

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

RESUMEN TRABAJO DE GRADO

AUTOR(ES):

NOMBRE(S): LUSHAY ANDREA APELLIDOS: GONZALEZ VILLAMIZAR

FACULTAD: INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA CIVIL

DIRECTOR:

NOMBRE(S): JORGE APELLIDOS: SÁNCHEZ MOLINA

NOMBRE(S): LEIDY KATHERINE APELLIDOS: PEÑALOZA ISIDRO

TÍTULO DEL TRABAJO (TESIS): EVALUACIÓN DE MEZCLAS DE ARCILLA ADICIONANDO POLIESTIRENO EXPANDIDO PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUE DE CONSTRUCCIÓN

Esta tesis fue enfocada en la reutilización del Poliestireno expandido, dándole un uso adecuado y ayudando con la sostenibilidad del medio ambiente. La propuesta fue remplazar un porcentaje de la materia prima tradicional que es la arcilla por el Poliestireno expandido y lograr disminuir el costo del bloque. Los productos cerámicos fueron elaborados con la técnica de extrusión, los porcentajes que se remplazaron fueron 2.5%, 1.5% y 0.5%, la temperatura de cocción fue de 1000 °C. Los resultados obtenidos fueron tanto negativos como positivos, las mezclas con los tres diferentes porcentajes no cumplieron con la resistencia mecánica a la compresión, pero si cumplieron con el porcentaje de absorción de agua estipulados en la NTC 4205:2000.

PALABRAS CLAVES: Arcilla, Bloque de Construcción, Poliestireno expandido, Evaluación, Sostenibilidad.

CARACTERÍSTICAS:

PÁGINAS: 96 PLANOS: N.A. ILUSTRACIONES: 18 CD ROOM: N.A.

EVALUACIÓN DE MEZCLAS DE ARCILLA ADICIONANDO POLIESTIRENO
EXPANDIDO PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUE DE CONSTRUCCIÓN

LUSHAY ANDREA GONZALEZ VILLAMIZAR

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA CIVIL

SAN JOSÉ DE CÚCUTA, NORTE DE SANTANDER

2022

EVALUACIÓN DE MEZCLAS DE ARCILLA ADICIONANDO POLIESTIRENO
EXPANDIDO PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUE DE CONSTRUCCIÓN

LUSHAY ANDREA GONZALEZ VILLAMIZAR

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

Ingeniero Civil

Director: Ing. JORGE SÁNCHEZ MOLINA

Codirector: Ing. LEIDY KATHERINE PEÑALOZA ISIDRO

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA CIVIL

SAN JOSÉ DE CÚCUTA, NORTE DE SANTANDER

2022

ACTA DE SUSTENTACION DE TRABAJO DE GRADO

FECHA: 10 DE FEBRERO DE 2022 HORA: 8:00 a. m.
LUGAR: VIDEOCONFERENCIA – GOOGLE MEET
PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERIA CIVIL

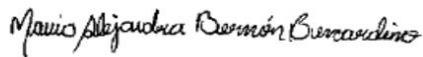
TITULO DE LA TESIS: "EVALUACIÓN DE MEZCLAS DE ARCILLA ADICIONANDO POLIESTIRENO EXPANDIDO PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE CONSTRUCCIÓN".

JURADOS: ING. MARIA ALEJANDRA BERMON BENCARDINO
ING. JOSE RAFAEL CACERES RUBIO

DIRECTOR: ING. JORGE SANCHEZ MOLINA
ING. LEIDY KATHERINE PEÑALOZA ISIDRO

NOMBRE DE LOS ESTUDIANTES:	CODIGO	CALIFICACION	
		NUMERO	LETRA
LUSHAY ANDREA GONZALEZ VILLAMIZAR	1112989	4,6	CUATRO, SEIS

MERITORIA



ING. MARIA ALEJANDRA BERMON BENCARDINO



ING. JOSE RAFAEL CACERES RUBIO



Vo. Bo. JAVIER ALFONSO CARDENAS GUTIERREZ
Coordinador Comité Curricular

Betty M.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	13
1. Descripción del Problema	15
1.1. Título	15
1.2. Planteamiento del Problema	15
1.3. Formulación del Problema	17
1.4. Objetivos	17
1.4.1. Objetivo General	17
1.4.2. Objetivos Específicos	17
1.5. Justificación	17
1.6. Alcances y Limitaciones	18
1.6.1. Alcances	18
1.6.2. Limitaciones	18
1.7. Delimitaciones	18
1.7.1. Delimitación Espacial	18
1.7.2. Delimitación Temporal	19
1.7.3. Delimitación Conceptual	19
2. Marco Referencial	20
2.1. Antecedentes y Estado del Arte	20
2.1.1. Antecedentes Internacionales	20
2.1.3. Antecedentes Nacionales	20

2.1.2. Antecedentes Regionales.	21
2.2. Marco Teórico	22
2.2.1. Poliestireno Expandido	22
2.2.2. Producción de Poliestireno Expandido	27
2.3. Marco Conceptual	30
2.4. Marco Contextual	31
2.5. Marco Legal	33
3. Diseño Metodológico	35
3.1. Tipo de Investigación	35
3.2. Población y Muestra	36
3.2.1. Población	36
3.2.2. Muestra	37
3.3. Instrumentos para la Recolección de Información	37
3.3.1. Fuentes Primarias	37
3.3.1. Fuentes Secundarias	37
3.4. Fases y Actividades Específicas	37
4. Metodología	39
4.1. Materias Primas Utilizadas	40
4.1.1. Arcilla	40
4.1.1.1. Arcillas Cerámica	42

4.1.1.2. Arcillas Comunes	42
4.1.1.3. Arcilla Mina Támesis CR Cerámica Italia	43
4.1.2. Composición Física del Poliestireno Expandido	47
4.1.2.1. Características del Poliestireno Expandido	47
4.2. Proceso de Conformado	51
4.3. Ensayos Realizados	53
4.3.1. Análisis Físico-cerámico	53
4.3.2. Determinación de la Absorción de Agua en Unidades de Mampostería	55
4.3.3. Determinación de la Resistencia Mecánica a la Compresión en Unidades de Mampostería	58
4.4. Normas Aplicadas	60
4.4.1. Propiedades Físicas	60
5. Informe Final	63
5.1. Diagnóstico del Sector del Nutriente Tecnológico	63
5.1.1. El Poliestireno Expandido un Aliado para la Construcción	63
5.1.2. El Poliestireno Expandido y el Reciclaje	64
5.2. Desarrollo del Bloque H-10 Utilizando Diferentes Porcentajes del Nutriente a nivel de Laboratorio	65
5.2.1. Elaboración de Bloques	66
5.2.2. Absorción de Agua para la Mezcla de Arcilla 100%	66

5.2.3. Resistencia a la Compresión para la Mezcla de Arcilla al 100%	68
5.3. Evaluación del Bloque H-10 desarrollado a Nivel de Laboratorio	70
5.3.1. Análisis Físico Cerámico por Extruido con los diferentes Porcentajes de Poliestireno Expandido	70
5.3.2. Análisis de Resultados de Absorción de Agua con los diferentes Porcentajes de Poliestireno Expandido	71
5.3.2. Análisis de Resistencia Mecánica a la Compresión con los diferentes Porcentajes de Poliestireno Expandido	75
5.4. Costos del Bloque H-10 Normal y del Bloque Fabricado con Nutriente Tecnológico	81
5.4.1. Determinación de las Relaciones entre Costo y Actividad	84
5.4.2. Costo del Bloque Usando Nutriente Tecnológico (Poliestireno Expandido)	86
6. Conclusiones	88
7. Recomendaciones	89
8. Referencias Bibliográficas	90
Anexos	95

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de Polimerización del Estireno	28
Figura 2. Proceso de Transformación del Poliestireno Expandible	29
Figura 3. Fases del Proyecto a Desarrollar	38
Figura 4. Frente de Explotación de la Arcilla (Cerámica Támesis S.A.)	42
Figura 5. Análisis Comparativo por Difracción de Rayos X de las Fases Identificadas en el Espécimen Seleccionado de la Muestra	44
Figura 6. Extrusora de Laboratorio con Vacío	52
Figura 7. Apisonador de la Arcilla (Trituración)	52
Figura 8. Molino de Martillos (Molienda Vía Seca)	52
Figura 9. Tamiz Malla 10 (Tamizado)	53
Figura 10. Estufa de 128 litros	53
Figura 11. Horno Mufla	53
Figura 12. Pie de Rey Digital de 200 mm	54
Figura 13. Balanza Digital de 20 kg	55
Figura 14. Tanque para realizar Absorción de Agua por el Método de Inmersión	56
Figura 15. Termohigrómetro EXTECH	56
Figura 16. Crometro (Prensa de Presión)	59
Figura 17. Porcentaje de Agua que se Presentan en las Muestras con los diferentes Porcentajes de Poliestireno	75
Figura 18. Resistencia a la Compresión en las Muestras con diferentes Porcentajes de Poliestireno	80

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Composición Estructural del Material Arcilloso	43
Tabla 2. Resultados Obtenidos por Fluorescencia de Rayos-X de la Muestra Identificada	45
Tabla 3. Análisis Físico Cerámico Materia Prima Cerámica Italia	46
Tabla 4. Propiedades Físico-Mecánicas del EPS Poliestireno Expandido	48
Tabla 5. Propiedades Físicas de las Unidades de Mampostería Estructural	61
Tabla 6. Propiedades Físicas de las Unidades de Mampostería no Estructural	62
Tabla 7. Mezclas Elaboradas y Ensayadas	65
Tabla 8. Resultados de Análisis Físico Cerámico de Arcilla 100%	66
Tabla 9. Absorción de Agua con 100% de Arcilla, Muestra 1	67
Tabla 10. Absorción de agua con 100% de arcilla, Muestra 2	67
Tabla 11. Absorción de agua con 100% de arcilla, Muestra 3	67
Tabla 18. Resultado Absorción de Agua 0.5% muestra 1	72
Tabla 19. Resultado Absorción de Agua 0.5% muestra 2	72
Tabla 20. Resultado Absorción de Agua 0.5% muestra 3	72
Tabla 21. Resultado Absorción de Agua 1.5% muestra 1	73
Tabla 22. Resultado Absorción de Agua 1.5% muestra 2	73
Tabla 23. Resultado Absorción de Agua 1.5% muestra 3	73
Tabla 24. Resultado Absorción de Agua 2.5% muestra 1	74
Tabla 25. Resultado Absorción de Agua 2.5% muestra 2	74
Tabla 26. Resultado Absorción de Agua 2.5% muestra 3	74
Tabla 27. Ensayo de Resistencia Mecánica a la Compresión con 0.5% de Poliestireno	

Expandido R1	76
Tabla 28. Ensayo de Resistencia Mecánica a la Compresión con 0.5% de Poliestireno	
Expandido R2	76
Tabla 29. Ensayo de Resistencia Mecánica a la Compresión con 0.5% de Poliestireno	
Expandido R3	77
Tabla 30. Ensayo de Resistencia Mecánica a la Compresión con 1.5% de Poliestireno	
Expandido R1	77
Tabla 31. Ensayo de Resistencia Mecánica a la Compresión con 1.5% de Poliestireno	
Expandido R2	78
Tabla 32. Ensayo de Resistencia Mecánica a la Compresión con 1.5% de Poliestireno	
Expandido R3	78
Tabla 33. Ensayo de Resistencia Mecánica a la Compresión con 2.5% de Poliestireno	
Expandido R1	79
Tabla 34. Ensayo de Resistencia Mecánica a la Compresión con 2.5% de Poliestireno	
Expandido R2	79
Tabla 35. Ensayo de Resistencia Mecánica a la Compresión con 2.5% de Poliestireno	
Expandido R3	79
Tabla 36. Actividades de Empresa que Fabrica Bloque H-10	81
Tabla 37. Componente del Costo Vs Actividad	84
Tabla 39. Costo del Bloque Usando Poliestireno Expandido	86

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Poliestireno Expandido

96

Introducción

El proyecto que se presenta a continuación se fundamenta en la evaluación de mezclas de arcilla con Poliestireno expandido para la elaboración de bloques de construcción H-10.

Un bloque de construcción es una pieza de arcilla cocida, generalmente con forma de prisma rectangular, que se usa en la construcción de muros, paredes, pilares, etc. (Oxford Languages). En la actualidad, en la fabricación de ladrillos se han llevado a cabo una serie de procesos estandarizados, desde la selección de los materiales arcillosos hasta el proceso de envasado final. La materia prima utilizada para producir ladrillos es básicamente arcilla. Este material está compuesto principalmente por diferentes cantidades de óxido de hierro y otros materiales alcalinos, como el óxido de calcio y el óxido de magnesio.

Teniendo en cuenta la fabricación actual de los bloques de construcción otro fundamento de este proyecto es el uso del Poliestireno expandido en esta fabricación. El Poliestireno expandido (EPS) es un material plástico celular y rígido fabricado a partir del moldeo de perlas pre expandidas de Poliestireno expandible o uno de sus copolímeros, que presenta una estructura celular cerrada y rellena de aire".

Basado en lo anterior, la construcción está en constantes avances y al paso del tiempo se generan nuevas formas de construcción y nuevos materiales para ello, de este modo la industria genera un impacto económico, social y ambiental. En los últimos años se han venido implementado campañas sobre reciclaje de materiales, que se consideran reutilizables para un mejor aprovechamiento y así mismo poder reinventar y no contaminar más el medio ambiente.

