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

RESUMEN TRABAJO DE GRADO

AUTOR(ES): NOMBRES Y APELLIDOS COMPLETOS

NOMBRE(S): JESUS SANTIAGO APELLIDOS: ACOSTA MENDEZ

NOMBRE(S): JAVIER CAMILO APELLIDOS: GAMBOA SUAREZ

FACULTAD: INGENIERIA

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERIA CIVIL

DIRECTOR:

NOMBRE(S): CARLOS ALBERTO APELLIDOS: PEÑA SOTO

NOMBRE(S): ALBA NELY APELLIDOS: AREVALO VERJEL

TÍTULO DEL TRABAJO (TESIS):

MATERIAL ECOESTÉRIL EN BLOQUES DE CONCRETO PARA MAMPOSTERÍA NO ESTRUCTURAL

El presente documento es una investigación orientada al desarrollo de bloques en concreto con la implementación de residuos hospitalarios biosanitarios esterilizados (material ecoestéril), en la mezcla, para producir mampuestos de uso no estructural. Procesos de manufactura industrial, ensayos de resistencia a la compresión, ensayos de absorción de agua y análisis del producto final fueron las principales actividades ejecutadas para dar cumplimiento a los objetivos establecidos.

Resultados interesantes se presentaron de acuerdo al peso por unidad de bloque elaborado. Fue posible evidenciar una significativa reducción en la masa del bloque con respecto a las unidades fabricadas y comercializadas convencionalmente, sin afectar los parámetros de resistencia a la compresión y absorción de agua establecidos por la normatividad colombiana.

Por su parte, el material ecoestéril funciona de mejor manera como un agregado extra a la mezcla, por lo que sustituciones parciales no son recomendables luego de haberse evidenciado resultados poco viables en los valores obtenidos de resistencia a la compresión. Por lo tanto, tanto comercialmente como normativamente, el material ecoestéril desempeña funciones de un elemento aligerante de este tipo de mampostería.

PALABRAS CLAVES: Residuos

biosanitarios, bloques,

compresión, aligeramiento

CARACTERISTICAS:

PÁGINAS: 104 PLANOS: 0 ILUSTRACIONES: 0 CD ROOM: 1

MATERIAL ECOESTÉRIL EN BLOQUES DE CONCRETO PARA MAMPOSTERÍA NO
ESTRUCTURAL

JESÚS SANTIAGO ACOSTA MÉNDEZ

JAVIER CAMILO GAMBOA SUÁREZ

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

CÚCUTA, COLOMBIA

2020

MATERIAL ECOESTÉRIL EN BLOQUES DE CONCRETO PARA MAMPOSTERÍA NO
ESTRUCTURAL

PROYECTO DE GRADO PRESENTADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

JESÚS SANTIAGO ACOSTA MÉNDEZ

JAVIER CAMILO GAMBOA SUÁREZ

DIRECTOR DEL PROYECTO

CARLOS ALBERO PEÑA SOTO

INGENIERO CIVIL

CODIRECTORA

ALBA NELY ARÉVALO VERGEL

INGENIERO CIVIL

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

CÚCUTA, COLOMBIA

2020

ACTA DE SUSTENTACION

ACTA DE SUSTENTACION DE TRABAJO DE GRADO

FECHA: 22 DE OCTUBRE DE 2020 **HORA:** 2:00 p. m.

LUGAR: VIDEO CONFERENCIA GOOGLE MEET

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERIA CIVIL

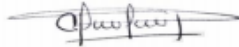
TITULO DE LA TESIS: "MATERIAL ECOESTERIL EN BLOQUES DE CONCRETO PARA MAMPOSTERIA NO ESTRUCTURAL".

JURADOS: ING. CLAUDIA LILIANA CASADIEGO PERALTA
ING. VICTOR ORLANDO MUTIS SERRANO

DIRECTOR: ING. ALBA NELLY AREVALO VERGEL
ING. CARLOS ALBERTO PEÑA SOTO

NOMBRE DE LOS ESTUDIANTES:	CODIGO	CALIFICACION	
		NUMERO	LETRA
JAVIER CAMILO GAMBOA SUAREZ	1112389	4,4	CUATRO, CUATRO

A P R O B A D A



ING. CLAUDIA LILIANA CASADIEGO PERALTA ING. VICTOR ORLANDO MUTIS SERRANO



Vo. Bo. JAVIER ALFONSO CARDENAS GUTIERREZ
Coordinador Comité Curricular

ACTA DE SUSTENTACION DE TRABAJO DE GRADO

FECHA: 14 DE MAYO DE 2020 HORA: 8:00 a. m.

LUGAR: GOOGLE MEET

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERIA CIVIL


TITULO DE LA TESIS: "MATERIAL ECOESTERIL EN BLOQUES DE CONCRETO PARA MAMPOSTERIA NO ESTRUCTURAL".

