiento descrito en la NTC 4017:2015.

**Tabla 9. 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	5,0 (50)	3,5 (35)	13	16	13,5	14
PV	18,0 (180)	15,0 (150)	13	16	13,5	14
M	20,0 (200)	25,0 (150)	13	16	13,5	14

PH = unidad de mampostería de perforación horizontal (ladrillo y bloque) PV = unidad de mampostería de perforación vertical (ladrillo y bloque) M = unidad de mampostería maciza (ladrillo).

**Tabla 10. 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

PH = unidad de mampostería de perforación horizontal (ladrillo y bloque).

PV = unidad de mampostería de perforación vertical (ladrillo y bloque) M = unidad de mampostería maciza (ladrillo).

## 5.2 Desarrollo del bloque H-10 Utilizando Diferentes Porcentajes del Nutriente a Nivel de Laboratorio

Mediante este objetivo se quiere evaluar el bloque utilizando porcentajes de 100% en la mezcla de arcilla, 2,5%, 5% y 7% de nutriente tecnológico (cenizas de carbón de la termoeléctrica) como sustituto. Realizando análisis físico cerámico por el proceso de conformado por extrusión a nivel de laboratorio, ensayo de absorción de agua y resistencia mecánica a la compresión teniendo en cuenta lo establecido en la Norma NTC 4205:2000 del instituto colombiano de normas técnicas y certificación (ICONTEC). Procedimiento de muestreo y ensayo, para todo tipo de ladrillos de arcilla cocida, incluidas las tejas, los adoquines y los bloques.

**5.2.1 Dimensiones del espécimen en mezclas con 100% de arcilla.** Para establecer estas dimensiones se aplica la NTC 296 Donde se especifica que las unidades de mampostería modular deben estar diseñadas para que sus medidas reales, más la junta de pega se adapten a



sistemas de coordinación modular en la construcción. Las dimensiones nominales bajo las que se designa o nombra una pieza exceden las medidas reales en dimensiones de la junta se adapta al sistema modular de la construcción.

Ordinariamente, las unidades de mampostería de arcilla cocida no tienen que cumplir con medidas modulares, pero cuando el fabricante lo especifique se debe considerar un requisito adicional del producto y se deben ajustar a las medidas, holguras y tolerancias que para dicho efecto se establecen en la norma.

En este caso la evaluación es a nivel de laboratorio y los especímenes llevan unas dimensiones modulares promedio de 74,5 mm de largo 26,62 mm de ancho y 46,50 de alto.

La tolerancia dimensional de las unidades de cualquier tipo o clase puede variar en un 2% por encima o por debajo de las medidas nominales especificadas, para todas las formas y tamaños que se fabriquen.

**5.2.2 Textura y color.** La textura y color deben especificarse por el fabricante toda modificación como estrías, escarificaciones etc. Se deben realizar sobre el producto crudo o por cualquier otro método que no produzca fisuras o debilitamiento de las paredes. Las estrías no pueden disminuir el espesor de los pares en más 5 mm, su profundidad mínima debe ser de 1,5 mm y el ancho menor de 10 mm.

El color varía dentro de la gama, según el tipo de arcilla y el proceso de fabricación, no puede usarse como parámetro de evaluación de calidad, sin que antes se realicen los ensayos de resistencia y adsorción. La exigencia de subjetiva de color se debe considerar como un requisito adicional a la norma. Se recomienda observar una muestra superior a cinco unidades, que

contengan los extremos de variación a muros construidos con unidad de mampostería especificada.

Las unidades de mampostería para interior no deben tener ningún tipo de restricción o clasificación con base en su color o en su gama de variación.

Según la NTC 4017 (ASTM C67) O Mediante el ensayo de ataque químico para baldosines esmaltados, la mampostería que hayan sido coloreadas, superficialmente mediante esmaltes, vidriados u otras aplicaciones dentro del proceso cerámico, no deben presentar decoloraciones o cambios de tonalidad al ser sometidos a una temperatura de 600 °C durante 2h.

**5.2.3 Numero de especímenes a analizar.** Las muestras de ladrillo y bloques deben ser escogidas aleatoriamente de cada lote de producción o por totalidad de despacho. De cada lote se deben extraer 10 muestras para evaluación de medida, color y defectos superficiales de esas mismas se realizan ensayos en 5 unidades de absorción y resistencia a la compresión según la NTC 4017: 2018.

**5.2.4 Análisis físico cerámico por extruido a 100% de mezcla de arcilla.** Arcilla material a agregado de origen mineral, de consistencia terrosa o pétreo, compuesto esencialmente de silicatos hidratados de alúmina, capaz de tornarse plástico con la adición limitada de agua, rígido cuando esté seco, y pétreo cuando es sometido a una temperatura suficientemente alta.

Considerando las arcillas como un mineral natural complejo, constituido principalmente por una mezcla de sílice aluminatos cristalinos a los que denominamos minerales arcillosos y de otros silicatos y minerales de hierro, calcio, titanio, etc., acompañados frecuentemente por materia orgánica, su composición mineralógica es determinante en el comportamiento de los procesos a

los que se destine (Bernal, 2003).

La investigación se llevó a cabo, utilizando muestras extraídas de la formación Guayabo.

Donde se toman 3 condiciones húmeda, seca (empuje – masa absorción de agua) y una cocida y así revisar la contracción, pérdida de masa, absorción de agua, la cocción se realizó a través de horno eléctrico a una temperatura máxima de 1000 °C por 6 horas.

**Tabla 11. Análisis Físico cerámico por extruido de la mezcla 100% de arcilla**

ENSAYO		RESULTADO INCERTIDUMBRE	
	Contracción en seco (%CS)	4,77%	± 0,01
Análisis físico cerámico por extruido (AFE)	Contracción en Cocido (%CC)	3,00%	± 0,02
	Pérdida de Masa Cocida (%PMC)	3,97%	± 0,04
	Peso Húmedo (g)	155,32	± 0,05
	Peso Seco (g)	127,41	± 0,05
	Peso Cocido (g)	122,36	± 0,05

**5.2.5 Absorción de agua en mezcla de arcilla 100%.** Según el procedimiento descrito en la NTC-4017 (ASTM C67), debe cumplir con los requisitos de absorción de agua 24 h de inmersión. 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.

**Tabla 12. Absorción de agua muestra N° 1 mezcla 100% de arcilla**

<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	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 13. Absorción de agua muestra N° 2 mezcla 100% de arcilla**

<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	118,28	131,60	11,3
2	119,92	133,45	11,3
3	120,74	134,45	11,4
4	114,86	127,76	11,2
5	146,14	162,49	11,2
<b>Promedio de la muestra</b>	<b>124,0</b>	<b>138,0</b>	<b>11,3</b>

**Tabla 14. Absorción de agua muestra N° 3 mezcla 100% de arcilla**

<b>Espécimen N°</b>	<b>Masa seca del espécimen [g]</b>	<b>Masa húmeda del espécimen [g]</b>	<b>Absorción de agua [E] [%]</b>
<b>1</b>	118,42	131,49	11,0
<b>2</b>	119,85	133,42	11,3
<b>3</b>	121,25	134,50	10,9
<b>4</b>	116,49	129,74	11,4
<b>5</b>	118,44	131,38	10,9
<b>Promedio de la muestra</b>	<b>118,9</b>	<b>132,1</b>	<b>11,1</b>

**5.2.6 Resistencia mecánica a la compresión en mezcla de arcilla 100%.** Las unidades de mampostería de arcilla cocida deben cumplir con la resistencia mínima a la compresión que se especifica en la NTC 4017.