En este proyecto se evaluó la mezcla de arcilla con diferentes porcentajes de Poliestireno expandido, para analizar sus componentes físicos cerámicos, su resistencia mecánica a la compresión y la absorción de agua de la mezcla, con el fin de evaluar si cumplen o no cumplen

los parámetros necesarios para realizar bloques de construcción H-10. De esta manera evidenciar si es posible reutilizar material para la elaboración de bloques de construcción.

Por tal sentido este documento se distribuye en los siguientes capítulos:

En el capítulo I se encontrará el título, el planteamiento del problema, formulación del problema, justificación, alcances, limitaciones y delimitaciones.

En el capítulo II, antecedentes, marco teórico, marco conceptual, marco contextual, marco legal.

En el capítulo III, tipo de investigación, instrumentos para la recolección de datos y fases específicas del proyecto.

En el capítulo IV, se encuentra todo lo relacionado a la metodología utilizada en el proyecto.

En el capítulo V se describirá el informe final que dejó esta evaluación.

1. Descripción del Problema

1.1. Título

Evaluación de mezclas de arcilla adicionando poliestireno expandido para la fabricación de bloque de construcción.

1.2. Planteamiento del Problema

La construcción ha estado presente y ha sido partícipe del desarrollo y la economía de todos los países del mundo ya que las personas trabajan para buscar una mejora en la calidad de vida, viendo así que la construcción de viviendas les provee en gran parte dicha comodidad, también esta industria aporta en números de empleos directos e indirectos a un país, no solo por la mano de obra sino porque esta necesita de una gran cantidad materiales e insumos en los cuales intervienen varias partes de los procesos constructivos (Ortega et al., 2016).

En Colombia a pesar de las circunstancias debido a la crisis mundial que se está viviendo el país ha puesto sus ojos en este sector ya que es uno de los mayores generadores de empleos en el país, una de las principales áreas de crecimiento y aporte económico son las obras de orden público como las construcciones de carreteras, vías férreas entre otros han crecido en un 10,7 por ciento según el informe del Dane (Cifuentes, 2020).

En la construcción uno de las materias primas más utilizadas es la arcilla la cual es extraída de minas y es de mucha importancia prestar atención a estas ya que se ha encontrado que las tecnologías empleadas en las minas son muy rudimentarias ocasionando impactos ambientales, físico, biológico y socioeconómico como lo es la alteración del medio donde se encuentra esta materia prima. (López et al., 2020)

A pesar de todo el cambio en la industrialización de los componentes, las nuevas tecnologías y nuevos recursos que traen consigo la nueva era, la construcción ha tenido que ir evolucionando, innovando y creando nuevas ideas para a su vez poder ayudar a el medio ambiente, y poder construir infraestructuras que permitan el crecimiento de la economía y de todos los sectores que se benefician de ella. También podemos observar que con estas nuevas técnicas se ha empezado a ver que innovación es más viable al entorno y a la economía como tal (Sánchez & Ramírez, 2013).

Esto a su vez genera también un impacto ambiental, ya que al aumentar las obras, se aumenta la explotación para la obtención de la arcilla, por esto ha nacido una idea de utilizar nutrientes tecnológicos con el fin de reciclar desechos que puedan servir para esta elaboración de bloques, mitigando el impacto ambiental, más bien ayudando a que se puedan suplir necesidades y no generar más daño al medio ambiente, “la construcción sostenible se puede definir como aquel que teniendo especial respeto y compromiso con el medio ambiente, implica los recursos no perjudiciales para el ambiente” (Ramírez, 2002).

En Colombia la producción de poli estireno expandido es aproximadamente de 29.000 toneladas destinadas a la elaboración de empaques y envases. (Asociación Colombiana de Industrias Plásticas, 2019), pero la mayoría de estos son desechos que no acostumbran a reciclar por su bajo costo a la hora de vender en las recicladoras, sin embargo, en el País se encuentran varias recicladoras de este material, es un nutriente tecnológico con unos compuestos interesantes que podrían servir para mejorar la elaboración de bloques de construcción con mezcla de arcilla y a su vez mitigar el impacto ambiental que produce.

En este trabajo se pretende evaluar esa mezcla de arcilla con Poliestireno expandido, para estudiar los comportamientos que produce esta combinación de nutrientes, donde en varios casos

la mezcla de Poliestireno expandido con otros materiales aparte de la arcilla ha salido factible para la construcción sostenible.

1.3. Formulación del Problema

¿El componente tecnológico Poliestireno expandido, puede servir como un aliado en la elaboración de mezcla de bloques de arcilla, para una mejora en sus componentes?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Evaluar Mezclas de Arcilla adicionando Poliestireno expandido para la Fabricación de Bloque de Construcción.

1.4.2. Objetivos Específicos

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

1.5. Justificación

Este proyecto nace con el fin de utilizar el nutriente tecnológico Poliestireno expandido como un componente del bloque de arcilla, ya que el Poliestireno expandido es un elemento que casi no se recicla y tiene propiedades que podrían ser de buen uso en la elaboración de estos

bloques, sea porque es más factible o porque permite al bloque mejorar sus propiedades constructivas, dando una mayor resistencia.

Esta investigación aporta al sector constructivo la evaluación de resistencia a la compresión de bloques de construcción elaborados con una mezcla de arcilla y porcentajes de Poliestireno expandido.

1.6. Alcances y Limitaciones

1.6.1. Alcances

Para el desarrollo del proyecto se realizó un diagnóstico de sector de Poliestireno expandido, con el fin de conocer su proceso productivo y de reciclaje. A partir de ello se desarrolló el bloque de construcción de arcilla, con diferentes porcentajes de Poliestireno expandido a nivel de laboratorio. A su vez se evaluó realizando un comparativo con los estándares permitidos por la norma. Finalmente, se establecieron los costos para poder diferenciar y recomendar la viabilidad de estos productos.

1.6.2. Limitaciones

El proyecto se ve limitado en cuanto a la recolección del Poliestireno expandido, y a la etapa de preparación que consiste en la molienda del material.

1.7. Delimitaciones

1.7.1. Delimitación Espacial

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

1.7.2. Delimitación Temporal

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

Sierra, J. (2014). Analisis comparativo entre bloques de concreto tradicional y bloques de concreto alivianado con Poliestireno, Quito, 2014, número de páginas: 163, trabajo de titulación previa a la obtención del título de ingeniero civil, Universidad Internacional del Ecuador Escuela de Ingeniería Civil. Se realizaron pruebas con bloques tradicionales y bloques con mezcla de Poliestireno con el fin de comparar las resistencias, el peso, su factibilidad, costos y beneficios utilizando la misma dosificación.

Elías, X. (2015). Nutrientes tecnológicos para la industria cerámica estructural. Jaén, número de páginas: 208, tesis Doctoral, Memoria para optar al grado de doctor, Universidad de Jaén, Escuela politécnica superior de Linares, Departamento de ingeniería, química, ambiental y de los materiales. Uno de sus objetivos es usar nutrientes tecnológicos para mejorar las presentaciones técnicas de los materiales cerámicos.

2.1.3. Antecedentes Nacionales

Zuluaga, F. (2013). Evaluación del comportamiento del concreto elaborado con desechos de Poliestireno expandido. Bogotá, 2013, numero de paginas 66, trabajo presentado como requisito para optar el título de especialista de estructuras, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, facultad de ingeniería. Se evalúa el comportamiento del concreto elaborado con desechos de Poliestireno expandido para poder determinar el potencial de este material en el uso estructural o arquitectónico. La metodología que aplica para el diseño de mezclas de concreto con Poliestireno expandido se basa en el diagrama de flujo diseñado con recomendaciones del ingeniero German Andrés Rey, utilizando muestras en probetas de prueba, se pudo concluir que

la utilización del Poliestireno expandido es factible y presenta una resistencia a compresión parecida a concretos tradicionales sin Poliestireno expandido este concreto elaborado con Poliestireno expandido tiene gran potencial para ser utilizado como material de construcción.

Silvestre, A. (2015). Analisis del concreto con Poliestireno expandido como aditivo para aligerar elementos estructurales. Pereira, 2015, número de páginas: 80, proyecto de investigación; Universidad Libre seccional Pereira; Facultad de Ingenierías, ingeniería Civil. Tuvo como objetivo determinar el comportamiento de la mezcla de concreto con Poliestireno expandido utilizando muestras de agregados, procesos de secado, cuarteo y disgregado y caracterizando los agregados mediante ensayos todo con el fin de elaborar pruebas de compresión simples, se pudo concluir que el comportamiento de esta mezcla no cumple con los parámetros establecidos en la investigación, ya que se disminuye la resistencia de la mezcla al utilizar el Poliestireno expandido.

2.1.2. Antecedentes Regionales

Molina, Y. y Carrillo, C. (2017). Análisis del comportamiento de una mezcla de concreto liviano con ceniza volante y Poliestireno expandido, San José de Cúcuta, 2017, número de páginas: 150, Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de: Ingeniero Civil, Universidad Francisco de Paula Santander, Facultad de Ingeniería, Plan de estudios de Ingeniería Civil, su finalidad es analizar el comportamiento de la mezcla de concreto liviano de baja densidad agregando ceniza volante como agregado fino y Poliestireno expandido como agregado grueso. Para esto se elaboran actividades experimentales donde se permita evaluar las propiedades físicas de los agregados y el comportamiento de la mezcla.

Balaguera, L. y Carvajal, J. (2004). Estudio para producir bloque aligerado a partir de mezclas de arcilla, cenizas volantes y Poliestireno expandido en la empresa cerámicas Támesis,

S.A. San José de Cúcuta, 2004, número de páginas: 81, Universidad Francisco de Paula Santander, facultad de ingenierías, plan de estudios de tecnología química, en este estudio se analizó la posibilidad de utilizar cenizas y Poliestireno expandido en las mezclas de arcilla para la elaboración de bloques, para esto se necesitó realizar ensayos de laboratorio para el estudio de las propiedades del material.

2.2. Marco Teórico

2.2.1. Poliestireno Expandido

El Poliestireno Expandido (EPS) se define técnicamente como: "Material plástico celular y rígido fabricado a partir del moldeo de perlas pre expandidas de Poliestireno expandible o uno de sus copolímeros, que presenta una estructura celular cerrada y rellena de aire". La abreviatura EPS deriva del inglés Expanded PolyStyrene. Este material es conocido asimismo como Telgopor Corcho Blanco.

Historia. En 1831 un líquido incoloro, el estireno, fue aislado por primera vez de una corteza de árbol. Hoy día se obtiene mayormente a partir del petróleo.

El Poliestireno fue sintetizado por primera vez a nivel industrial en el año 1930. Hacia fines de la década del 50, la firma BASF (Alemania) por iniciativa del Dr. F. Stastny, desarrolla e inicia la producción de un nuevo producto: Poliestireno expandible, bajo la marca Styropor. Ese mismo año fue utilizado como aislante en una construcción dentro de la misma planta de BASF donde se realizó el descubrimiento. Al cabo de 45 años frente a escribanos y técnicos de distintos institutos europeos, se levantó parte de ese material, y se lo sometió a todas las pruebas y verificaciones posibles. La conclusión fue que el material después de 45 años de utilizado mantenía todas y cada una de sus propiedades intactas.

Propiedades del Poliestireno Expandido.

Densidad: se caracterizan por ser muy ligeros y resistentes. En función de la aplicación las densidades se sitúan en el intervalo de 10 kg/m^3 a 35 kg/m^3 .

Color: el color natural del Poliestireno expandido es el blanco.

Resistencia mecánica: La densidad del material guarda una estrecha relación con las propiedades de resistencia mecánica. Los gráficos a continuación muestran los valores alcanzados sobre estas propiedades en función de la densidad aparente de los materiales de Poliestireno expandido.

Aislamiento térmico: Los productos y materiales de Poliestireno expandido presentan una excelente capacidad de aislamiento térmico. De hecho, muchas de sus aplicaciones están directamente relacionadas con esta propiedad: por ejemplo, cuando se utiliza como material aislante de los diferentes cerramientos de los edificios o en el campo del envase y embalaje de alimentos frescos y perecederos como por ejemplo las cajas de pescado. Esta buena capacidad de aislamiento térmico se debe a la propia estructura del material que esencialmente consiste en aire ocluido dentro de una estructura celular conformada por el Poliestireno. Aproximadamente un 98% del volumen del material es aire y únicamente un 2% materia sólida (Poliestireno), siendo el aire en reposo es un excelente aislante térmico. La capacidad de aislamiento térmico de un material está definida por su coeficiente de conductividad térmica que en el caso de los productos de EPS varía, al igual que las propiedades mecánicas, con la densidad aparente.

Comportamiento frente al agua y vapor de agua: El Poliestireno expandido no es higroscópico, a diferencia de lo que sucede con otros materiales del sector del aislamiento y embalaje. Incluso sumergiendo el material completamente en agua los niveles de absorción son mínimos con valores oscilando entre el 1% y el 3% en volumen (ensayo por inmersión después

de 28 días). Al contrario de lo que sucede con el agua en estado líquido el vapor de agua sí puede difundirse en el interior de la estructura celular del EPS cuando entre ambos lados del material se establece un gradiente de presiones y temperaturas.

Estabilidad dimensional: Los productos de EPS, como todos los materiales, están sometidos a variaciones dimensionales debidas a la influencia térmica. Estas variaciones se evalúan a través del coeficiente de dilatación térmica que, para los productos de EPS, es independiente de la densidad y se sitúa en los valores que oscilan en el intervalo $5-7 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$, es decir entre 0,05 y 0,07 mm por metro de longitud y grado Kelvin. A modo de ejemplo una plancha de aislamiento térmico de Poliestireno expandido de 2 metros de longitud y sometida a un salto térmico de 20°C experimentará una variación en su longitud de 2 a 2,8 mm.