JURADOS: ING. JORGE FERNANDO MARQUEZ PEÑARANDA
ING. JOSE RAFAEL CACERES RUBIO

DIRECTOR: INGENIERO CARLOS ALBERTO PEÑA SOTO.
CODIRECTOR: INGENIERA ALBA NELLY AREVALO VERGEL

NOMBRE DE LOS ESTUDIANTES:	CODIGO	CALIFICACION	
		NUMERO	LETRA
JESUS SANTIAGO ACOSTA MENDEZ	1112393	4,4	CUATRO, CUATRO

APROBADA


ING. JORGE FERNANDO MARQUEZ PEÑARANDA


ING. JOSE RAFAEL CACERES RUBIO

Vo. Bo.


JAVIER ALFONSO CARDENAS GUTIERREZ
Coordinador Comité Curricular

Betty M.



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

Cúcuta,

Señores
BIBLIOTECA EDUARDO COTE LAMUS
Ciudad

Cordial saludo:

Nosotros Jesús Santiago Acosta Méndez y Javier Camilo Gamboa Suárez, identificado(s) con la C.C. N° 1.090.509.403 y 1.090.510.742 respectivamente, autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado titulado MATERIAL ECOESTÉRIL EN BLOQUES DE CONCRETO PARA MAMPOSTERÍA NO ESTRUCTURAL presentado y aprobado en el año 2020 como requisito para optar al título de INGENIERO CIVIL; autorizo(amos) a la biblioteca de la Universidad Francisco de Paula Santander, Eduardo Cote Lamus, para que con fines académicos, muestre a la comunidad en general a la producción intelectual de esta institución educativa, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

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

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

C.C. 1.090.509.403

C.C. 1.090.510.742

Agradecimientos

Primeramente, agradecemos a Dios Todo Poderoso, quien a través de los dones del Espíritu Santo nos otorgó la sapiencia y la guía necesaria para encaminar este proyecto de grado. A Él toda la gloria, el amor y la alabanza por los siglos de los siglos, Amén.

Agradecemos a nuestras familias, cuyo apoyo incondicional fue nuestro suministro de energía, trabajo y motivación para el desarrollo de este proyecto. Sus afectos para con nosotros impulsaron cada página registrada y a ellas debemos los que somos y lo que seremos. Gracias por hacer parte de nuestro desarrollo integral en el ámbito personal, académico y laboral.

Agradecemos especialmente a nuestros guías en esta investigación: el ingeniero Carlos Alberto Peña Soto y la ingeniera Alba Nely Arévalo Vergel. Gracias por cada directriz, cada consejo, cada palabra de aliento, cada aporte y, en general, por todo su acompañamiento a lo largo del desarrollo de este proyecto, tan suyo como nuestro. Su aporte fue realmente inconmensurable no solo en lo académico, sino también en lo personal y por ello nuestro más sincero y profundo agradecimiento.

Agradecemos a las empresas PRECONCRETOS S.A. y Aseo Urbano S.A.S. ESP por el apoyo y acompañamiento brindado en la investigación desarrollada. Su logística, asistencia y conocimiento fue absoluto y por ello les debemos un enorme agradecimiento ya que su aporte en este proyecto fue fundamental.

Por último, agradecemos a nuestra alma máter, la Universidad Francisco de Paula Santander, templo de conocimiento. Gracias por proveernos de los conceptos necesarios para emprender nuestra investigación. Sin duda, es un orgullo contar con el apoyo de la UFPS en nuestro desarrollo profesional, reflejado en cada aula, cada docente y en cada aporte para nuestro conocimiento.

Tabla de contenido

Introducción	9
1. Problema	10
1.1. Título	10
1.2. Planteamiento del problema	10
1.3. Formulación del problema	12
1.4. Objetivos de la investigación	13
1.4.1. Objetivo general	13
1.4.2. Objetivos específicos	13
1.5. Justificación del trabajo investigativo	13
1.6. Alcances y limitaciones	14
1.6.1. Alcances	14
1.6.2. Limitaciones	14
1.7. Delimitaciones	15
1.7.1. Delimitación espacial	15
1.7.2. Delimitación temporal	16
1.7.3. Delimitación conceptual	16
2. Marco referencial	17
2.1. Antecedentes	17
2.2. Marco teórico	22
2.2.1. Bloques en concreto en la construcción	22
2.2.2. Residuos hospitalarios en Colombia	24
2.2.3. Tratamiento de residuos biosanitarios y cortopunzantes por medio de la máquina ECOSTERYL 250 según certificación de la ANLA	31
2.3. Marco conceptual	34
2.4. Marco Contextual	36
2.5. Marco Legal	37
3. Diseño metodológico	40
3.1. Tipo de investigación	40