En los ladrillos de perforación vertical la resistencia neta a la compresión se calcula dividiendo la carga de rotura o de falla por el área neta de la sección perpendicular a la carga (se descuentan las áreas de celdas y perforaciones).

**Tabla 15. Resistencia mecánica a la compresión muestra N° 1 arcilla 100%**

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	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
<b>Promedio</b>	<b>74,33</b>	<b>26,57</b>	<b>46,48</b>	<b>1.975,14</b>	<b>19,75</b>	<b>631,42</b>	<b>31,99</b>

**Tabla 16. Resistencia mecánica a la compresión muestra N° 2 arcilla 100%**

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	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
<b>Promedio</b>	<b>74,46</b>	<b>26,31</b>	<b>47,26</b>	<b>1.959,17</b>	<b>19,59</b>	<b>626,44</b>	<b>31,95</b>

**Tabla 17. Resistencia mecánica a la compresión muestra N° 3 arcilla 100%**

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	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
<b>Promedio</b>	<b>77,59</b>	<b>26,45</b>	<b>46,96</b>	<b>2.051,34</b>	<b>20,51</b>	<b>612,81</b>	<b>30,22</b>

**5.2.7 Análisis Físico cerámico por extruido con adición de 2,5% de cenizas de carbón de la termoeléctrica.** A continuación, se presentan los resultados del análisis físico-cerámico por extrusión realizado a la mezcla de arcilla adicionando 2,5% de ceniza de Termoeléctrica, donde se muestra la cantidad de probetas analizadas en el ensayo.

**Tabla 18. Análisis físico cerámico por extruido de mezcla de arcilla con 2,5% (cenizas de carbón de la Termoeléctrica)**

ENSAYO		RESULTADO INCERTIDUMBRE	
Análisis físico cerámico por extruido (AFE)	Contracción en seco (%CS)	5,26%	± 0,01
	Contracción en Cocido (%CC)	1,33%	± 0,01
	Pérdida de Masa Cocida (%PMC)	4,79%	± 0,04
	Peso Húmedo (g)	149,31	± 0,06
	Peso Seco (g)	124,95	± 0,06
	Peso Cocido (g)	119,04	± 0,06

**5.2.8 Absorción de agua a 2,5% de mezcla de arcilla con cenizas de carbón de la termoeléctrica.** Se presentan los resultados de los porcentajes de absorción de agua en los tres (3) lotes fabricados para este ensayo con el 2,5% de ceniza de cenizas de carbón de la termoeléctrica en la mezcla de arcilla, teniendo en cuenta la masa seca y húmeda de estos.

**Tabla 19. Absorción de agua muestra N°1 de mezcla de arcilla con (2,5% cenizas carbón de la termoeléctrica)**

<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	119,59	132,20	10,5
2	123,06	135,81	10,4
3	117,61	130,22	10,7
4	114,91	127,35	10,8
5	119,98	133,26	11,1
<b>Promedio de la muestra</b>	<b>119,0</b>	<b>131,8</b>	<b>10,7</b>

**Tabla 20. Absorción de agua muestra N°2 de mezcla de arcilla con (2,5% cenizas de carbón de la termoeléctrica)**

<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	122,74	136,06	10,9
2	121,30	134,62	11,0
3	118,25	131,14	10,9
4	120,86	133,58	10,5
5	117,37	129,79	10,6
<b>Promedio de la muestra</b>	<b>120,1</b>	<b>133,0</b>	<b>10,8</b>



**Tabla 21. Absorción de agua muestra N°3 de mezcla de arcilla con (2,5% cenizas de carbón de la termoeléctrica)**

Espécimen N°	Masa seca del espécimen [g]	Masa húmeda del espécimen [g]	Absorción de agua [E] [%]
1	117,61	129,92	10,5
2	118,30	130,71	10,5
3	121,72	134,93	10,9
4	120,28	133,49	11,0
5	121,75	135,09	11,0
<b>Promedio de la muestra</b>	<b>119,9</b>	<b>132,8</b>	<b>10,7</b>

**5.2.9 Resistencia mecánica a la compresión a 2,5% de mezcla de arcilla con ceniza de termoeléctrica.** Como se muestra a continuación:

**Tabla 22. Resistencia mecánica a la compresión muestra N° 1 con adición de 2,5% cenizas de carbón de la termoeléctrica con arcilla**

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	72,58	26,30	47,67	1908,9	19,09	726,65	38,07
2	76,64	26,21	47,49	2008,7	20,09	727,22	36,20
3	70,94	26,21	47,45	1859,3	18,59	798,25	42,93
4	70,89	26,70	47,61	1892,8	18,93	843,02	44,54
5	74,11	26,22	47,52	1943,2	19,43	564,53	29,05
<b>Promedio</b>	<b>73,03</b>	<b>26,33</b>	<b>47,55</b>	<b>1.922,57</b>	<b>19,23</b>	<b>731,93</b>	<b>38,16</b>

**Tabla 23. Resistencia mecánica a la compresión muestra N° 2 con adición de 2,5% cenizas de carbón de la termoeléctrica con arcilla**

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	72,21	26,99	47,68	1948,9	19,49	649,64	33,33
2	72,62	26,26	47,55	1907,0	19,07	761,39	39,93
3	72,88	26,30	47,95	1916,7	19,17	776,44	40,51
4	74,57	26,88	47,41	2004,4	20,04	798,06	39,81
5	70,61	26,31	48,06	1857,7	18,58	726,45	39,10
Promedio	72,58	26,55	47,73	1.926,98	19,27	742,39	38,54

**Tabla 24. Resistencia mecánica a la compresión muestra N° 3 con adición de 2,5% cenizas de carbón de la termoeléctrica con arcilla**

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	74,21	26,80	47,79	1988,8	19,89	751,93	37,81
2	73,65	26,23	47,46	1931,8	19,32	727,55	37,66
3	74,59	26,37	47,46	1966,9	19,67	797,98	40,57
4	73,58	26,12	47,14	1921,9	19,22	788,21	41,01
5	71,12	26,64	48,16	1894,6	18,95	718,93	37,95
Promedio	73,43	26,43	47,60	1.940,83	19,41	756,92	39,00

**5.2.10 Análisis Físico cerámico por extruido con adición de mezcla de arcilla con el 5% de cenizas de carbón de Termotasajero.** Se presentan los resultados, de las especificaciones anteriormente mencionadas, del análisis físico-cerámico por extrusión realizado a la mezcla de arcilla adicionando 5% de ceniza de Termoeléctrica.