Estabilidad frente a la temperatura: Además de los fenómenos de cambios dimensionales por efecto de la variación de temperatura descritos anteriormente el Poliestireno expandido puede sufrir variaciones o alteraciones por efecto de la acción térmica. El rango de temperaturas en el que este material puede utilizarse con total seguridad sin que sus propiedades se vean afectadas no tiene limitación alguna por el extremo inferior (excepto las variaciones dimensionales por contracción). Con respecto al extremo superior el límite de temperaturas de uso se sitúa alrededor de los 100°C para acciones de corta duración, y alrededor de los 80°C para acciones continuadas y con el material sometido a una carga de 20 kPa.

Comportamiento frente a factores atmosféricos: La radiación ultravioleta es prácticamente es el único factor que reviste importancia. Bajo la acción prolongada de la luz UV, la superficie del EPS se torna amarillenta y se vuelve frágil, de manera que la lluvia y el viento logran erosionarla. Dichos efectos pueden evitarse con medidas sencillas, en las aplicaciones de construcción con pinturas, revestimientos y recubrimientos.

Uso de Poliestireno Expandido. Las cualidades del Poliestireno expandido tanto en su amplia gama de prestaciones, así como los formatos en que se puede presentar les convierten en material con amplias posibilidades de aplicación dentro del ámbito de la Construcción. Las aplicaciones en esta área se centran, fundamentalmente, en la edificación con soluciones constructivas para el aislamiento termo-acústico de los diferentes cerramientos, así como en soluciones de aligeramiento y conformado de diversas estructuras de la edificación, además de otras aplicaciones como moldes de encofrado y juntas de dilatación. También ocupa un lugar de importancia creciente en aplicaciones de obra civil como material aligerante y conformador de estructuras. Debido a sus excelentes cualidades, propiedades y posibilidades de fabricación, este material presenta un campo de aplicación muy amplio. El proceso de transformación del Poliestireno expandido posibilita la amplia variación en la densidad de los materiales y, por consiguiente, en sus propiedades. La construcción actual y futura se caracteriza por las exigencias de ahorro energético, la protección contra el ruido y el medio ambiente. En condiciones climáticas tanto rigurosas como moderadas, el aislamiento térmico de todo tipo de edificación juega un papel muy importante. El coste energético para la climatización en verano es superior al necesario para calefactor en invierno. El Poliestireno expandido incorpora múltiples soluciones en los sistemas constructivos, tales como aislamiento de fachadas, cubiertas, suelos calefactados, etc.

En 1960 se descubrió en Noruega que el EPS era muy adecuado para el sector de ingeniería civil. Por una parte, el efecto aislante del EPS evita que se congele el subsuelo eliminando así los problemas subsiguientes del deshielo. Por otra parte, su resistencia mecánica y su cohesión permiten la construcción de estructuras que tienen una enorme resistencia vertical y horizontal. Un ejemplo de aplicación: en zonas donde el terreno es muy blando y/o el acuífero

está muy próximo a la superficie, casi siempre es necesario elevar el terreno para prepararlo para la construcción. Esto es algo que se hace normalmente con arena, pero hay ciertas objeciones a esta práctica:

Se necesitan anualmente grandes cantidades de arena. Por el Impacto Medioambiental que supone y la importancia que se da en las distintas Administraciones al Desarrollo Sostenible, este método resultará probablemente el menos atractivo desde el punto de vista del coste.

Como material de relleno, la arena siempre da lugar a asentamientos. Esto supone incremento de los plazos de ejecución. Si la construcción se realiza demasiado pronto, será necesario tener en cuenta los elevados costes de mantenimiento en el futuro.

El periodo necesariamente largo entre la elevación del terreno y el comienzo de la construcción origina considerables costes financieros.

El EPS tiene diversas aplicaciones posibles en el sector de ingeniería civil que proceden de las ventajas que ofrece como material de cimentación ligero debido a sus especiales propiedades. Estas son algunas soluciones:

Construcción de carreteras libres de asentamiento, elevación y drenaje de campos de deportes, parques y zonas con césped, elevación libre de asentamiento de espacios y terrenos para aparcamiento, reducción de carga mediante relleno para reforzar pasos elevados y alcantarillas y mediante elevación de rampas de entrada y salida, elevaciones encima de gasoductos enterrados preexistentes, reducción de las cargas laterales reforzando cimentaciones de pilotes en restauración de zonas urbanas,-Elevaciones para barreras de ruido-Cimentaciones para cobertizos y edificios ligeros,-Reparación de asentamientos en carreteras existentes-Rampas para diques o edificios existentes,-Pavimentos de patios y parcelas,-Terrenos y pisos industriales

Desde principios de la década de 1970, el EPS se ha utilizado como material de cimentación e ingeniería civil hidráulica a escala cada vez mayor.

2.2.2. Producción de Poliestireno Expandido

El proceso productivo para la obtención de Poliestireno Expandido utiliza como materia prima el Poliestireno Expandible, el cual se obtiene de la Polimerización del Estireno en presencia de un agente expansor (pentano).

Polimerización del Estireno. En una primera instancia el estireno es dispersado en forma de gotas en fase de agua en tamaños de 0,1 a 1mm. Las proporciones agua/estireno varían de 1:1 a 1:3. El tipo de polimerización utilizado es el de Suspensión y se lleva a cabo en reactores vidriados o de acero inoxidable con capacidades entre 9000 y 136000 litros. Estos reactores operan en forma discontinua, la temperatura es controlada mediante una camisa y frecuentemente mediante una serpentina interna de refrigeración.

Cuando las concentraciones del polímero se encuentran entre el 30% y el 70% se produce una aglomeración prematura de porciones del polímero semi-sólido, denso y pegajoso. En este momento es donde se alcanza el estado crítico de la polimerización, la agitación es más forzada y se deben agregar agentes de suspensión, dado que más aglomeración puede provocar la rotura del motor y si la agitación es insuficiente se produce material pobre. Por lo contrario, si la agitación es demasiada puede quedar gas atrapado en el material. Una falla momentánea en la agitación produciría la aglomeración inevitable del material.

Cerca del final de la polimerización la mezcla polímero-agua es enfriada a 85 o C para que la aglomeración de las partículas de polímero sea mínima al ser transferida al tanque de almacenaje.

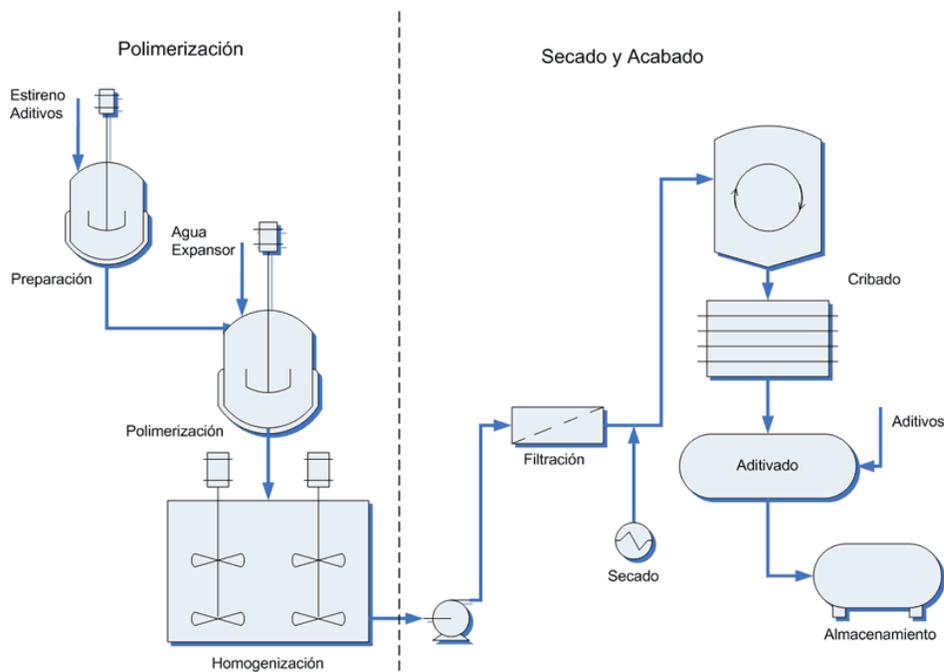


Figura 1. Proceso de Polimerización del Estireno

Nota. Fuente: *Avances en la simulación numérica de reactores de flujo oscilatorio*, Titulación de ingeniería industrial, por Martínez, H. (2012), p5.
<https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/2744/pfc4273.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Proceso de Transformación del Poliestireno Expandible. El proceso de transformación del Poliestireno Expandible comprende 3 etapas importantes:

a) Primera etapa. Pre expansión: La materia prima se calienta en unas máquinas especiales denominadas preexpansores, con vapor de agua a temperaturas situadas entre aprox. 80 y 110°C. En función de la temperatura y del tiempo de exposición la densidad aparente del material disminuye de unos 630 kg/m³ a densidades que oscilan entre los 10 - 30 kg/m³.

En el proceso de pre expansión, las perlas compactas de la materia prima se convierten en perlas ligeras de plástico celular con pequeñas celdillas cerradas que contienen aire en su interior.

b) Segunda etapa: Reposo intermedio y estabilización: Al enfriarse las partículas recién expandidas se crea un vacío interior que es preciso compensar con la penetración de aire

por difusión. De este modo las perlas alcanzan una mayor estabilidad mecánica y mejoran su capacidad de expansión, lo que resulta ventajoso para la siguiente etapa de transformación. Este proceso se desarrolla durante el reposo intermedio del material pre expandido en silos ventilados. Al mismo tiempo se secan las perlas.

c) Tercera etapa: Expansión y moldeo final: En esta etapa las perlas pre expandidas y estabilizadas se transportan a unos moldes donde nuevamente se les comunica vapor de agua y las perlas se sueldan entre sí.

De esta forma se pueden obtener grandes bloques (que posteriormente se mecanizan en las formas deseadas como planchas, bovedillas, cilindros, etc.) o productos conformados con su acabado definitivo.



Figura 2. Proceso de Transformación del Poliestireno Expandible

Nota. Fuente: *Proceso de fabricación del Poliestireno expandible*, por ANAPE EPS, s.f.
<http://www.anape.es/index.php?accion=producto>

2.3. Marco Conceptual

Arcilla. Se trata de un mineral que está compuesto por silicatos de aluminio, elementos hidratados a los que debe su consistencia pastosa. Puede ser producido por diferentes rocas descompuestas, entre las que se encuentra el granito. Las coloraciones que presenta pueden variar; mayormente, se pueden notar tonos naranjas si contiene muchas impurezas, pero puede ser blanca si es totalmente pura. Las partículas que la forman son muy pequeñas, de al menos 0,002 mm de espesor.

Bloque o ladrillos. Un ladrillo es un material de construcción, normalmente cerámico y con forma octaédrica, 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.

Impacto ambiental. Se define impacto ambiental como la “Modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza”. (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2018)

Medio ambiente. Podemos definir al medio ambiente como aquel espacio en el cual tiene lugar algún tipo de intercambio natural que hace posible en él la vida. (Bembibre, 2012)

Poliestireno. El Poliestireno es un plástico versátil usado para fabricar una amplia variedad de productos de consumo. Dado que es un plástico duro y sólido, se usa frecuentemente en productos que requieren transparencia, tales como envases de alimentos y equipos de laboratorio. Cuando se combina con varios colorantes, aditivos y otros plásticos, el Poliestireno se usa para hacer electrodomésticos, electrónicos, repuestos automotrices, juguetes, macetas y equipamiento para jardines, entre otros. (Chemicalsafetyfacts.org)

Poliestireno expandido. Material plástico celular y rígido fabricado a partir del moldeo de perlas pre expandidas de Poliestireno expandible o uno de sus copolímeros, que presenta una estructura celular cerrada y rellena de aire.

Reciclar. Se entiende por reciclar la acción de convertir materiales de desecho en materia prima o en otros productos, de modo de extender su vida útil y combatir la acumulación de desechos en el mundo.

Residuo. Material que pierde utilidad tras haber cumplido con su misión o servido para realizar un determinado trabajo.

2.4. Marco Contextual

Centro de Investigación de Materiales Cerámicos: CIMAC

¿Quiénes son? El Centro de Investigación de Materiales Cerámicos (CIMAC) de la Universidad Francisco de Paula Santander (UFPS) se encarga de centralizar todo tipo de información relacionada con el sector cerámico. Esta información se refiere básicamente a: estudios e investigaciones realizadas por instituciones públicas y privadas a nivel regional, nacional e internacional, tesis, normas técnicas de calidad nacionales e internacionales, revistas científicas, boletines de novedades, recopilación de artículos y catálogos, entre otras.

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

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

Visión. Para el año 2021, el laboratorio de ensayos del Centro de Investigaciones de Materiales Cerámicos CIMAC de la Universidad Francisco de Paula Santander, se consolidará como una institución rentable, reconocida, acreditada y certificada; Líder en Latinoamérica en investigación, generación de nuevos conocimientos, avances en innovación de productos, prestación de servicios de toma de muestras de emisiones atmosféricas generadas por fuentes fijas, realización de ensayo de productos terminados y desarrollo de actividades conducentes al fortalecimiento productivo y competitivo del sector cerámico.