3.1.1.	Nivel de investigación	40
3.1.2.	Diseño de investigación	40
3.1.3.	Propósito de investigación	40
3.2.	Población y Muestra	40
3.2.1.	Población	40
3.2.2.	Muestra	41
3.3.	Instrumentos para la recolección de información	41
3.4.	Técnicas de análisis y procesamiento de datos	42
4.	Fases y actividades específicas del proyecto	43
4.1.	Obtención del material ecoestéril	43
4.2.	Elaboración de los bloques en concreto con material ecoestéril	44
4.2.1.	Cemento industrial	48
4.2.2.	Agregado fino (Arena)	49
4.2.3.	Agua de mezclado	50
4.2.4.	Agregado grueso (Triturado 3/8)	52
4.2.5.	Material ecoestéril	53
4.2.6.	Aditivo desmoldante	56
4.3.	Ensayos de laboratorio a los bloques fabricados	65
4.4.	Análisis de los resultados de laboratorio obtenidos	81
4.4.1.	Análisis de resultados en el ensayo de resistencia a la compresión	83
4.4.2.	Análisis de resultados en el ensayo de absorción de agua	86
4.4.3.	Análisis comercial de los bloques	90
	Conclusiones	93
	Recomendaciones	95
	Bibliografía	97
	Anexos	102

Lista de figuras

Figura 1. Fotografía satelital del Parque Tecnológico y Ambiental Guayabal. Fuente Google Earth Pro.	15
Figura 2. Fotografía satelital de la empresa PRECONCRETOS S.A. Fuente Google Earth Pro.	16
Figura 3. Fotografía de la máquina ECOSTERYL 250. Fuente TECNIAMSA SA ESP.	32
Figura 4. Fotografía de material ecoestéril suministrado por ASEO URBANO S. A. S. ESP (Actual Veolia Environnement S.A.). Fuente Autores.	44
Figura 5. Medidas del bloque M-19L. Fuente autores.	45
Figura 6. Bloques elaborados con material ecoestéril.	47
Figura 7. Transporte de los bloques a las cámaras de curado. Fuente Autores.	58
Figura 8. Medición de las dimensiones de los bloques. Fuente Autores.	67
Figura 9. Proceso de refrentado de los bloques a ensayar. Fuente Autores.	68
Figura 10. Prensa universal UTC-4131 donde se sometieron los boques a cargas compresivas. Fuente Autores.	69
Figura 11. Gráfica resistencia a la compresión vs tiempo de los 3 bloques ensayados para la muestra A. Fuente autores.	71
Figura 12. Gráfica resistencia a la compresión vs tiempo de los 3 bloques ensayados para la muestra B. Fuente autores.	72
Figura 13. Gráfica resistencia a la compresión vs tiempo de los 3 bloques ensayados para la muestra C. Fuente autores.	74
Figura 14. Gráfica resistencia a la compresión vs tiempo de los 3 bloques ensayados para la muestra D. Fuente autores.	75

Figura 15. Inmersión de los bloques en las piscinas con agua. Fuente Autores. 77

Figura 16. Gráfica comparativa entre parámetro de resistencia a la compresión (MPa) de la NTC 4076 con el promedio de las 3 unidades ensayadas por cada muestra a los 28 días. Fuente autores. 84

Figura 17. Gráfica comparativa entre parámetro de absorción de agua (%) de la NTC 4076 con el promedio de las 3 unidades ensayadas por cada muestra. Fuente autores. 87

Lista de tablas

Tabla 1. Valores de resistencia a la compresión a los 28 días de acuerdo con la NTC 4076	23
Tabla 2 . Valores de absorción de agua según la densidad del concreto de acuerdo con la NTC 4076	24
Tabla 3. Clasificación de residuos hospitalarios no peligrosos	28
Tabla 4 . Componentes principales de la mezcla para 1 m ³ concreto para bloques convencionales M-19L.	45
Tabla 5. Análisis químico del cemento según la NTC 184.	48
Tabla 6. Cálculo de la densidad del material ecoestéril.	56
Tabla 7. Componentes de la mezcla para 1 m ³ de concreto en la Muestra A	61
Tabla 8. Componentes de la mezcla para 1 m ³ de concreto en la Muestra B	62
Tabla 9. Componentes de la mezcla para 1 m ³ de concreto en la Muestra C	63
Tabla 10. Componentes de la mezcla para 1 m ³ de concreto en la Muestra D	64
Tabla 11. Resultados del ensayo de compresión para los bloques de la Muestra A.	70
Tabla 12. Resultados del ensayo de compresión para los bloques de la Muestra B.	71
Tabla 13. Resultados del ensayo de compresión para los bloques de la Muestra C.	73
Tabla 14. Resultados del ensayo de compresión para los bloques de la Muestra D.	74
Tabla 15. Valores promedio de resistencia a la compresión de las muestras a 28 días luego de su regresión.	76
Tabla 16. Resultados del promedio de absorción de agua y densidad de la Muestra A.	78
Tabla 17. Resultados del promedio de absorción de agua y densidad de la Muestra B.	79
Tabla 18. Resultados del promedio de absorción de agua y densidad de la Muestra C.	79
Tabla 19. Resultados del promedio de absorción de agua y densidad de la Muestra D.	80