**Tabla 25. Análisis físico cerámico por extruido de mezcla de arcilla con 5% (cenizas de carbón de la termoeléctrica)**

ENSAYO		RESULTADO INCERTIDUMBRE	
	Contracción en seco (%CS)	4,59%	± 0,03
Análisis físico cerámico por extruido (AFE)	Contracción en Cocido (%CC)	0,92%	± 0,03
	Pérdida de Masa Cocida (%PMC)	4,58%	± 0,05
	Peso Húmedo (g)	151,05	± 0,04
	Peso Seco (g)	124,37	± 0,04
	Peso Cocido (g)	118,68	± 0,04

**5.2.11 Absorción de agua a (5%) de mezcla de arcilla con (Cenizas de carbón de la termoeléctrica).** Se presentan los resultados de los porcentajes de absorción de agua en los tres (3) lotes fabricados para este ensayo con el 5% de ceniza de Termoeléctrica en la mezcla de arcilla, teniendo en cuenta la masa seca y húmeda de estos.

**Tabla 26. Absorción de agua muestra N° 1 mezcla de arcilla con (5% de cenizas de carbón de la termoeléctrica)**

Espécimen N°	Masa seca del espécimen [g]	Masa húmeda del espécimen [g]	Absorción de agua [E] [%]
1	117,46	131,31	11,8
2	118,04	133,55	13,1
3	120,99	135,01	11,6
4	121,70	135,77	11,6
5	116,70	130,31	11,7
<b>Promedio de la muestra</b>	<b>119,0</b>	<b>133,2</b>	<b>11,9</b>

**Tabla 27. Absorción de agua muestra N° 2 mezcla de arcilla con (5% de cenizas de carbón de la termoeléctrica)**

<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	122,37	136,86	11,8
2	120,27	134,68	12,0
3	117,93	132,05	12,0
4	120,05	134,00	11,6
5	120,05	133,81	11,5
<b>Promedio de la muestra</b>	<b>120,1</b>	<b>134,3</b>	<b>11,8</b>

**Tabla 28. Absorción de agua muestra N° 3 mezcla de arcilla con (5% de cenizas de carbón de la termoeléctrica)**

<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	120,22	133,73	11,2
2	116,38	129,84	11,6
3	118,81	132,61	11,6
4	120,75	135,05	11,8
5	118,54	132,76	12,0
<b>Promedio de la muestra</b>	<b>118,9</b>	<b>132,8</b>	<b>11,7</b>

**5.2.12 Resistencia mecánica a la compresión a 5% de mezcla de arcilla con ceniza de carbón de la termoeléctrica.** Como se muestra a continuación:

**Tabla 29. Resistencia mecánica a la compresión muestra N° 1 con adición de 5% cenizas de carbón de la termoeléctrica con arcilla**

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	75,05	26,98	47,61	2024,8	20,25	628,02	31,02
2	76,71	26,35	47,14	2021,3	20,21	803,65	39,76
3	77,44	26,42	46,89	2046,0	20,46	546,19	26,70
4	77,19	27,62	47,25	2132,0	21,32	672,03	31,52
5	75,70	27,63	47,39	2091,6	20,92	504,70	24,13
<b>Promedio</b>	<b>76,42</b>	<b>27,00</b>	<b>47,26</b>	<b>2.063,14</b>	<b>20,63</b>	<b>630,92</b>	<b>30,62</b>

**Tabla 30. Resistencia mecánica a la compresión muestra N° 2 con adición de 5% cenizas de carbón de la termoeléctrica con arcilla**

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	76,32	26,34	47,47	2010,3	20,10	459,53	22,86
2	77,27	26,34	47,62	2035,3	20,35	340,26	16,72
3	75,15	26,45	47,94	1987,7	19,88	705,22	35,48
4	76,39	27,22	47,22	2079,3	20,79	674,54	32,44
5	75,77	26,65	47,62	2019,3	20,19	702,33	34,78
<b>Promedio</b>	<b>76,18</b>	<b>26,60</b>	<b>47,57</b>	<b>2.026,38</b>	<b>20,26</b>	<b>576,38</b>	<b>28,46</b>

**Tabla 31. Resistencia mecánica a la compresión muestra N° 3 con adición de 5% cenizas de carbón de la termoeléctrica con arcilla**

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	76,86	27,05	47,56	2079,1	20,79	504,70	24,28
2	73,92	26,84	47,30	1984,0	19,84	722,98	36,44
3	74,67	27,96	46,86	2087,8	20,88	692,48	33,17
4	76,84	28,16	46,95	2163,8	21,64	597,72	27,62
5	74,51	26,60	47,63	1982,0	19,82	478,45	24,14
<b>Promedio</b>	<b>75,36</b>	<b>27,32</b>	<b>47,26</b>	<b>2.059,33</b>	<b>20,59</b>	<b>599,27</b>	<b>29,13</b>

**5.2.13 Análisis Físico cerámico por extruido con adición de 7,5% de cenizas de carbón de termotasajero.** Se presentan los resultados del análisis físico-cerámico por extrusión realizado a la mezcla de arcilla adicionando 7,5% de ceniza de termoeléctrica, donde se muestra la cantidad de probetas analizadas en el ensayo.

**Tabla 32. Análisis físico cerámico por extruido de mezcla de arcilla con 7,5% (cenizas de carbón de la termoeléctrica)**

ENSAYO		RESULTADO INCERTIDUMBRE	
	Contracción en seco (%CS)	4,10%	± 0,03
Análisis físico cerámico por extruido (AFE)	Contracción en Cocido (%CC)	0,58%	± 0,03
	Pérdida de Masa Cocida (%PMC)	4,27%	± 0,06
	Peso Húmedo (g)	149,25	± 0,07
	Peso Seco (g)	124,18	± 0,07
	Peso Cocido (g)	117,88	± 0,07

**5.2.14 Absorción de agua a 7,5% de mezcla de arcilla con ceniza de carbón de la termoeléctrica.** Los resultados de los porcentajes de absorción de agua en los tres (3) lotes fabricados para este ensayo con el 7,5% de ceniza de Termoeléctrica en la mezcla de arcilla, teniendo en cuenta la cantidad en gramos de masa seca y húmeda de estos.

**Tabla 33. Absorción de agua muestra N° 1 mezcla de arcilla con (7,5% de cenizas de carbón de la termoeléctrica)**

Espécimen N°	Masa seca del espécimen [g]	Masa húmeda del espécimen [g]	Absorción de agua [E] [%]
1	113,68	128,80	13,3
2	117,82	132,72	12,6
3	116,63	130,17	11,6
4	116,28	130,40	12,1
5	117,38	131,00	11,6
<b>Promedio de la muestra</b>	<b>116,4</b>	<b>130,6</b>	<b>12,3</b>

**Tabla 34. Absorción de agua muestra N° 2 mezcla de arcilla con (7,5% de cenizas de carbón de la termoeléctrica)**

Espécimen N°	Masa seca del espécimen [g]	Masa húmeda del espécimen [g]	Absorción de agua [E] [%]
1	118,08	133,73	13,3
2	119,69	133,26	11,3
3	117,10	130,96	11,8
4	115,51	131,34	13,7
5	118,90	132,20	11,2
<b>Promedio de la muestra</b>	<b>117,9</b>	<b>132,3</b>	<b>12,3</b>