Que continuará integrando e implementando de forma armónica en sus procesos tecnología de punta acorde a las necesidades de producción y de servicios, lo que le permitirá responder efectivamente a las necesidades, tendencias y exigencias de los actores generadores del conocimiento, riqueza y bienestar en general.

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 “Poliestireno expandido” 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 adicción del nutriente utilizado.

La investigación aplicada recibe el nombre de “investigación práctica o empírica”, que se caracteriza porque busca la aplicación o utilización de los conocimientos adquiridos, a la vez que se adquieren otros, después de implementar y sistematizar la práctica basada en investigación. (Vargas, 2009).

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

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

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

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

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

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

3.2. Población y Muestra

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

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

3.2.1. Población

La población a tener en cuenta para la realización del proyecto, involucra a las materias primas utilizadas para la fabricación del bloque, entre las que se tiene, la arcilla de la formación Guayabo de Norte de Santander, y el Nutriente Tecnológico (Poliestireno expandido).

3.2.2. Muestra

El tamaño de la muestra se seleccionará a convenir de la empresa Cerámica Támesis S.A., porque es la mejor mina explotada en el Área Metropolitana de Cúcuta, cumpliendo con los requisitos ambientales y sistema de explotación adecuado, con patios de almacenamiento de materias primas, botadero de los residuos y con sistema siembra de árboles en zonas explotadas.

Además, esta mina es utilizada para una empresa del sector cerámico reconocida del Área Metropolitana de Cúcuta, debido a sus propiedades químicas y a su comportamiento en la industria cerámica para elaboración de productos de construcción.

Empresas recicladoras de Poliestireno expandido en la ciudad de Cúcuta.

3.3. Instrumentos para la Recolección de Información

3.3.1. Fuentes Primarias

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

3.3.1. Fuentes Secundarias

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

3.4. Fases y Actividades Específicas

Los datos se obtuvieron según los resultados arrojados por el laboratorio de la caracterización físico cerámica de las diferentes formulaciones, se tabularon y presentaron en cuadros comparativos con el fin de evaluar las muestras a nivel de laboratorio, obteniendo la muestra apropiada para fabricar un prototipo de bloque de construcción. Para el análisis de la

información que se utilizó en la evaluación del productodesarrollado se emplearon las siguientes técnicas:

Fase 1. Realizar un diagnóstico del sector del Nutriente Tecnológico (Revisión bibliográfica, Búsqueda y recolección del nutriente utilizado y Elaboración de ensayos químicos de cada nutriente tecnológico).

Fase 2. Desarrollar el producto utilizando diferentes porcentajes del nutriente a nivel del laboratorio (Elaboración de análisis físicos cerámicos a la arcilla por extrusión a nivel de laboratorio, Elaboración de análisis físicos cerámicos a las mezclas diseñadas por extrusión a nivel de laboratorio, Ensayo de absorción de agua para bloques cerámicos a nivel de laboratorio y Ensayo de resistencia mecánica a la compresión de bloques cerámicos a nivel de laboratorio).

Fase 3. Evaluar el producto desarrollado a nivel de laboratorio (Recolección de los datos obtenidos en cada ensayo realizado a nivel de laboratorio y Tabulación e interpretación de los resultados del producto obtenido de cada ensayo).

Fase 4. Establecer los costos del producto normal y del nutriente tecnológico usado (Realización de un estudio de los costos de cada bloque elaborado con el nutriente tecnológico).

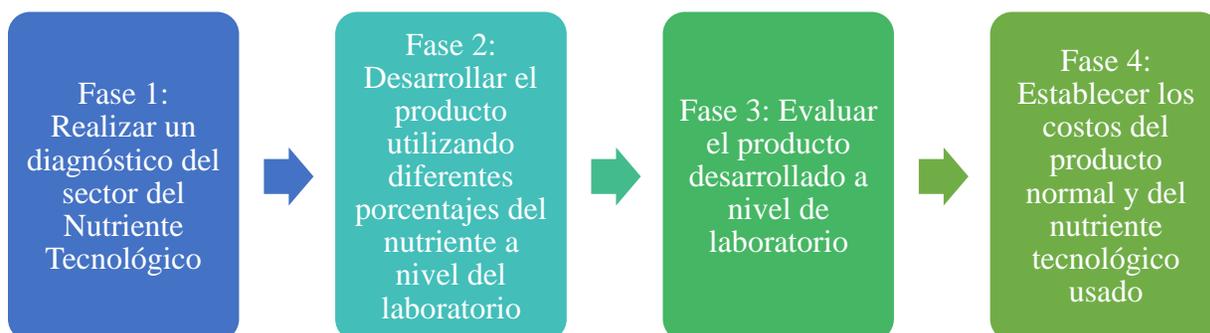


Figura 3. Fases del Proyecto a Desarrollar

4. Metodología

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

El área de estudio donde se realiza el proyecto, es una arcilla de la mina de Cerámica Tamices S.A. y el nutriente tecnológico (Poliestireno expandido).

La recolección de información se realizó en dos fases:

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

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

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

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

4.1. Materias Primas Utilizadas

4.1.1. Arcilla

Las principales arcillas explotadas en el departamento de Norte de Santander se encuentran en el área metropolitana de Cúcuta, la cual cuenta con una superficie de 2.196 km², que ocupa el 10,1% de la extensión departamental. De todo el departamento, la zona metropolitana de Cúcuta es el área donde mayoritariamente se encuentran yacimientos arcillosos, además de ser el lugar donde se concentra casi la totalidad de la industria dedicada a la explotación y transformación de este material. “En vecindades de la ciudad de Cúcuta se explotan las arcillas estratificadas de la parte superior del Grupo Guayabo y la Formación León, de edad Neógena, de origen continental (Ngc) y de excelente calidad como un gres típico” (Rodríguez, 2002).

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.

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

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

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

Los principales minerales que componen la arcilla son:

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

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



Figura 4. Frente de Explotación de la Arcilla (Cerámica Támesis S.A.)

4.1.1.1. Arcillas Cerámica

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

4.1.1.2. Arcillas Comunes

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

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

4.1.1.3. Arcilla Mina Támesis CR Cerámica Italia

La caracterización fue tomada de los análisis realizados durante la tesis doctoral del ingeniero Jorge Sánchez.

Composición Mineralógica

Tabla 1

Composición Estructural del Material Arcilloso

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

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

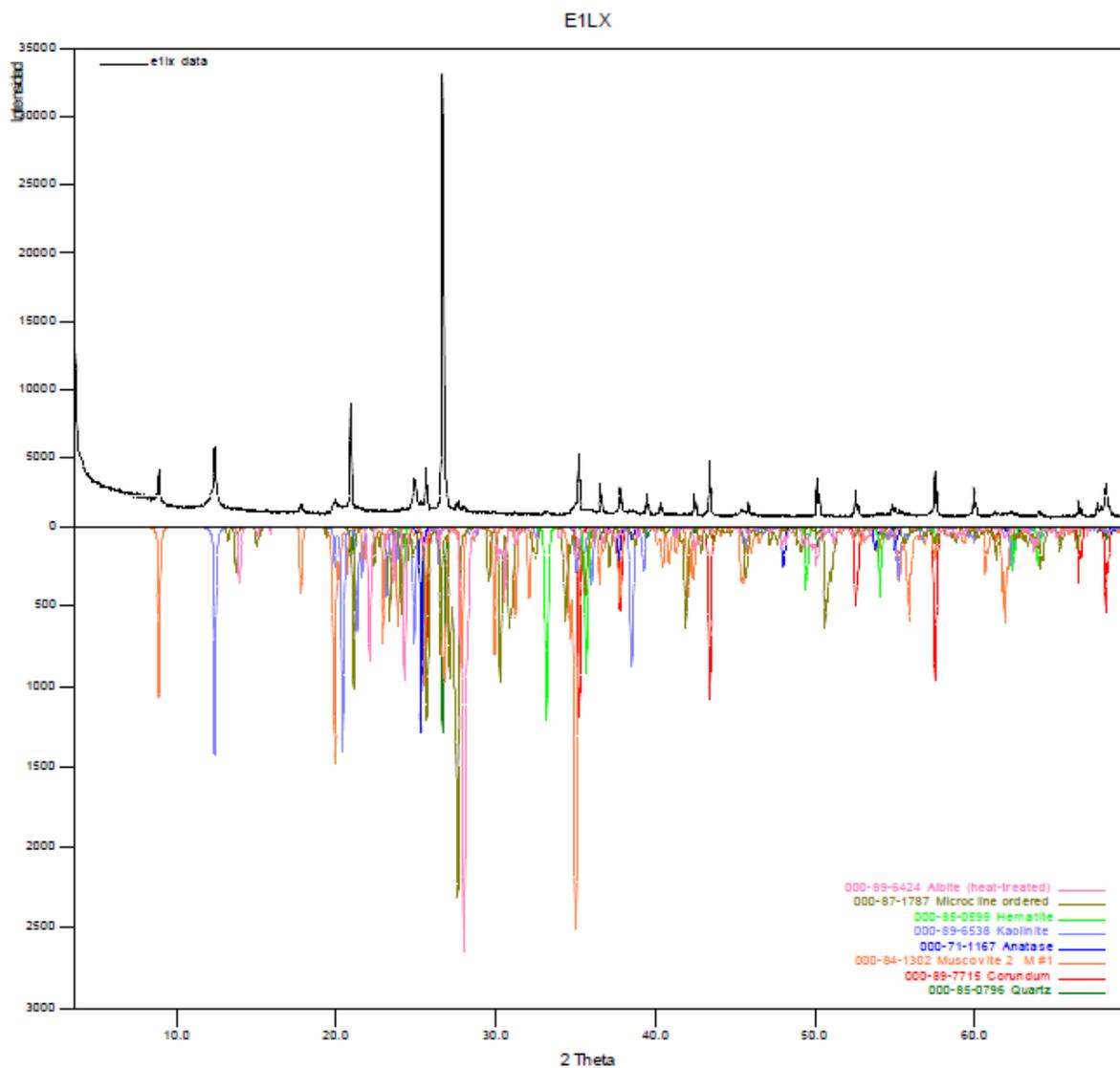


Figura 5. Análisis Comparativo por Difracción de Rayos X de las Fases Identificadas en el Espécimen Seleccionado de la Muestra

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

Composición Química

Tabla 2

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

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

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

Análisis Físico Cerámicos

Tabla 3

Análisis Físico Cerámico Materia Prima Cerámica Italia

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

4.1.2. Composición Física del Poliestireno Expandido

El Poliestireno expandido también llamado EPS o corcho, es un material plástico espumado que se deriva del Poliestireno, este a su vez se puede aplicar en sectores como la construcción y el embalaje.

El Poliestireno es un polímero termoplástico que se obtiene de la polimerización del monómero de estireno, antes de esto debemos tener claro que la polimerización es un proceso químico donde los monómeros (moléculas de bajo peso molecular) se agrupan entre si dando como resultado moléculas de mayor peso y a esto se le llama polímero. El resultado de la polimerización del estireno es el Poliestireno cristal o Poliestireno genérico, este es un material sólido, transparente, duro y frágil. Este producto a una temperatura por encima de los 100°C puede moldearse fácilmente. El Poliestireno expandido consiste en un 95% de Poliestireno y un 5% de un gas que forma burbujas y cuya función es aumentar el volumen y por lo tanto bajar la densidad.

En la transformación se somete a la materia prima a la acción del vapor de agua, de forma que las pequeñas perlas de Poliestireno expandido aumentan su volumen hasta 50 veces, aprisionando gran cantidad de aire en su interior. Es el aire aprisionado el que proporciona a los productos de Poliestireno expandido sus excelentes cualidades como aislante ligereza y material inerte. Éste aumento de volumen le va a dotar de buenas prestaciones para ser utilizado en diferentes sectores.

4.1.2.1. Características del Poliestireno Expandido

Entre las características más importantes podemos apreciar que el Poliestireno Expandido presenta: a) No absorbe casi el agua, es ligero, b) tiene una baja conductividad térmica y c) es muy estable frente a la temperatura.

Tabla 4.*Propiedades Físico-Mecánicas del EPS Poliestireno Expandido*

Propiedad Física	Ensayo Según	Unidad	Resultado del Ensayo		
Densidad Aparente Mínima	DIN 53420	kg/m ³	15	20	30
Clase Material de Construcción	DIN 4102		B1	B1	B1
Conductividad Térmica (medida a -10°C)	DIN 52612	W/m°C	0.036 á 0.038	0.033 á 0.036	0.031 á 0.035
Tensión por Compresión con Deformación del 10%	DIN 53421	kg/cm ²	0.6 – 1.1	1.1 – 1.6	2.0 – 2.5
Resistencia Permanente a la Compresión con Deformación <2%		kg/cm ²	0.15 – 0.25	0.25 – 0.40	0.45 – 0.60
Resistencia a la Flexión	DIN 53423	kg/cm ²	0.60 – 3.00	1.50 – 3.90	3.30 – 5.70
Resistencia al Cizallamiento	DIN 53427	kg/cm ²	0.8 – 1.3	1.2 – 1.7	2.1 – 2.6
Resistencia a la Tracción	DIN 53430	kg/cm ²	1.1 – 2.9	1.7 – 3.5	3.0 – 4.8
Módulo de Elasticidad (Ensayo de Compresión)	DIN 53457	kg/cm ²	16 – 52	34 – 70	77 – 113
Indeformidad al Calor Instantánea	DIN 53424	°C	100	100	100
Duradera con 5000 N/m ²	DIN 18164	°C	80 - 85	80 – 85	80 – 85
Duradera con 20000 N/m ²	DIN 18164	°C	75 - 80	80 - 85	80 - 85
Coefficiente de Dilatación Térmica Lineal		1/°C	5 – 7 x 10 ⁻⁵	5 – 7 x 10 ⁻⁵	5 – 7 x 10 ⁻⁵
Calor Específico	DIN 4108	W/kg°C	0.51	0.38	0.26
Absorción de Agua en Inmersión					
Al cabo de 7 días	DIN 4108	%	0.5 – 1.5	0.5 – 1.5	0.5 – 1.5
Al cabo de 28 días	DIN 418	%	1.0 – 3.0	1.0 – 3.0	1.0 – 3.0
Permeabilidad al Vapor de Agua	DIN 52615	g/m ² d	40	35	20
Índice de Resistencia a la Difusión del Vapor de Agua	DIN 4108	1	20 / 50	30 / 70	40 / 100
			1.163 W/m°C = 1Kcal/hm°C		
			0.1 N/mm ² = 1kgf/cm ²		

Densidad. Los productos y artículos acabados en Poliestireno expandido (EPS) se caracterizan por ser extraordinariamente ligeros aunque resistentes. En función de la aplicación las densidades se sitúan en el intervalo que va desde los 10kg/m³ hasta los 50kg/m³.