Tabla 20. Valores de densidad del promedio de 3 bloques por muestra elaborados con material ecoestéril. 86

Tabla 21. Valores del promedio de 3 unidades por muestra de peso de los bloques con material ecoestéril y el comercializado por PRECONCRETOS S.A. 89

Tabla 22. Comparación de valores de acarreo entre bloques M-19L y bloques ecoestéril desde Cúcuta, Norte de Santander hasta Bucaramanga, Santander. 91

Tabla 23. Comparación de valores de acarreo entre bloques M-19L y bloques ecoestéril dentro de la ciudad de Cúcuta, Norte de Santander. 92

Resumen

El presente documento es una investigación orientada al desarrollo de bloques en concreto con la implementación de residuos hospitalarios biosanitarios esterilizados (material ecoestéril), en la mezcla, para producir mampuestos de uso no estructural. Procesos de manufactura industrial, ensayos de resistencia a la compresión, ensayos de absorción de agua y análisis del producto final fueron las principales actividades ejecutadas para dar cumplimiento a los objetivos establecidos.

Resultados interesantes se presentaron de acuerdo al peso por unidad de bloque elaborado. Fue posible evidenciar una significativa reducción en la masa del bloque con respecto a las unidades fabricadas y comercializadas convencionalmente, sin afectar los parámetros de resistencia a la compresión y absorción de agua establecidos por la normatividad colombiana.

Por su parte, el material ecoestéril funciona de mejor manera como un agregado extra a la mezcla, por lo que sustituciones parciales no son recomendables luego de haberse evidenciado resultados poco viables en los valores obtenidos de resistencia a la compresión. Por lo tanto, tanto comercialmente como normativamente, el material ecoestéril desempeña funciones de un elemento aligerante de este tipo de mampostería.

Introducción

En nuestro ejercicio como futuros ingenieros civiles, es enjundioso que exista un compromiso con el desarrollo autosostenible y la mitigación del impacto ambiental, que es bien conocida por destacar en nuestra profesión. Parte de nuestro enriquecimiento integral es encontrar la manera de ejecutar obras civiles con el mayor decoro en temas ambientales que brinden seguridad, comodidad y estética tanto a la sociedad como a los ecosistemas implicados.

Anualmente, los datos que arrojan las diferentes entidades encargadas de tópicos ambientales sobre contaminación son abrumadores, pues indican la falta de interés en las personas por realizar acciones simples de reciclaje y aprovechamiento de residuos lo cual se traduce en mayor abasto en rellenos sanitarios y degradación ambiental. Cifras preocupantes son las reportadas por residuos peligrosos, los cuales implican un peligro biológico que se debe reducir con el compromiso de la sociedad. Una fracción considerable de estos residuos es proporcionada por los nosocomios, pues estos desechos, aunque atraviesan un proceso de esterilización y tratamiento especial, siguen teniendo disposición final en vertederos sanitarios. Debido a esta situación, surge un problema de investigación que se abordará en este estudio y el cual consiste en el aprovechamiento de estos residuos hospitalarios esterilizados (conocidos como material ecoestéril), en la fabricación de bloques en concreto, con el objetivo de que este tipo de elementos tengan una función en la mampostería de obras civiles. De esta manera atenuaremos la problemática ambiental generada por estos desechos; contribuiremos al desarrollo investigativo en este tipo de proyectos; innovaremos en la fabricación de unidades de mampostería y fomentaremos el mercado de la región para mampuestos ecológicos.

1. Problema

1.1. Título

Material ecoestéril en bloques de concreto para mampostería no estructural.

1.2. Planteamiento del problema

El mundo en el que vivimos actualmente presenta una dinámica de expansión poblacional particularmente interesante, en la cual es imperativo que las personas tengan la posibilidad de una calidad de vida digna, la cual inicia con el derecho a una vivienda y el derecho a la salud. Sin embargo, a medida que las sociedades se expanden y la demanda de servicios crece junto a ella, es mayor el perjuicio ambiental causado en los ecosistemas que el ser humano invade para establecer sus comunidades.

Con el crecimiento poblacional también se incrementa la cantidad de residuos peligrosos que son desechados en los diferentes rellenos sanitarios.