**Tabla 35. Absorción de agua muestra N° 3 mezcla de arcilla con (7,5% de cenizas de carbón de la termoeléctrica)**

Espécimen N°	Masa seca del espécimen [g]	Masa húmeda del espécimen [g]	Absorción de agua [E] [%]
1	121,87	135,70	11,3
2	118,67	133,73	12,7
3	118,66	134,94	13,7
4	119,54	134,34	12,4
5	121,04	134,16	10,8
<b>Promedio de la muestra</b>	<b>120,0</b>	<b>134,6</b>	<b>12,2</b>

**5.2.15 Resistencia mecánica a la compresión a 7,5% de mezcla de arcilla con cenizas de carbón de la termoeléctrica.** Como se muestra a continuación:

**Tabla 36. Resistencia mecánica a la compresión muestra N° 1 con adición de 7,5% cenizas de carbón de la termoeléctrica con arcilla**

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	71,53	27,27	47,33	1950,6	19,51	596,76	30,59
2	76,03	27,17	47,55	2065,7	20,66	501,03	24,25
3	74,97	26,53	47,69	1989,0	19,89	563,37	28,32
4	74,09	27,64	47,38	2047,8	20,48	465,52	22,73
5	74,58	26,50	47,72	1976,4	19,76	562,98	28,49
<b>Promedio</b>	<b>74,24</b>	<b>27,02</b>	<b>47,53</b>	<b>2.005,91</b>	<b>20,06</b>	<b>537,93</b>	<b>26,88</b>



**Tabla 37. Resistencia mecánica a la compresión muestra N° 2 con adición de 7,5% cenizas de carbón de la termoeléctrica con arcilla**

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	76,14	27,09	48,08	2062,6	20,63	524,96	25,45
2	77,22	27,62	47,62	2132,8	21,33	596,56	27,97
3	74,56	26,35	47,77	1964,7	19,65	552,17	28,11
4	74,43	27,02	47,53	2011,1	20,11	490,03	24,37
5	75,43	27,07	47,54	2041,9	20,42	557,77	27,32
<b>Promedio</b>	<b>75,56</b>	<b>27,03</b>	<b>47,71</b>	<b>2.042,62</b>	<b>20,43</b>	<b>544,30</b>	<b>26,64</b>

**Tabla 38. Resistencia mecánica a la compresión muestra N° 3 con adición de 7,5% cenizas de carbón de la termoeléctrica con arcilla**

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	76,72	26,41	47,54	2026,2	20,26	559,51	27,61
2	75,52	27,19	47,74	2053,4	20,53	600,62	29,25
3	76,66	26,26	47,58	2013,1	20,13	477,48	23,72
4	75,85	26,03	47,66	1974,4	19,74	447,95	22,69
5	77,70	26,37	47,18	2048,9	20,49	502,77	24,54
<b>Promedio</b>	<b>76,49</b>	<b>26,45</b>	<b>47,54</b>	<b>2.023,20</b>	<b>20,23</b>	<b>517,66</b>	<b>25,56</b>

### 5.3 Evaluación del Bloque h 10 Desarrollado a nivel de Laboratorio

En este capítulo se analizan los resultados del capítulo 5.2, teniendo en cuenta las tablas de promedios de cantidad de absorción de agua y de resistencia mecánica a la compresión de la norma técnica Colombiana NTC 4205:2000 que especifica las propiedades físico-mecánicas que debe cumplir los de los especímenes fabricados con el 100% de arcilla y con 2,5%, 5% y 7,5% de adición de ceniza de Termoeléctrica. De la misma manera, el análisis de variables de los

resultados de los ensayos físico-cerámico de cada porcentaje, evaluando principalmente el cambio de porcentaje de contracción, pérdida de masa y porcentaje de absorción de agua de los especímenes en su condición cocida y la manera en cómo influye la temperatura que se aplicó.

$$E = \frac{m_4 - m_3}{m_3} \times 100$$

**Ecuación 2.** Porcentaje de absorción de agua de cada espécimen.

Donde:

E = Absorción de agua en %

m<sub>3</sub> = Masa del espécimen seco, en g (antes del ensayo)

m<sub>4</sub> = Masa del espécimen impregnada con agua hirviendo, en g (después del ensayo)

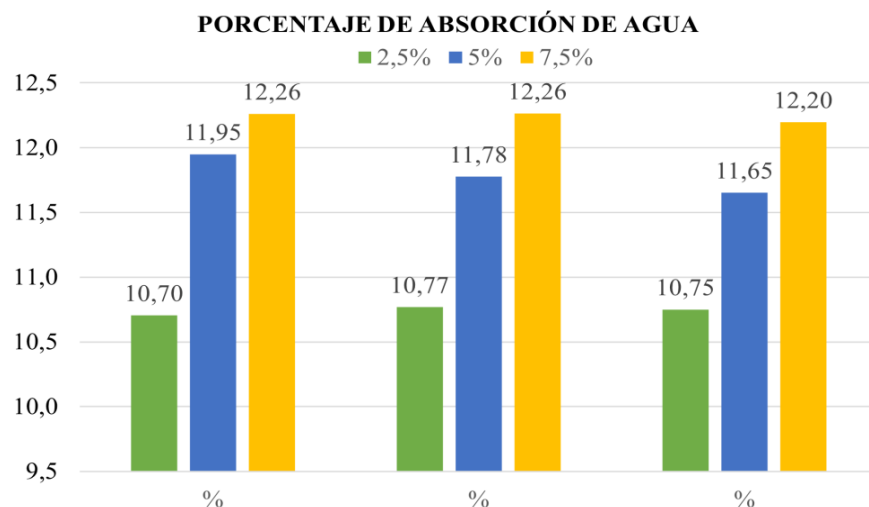
### **Absorción de agua de la muestra:**

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

**Ecuación 2.**

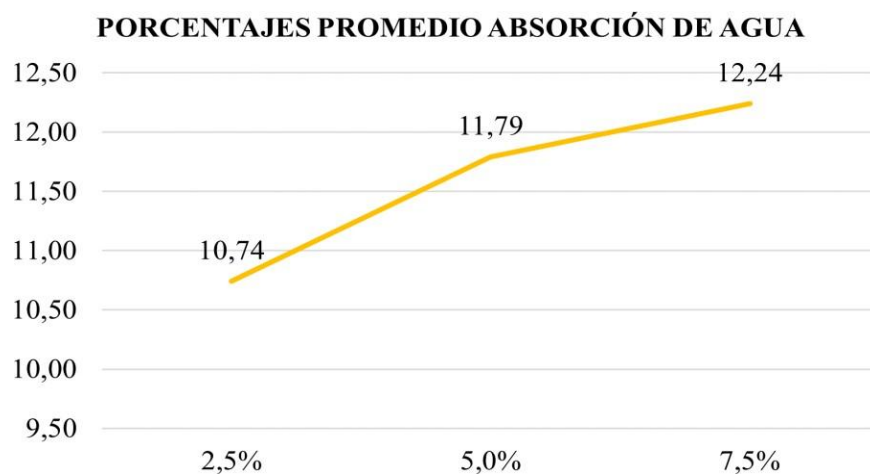
$$\bar{X}E_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i$$