Resistencia Mecánica. La resistencia a los esfuerzos mecánicos de los productos de EPS se evalúa generalmente a través de las siguientes propiedades:

- a) Resistencia a la compresión para una deformación del 10%.
- b) Resistencia a la flexión.
- c) Resistencia a la tracción.
- d) Resistencia a la cizalladura o esfuerzo cortante.
- e) Fluencia a compresión

Aislamiento Térmico. Los productos y materiales de Poliestireno expandido (EPS) presentan una excelente capacidad de aislamiento térmico frente al calor y al frío. Esta buena capacidad de aislamiento térmico se debe a la propia estructura del material que esencialmente consiste en aire ocluido dentro de una estructura celular conformada por el Poliestireno.

Aproximadamente un 98% del volumen del material es aire y únicamente un 2% materia sólida (Poliestireno). De todos es conocido que el aire en reposo es un excelente aislante térmico. La capacidad de aislamiento térmico de un material está definida por su coeficiente de conductividad térmica λ que en el caso de los productos de EPS varía, al igual que las propiedades mecánicas, con la densidad aparente.

Existen nuevos desarrollos de materia prima que aportan a los productos transformados coeficientes de conductividad térmica considerablemente inferiores a los obtenidos por las materias primas estándar.

Comportamiento frente al Agua. El Poliestireno expandido no es higroscópico. Incluso sumergiendo el material completamente en agua los niveles de absorción son mínimos con valores oscilando entre el 1% y el 3% en volumen (ensayo por inmersión después de 28 días). Nuevos desarrollos en las materias primas resultan en productos con niveles de absorción de agua aún más bajos.

Estabilidad Dimensional. Los productos de EPS, como todos los materiales, están sometidos a variaciones dimensionales debidas a la influencia térmica. Estas variaciones se evalúan a través del coeficiente de dilatación térmica que, para los productos de EPS, es independiente de la densidad y se sitúa entre 0,05 y 0,07 mm por metro de longitud y grado centígrado.

A modo de ejemplo una plancha de aislamiento térmico de Poliestireno expandido de 2 metros de longitud y sometida a un salto térmico de 20° C experimentará una variación en su longitud de 2 a 2,8 mm.

Estabilidad frente a la Temperatura. El rango de temperaturas en el que este material puede utilizarse con total seguridad sin que sus propiedades se vean afectadas no tiene limitación alguna por el extremo inferior (excepto las variaciones dimensionales por contracción). Con respecto al extremo superior el límite de temperaturas de uso se sitúa alrededor de los 100°C para acciones de corta duración, y alrededor de los 80°C para acciones continuadas y con el material sometido a una carga de 20 kPa.

Comportamiento frente a Factores Atmosféricos. La radiación ultravioleta es prácticamente la única que reviste importancia. Bajo la acción prolongada de la luz UV, la superficie del EPS amarillea y se vuelve frágil, de manera que la lluvia y el viento logran

erosionarla. Debido a que estos efectos sólo se muestran tras la exposición prolongada a la radiación UV, en el caso de las aplicaciones de envase y embalaje no es objeto de consideración.

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 6).

Inicialmente las mezclas conformadas fueron sometidas al proceso de reducción de tamaño de partícula, se trituraron con el apisonador de arcilla (Figura 7), seguidamente se molturaron por vía seca en el molino de martillos (Figura 8), y finalmente el material molido se le realizó un proceso de tamizado utilizando el tamiz malla 10 (Figura 9), para obtener una distribución granulométrica uniforme. Después se obtuvo las diferentes mezclas para fabricar el bloque H-10, adicionando 0,5%; 1,5% y 2,5% de Poliestireno expandido. 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 10) 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 11) 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 6. Extrusora de Laboratorio con Vacío



Figura 7. Apisonador de la Arcilla
(Trituración)



Figura 8. Molino de Martillos (Molienda
Vía Seca)



Figura 9. Tamiz Malla 10 (Tamizado)



Figura 10. Estufa de 128 litros



Figura 11. Horno Mufla

4.3. Ensayos Realizados

4.3.1. Análisis Físico-cerámico

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

Equipos.

• Extrusora (Figura 6)

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

• Estufa de secado (Figura 10)

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 12. Pie de Rey Digital de 200 mm

Reactivos y/o Materiales.

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

Procedimiento. Se inicia con el proceso de conformado por extrusión para elaborar los bloques en condiciones húmedas, los cuales se deben medir con calibrador pie de rey (Figura 12), y pesar con balanza digital (Figura 13), obteniendo dimensiones de longitud entre 80 y 100 mm y masa entre 150 y 190 g. Posteriormente los bloques se secan en la estufa de secado

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

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

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

Equipos.

• Estufa de secado (Figura 10)

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 13. Balanza Digital de 20 kg

- **Tanque de absorción**

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



Figura 14. Tanque para realizar Absorción de Agua por el Método de Inmersión

- **Termohigrómetro**

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



Figura 15. Termohigrómetro EXTECH

Reactivos y/o Materiales.

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

Procedimiento.

a) Preparación de los Especímenes de Ensayo

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

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

b) Secado de los Especímenes

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

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

c) Aplicación del Ensayo

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

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

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

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

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

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

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

Equipos.

• Pie de Rey (Figura 12)

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 16. Crometro (Prensa de Presión)

Materiales.

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

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

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

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

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

4.4. Normas Aplicadas

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

4.4.1. Propiedades Físicas

Absorción de Agua. Las unidades de mampostería de arcilla cocida, ensayadas según el procedimiento descrito en la NTC 4017 (ASTM C67), deben cumplir con los requisitos de absorción de agua en 24 h de inmersión (promedio y máximo individual) que se da en la Tabla 5 y 6.

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

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

Resistencia Mecánica a la Compresión. Las unidades de mampostería de arcilla cocida deben cumplir con la resistencia mínima a la compresión que se especifica en la Tabla 5 y 6, cuando se ensayan según el promedio descrito en la NTC 4017.

Tabla 5.

Propiedades Físicas de las Unidades de Mampostería Estructural

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

Nota. Fuente: Norma NTC 4017.

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

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

^cM = unidad de mampostería maciza (ladrillo)

Tabla 6.*Propiedades Físicas de las Unidades de Mampostería no Estructural*

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

Nota. Fuente: Norma NTC 4017.

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

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

^cM = unidad de mampostería maciza (ladrillo)

5. Informe Final

La metodología que se desarrolló en el trabajo investigativo se describe a continuación:

- Revisión bibliográfica
- Recolección de materias primas (arcilla y Poliestireno expandido)
- Diagnóstico del Poliestireno expandido
- Desarrollo del bloque con diferentes porcentajes del Poliestireno expandido
- Evaluación del bloque desarrollado
- Evaluación del bloque desarrollado
- Costos de bloque normal vs. Bloque desarrollado
- Análisis y presentación de resultados en el Informe final

5.1. Diagnóstico del Sector del Nutriente Tecnológico

Para la producción de Poliestireno Expandido se usan recursos naturales no renovables, ya que es un plástico derivado del petróleo.

Su principal sector económico son los productos como los empaques y envases desechables.

5.1.1. *El Poliestireno Expandido un Aliado para la Construcción*

El Poliestireno expandido, se ha empleado para la fabricación de elementos de uso común para las personas, como los vasos, platos o contenedores desechables, así como en grandes industrias como la de la construcción.

Es un material con propiedades físico químicas que permite abarcar varios sectores de la economía en el mundo. Ya sea por su densidad, conductividad, resistencia mecánica, su alta capacidad de aislamiento térmico, su ligereza, bajo costo entre otras.

En el sector de la construcción este material más conocido en Colombia como Icopor se utiliza como paneles de Icopor para entresijos, casetones de icopor, laminas para cielo raso, juntas de dilatación, bovedillas de icopor, se utiliza como aditivo para aligerar los concretos y muchas cosas más que se pueden hacer con este.

Además de ahorro en cimentación y estructura, por su ligereza reduce costos financieros y ahorra un 30% de energía por climatizar interiores.

5.1.2. El Poliestireno Expandido y el Reciclaje

Así como el Poliestireno expandido es un aliado potencial para la construcción para el medio ambiente no tanto, por esto es 100% reutilizable; y se le aplica la alternativa de las 3R (reducir, reusar, reciclar) se le da a este material un uso diferente al de la vida útil.

El icopor genera varios daños tanto para la Fauna como para la Flora, animales mueren confundiendo este con alimento, el campo se seca debido que el Poliestireno genera deterioro, incendios forestales y otros factores ; esto hace que nazca la estrategia de reciclar para poder contribuir a la mejora del medio ambiente, así como poder reutilizarlo en procesos como mezclas con otros aditivos o materiales, para poder ampliar el catálogo de formas que se puede utilizar el Poliestireno expandido en el ámbito de la construcción.

En Colombia existe una corriente ambientalista para mejorar la contaminación del EPS, es común encontrar empresas que se dedican a reciclar papel, vidrio, plástico y metal, pero empresas que reciclen Poliestireno expandido no es tan común ya que este material al reutilizarlo o reciclarlo económicamente no es viable por su baja densidad lo hace voluminoso y liviano y no representa oportunidad de negocio para comprarlo por peso.

En Colombia se ha impulsado el nivel de producción y consumo de productos transformados de plásticos debido a que es un componente transversal a diversas industrias (Contreras, 2014).

Sin embargo, de las 859.000 toneladas de plástico de plástico desechadas en el año, solo se recicla el 28% (Guía Técnica Colombiana GTC53-2, 2004) esto equivale a 240.520 toneladas y dentro de estas 500 toneladas solo son de icopor, con un 0.2% del total de reciclaje de plástico en el país.

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

La investigación fue desarrollada en el laboratorio del Centro de Investigación de Materiales Cerámicos CIMAC de la Universidad Francisco de Paula Santander, teniendo como referencia las Normas NTC 4017 y NTC 4205 para la elaboración del bloque H-10.

Para la realización de este proyecto se estableció 3 mezclas representadas en los siguientes porcentajes:

Tabla 7

Mezclas Elaboradas y Ensayadas

Mezcla	Poliestireno Expandido	Arcilla
M1	0,5%	99,50%
M2	1,5%	98,50%
M3	2,5%	97,50%

5.2.1. Elaboración de Bloques

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

Para determinar el tamaño de la muestra se aplicó la norma NTC 296: 2000. La norma estipula que el diseño de la unidad de mampostería debe hacer que el valor medido real, más la junta encolada, se adapte al sistema de coordinación modular en la construcción. Sin embargo, en este caso, como evaluación a nivel de laboratorio, el tamaño medio del módulo de la muestra es 77,64 mm de largo, 28,01 mm de ancho y 51,52 mm de alto.

A continuación, se muestran los resultados que se obtuvieron de la Arcilla Patrón 100%.

Tabla 8

Resultados de Análisis Físico Cerámico de Arcilla 100%

Ensayo		Resultado	Incertidumbre (μ)
Análisis físico cerámico por extruido (AFE)	Contracción en cocido (%CC)	3,00 %	$\pm 0,01$
	Perdidas de masas cocida (% PMC)	3,97 %	$\pm 0,02$
	Peso Cocido (g)	122,36 g	$\pm 0,05$

5.2.2. Absorción de Agua para la Mezcla de Arcilla 100%

La capacidad de absorción de un espécimen se define como la diferencia de peso entre el ladrillo saturado y el peso del ladrillo seco, la cual se expresa en porcentaje.

Seguidamente el ensayo de absorción de agua se realizó por triplicado, las muestras para el ensayo de absorción de agua deben estar compuestas por 5 unidades o 3 partes representativos de cada una de ellas basados en la Norma Técnica Colombiana NTC 4017, obteniendo así los siguientes resultados en las tablas 9, 10 y 11.

Tabla 9*Absorción de Agua con 100% de Arcilla, Muestra 1*

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

Tabla 10*Absorción de agua con 100% de arcilla, Muestra 2*

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

Tabla 11*Absorción de agua con 100% de arcilla, Muestra 3*

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

Absorción de Agua para cada Espécimen Analizado. La ecuación 1 representa el porcentaje de absorción de agua de cada espécimen.

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

Donde:

E = Absorción de agua en %

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

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

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

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

5.2.3. Resistencia a la Compresión para la Mezcla de Arcilla al 100%

Esta se define como el esfuerzo máximo que soporta un ladrillo bajo una carga de aplastamiento. El ensayo de resistencia mecánica a la compresión se realizó por triplicado basado en la Norma Técnica Colombiana NTC 4017, con muestras secas y a temperatura ambiente obteniendo así los siguientes resultados en las tablas 12, 13 y 14.