El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2007) en su cartilla de Gestión Integral de Residuos o Desechos Peligrosos – Bases Conceptuales define como residuo peligroso a todo desecho que “debido a su peligrosidad intrínseca (tóxico, corrosivo, reactivo, inflamable, explosivo, infeccioso, ecotóxico), pueden causar daños a la salud o al ambiente”.

Según el IDEAM (2018), en su Informe Nacional de Residuos o Desechos Peligrosos reportó que Colombia generó en el 2017 un total de 489.058 toneladas de residuos peligrosos, de los cuales el 9% corresponden a desechos clínicos, lo que supone un reto inmenso si se piensa en que esta cantidad aumenta cada año.

El mayor generador de residuos peligrosos para 2017 (después de la industria petrolera), es el sector salud con el 9% del total reportado, equivalente a 46.361 toneladas (IDEAM, 2018). Estos

desechos son denominados Residuos Hospitalarios, los cuales se definen como aquellos materiales que son generados por las diferentes instituciones de salud que constituyen algún tipo de riesgo para la vida de las personas.

Actualmente, el gobierno colombiano tiene una reglamentación especial dirigida al tratamiento de este tipo de desechos, sin embargo, después del proceso de esterilización, los residuos hospitalarios biosanitarios tienen disposición final en los vertederos de basura sin ningún tipo de uso, lo cual acelera la degradación de ecosistemas circundantes. En diferentes ciudades del país la empresa ASEO URBANO S. A. S. ESP (Actual Veolia Environnement S.A.), es la encargada del proceso de tratamiento y esterilización de los residuos hospitalarios biosanitarios mediante una maquina especializada ECOSTERYL-250 que los transforma en material ecoestéril y sobre la cual se hablará más adelante en el presente documento en la sección 2.2.3.

Es importante aclarar que la empresa con la cual se hizo el convenio para este proyecto es ASEO URBANO S. A. S. ESP, la cual a partir de mediados del 2018 fue adquirida por la empresa francesa de servicios de aseo VEOLIA ENVIRONNEMENT S.A. con quien no se tiene acercamientos, pero se sabe que maneja las mismas instalaciones.

La investigación de las siguientes páginas pretende establecerle un uso al material ecoestéril como agregado a la mezcla de concreto para la elaboración de bloques con función no estructural, como unidades divisorias en las obras civiles, que a su vez sean estéticamente agradables y puedan adoptar usos arquitectónicos; puesto que nuestro compromiso en la práctica profesional es mitigar el impacto ambiental generado en las construcciones con innovaciones ecoamigables que permitan un desarrollo autosostenible, debido a que este tipo de residuos actualmente no se están utilizando y son arrojados a cielo abierto en el relleno sanitario del Parque Tecnológico y ambiental Guayabal. Por lo tanto, se espera que este material pueda ser incorporado en las mezclas de concreto para la

fabricación de mampostería no estructural, pues se ha demostrado que el uso de materiales reciclables, como el papel periódico, contribuyen a la pérdida de peso del concreto hasta un 50% (Balaga & Nanthagopalan, 2015), sin castigar considerablemente valores de resistencia a la compresión.

La incorporación de residuos biosanitarios tratados como agregado para producir bloques en concreto podría también representar una alternativa más económica frente al bloque tradicional, debido a que los costos implementados para la fabricación de este mampuesto con material ecoestéril son menores a las del bloque convencional, lo cual favorece en presupuesto de obras e impulsaría la gestación de mampostería ecológica en la construcción. Sin embargo, se debe cuidar que los valores de resistencia a la compresión y absorción de agua no disminuyan considerablemente, pues se deben cumplir con los parámetros establecidos por la normatividad colombiana para mampostería no estructural (NTC 4076). No obstante, se ha demostrado que el uso de materiales no convencionales como agregados a la mezcla de concreto puede incluso incrementar valores de resistencia compresiva, como lo son las fibras de polipropileno de alta densidad, cuya inserción al concreto aumenta su capacidad de carga (Pereira, Oliveira & Fineza, 2017).

1.3. Formulación del problema

¿Cómo es el comportamiento de bloques en concretos conformados a base de material ecoestéril con fines en mampostería no estructural?

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo general

Desarrollar un nuevo bloque de concreto que permita el aprovechamiento de los residuos hospitalarios que se generan durante el proceso de eco-esterilización de la empresa Aseo Urbano SAS. (Actual Veolia Environnement S.A.).