**Ecuación 3.** Promedio de absorción de agua de la muestra.



**Figura 24. Promedio de los 3 lotes fabricados para absorciones de agua**

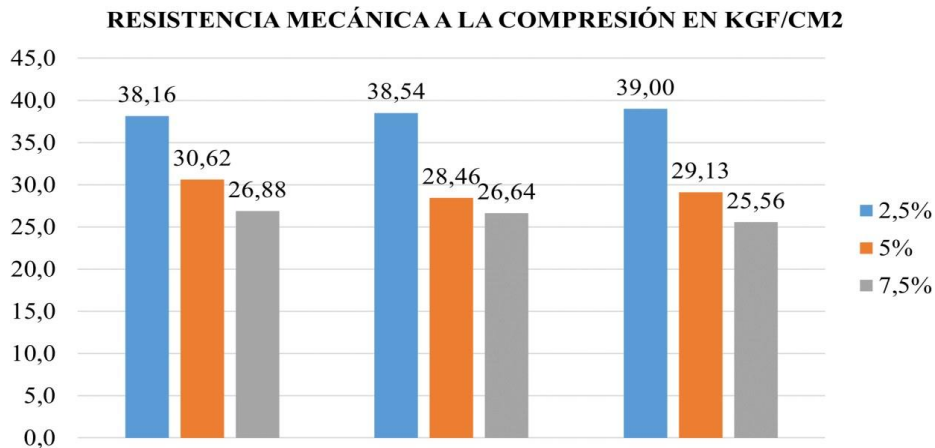
Se observa en la gráfica los porcentajes de absorción de agua de las tres mezclas formuladas, utilizando arcilla con cenizas de carbón de la termoeléctrica. Se evidencia que la Mezcla de 2,5% presenta menor porcentaje de absorción de agua, comparada con las otras dos, lo que quiere decir que a menor cantidad de nutriente, menor será el % de absorción, pero en las tres mezclas cumplen con la NTC 4205, porque presentan absorciones menores de 13,5%.



**Figura 25. Datos promedios de absorción de agua en 2,5%, 5% y 7,5% cenizas de carbón de la termoeléctrica**

Según la norma técnica colombiana se denominan unidades de mampostería de uso interior a aquellas que no estén expuestas a la intemperie, como muros divisorios interiores o en muros exteriores que tengan un acabado de protección de pañete, enchape u otra mampostería que impida la exposición a la intemperie.

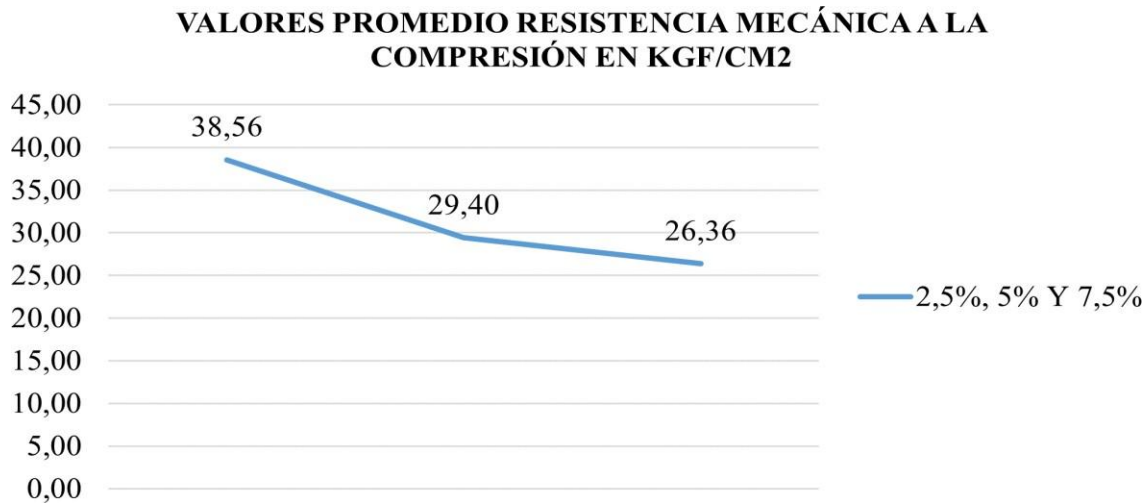
Según los resultados obtenidos en el ensayo y de acuerdo a la norma técnica colombiana NTC 4205:2000, se indica que el porcentaje máximo de absorción de agua que debe tener un bloque para ser categorizado como no estructural para uso tanto para interiores como exteriores, debe ser máximo de 13,5%, y en todas las mezclas se obtuvieron porcentajes inferiores a este, por ende cumple en todas las mezclas para absorción de agua. Cumplen la norma, y se clasifica como se evidencia en la tabla de la norma como Unidades de mampostería de perforación horizontal no estructurales.



**Figura 26. Resistencia mecánica a la compresión en mezcla de arcilla valores en Kf/cm<sup>2</sup>**

**Adicionando 2,5%, 5% y 7,5% de cenizas de carbón de la termoeléctrica.** En la figura 25 se observa la resistencia mecánica a la compresión en cada una de las mezclas con cenizas de carbón de la termoeléctrica, los valores de resistencia mecánica revelan una tendencia a disminuir

con mayor porcentaje utilizado.



**Figura 27. Valores promedio de resistencia mecánica a la compresión en kgf/cm<sup>2</sup> de mezcla de cenizas de carbón de la termoeléctrica**

En la figura 26 se puede observar una línea con tendencia decreciente de los valores promedio en kgf/cm<sup>2</sup> de resistencia mecánica a la compresión en los tres porcentajes utilizados en el ensayo de laboratorio, se evidencia que la mezcla de arcilla que cumple con lo que exige la norma es la elaborada con 2,5% de cenizas de carbón de la termoeléctrica, con un valor de resistencia mecánica a la compresión promedio (5 unidades) de 38,56 kgf/cm<sup>2</sup> por unidad, por el contrario, las mezclas elaboradas con 5% y 7,5% no alcanzaron a cumplir la resistencia mínima, obteniéndose valores promedio de 29,40 kgf/cm<sup>2</sup> y 26,36 kgf/cm<sup>2</sup> respectivamente. Lo que indica que a mayor cantidad de cenizas de carbón de la termoeléctrica menor será la resistencia mecánica a la compresión.