Tabla 12

Resistencia a la Compresión Arcilla 100% muestra 1

Espécimen Nº	Largo del espécimen (mm)	Ancho del espécimen (mm)	Alto del espécimen (mm)	Área neta del espécimen (mm ²)	Área neta del espécimen (cm ²)	Carga de rotura por compresión (kgf)	Resistencia a la compresión (kgf/cm ²)
1	74,84	26,53	46,62	1985,5	19,86	681,48	34,32
2	75,65	26,47	47,21	2002,5	20,02	631,50	31,54
3	74,92	26,65	45,37	1996,6	19,97	509,52	25,52
4	72,74	26,69	46,02	1941,4	19,41	595,02	30,65

5	73,49	26,53	47,17	1949,7	19,50	739,58	37,93
Promedio	74,33	26,57	46,48	1.975,14	19,75	631,42	31,99

Tabla 13

Resistencia a la Compresión Arcilla 100% muestra 2

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

Tabla 14

Resistencia a la Compresión Arcilla 100% muestra 3

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

Se debe calcular la resistencia a la compresión de cada espécimen como se indica en la norma NTC 4017.

Se calculó la resistencia a la compresión con la Ecuación 3.

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

Donde:

C = resistencia del espécimen a la compresión, en Pa x 10⁴ o kg f/cm².

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

A = promedio de las áreas brutas de las superficies superior e inferior del espécimen, cm³.

5.3. Evaluación del Bloque H-10 desarrollado a Nivel de Laboratorio

5.3.1. Análisis Físico Cerámico por Extruido con los diferentes Porcentajes de Poliestireno

Expandido

A continuación, se exponen los diferentes resultados físico cerámicos por extruido realizado a la mezcla de arcilla adicionando 0.5%, 1.5% y 2.5% de Poliestireno expandido, donde se muestra su porcentaje de contracción en cocido, pérdidas de masas cocida y peso cocido.

Tabla 15

Resistencia de Análisis Físico Cerámico con 0.5% de Poliestireno Expandido

	Ensayo	Resultado	Incertidumbre (μ)
Análisis físico cerámico por extruido (AFE)	Contracción en cocido (%CC)	1,147 %	$\pm 0,02$
	Perdidas de masas cocida (% PMC)	4,654 %	$\pm 0,01$
	Peso Cocido (g)	110,09 g	$\pm 0,03$

Tabla 16

Resistencia de Análisis Físico Cerámico con 1.5% de Poliestireno Expandido

	Ensayo	Resultado	Incertidumbre (μ)
Análisis físico cerámico por extruido (AFE)	Contracción en cocido (%CC)	1,212 %	$\pm 0,01$
	Perdidas de masas cocida (% PMC)	5,938 %	$\pm 0,02$
	Peso Cocido (g)	90,28 g	$\pm 0,05$

Tabla 17*Resistencia de Análisis Físico Cerámico con 2.5% de Poliestireno Expandido*

	Ensayo	Resultado	Incertidumbre (μ)
Análisis físico cerámico por extruido (AFE)	Contracción en cocido (%CC)	1,085 %	$\pm 0,01$
	Perdidas de masas cocida (% PMC)	6,108 %	$\pm 0,02$
	Peso Cocido (g)	85,45 g	$\pm 0,02$

Al elaborar el análisis físico cerámico con los tres porcentajes de Poliestireno expandido se puede deducir que a mayor porcentaje de Poliestireno expandido en la mezcla, la pérdida de masa cocida es más grande, por lo que el peso de la muestra de 2,5 % de Poliestireno tiene un peso cocido de 85.45 g, comparándolo con el análisis físico cerámico de la arcilla 100% la mezcla de arcilla con Poliestireno en 0,5%; 1,5% y 2,5% es más liviana.

5.3.2. Análisis de Resultados de Absorción de Agua con los diferentes Porcentajes de Poliestireno Expandido

Para este cálculo se utilizó el procedimiento utilizando en la norma NTC 4017 donde se deben cumplir los requisitos de absorción en 24 h de inmersión. Se muestran los resultados obtenidos con los diferentes porcentajes de Poliestireno expandido utilizados en cada muestra.

La tabla 18,19 y 20, muestran los resultados obtenidos al hacer el ensayo de absorción de agua con 0,5% de Poliestireno expandido y el 99,5% de arcilla.

Tabla 18*Resultado Absorción de Agua 0.5% muestra 1*

Espécimen N°	Masa seca del espécimen (g)	Masa húmeda del espécimen (g)	Absorción de agua (E) (%)
1	109.56	122.59	11.9
2	109.19	122.33	12.0
3	110.61	124.10	12.2
4	112.33	126.51	12.6
5	111.40	125.71	12.8
Promedio de la muestra	110.6	124.2	12.3

Tabla 19*Resultado Absorción de Agua 0.5% muestra 2*

Espécimen N°	Masa seca del espécimen (g)	Masa húmeda del espécimen (g)	Absorción de agua (E) (%)
1	108.36	120.82	11.5
2	107.26	120.05	11.9
3	110.98	123.70	11.5
4	110.90	124.21	12.0
5	108.50	121.21	11.7
Promedio de la muestra	109.2	122.0	11.7

Tabla 20*Resultado Absorción de Agua 0.5% muestra 3*

Espécimen N°	Masa seca del espécimen (g)	Masa húmeda del espécimen (g)	Absorción de agua (E) (%)
1	111.77	124.73	11.6
2	107.65	120.20	11.7
3	111.59	124.62	11.7
4	108.26	120.91	11.7
5	115.75	128.89	11.4
Promedio de la muestra	111.0	123.9	11.6

La tabla 21,22 y 23, muestran los resultados obtenidos al hacer el ensayo de absorción de agua con 1,5% de Poliestireno expandido y el 98,5% de arcilla.

Tabla 21

Resultado Absorción de Agua 1.5% muestra 1

Espécimen N°	Masa seca del espécimen (g)	Masa húmeda del espécimen (g)	Absorción de agua (E) (%)
1	89.41	103.15	15.4
2	89.73	103.71	15.6
3	91.81	105.99	15.4
4	92.52	107.05	15.7
5	92.23	106.12	15.1
Promedio de la muestra	91.1	105.2	15.4

Tabla 22

Resultado Absorción de Agua 1.5% muestra 2

Espécimen N°	Masa seca del espécimen (g)	Masa húmeda del espécimen (g)	Absorción de agua (E) (%)
1	90.49	104.61	15.6
2	90.27	104.76	16.1
3	93.22	107.19	15.0
4	92.38	106.31	15.1
5	94.17	107.90	14.6
Promedio de la muestra	92.1	106.2	15.3

Tabla 23

Resultado Absorción de Agua 1.5% muestra 3

Espécimen N°	Masa seca del espécimen (g)	Masa húmeda del espécimen (g)	Absorción de agua (E) (%)
1	91.57	105.72	15.5
2	92.33	106.76	15.6
3	90.61	104.00	14.8
4	89.03	102.11	14.7
5	91.58	105.37	15.1
Promedio de la muestra	91.0	104.8	15.1

La tabla 24,25 y 26, muestran los resultados obtenidos al hacer el ensayo de absorción de agua con 2,5% de Poliestireno expandido y el 97,5% de arcilla.

Tabla 24

Resultado Absorción de Agua 2.5% muestra 1

Espécimen N°	Masa seca del espécimen (g)	Masa húmeda del espécimen (g)	Absorción de agua (E) (%)
1	83.56	97.83	17.1
2	86.43	100.17	15.9
3	88.29	102.27	15.8
4	84.34	98.63	16.9
5	83.65	97.53	16.6
Promedio de la muestra	85.3	99.3	16.5

Tabla 25

Resultado Absorción de Agua 2.5% muestra 2

Espécimen N°	Masa seca del espécimen (g)	Masa húmeda del espécimen (g)	Absorción de agua (E) (%)
1	87.25	101.93	16.8
2	84.94	99.56	17.2
3	85.94	99.71	16.0
4	82.89	97.00	17.0
5	88.97	103.08	15.9
Promedio de la muestra	86.0	100.3	16.6

Tabla 26

Resultado Absorción de Agua 2.5% muestra 3

Espécimen N°	Masa seca del espécimen (g)	Masa húmeda del espécimen (g)	Absorción de agua (E) (%)
1	86.46	100.15	15.8
2	83.97	97.43	16.0
3	85.13	98.90	16.2
4	83.83	98.43	17.4
5	87.86	101.86	15.9
Promedio de la muestra	85.5	99.4	16.3

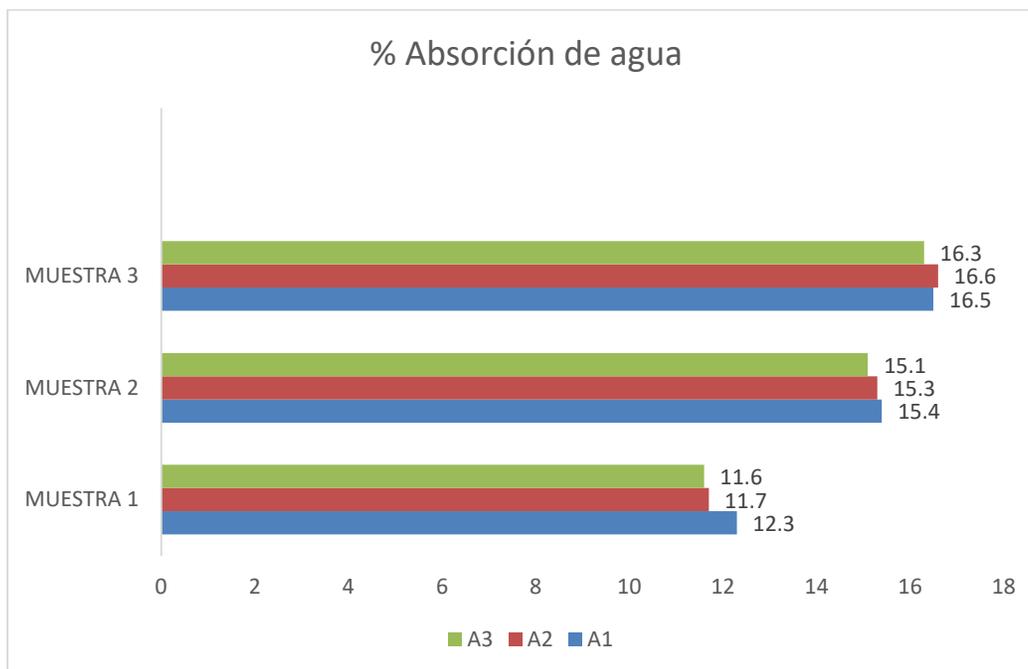


Figura 17. Porcentaje de Agua que se Presentan en las Muestras con los diferentes Porcentajes de Poliestireno

La mezcla de arcilla con porcentaje 0,5%;1,5% y 2,5% de Poliestireno expandido al realizarle el ensayo de absorción de agua arroja porcentajes de absorción de agua promedio de 11,9%, 15,3% y 16,4 % respectivamente, al comparar estos con la mezcla 100% de arcilla que tiene una absorción de 11% se puede deducir que la mezcla entre más porcentaje de Poliestireno expandido tenga, tendrá una mayor absorción de agua, esto a su vez muestra que cuanto mayor sea la absorción de agua tendrá menor durabilidad y resistencia al medio.

5.3.2. Análisis de Resistencia Mecánica a la Compresión con los diferentes Porcentajes de Poliestireno Expandido

Se utilizaron unidades secas y limpias para la elaboración de este ensayo, se le aplica una velocidad de carga adecuada hasta la mitad de la máxima esperada, luego de aplicar esta carga

inicial se deben ajustar los controles de la máquina para que la carga faltante se aplique a una velocidad uniforme no menor a 60s ni mayor a 120s.

A continuación, se presentan en la tabla 27, 28 y 29 los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia mecánica la compresión en la mezcla de 0,5% de Poliestireno expandido y 99,5% de Arcilla, arrojando los siguientes resultados.