1.4.2. Objetivos específicos

- ❖ Realizar un diagnóstico preliminar de las aplicaciones de materiales ecológicos en mezclas de concreto a nivel internacional, nacional y regional.
- ❖ Caracterizar los elementos que intervienen en la elaboración de los bloques de concreto conformados a base de material Ecoestéril.
- ❖ Obtener un nuevo bloque de concreto conformado a base de material Ecoestéril a diferentes porcentajes utilizando técnicas de fabricación convencionales
- ❖ Obtener las propiedades físicas - mecánicas del nuevo bloque empleando técnicas de caracterización normalizada

1.5. Justificación del trabajo investigativo

En Colombia existe una problemática tangible con respecto al manejo de residuos hospitalarios, lo cual se puede traducir en riesgos y amenazas al medio ambiente en el que vivimos. Esta idea consiste en aprovechar los desechos generados por estos centros médicos y convertirlos en un agregado útil en la mezcla de concreto para la fabricación de bloques utilizados en la mampostería de construcciones. Con ello, se espera obtener un material para las obras civiles de bajo costo y que ayude a mitigar impactos ambientales que son bien conocidos en nuestra industria, por eso la importancia de estos proyectos de investigación para buscar una manera de contribuir con el medio ambiente utilizando residuos que son desechados en rellenos sanitarios.

Dado que los nosocomios (hospitales) son generadores continuos de residuos hospitalarios y representan un porcentaje significativo en materia de desechos peligrosos, se exploran nuevas formas que ayuden a la implementación de estos elementos en el ámbito de la construcción eco-amigable.

Por medio de éste investigación se busca desarrollar una nueva alternativa a la producción de bloques convencional incorporando los residuos hospitalarios-sanitarios esterilizados (material ecoestéril) y aprovechando su participación en la mezcla evitando su acumulación y posterior desecho sin sacar ventaja al aprovechamiento y reciclaje que se les está dando actualmente.

1.6. Alcances y limitaciones

1.6.1. Alcances

Determinar la dosificación apropiada de material ecoestéril como agregado en la producción de bloques en concreto para lograr los parámetros de resistencia y absorción indicados en la normatividad colombiana con el fin de obtener una unidad de mampostería que cumpla funciones no estructurales y tenga acabados estéticos que permitan distintos usos arquitectónicos.

1.6.2. Limitaciones

Algunas limitaciones que se pueden presentar al desarrollar este proyecto pueden ser de tiempo al considerar obligaciones académicas y laborales de los participantes; la falta de apoyo económico que impida obtener los materiales necesarios; la falta de laboratorios que permitan desarrollar los ensayos pertinentes, entre otras.

1.7. Delimitaciones

1.7.1. Delimitación espacial

Con la colaboración de la empresa ASEO URBANO CUCUTA S. A. S. ESP (Actual Veolia Environnement S.A.), se puede obtener el material ecoestéril, debido a que la máquina que procesa, trata y esteriliza los residuos biosanitarios es propiedad de dicha entidad y se encuentra localizada en el parque tecnológico y ambiental Guayabal (ver Figura 1), en el corregimiento de Buena Esperanza, Vereda Patillales, Sector Guayabal aproximadamente a kilómetro 10 de la vía que de Cúcuta conduce a Puerto Santander. Este lugar limita al norte con la vereda El Silencio, al sur con El Salado Patillales, al este con la Quebrada Pozo Azul y al oeste con El Zulia.

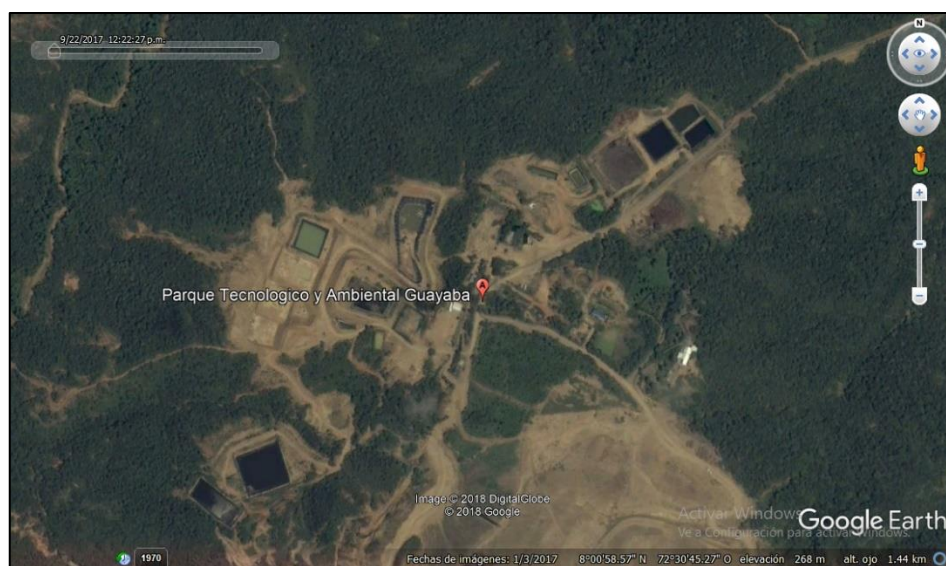


Figura 1. Fotografía satelital del Parque Tecnológico y Ambiental Guayabal. Fuente Google Earth Pro.