**Tabla 39. Análisis comparativo de resultados**

	Ensayo 100% Arcilla	2,5% Cenizas de termoelectrica	5% Cenizas de termoelectrica	7,5% Cenizas de termoelectrica	NTC 4205:2000
Absorción de Agua	11%	10,70%	11,80%	12,20%	13,50%
Resistencia Mecánica a la Compresión	31,39 kgf/cm <sup>2</sup>	38,6 kgf/cm <sup>2</sup>	29,4 kgf/cm <sup>2</sup>	26,4 kgf/cm <sup>2</sup>	30 kgf/cm <sup>2</sup>
Contracción en Seco	4,77%	5,26%	4,60%	4,10%	
Contracción en Cocido	3,00%	1,33%	0,92%	0,583%	
Pérdida de Masa en Seco	17,93%	16,32%	17,66%	16,80%	
Pérdida de Masa en Cocido	3,97%	4,73%	4,58%	4,27%	

#### 5.4 Costos del bloque H-10 Normal y del Bloque Fabricado con Cenizas de Carbón de la Termoelectrónica

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

**Tabla 40. Actividades de Empresa que fabrica Bloque H-10**

<b>ETAPAS PROCESO PRODUCTIVO</b>		
<b>1. COSTO DE EXPLOTACIÓN Y PREPARACIÓN</b>		
<b>N°</b>	<b>Actividad</b>	<b>Descripción</b>
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

---

N°	Actividad	Descripción
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

---

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

---



4. CENTRO DE COSTO DE EXTRUSIÓN		
N°	Actividad	Descripción
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 piezas 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		
N°	Actividad	Descripción
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.

<b>6. COSTO DE EXPLOTACIÓN Y PREPARACIÓN</b>		
<b>Nº</b>	<b>Actividad</b>	<b>Descripción</b>
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.
<b>7. COSTO DE COCCIÓN</b>		
<b>Nº</b>	<b>Actividad</b>	<b>Descripción</b>
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		
Nº	Actividad	Descripción
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		
Nº	Actividad	Descripción
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.

**5.4.1 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 41. Componente del costo vs actividad

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

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

**Tabla 42. Consolidado de los costos de las actividades de producción en el periodo analizado**

<b>Actividades</b>	<b>Código *</b>	<b>Marzo (\$)</b>
<b>Arranque de materia prima y cargue</b>	A	\$ 5,064,210.7
<b>Transporte a planta</b>	B	\$ 1,800,366.5
<b>Acomodo de materia prima en galpón</b>	C	\$ 371,279.2
<b>Llenado cajón alimentador</b>	D	\$ 2,888,244.0
<b>Molienda y tamizado</b>	E	\$ 6,885,102.8
<b>Humectación -extrusión</b>	F	\$ 8,067,766.7
<b>Corte y acomodo de piezas</b>	G	\$ 2,958,206.0
<b>Transporte a patio de secado</b>	H	\$ 2,114,270.1
<b>Caracoleo</b>	I	\$ 718,733.7
<b>Transporte y acomodo en horno</b>	J	\$ 2,369,245.5
<b>Quema</b>	K	\$ 19,919,222.9
<b>Descargue y transporte</b>	L	\$ 1,312,014.3
<b>Clasificación y almacenamiento</b>	M	\$ 1,328,270.3
<b>Actividades gerenciales</b>	N	\$ 1,603,528.5
<b>Actividades contables. comerciales y de apoyo</b>	O	\$ 1,464,811.5
<b>Total</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.

**Costo Bloque \$ 327,02**

**Tabla 43. Costo del bloque usando cenizas de carbón de la termoelectrica**

Actividades	Código *	Marzo (\$)
Arranque de materia prima y cargue	A	\$ 3.800.000,00
Almacenamiento de (Cenizas de Termoelectrica)	A1	\$ 2.300.000,00
Transporte a planta	B	\$ 1.100.000,00
Transporte de (Cenizas de Termoelectrica)	B1	\$ 1.400.000,00
Acomodo de materia prima en galpón	C	\$ 290.000,00
Molienda, trituración del (Cenizas de Termoelectrica)	C1	\$ 800.000,00
Llenado cajón alimentador	D	\$ 288.244,00
Molienda y tamizado	E	\$ 6.885.103,00
Humectación -extrusión	F	\$ 8.067.767,00
Corte y acomodo de piezas	G	\$ 2.958.206,00
Transporte a patio de secado	H	\$ 2.114.270,00
Caracoleo	I	\$ 718.734,00
Transporte y acomodo en horno	J	\$ 2.369.245,00
Quema	K	\$ 19.919.223,00
Descargue y transporte	L	\$ 1.312.014,00
Clasificación y almacenamiento	M	\$ 1.328.270,00
Actividades gerenciales	N	\$ 1.603.529,00
Actividades contables. comerciales y de apoyo	O	\$ 1.464.811,00
<b>Total</b>		<b>58.719.416,00</b>

El costo del producto del bloque con Cenizas de carbón de carbón de la Termoelectrica.

Costo - Producción \$ 58'719.416

Producción de Bloque 180.000 Und

**Costo Bloque \$ 326,218**

## 6. Conclusiones

Una vez analizados los resultados de los laboratorios y comparados respectivamente con la NTC 4205:2000, se comprueba que la mezcla de arcilla elaborada con 2,5% de cenizas de carbón de la termoeléctrica fue la que presentó mejores propiedades cumpliendo la absorción de agua y la resistencia mecánica a la compresión estipulada en esta norma para clasificar como bloque no estructural de uso tanto para interiores como para exteriores.

Teniendo en cuenta los antecedentes, se pueden deducir que se podrían obtener mejores resultados en las propiedades físico mecánicas de los bloques de arcilla elaborados con cenizas de carbón de la termoeléctrica ya que se ha demostrado que la ceniza contiene 52,85% de óxidos de silicio, 26,27% de aluminio y 7,77% de hierro, componentes químicos que mejoran considerablemente la resistencia mecánica a la compresión de los bloques de arcilla.

Se concluye que la adición de cenizas de carbón de la termoeléctrica a la mezcla de arcilla para fabricación de bloques de construcción cumple la normal con el 2,5% o 3% máximo de adición de nutriente.

El sector de la construcción tiene un gran impacto medioambiental y reducirlo es primordial para un futuro sostenible, por lo que la reutilización de materiales como cenizas de carbono de la termoeléctrica será clave en estos años, así como investigar sus posibles usos.

Los resultados muestran que el material fabricado presenta un porcentaje de absorción de agua de acuerdo con los rangos establecidos por los estándares colombianos. Además, también es más liviano de lo habitual, lo que reduce los costos de transporte y se puede utilizar en los procesos de producción de materiales tradicionales de la región con un sello ecológico.



## **7. Recomendaciones**

Realizar otras investigaciones con diferentes porcentajes de cenizas de carbón de la termoeléctrica Termotasajero o una diferente, activar sus propiedades con diferentes grados de temperatura, conocer y evaluar sus componentes mineralógicos y químicos mediante análisis de espectrometría de fluorescencia de rayos X, para determinar si es factible su utilización en la elaboración de bloques de arcilla para construcción o como adición de otro material como cemento, asfalto entre otros.

Desarrollar y evaluar los efectos de las cenizas de termoeléctrica en otro tipo de mezclas para fabricar otros productos como por ejemplo en la elaboración de bloques de concreto, losas en concreto, hormigón entre otros.

En esta investigación se invita a que sigan profundizando en el tema ya que por costos el material saldría un poco más económico con cenizas de termoeléctrica esto nos llevaría a reutilizar este material contaminante solo se recomienda realizar unos estudios que comprueben que realizar una vivienda o cualquier construcción, esta no afecte ni deteriore la vida de las personas.