Tabla 27

Ensayo de Resistencia Mecánica a la Compresión con 0.5% de Poliestireno Expandido R1

Espécimen N°	Largo del espécimen (mm)	Ancho del espécimen (mm)	Alto del espécimen (mm)	Área neta del espécimen (mm ²)	Área neta del espécimen (cm ²)	Carga de rotura por compresión (kgf)	Resistencia a la compresión (kgf/cm ²)
1	77.85	29.84	57.37	2323.0	23.23	564.60	24.30
2	77.42	30.38	57.69	2352.0	23.52	434.50	18.47
3	75.54	29.93	57.42	2260.9	22.61	558.70	24.71
4	75.86	30.16	57.80	2287.9	22.88	513.90	22.46
5	80.19	30.12	57.87	2415.3	24.15	467.60	19.36
Promedio	77.37	30.09	57.63	2,327.85	23.28	507.86	21.86

Tabla 28

Ensayo de Resistencia Mecánica a la Compresión con 0.5% de Poliestireno Expandido R2

Espécimen N°	Largo del espécimen (mm)	Ancho del espécimen (mm)	Alto del espécimen (mm)	Área neta del espécimen (mm ²)	Área neta del espécimen (cm ²)	Carga de rotura por compresión (kgf)	Resistencia a la compresión (kgf/cm ²)
1	77.91	29.74	57.64	2317.0	23.17	434.40	18.75
2	77.41	29.84	58.48	2309.9	23.10	412.40	17.85
3	80.60	30.19	57.63	2433.3	24.33	606.70	24.93
4	79.50	30.08	57.45	2391.4	23.91	321.50	13.44
5	77.97	30.04	57.91	2342.2	23.42	545.20	23.28
Promedio	78.68	29.98	57.82	2,358.77	23.59	464.04	19.65

Tabla 29

Ensayo de Resistencia Mecánica a la Compresión con 0.5% de Poliestireno Expandido R3

Espécimen N°	Largo del espécimen (mm)	Ancho del espécimen (mm)	Alto del espécimen (mm)	Área neta del espécimen (mm ²)	Área neta del espécimen (cm ²)	Carga de rotura por compresión (kgf)	Resistencia a la compresión (kgf/cm ²)
1	78.10	30.18	58.79	2357.1	23.57	720.20	30.56
2	77.71	30.80	58.01	2393.5	23.93	525.10	21.94
3	76.29	30.58	58.06	2332.9	23.33	563.90	24.17
4	77.75	30.28	57.81	2354.3	23.54	608.70	25.86
5	78.04	30.57	57.69	2385.7	23.86	633.90	26.57
Promedio	77.58	30.48	58.07	2,364.69	23.65	610.36	25.82

A continuación, se presentan en la tabla 30, 31 y 32 los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia mecánica a la compresión en la mezcla de 1,5% de Poliestireno expandido y 98,5% de Arcilla, arrojando los siguientes resultados.

Tabla 30

Ensayo de Resistencia Mecánica a la Compresión con 1.5% de Poliestireno Expandido R1

Espécimen N°	Largo del espécimen (mm)	Ancho del espécimen (mm)	Alto del espécimen (mm)	Área neta del espécimen (mm ²)	Área neta del espécimen (cm ²)	Carga de rotura por compresión (kgf)	Resistencia a la compresión (kgf/cm ²)
1	77.25	26.87	48.15	2075.7	20.76	251.10	12.10
2	77.07	26.55	48.10	2046.2	20.46	290.40	14.19
3	78.93	26.86	48.12	2120.1	21.20	370.50	17.48
4	77.22	26.22	48.91	2024.7	20.25	250.60	12.38
5	76.00	26.75	48.49	2033.0	20.33	408.80	20.11
Promedio	77.29	26.65	48.35	2,059.94	20.60	314.28	15.25

Tabla 31*Ensayo de Resistencia Mecánica a la Compresión con 1.5% de Poliestireno Expandido R2*

Espécimen N°	Largo del espécimen (mm)	Ancho del espécimen (mm)	Alto del espécimen (mm)	Área neta del espécimen (mm ²)	Área neta del espécimen (cm ²)	Carga de rotura por compresión (kgf)	Resistencia a la compresión (kgf/cm ²)
1	77.44	27.13	48.66	2100.9	21.01	565.80	26.93
2	76.61	26.16	47.82	2004.1	20.04	441.30	22.02
3	78.65	27.00	47.87	2123.6	21.24	434.10	20.44
4	76.79	26.38	48.70	2025.7	20.26	412.70	20.37
5	78.71	25.85	48.08	2034.7	20.35	376.30	18.49
Promedio	77.64	26.50	48.23	2,057.80	20.58	446.04	21.65

Tabla 32*Ensayo de Resistencia Mecánica a la Compresión con 1.5% de Poliestireno Expandido R3*

Espécimen N°	Largo del espécimen (mm)	Ancho del espécimen (mm)	Alto del espécimen (mm)	Área neta del espécimen (mm ²)	Área neta del espécimen (cm ²)	Carga de rotura por compresión (kgf)	Resistencia a la compresión (kgf/cm ²)
1	80.14	26.55	47.70	2127.7	21.28	300.40	14.12
2	76.13	26.80	48.40	2040.3	20.40	217.20	10.65
3	77.76	27.31	47.64	2123.6	21.24	481.90	22.69
4	75.75	26.76	48.59	2027.1	20.27	320.10	15.79
5	82.12	26.30	48.03	2159.8	21.60	396.80	18.37
Promedio	78.38	26.74	48.07	2,095.69	20.96	343.28	16.32

A continuación, se presentan en la tabla 33, 34 y 35 los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia mecánica a la compresión en la mezcla de 2,5% de Poliestireno expandido y 97,5% de Arcilla, arrojando los siguientes resultados.

Tabla 33*Ensayo de Resistencia Mecánica a la Compresión con 2.5% de Poliestireno Expandido R1*

Espécimen N°	Largo del espécimen (mm)	Ancho del espécimen (mm)	Alto del espécimen (mm)	Área neta del espécimen (mm ²)	Área neta del espécimen (cm ²)	Carga de rotura por compresión (kgf)	Resistencia a la compresión (kgf/cm ²)
1	76.64	26.66	49.01	2,043.22	20.43	256.50	12.55
2	77.13	27.31	47.86	2,106.42	21.06	217.80	10.34
3	79.13	26.78	48.21	2,119.10	21.19	276.70	13.06
4	77.10	27.24	49.05	2,100.20	21.00	237.50	11.31
5	73.88	27.40	48.67	2,024.31	20.24	197.80	9.77
Promedio	76.78	27.08	48.56	2,078.65	20.79	237.26	11.41

Tabla 34*Ensayo de Resistencia Mecánica a la Compresión con 2.5% de Poliestireno Expandido R2*

Espécimen N°	Largo del espécimen (mm)	Ancho del espécimen (mm)	Alto del espécimen (mm)	Área neta del espécimen (mm ²)	Área neta del espécimen (cm ²)	Carga de rotura por compresión (kgf)	Resistencia a la compresión (kgf/cm ²)
1	80.36	27.38	48.41	2200.3	22.00	287.20	13.05
2	78.39	28.17	48.14	2208.2	22.08	166.10	7.52
3	78.17	27.17	47.86	2123.9	21.24	211.50	9.96
4	77.00	27.66	48.70	2129.8	21.30	198.10	9.30
5	80.18	26.59	48.60	2132.0	21.32	263.50	12.36
Promedio	78.82	27.39	48.34	2,158.84	21.59	225.28	10.44

Tabla 35*Ensayo de Resistencia Mecánica a la Compresión con 2.5% de Poliestireno Expandido R3*

Espécimen N°	Largo del espécimen (mm)	Ancho del espécimen (mm)	Alto del espécimen (mm)	Área neta del espécimen (mm ²)	Área neta del espécimen (cm ²)	Carga de rotura por compresión (kgf)	Resistencia a la compresión (kgf/cm ²)
1	77.54	26.75	48.80	2074.2	20.74	195.80	9.44
2	73.38	27.39	48.29	2009.9	20.10	278.90	13.88
3	77.01	27.23	48.54	2097.0	20.97	225.70	10.76

4	76.18	27.37	49.09	2085.0	20.85	214.00	10.26
5	76.99	27.19	48.60	2093.4	20.93	213.80	10.21
Promedio	76.22	27.19	48.66	2,071.89	20.72	225.64	10.91

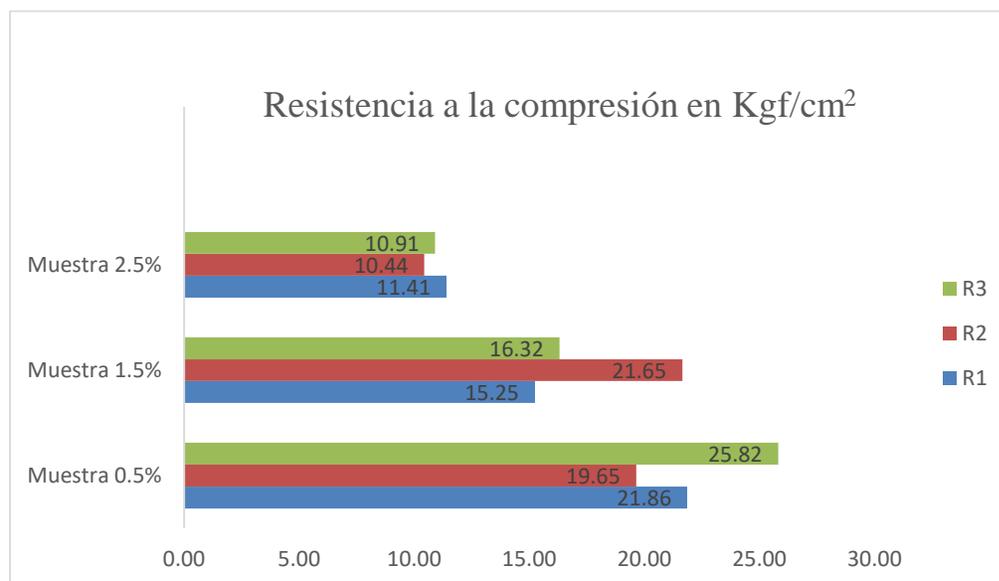


Figura 18. Resistencia a la Compresión en las Muestras con diferentes Porcentajes de Poliestireno

La resistencia Mecánica a la compresión de la mezcla de arcilla con los diferentes porcentajes de 0,5%;1,5% y 2,5% de Poliestireno expandido muestran resultados promedios de 22,44%; 17,74% y 10,92%, se deduce que a mayor porcentaje de Poliestireno expandido menor es la resistencia a la compresión.

Al comparar los datos de la mezcla de arcilla 100% con la mezcla de arcilla junto con los diferentes porcentajes de Poliestireno se puede concluir que la mezcla disminuye su resistencia a la compresión al agregarle Poliestireno expandido.

Estos bloques no se pueden utilizar en mampostería estructural ya que no cumplen con la resistencia mínima a la compresión estipulados en la Norma NTC-4205 mencionada en la tabla 5 y 6.

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

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 36

Actividades de Empresa que Fabrica Bloque H-10

Etapas proceso productivo		
1. Costo de explotación y preparación		
Nº	Actividad	Descripción
1	Arranque de materia prima	Extracción de arcilla de la mina de la empresa, con maquinaria pesada tipo retroexcavadora.
2	Cargue de volquetas	A través de la retro se deposita la arcilla en las volquetas.
3	Transporte de materia prima a planta	Uso de volquetas que llevan la arcilla hasta el patio de la planta.
4	Supervisión del proceso de explotación	Verificación del proceso en mina y del tiempo de trabajo de la maquinaria.
5	Almacenamiento de materia prima en zona de molienda	Disposición de la arcilla de forma adecuada, uso de cargador para el proceso.
6	Supervisión operaciones del centro; vigilancia.	Logística del proceso, toma de decisiones, acompañamiento, registro de datos.
2. Costo de molienda y almacenamiento		
1	Transporte de arcilla a cajón alimentador	Acercar la arcilla de forma manual hasta el cajón alimentador.
2	Llenado de cajón alimentador	Alimentar el cajón mediante el trabajo de operarios con palas.
3	Molienda de la arcilla	El sistema de molienda, conformado por el funcionamiento del cajón alimentador, banda transportadora y molino de martillos, permiten reducir el tamaño de grano de la arcilla. Funcionamiento con energía eléctrica
4	Tamizado de la arcilla	El sistema de tamizado, lo conforma el elevador de cangilones, banda transportadora y tamiz, funcionamiento automático, movido por energía eléctrica.
3. Costo de explotación y preparación		

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

4. Centro de costo de extrusión

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

5. Costo de secado

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

6. Costo de explotación y preparación

1	Caracoleo del bloque/asoleado de bloques	El secado natural no es homogéneo, por tanto se requiere cambiar de posición los productos, los bloques son puestos al sol para acelerar el proceso.
---	--	--

2	Almacenamiento de bloques secos y de estibas	Los bloques una vez secos se retiran de las estibas y se almacenan de forma temporal para ser llevados al horno, las estibas se llevan a la zona de extrusión.
3	Limpieza de material de rotura	El material no conforme, es llevado hacia la zona de molienda, para su reproceso.
4	Supervisión y control del proceso, vigilancia.	Logística del proceso, toma de decisiones, acompañamiento, registro de datos.