Los procedimientos de ensayos de laboratorio se harán con la ayuda de la empresa PRECONCRETOS S.A. que funciona en el municipio de Cúcuta, capital del departamento Norte de Santander, Colombia. Las instalaciones de la empresa limitan al norte con el Viejo Escobal, al sur con el barrio San Martín y Boconó, al este con Ureña, Venezuela y al oeste con la Urbanización San Martín, como se puede ver en la Figura 2.

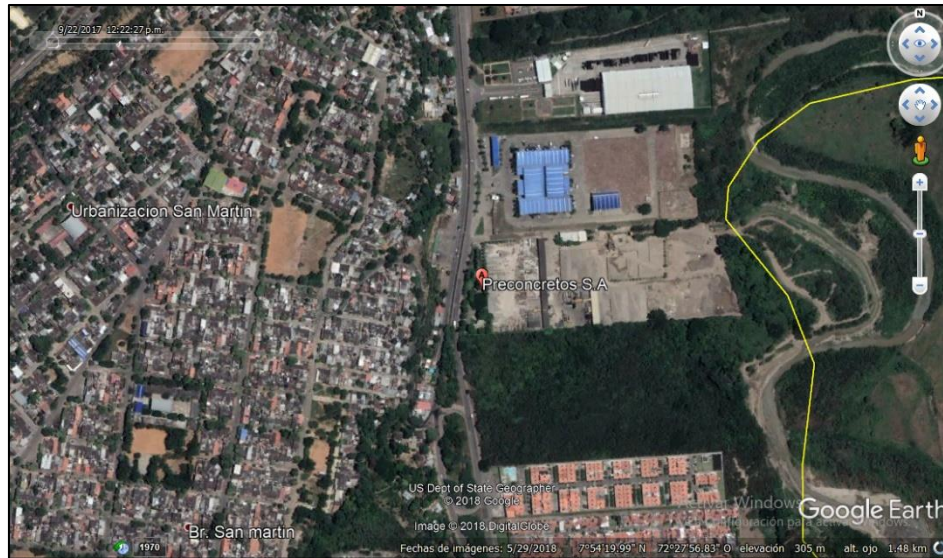


Figura 2. Fotografía satelital de la empresa PRECONCRETOS S.A. Fuente Google Earth Pro.

1.7.2. Delimitación temporal

Segundo semestre del 2019.

1.7.3. Delimitación conceptual

- ❖ Bloques en concreto
- ❖ Dosificación
- ❖ Mampostería
- ❖ Material Ecoestéril
- ❖ Residuos Biosanitarios
- ❖ Residuos Hospitalarios
- ❖ Residuos Peligrosos

2. Marco referencial

2.1. Antecedentes

Al acudir a diferentes bases de datos y otras fuentes de información, se pudo denotar que los estudios sobre residuos hospitalarios en el sector de la construcción son precarios por no decir inexistentes. Sin embargo, tras un minucioso trabajo investigativo se pudo encontrar un número considerable de artículos y similares que contenían datos, conocimientos e información relacionada con residuos en la construcción, cumpliendo con el primer objetivo de esta investigación, el cual compete el diagnóstico de aplicaciones de materiales ecológicos en mezclas de concreto. A continuación, se muestran las investigaciones consultadas:

En Turquía se desarrolló un trabajo cuyo objetivo primordial fue estudiar la influencia de este tipo de residuos en las propiedades del mortero. Al realizar los diferentes ensayos se pudo observar resultados interesantes como que los valores de absorción de agua estuvieron dentro de los límites estándares en el concreto aligerado común. De igual forma, también se obtuvo que usando gránulos de botellas PET desechadas y trituradas en hormigón o en mortero se pueden reducir valores de carga muerta en edificios (Açaözoğlu et al., 2009).

En la Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida-México, se publica un artículo donde se gestionan los esfuerzos por la inclusión de residuos sólidos urbanos, y en un sentido más específico el reciclaje de envases multicapa, de los cuales el más conocido es el denominado “tetrabrik” de la empresa Tetra Pak. A partir de los antecedentes de otras ciudades y países se logró replicar los medios para fabricar un tipo de panel que tenga uso en la construcción similar a los paneles de yeso comunes dando resultados equiparables con los mismos demostrando su beneficio económico, social y ecológico (Domínguez & Guemez, 2011).