### Referencias Bibliográficas

Alonso, J. (1961). *Academia Accelerating the world's research*. Recuperado de:

[https://www.academia.edu/download/55246175/MODELAMIENTO\\_GEOLOGICO\\_MI\\_NERO\\_TAMESIS\\_I.pdf](https://www.academia.edu/download/55246175/MODELAMIENTO_GEOLOGICO_MI_NERO_TAMESIS_I.pdf).

Beckhoff, B. (2006). *Academia Accelerating the world's research*. Recuperado de:

[https://www.academia.edu/download/55246175/MODELAMIENTO\\_GEOLOGICO\\_MI\\_NERO\\_TAMESIS\\_I.pdf](https://www.academia.edu/download/55246175/MODELAMIENTO_GEOLOGICO_MI_NERO_TAMESIS_I.pdf)

Bernal, I. (2003). *Academia Accelerating the world's research*. Recuperado de:

[https://www.academia.edu/download/55246175/MODELAMIENTO\\_GEOLOGICO\\_MI\\_NERO\\_TAMESIS\\_I.pdf](https://www.academia.edu/download/55246175/MODELAMIENTO_GEOLOGICO_MI_NERO_TAMESIS_I.pdf).

Bertin, E. (1975). *Academia Accelerating the world's research*. Recuperado de:

[https://www.academia.edu/download/55246175/MODELAMIENTO\\_GEOLOGICO\\_MI\\_NERO\\_TAMESIS\\_I.pdf](https://www.academia.edu/download/55246175/MODELAMIENTO_GEOLOGICO_MI_NERO_TAMESIS_I.pdf)

Bioweb. (2021). *Termohigrómetro EXTECH*. Recuperado de:

<https://colombia.bioweb.co/products/datalogger-de-temperatura-y-humedad-extech-42280>

Brindley, G. &. (1980). *Academia Accelerating the world's research*. Recuperado de:

[https://www.academia.edu/download/55246175/MODELAMIENTO\\_GEOLOGICO\\_MI\\_NERO\\_TAMESIS\\_I.pdf](https://www.academia.edu/download/55246175/MODELAMIENTO_GEOLOGICO_MI_NERO_TAMESIS_I.pdf)

Cabo, M. (2011). *Ladrillo ecológico como material sostenible para la construcción*. Recuperado

de: <https://hdl.handle.net/2454/4504>

Chávez, G. (2015). *Producción, propiedades y usos de los residuos de la combustión del carbón de termotasajero*. Tesis de grado. Universidad Santo Tomás. Bogota, Colombia.

Chica, L. (2006). "La zeolita en la mitigación ambiental". *Revista Lasallista de Investigación*, 3(1), 1-12. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69530106>.

Cook, J. (1983). *Fly ash concrete – Technical considerations*. Concrete International.

Recuperado de:

<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/9685/ChavezCamilo2015.pdf?isAllowed=y&sequence=1>

Cullity, B. (1967). *Academia Accelerating the world's research*. Recuperado de:

[https://www.academia.edu/download/55246175/MODELAMIENTO\\_GEOLOGICO\\_MI\\_NERO\\_TAMESIS\\_I.pdf](https://www.academia.edu/download/55246175/MODELAMIENTO_GEOLOGICO_MI_NERO_TAMESIS_I.pdf)

Davidovits, J. (1994). "Global Warming Impact on the Cement and Aggregates Industries".

*World Resource Review*, 6(2), 263-278. Recuperado de:

<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=413937008009>.

Deg, N. (2008). Utilization of phosphogypsum as raw and calcined material in manufacturing of building products. *Energética*, 4(2), 1-86.

Diaz, L. (2002). *Academia Accelerating the world's research*. Recuperado de:

[https://www.academia.edu/download/55246175/MODELAMIENTO\\_GEOLOGICO\\_MI\\_NERO\\_TAMESIS\\_I.pdf](https://www.academia.edu/download/55246175/MODELAMIENTO_GEOLOGICO_MI_NERO_TAMESIS_I.pdf)

Everhart, J. (1957). "Use of auxiliary fluxes to improve structural clay bodies". *American*

*Ceramic Society Bulletin*, 36(2), 268-271. doi: <https://doi.org/10.30827/cpag.v8i0.1224>

Flint, E. (1966). *Academia Accelerating the world's research*. Recuperado de:

[https://www.academia.edu/download/55246175/MODELAMIENTO\\_GEOLOGICO\\_MI\\_NERO\\_TAMESIS\\_I.pdf](https://www.academia.edu/download/55246175/MODELAMIENTO_GEOLOGICO_MI_NERO_TAMESIS_I.pdf)

George, B. (2016). “A circular economy model of economic growth”. *Environmental Modeling & Software*, 4(2), 1-12.

Gil, J. (2017). *Evaluación de la sostenibilidad en la producción del ladrillo en la región de Boyacá*. Tesis de grado. Universidad Santo Tomás. Bogota, Colombia.

González, D. (2014). “Producción y caracterización de zeolita obtenida a partir de ceniza volante mediante drx”. *Revista de Física*, 12(48), 52-60. Recuperado de:  
<http://www.bdigital.unal.edu.co/44963/1/45542-219568-2-PB.pdf>.

Grupo-Selecta. (2021). *Estufa de 128 litros*. Recuperado de: <https://grupo-selecta.com/wp-content/uploads/02-estufas-hornos-e-incubadores.pdf>

Hernández, J. (2015). “Lixiviación diferenciada de metales mayoritarios de cenizas volantes”. *Revista tecnocientífica*, 4(9), 19-31. Recuperado de: [http://200.35.84.134/ojs-2.4.2/index.php/rtcu/article/viewFile/294/pdf\\_17](http://200.35.84.134/ojs-2.4.2/index.php/rtcu/article/viewFile/294/pdf_17).

Hernández, R., Fernández, C. & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. México: Mcgraw-Hill

Heufers, H. (1984). “*Flugaschezement– Herstellungsverfahren, Qualität und Wirtschaftlichkeit*”. Recuperado de:  
<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/9685/ChavezCamilo2015.pdf?isAllowed=y&sequence=1>

Homecenter. (2021). *Tanque de absorción*. Recuperado de:

<https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/31652/tanque-1000-litros/31652/>

Induarcilla. (2011). *Ciencia e ingeniería neogranadina*. Recuperado de:

<http://www.induarcilla.com/c>

Instrumentación Metrología. (2021). *Pie de Rey digital de 200 mm*. Recuperado de:

<https://www.instrumentacion-metrologia.es/500-156-20-Pie-de-Rey-Digital-Absolute-200-mm>

Kalyonku, S. (1998). *Síntesis de zeolita a partir de cenizas volante de centrales termoelectricas de carbon. bitstream*. Recuperado de:

<https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6982/03CAPITULO1.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Kavak, N. (2005). *Adsorption of boron from aqueous solutions using fly ash: Batch and column studies*. Recuperado de: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16098659/>

Kraus, E. (1965). *Academia Accelerating the world's research*. Nueva york: McGraw Hill.