7. Costo de cocción

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

8. Costo de descargue, selección y almacenamiento

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

9. Costo administrativo

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

5.4.1. 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 37

Componente del Costo Vs Actividad

Componente de costo	Actividad
Energía eléctrica	Molienda y tamizado de arcilla
	Transporte a silos
	Transporte a amasador
	Extrusión de la arcilla
	Corte de material bloque
Agua	Enfriamiento del horno
	Iluminación y confort
Telefonía	Humectación de la arcilla
	Acueducto
ACPM	Compra de materiales, atención al cliente, contacto interno.
Lubricante	Lubricación durante extrusión
	Quema
Repuestos	Molienda de arcilla
	Tamizado de arcilla
	Extrusión
	Molienda de arcilla
Arriendo	Tamizado de arcilla
	Extrusión
	Secado
	Quema
Depreciación	Mobiliario oficina
	Adecuaciones planta
	Molienda de arcilla
	Tamizado de arcilla
	Extrusión
Depreciación	-Galpón planta distribuido a todas las actividades menos explotación
	-Carretas en transporte a secado
	-Carretas transporte horno
	-Carretas transporte a almacenamiento
	-Estibas en transporte a secado

	- Hornos durante la Quema - Equipo de taller a todas las actividades menos explotación - Equipo oficina en actividades administrativas
Carbón	Quema
Implementos de seguridad	Molienda de arcilla humectación quema Explotación Supervisión Arranque de materia prima Molienda de arcilla Tamizado de arcilla
Impuestos	Extrusión Secado quema Almacenamiento
Mantenimiento	Todos los centros
Palas	Molienda Quema
Alambre de corte	Corte de material extruido
Dados boquilla	Extrusión
Martillos	Molienda de arcilla Supervisión Explotación Molienda de arcilla Extrusión de la arcilla Secado de productos
Mano de obra indirecta	Quema Selección Lubricación equipos Administrativo
Papelería	Actividades contables y comerciales
Análisis Isocinéticos	Quema
Materia prima	Arranque de materia prima
Servicio retroexcavadora	Arranque de materia prima
Servicio de volquetas	Transporte a planta
Alquile cargador	Acomodo de materia prima en galpón

Tabla 38

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

Actividades	Marzo (\$)
Arranque de materia prima y cargue	\$ 5,064,210.7
Transporte a planta	\$ 1,800,366.5
Acomodo de materia prima en galpón	\$ 371,279.2
Llenado cajón alimentador	\$ 2,888,244.0
Molienda y tamizado	\$ 6,885,102.8
Humectación -extrusión	\$ 8,067,766.7
Corte y acomodo de piezas	\$ 2,958,206.0
Transporte a patio de secado	\$ 2,114,270.1
Caracoleo	\$ 718,733.7
Transporte y acomodo en horno	\$ 2,369,245.5
Quema	\$ 19,919,222.9
Descargue y transporte	\$ 1,312,014.3
Clasificación y almacenamiento	\$ 1,328,270.3
Actividades gerenciales	\$ 1,603,528.5
Actividades contables. comerciales y de apoyo	\$ 1,464,811.5
Total	\$ 58,865,272.7

El costo del producto del bloque:

Costo - Producción \$ 58'865.272,7

Producción de Bloque 180.000 Unid.

Costo Bloque \$ 327,02

5.4.2. Costo del Bloque Usando Nutriente Tecnológico (Poliestireno Expandido)

Tabla 39

Costo del Bloque Usando Poliestireno Expandido

Actividades	Código *	Marzo (\$)
Arranque de materia prima y cargue	A	\$ 5,500,000.0
Almacenamiento de (Poliestireno expandido)	A1	\$ 2,500,000.0
Transporte a planta	B	\$ 1,500,000.0
Transporte de (Poliestireno Expandido)	B1	\$ 2,300,000.0

Acomodo de materia prima en galpón	C	\$ 800,000.0
Molienda, trituración del (Poliestireno expandido)	C1	\$ 5,500,000.0
Llenado cajón alimentador	D	\$ 2,888,244.0
Molienda y tamizado	E	\$ 6,885,102.8
Humectación -extrusión	F	\$ 8,067,766.7
Corte y acomodo de piezas	G	\$ 2,958,206.0
Transporte a patio de secado	H	\$ 2,114,270.1
Caracoleo	I	\$ 718,733.7
Transporte y acomodo en horno	J	\$ 2,369,245.5
Quema	K	\$ 19,919,222.9
Descargue y transporte	L	\$ 1,312,014.3
Clasificación y almacenamiento	M	\$ 1,328,270.3
Actividades gerenciales	N	\$ 1,603,528.5
Actividades contables. comerciales y de apoyo	O	\$ 1,464,811.5
Total		\$ 69,729,416.3

El costo del producto del bloque con Poliestireno Expandido

Costo - Producción	\$ 69,729,416.3
Producción de Bloque	180.000 Unid
Costo Bloque	\$ 387.38

El incremento es de un 18.46% utilizando Poliestireno expandido la diferencia es de \$10,684,143.60 pesos.

6. Conclusiones

Las conclusiones que se pueden obtener después de la evaluación de esta mezcla de arcilla con Poliestireno expandido y bajo las normas NTC 4017 y NTC 4205 son las siguientes:

De los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión se obtiene que los bloques de arcilla 100% cumplen con los parámetros que establece la Norma NTC 4205 como lo es: promedio de resistencia a la compresión de 31,39 (Kgf/cm²) tanto para mampostería estructural como para mampostería no estructural mientras que los bloques con Poliestireno expandido no cumplieron la resistencia mínima requerida por lo que no se logró cumplir uno de los objetivos propuestos en esta investigación.

Al aumentar la adición de Poliestireno expandido a la mezcla de arcilla se obtiene una disminución de la resistencia mecánica a la compresión.

Desde la perspectiva de mercado, la producción de bloques con mezcla de arcilla y Poliestireno expandido reciclado no es factible ya que el proceso es muy costoso

El reciclaje permite disminuir la cantidad de material en los rellenos sanitarios, permitiendo la elaboración de nuevos productos, utilizándola como reemplazo de la materia prima en la industria de la construcción, mejorando la calidad de vida de las personas ya que beneficia al medio ambiente, todo lo que tenga que ver con reciclar se vuelve beneficiario y el poder llevar la idea a la realidad sería muy bueno de investigar y aprender.

7. Recomendaciones

Se recomienda complementar este estudio con una investigación más profunda, aumentando el número de muestras y ensayos de laboratorios.

8. Referencias Bibliográficas

- Acevedo, H., Vásquez, A., & Ramírez, D. (2012). Sostenibilidad: actualidad y necesidad en el sector de la construcción en Colombia. *Gestión y Ambiente*, 15(1), 105-118.
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/30825>
- ANAPE EPS. (s.f.). Proceso de fabricación del Poliestireno expandible. [Figura].
<http://www.anape.es/index.php?accion=producto>
- Balaguera, L. & Carvajal, J. (2004). Estudio para producir bloque aligerado a partir de mezclas de arcilla, cenizas volantes y Poliestireno expandido en la empresa Cerámicas Támesis, S.A. Tesis de grado, Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia.
- Barrientos, E., Cárdenas, J. & Bravo, C. (2020). Industrialised Structures As An Innovative Element Under The Contrast Of Engineers' Perceptions. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 36(2), 59-64.
http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/RCTA/article/view/4014
- Bembibre, C. (marzo de 2012). Medio ambiente. *Definición ABC*.
<https://www.definicionabc.com/medio-ambiente/medio-ambiente.php>
- Bernal, I., Cabezas, H., Espitia, C., Mojica, J. & Quintero, J. (2003). Análisis próximo de arcillas para cerámica. *Academia colombiana de ciencias exactas, físicas y naturales*, 27(105), 569-578.
- Celis, S. (2019). Propuesta para el diseño de cemento alternativo basado en residuos de ladrillo de arcilla roja activados alcalinamente. *Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo*, 10(1), 34-40.
- Cifuentes, V. (02 de marzo de 2020). Sector edificador espera tener crecimiento de 2 % en 2020. *El Tiempo Casa Editorial*. eltiempo.com/economia/cuanto-crecera-la-construccion-y-las-

edificaciones-en-el-2020-468076

Contreras, C. (2006). Manejo integral de aspectos ambientales- Residuos Sólidos. Diplomado Gestión Ambiental Empresarial para funcionarios de ETB, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.

http://www.javeriana.edu.co/ier/recursos_user/IER/documentos/OTROS/Pres_Residuos_CamiloC.pdf

Contreras, M. (16 de diciembre de 2014). Industria de Plásticos en Bogotá. *Invest in Bogotá*.

<http://es.investinbogota.org/sites/default/files/fact-sheet-plasticos-espanol-2014.pdf>

Daza, N., Montoya, A., & Barrientos, E. (2019). Diseño de teja modular ventilada en resina y arcilla sin cocer. *Sostenibilidad, Tecnología Y Humanismo*, 10(1), 27-33.

<https://doi.org/10.25213/2216-1872.3>

De Pablo, L. (1964). Las arcillas: I. Clasificación, identificación, usos y especificaciones industriales. *Boletín de La Sociedad Geológica Mexicana*, 27(2), 49–91.

<http://www.jstor.org/stable/44173956>

Díaz, L., & Torrecillas, R. (2002). Arcillas cerámicas: una revisión de sus distintos tipos, significados y aplicaciones. *Bol. Soc. Esp. Cerám. Vidrio*, 41(5), 459-470.

Elías, X. (2015). *Nutrientes tecnológicos para la industria cerámica estructural*. Tesis doctoral, Universidad de Jaén, Jaén, España.

Fundación Verde Natura. (s.f.). Proceso de Reciclaje. *Fundación Verde Natura*.

<https://fundacionverdenatura.org/proceso-de-reciclaje.html>

Guggenheim, S., Martin, R., Alietti, A., Drits, V., Formoso, M., Galán, E., Köster, H., Morgan, D., Paquet, H., Watanabe, T., Bain, D., Ferrell, R., Bish, D., Fanning, D., Kodama, H. & Wicks, F. (1995). Definition of clay and clay mineral: Joint report of the AIPEA

- nomenclature and CMS nomenclature committees. *Clays and Clay Minerals*. (43). 255-256. 10.1346/CCMN.1995.0430213.
- Guía Técnica Colombiana GTC 53-2. (2004). Gestión ambiental. Residuos sólidos. Guía para el aprovechamiento de los residuos plásticos. *ICONTEC*.
- Guzenski, F. (2012). Impactos ambientales del sector de la construcción: Análisis comparativo de cerramientos externos aplicando el enfoque de ciclo de vida. *Behance*.
<https://www.behance.net/gallery/3131177/Impactos-ambientales-del-sector-de-la-construccion>
- Hernández, R., Fernández, C. & Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación* (6 ed). México: McGraw-Hill.
- López, D., Torres, L. & Moya, F. (2020). Tecnologías, procesos y problemática ambiental en la Minería de arcilla. *Investigación e Innovación en Ingenierías*, 8(2), 20 - 43.
<https://doi.org/10.17081/invinno.8.2.3857>
- Maldonado Pinto, J. E. (2016). La gestión ambiental como cultura de RSC de las pymes del sector arcilla del municipio de San José de Cúcuta y su área metropolitana, Colombia. *Mundo FESC*, 5(10), 5-13.
<https://www.fesc.edu.co/Revistas/OJS/index.php/mundofesc/article/view/66>
- Manco, D., Martínez, C., Gómez, J., Giraes, D., & Molina, S. (2020). Caracterización fisicoquímica de las arcillas utilizadas en la preparación de pastas cerámicas para la producción de los lotes de ladrillo tipo h-10 en la empresa Ladrillera Valledupar S.A.S. (Colombia). *Aibi Revista de investigación, administración e ingeniería*, 8(3), 54-59.
<https://doi.org/10.15649/2346030X.850>
- Martínez, H. (2012). Avances en la simulación numérica de reactores de flujo oscilatorio. Tesis

- de grado, Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, España.
- Molina, Y. & Carillo, C. (2017). Análisis del comportamiento de una mezcla de concreto liviano con ceniza volante y Poliestireno expandido. Tesis de grado, Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia.
- Ortega, K., Sarmiento, V. & Villegas, A. (2016). La construcción alrededor del mundo. *Estudios Económicos CAMACOL*, 84, 1-13. <https://asogravas.org/wp-content/uploads/2017/11/Informe-econ%C3%B3mico-No-84.pdf>
- Ramírez, A. (2002). La construcción sostenible. *Física y sociedad*, 30-33.
- Rodríguez, A. (2002). Mapa de Minerales Industriales, Zonas Potenciales para Materiales de Construcción. *Memoria Técnica*, INGEOMINAS, Bogotá, Colombia.
- Rodríguez, H. & Montilla, T. (2021). *Icopor asesino silencioso de la vida*. Tesis de grado, Universidad Libre, Santiago de Cali, Colombia. <https://hdl.handle.net/10901/19206>.
- Ruíz, A. & Peñaranda, C. (2020). Evaluación de mezclas de arcilla adicionando componentes tecnológicos para la fabricación de bloques de construcción. *Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo*, 11(2), 50-61.
- Sánchez, J., Corpas, F. & Álvarez, D. (2018). Aplicaciones de los nutrientes tecnológicos en la industria cerámica del área metropolitana de Cúcuta. Bogotá: Ecoe Ediciones Limitada; San José de Cúcuta: Universidad Francisco de Paula Santander.
- Sánchez, J. & Ramírez, R. (2013). *El clúster de la Cerámica del área metropolitana de Cúcuta: Principales Características del sector*. Cúcuta: Universidad Francisco de Paula Santander.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (13 de agosto de 2018). Impacto ambiental y tipos de impacto ambiental. *Gobierno de México*.

<https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/impacto-ambiental-y-tipos-de-impacto-ambiental>

- Sierra, J. (2014). Análisis comparativo entre bloques de concreto tradicional y bloques de concreto alivianado con Poliestireno. Tesis de grado, Universidad Internacional del Ecuador, Escuela de Ingeniería civil, Quito, Ecuador.
- Silvestre, A. (2015). Análisis del concreto con Poliestireno expandido como aditivo para aligerar elementos estructurales. Proyecto de Investigación, Universidad Libre, Pereira, Colombia.
- Valea, A., Juanes, F., Miguez, J., & González, M. (2008). Aleaciones de polipropileno PP y polietilentereftalato PET reciclados y estudio de sus propiedades. *Anales de Mecánica de la Fractura*, 2(25), 748-752.
- <http://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/1/13/1169/1195/1202/1211/7113.pdf>
- Vargas, Z. (2009). La investigación aplicada: Una forma de conocer las realidades con evidencia científica. *Educación*, 33(1), 155-165.
- <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=44015082010>
- Zuluaga, F. (2013). Evaluación del comportamiento del concreto elaborado con desechos de Poliestireno expandido. Tesis de especialización, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá, Colombia.

Anexos

Anexo 1. Poliestireno Expandido



Figura A.1.1. Nutriente Tecnológico, Poliestireno expandido