Liberto, D. (1964). *Modelamiento geológico*. Recuperado de:

[https://www.academia.edu/download/55246175/MODELAMIENTO\\_GEOLOGICO\\_MI\\_NERO\\_TAMESIS\\_I.pdf](https://www.academia.edu/download/55246175/MODELAMIENTO_GEOLOGICO_MI_NERO_TAMESIS_I.pdf)

Lopez, J., Oller, S. & Oñate, E. (1998). *Calculo del comportamiento de la mampostería mediante elementos finitos*. Recuperado de:

<http://www.cimne.com/personales/eo/publicaciones/files/M46.pdf>

- Malhotra, A. (2000). "High-Volumen Fly Ash System: Concrete Solution for Sustainable development". *Materials Journal*, 97(1), 41-48.
- Mantilla, Y. (2019). *Programa de seguimiento y monitoreo del plan de manejo para el control del impacto ambiental generado por la explotación minera de arcilla en el municipio de Cúcuta*. Tesis de grado. Universidad Libre. Bogota, Colombia.
- Martin, G. (1995). Academia Accelerating the world's research. Recuperado de:  
[https://www.academia.edu/download/55246175/MODELAMIENTO\\_GEOLOGICO\\_MI\\_NERO\\_TAMESIS\\_I.pdf](https://www.academia.edu/download/55246175/MODELAMIENTO_GEOLOGICO_MI_NERO_TAMESIS_I.pdf)
- Martínez, A. (2014). *Diseño y fabricación de ladrillo reutilizando materiales a base de PET*. Recuperado de: <https://revistascientificas.cuc.edu.co/ingecuc/article/view/493>
- Melendez, C. (2009). *Espectrometria de fluorescencia de rayos x*. Recuperado de:  
[https://www.academia.edu/download/55246175/MODELAMIENTO\\_GEOLOGICO\\_MI\\_NERO\\_TAMESIS\\_I.pdf](https://www.academia.edu/download/55246175/MODELAMIENTO_GEOLOGICO_MI_NERO_TAMESIS_I.pdf)
- Minicelli, M. (2008). Synthesis and Characterization of ceramic from coal fly ash and incinerate paper mill sludge. *Energetica*, 4(1), 1-12.
- Mohan, A. (2014). *HighVolume Fly Ash System: Concrete Solution for Sustainable development*. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/246375404\\_High-Volume\\_Fly\\_Ash\\_System\\_The\\_Concrete\\_Solution\\_for\\_Sustainable\\_Development](https://www.researchgate.net/publication/246375404_High-Volume_Fly_Ash_System_The_Concrete_Solution_for_Sustainable_Development)
- Mora, J. (2008). *Evaluación del comportamiento físico y mecánico de bloques de arcilla macizos con adición de ceniza volante*. Tesis de grado. Universidad la Gran Colombia. Bogota, Colombia.

Newman, B. (1995). *Síntesis de zeolita a partir de cenizas volante de centrales termoelectricas de carbon. bitstream*. Recuperado de:

<https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6982/03CAPITULO1.pdf?sequence=3>

Páliz, D. (2015). *Factibilidad del uso de Raquis de Palma Africana en mezcla con agregados de construcción para la fabricación de ladrillos ecológicos*. Tesis de grado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Chimborazo, Ecuador.

Pallomaro. (2021). *Balanza digital de 20 kg*. Recuperado de:

<https://www.tienda.pallomaro.com/BALANZAS/balanza-electronica-20kg-r1393-r208>

Peña, M. (2011). *Caracterización de cenizas de algunos carbones colombianos in situ por retrodispersión gamma-gamma*. Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia. Bogota, Colombia.

Polat, A. (2004). *A new methodology for removal of boron from water by coal and fly ash*".

Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011916404001766>

Quarantana, N. (2009). *Inclusión de residuos industriales en la producción de materiales cerámicos*. Recuperado de:

<https://redisa.net/doc/artSim2009/TratamientoYValorizacion/Inclusi%C3%B3n%20de%20residuos%20industriales%20en%20la%20producci%C3%B3n%20de%20materiales%20cer%C3%A1micos.pdf>

Química General. (2018). *Contaminación de las termoeléctricas*. Recuperado de:

<http://www2.udec.cl/quimles/general/publicacion-6.htm>

Reh, L. (2013). Process Engineering in circular economy. *Dialnet Particuology*, 4(1), 1- 12.

Ren, Q. (2017). Circular Economy Action Programs and Countermeasures for Small and Medium-sized Resource based Cities of China-Case Study of Zibo City of Shandong Province. *Dialnet Energy Procedia*, 4(2), 1- 12.

Riaño, J. (2016). *Modelamiento geológico minero y cálculo de reservas de la mina támesis*.

Recuperado de: <https://www.academia.edu/download.pdf>.

Roa, K. (2017). *Aplicación de  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  y cenizas volantes como refuerzo en la matriz de unidades cerámicas macizas*. Medellín: Universidad de Medellín.

Rojas, L. (2015). *Fabricación y evaluación del desempeño de Quince Ladrillos Refractarios elaborados con ceniza volante producto de la combustión del carbón en las calderas de la Central Termozipa a diferentes temperaturas, De acuerdo a la Norma ASTM C 113*. Tesis de Grado. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogota, Colombia.

Rozo, S., Sanchez, J. & Alvarez, D. (2010). *Propiedades físico mecánicas de bloques H10 fabricados en el área metropolitana de Cúcuta*. Tesis de grado. Universidad Militar Nueva Granada. Bogota, Colombia.

Sánchez, J. & Gelves, J. (2012). Caracterización tecnológica y del talento humano de las empresas fabricantes de cerámica roja ubicadas en el área metropolitana de Cúcuta. *Respuestas*, 17(2), 71–80. Recuperado de: <https://doi.org/10.22463/0122820X.423>

Santaella, L (2001). *Caracterización física química y mineralógica de las cenizas volante*. Tesis de grado. Universidad Militar Nueva Granada. Bogota, Colombia.



Sarabia, A. (2017). *Uso de nutrientes tecnológicos como materia prima en la fabricación de materiales de construcción en el paradigma de la economía circular*. Tesis de grado.

Universidad de la Rioja. Londoño, España.

Tecfresh. (2021). *Tamiz malla n° 10 – 2mm astm de 8" todo acero inoxidable altura completa (v8sf#10)*. Recuperado de: <https://tecfresh.com/producto/tamiz-malla-n-10-2mm-astm-de-8-todo-acero-inoxidable-altura-completa-v8sf10/>

Telesca, A. (2013). Flue gas desulfurization gypsum and coal fly ash basic components of prefabricated building materials. *Revista Energética*, 2(1), 1-86.

Tp Laboratorio Químico. (2021). *Horno mufla*. Recuperado de:

<https://www.tplaboratorioquimico.com/laboratorio-quimico/materiales-e-instrumentos-de-un-laboratorio-quimico/horno-mufla.html>

Vargas, C. & Zoila, R. (2008). Investigación aplicada " Una forma de conocer las realidades con evidencia científica". *Revista Educación*, 4(1), 155-165.

Vinai, L. (2013). Coal combustion residues valorisation. Research and development on compressed brick production construction and building materials. *Revista Energética*, 2(1), 1-15.

**Anexos**

**Anexo 1. Evidencia fotográfica**