En los países de Portugal y la India; se realizó un estudio bajo el objetivo de evaluar los efectos de la forma y tamaño de agregados PET en propiedades del concreto fresco y endurecido, incluyendo resistencia a la abrasión, donde se sustituyeron el 5%, 10% y 15% de volumen de agregado natural por el mismo volumen de agregado de botellas PET trituradas de diferentes formas y tamaños en la mezcla de concreto. Como resultados más sobresalientes se tienen que existe una reducción en la densidad del concreto fresco a medida que aumenta el contenido de agregado PET; también se puede resaltar que los valores de las resistencias a la compresión, tensión y flexión, así como el módulo de elasticidad, son menores a los valores que representa el concreto tradicional (Saika & De Brito, 2013).

Ingenieros de la India realizaron un artículo de revisión donde recopilaron un número importante de investigaciones conducidas al estudio de diferentes variedades de plástico (como *Politereftalato de Etileno* PET; desechos *Polietileno de Alta Densidad* PEAD; plástico granulado residual; fibras trituradas de bolsas plásticas; tubería de *Policloruro de Vinilo* PVC; entre otros similares), y su aplicación en el concreto. Su objetivo fue evaluar características como densidad y manejabilidad, así como también propiedades mecánicas de compresión, flexión conductividad térmica, módulo de elasticidad, entre otras enfocadas en el estudio del concreto reforzado con fibras de plástico. Los resultados más comunes encontrados fue una disminución de la manejabilidad y la densidad del concreto con adición de desechos plásticos en cualquiera de sus formas. Por su parte, al analizar propiedades mecánicas se obtuvieron resultados diversos: Al añadir desechos plásticos en cualquiera de sus formas al concreto, se observa la tendencia de una disminución en la resistencia a la compresión y en el Módulo de Young; La resistencia a la flexión dependerá de las propiedades elásticas de la fibra añadida (Sharma & Bansal, 2015).

En la India se realizó una investigación en la cual se creó una mezcla de concreto que contenía desechos reciclados de papel periódico para la producción de “concreto de papel”. Utilizando papel periódico sumergido durante 4 y 24 horas, se incorporaron a la mezcla de concreto a diferentes relaciones de cemento/papel. El papel periódico fue previamente seccionado en diferentes tamaños, sumergido en agua y luego mezclado en licuadora durante 15 minutos. Posteriormente se añadieron las cantidades respectivas de cemento y agua hasta lograr una pasta que se moldeó en cubos de 70.7 mm x 70.7 mm x 70.7 mm en tres capas. Uno de los resultados más importantes fue el de la capacidad de resistencia a la compresión del concreto de papel, ya que alcanza su valor máximo de 5.4 MPa a una relación cemento/papel de 3.0. Por su parte, frente a concreto normal, el concreto de papel experimenta pérdidas de peso de hasta 50% en los cubos con mayor contenido de papel, y del 25% en aquellos de menor contenido (Balaga & Nanthagopalan, 2016).

En la ciudad de Ramadi, Irak, se desarrolló un proyecto de investigación cuyo objetivo fue el de obtener un concreto autocompactante más dúctil y menos frágil mediante la adición de desechos plásticos provenientes de botellas PET y cortados en forma de fibras. De este modo se mejoraron algunas propiedades de este tipo de concreto, pues la investigación arrojó que al añadir estas fibras se obtiene una mezcla de concreto más estable y consistente, sin embargo, se reducen las propiedades de fluidez. Otro resultado interesante fue que la densidad húmeda de la mezcla generalmente se reduce debido a que el plástico tiene una gravedad específica baja, lo cual indica que se requiere mayor cantidad de agua para mejorar la densidad. Por último, el resultado más sobresaliente de esta investigación muestra que el concreto autocompactante con fibras de desechos plásticos posee una mayor resistencia a la compresión y a la flexión que el concreto convencional (Al-Hadithi & Hilal, 2016).

En Italia se ejecutó una investigación bajo el objetivo de estudiar como es el comportamiento y rendimiento de las propiedades mecánicas de un concreto a temprana edad elaborado con fibras recicladas PET. Entre los resultados de mayor importancia se destaca una reducción en la resistencia a la compresión al adicionar fibras PET en comparación a la mezcla de concreto tradicional. Por otra parte, el comportamiento a la flexión de éste concreto se eleva en relación a la mezcla de control convencional. Otro resultado interesante es que el concreto con fibras PET asentado a condiciones ambientales durante 24 horas tiene la capacidad de restringir la aparición de grietas (Borg, Baldacchino & Ferrara, 2016).

En Omán se realizó un estudio cuyo objetivo fue ensayar y analizar la resistencia a la compresión de unidades de masonería que revestían botellas plásticas de 500 ml bajo los estándares de la norma ASTM C140. En los ensayos se pudo demostrar que la proximidad de resistencia a la compresión y densidad entre cilindros, bloques en concreto con botellas plásticas y bloques huecos en concreto eran aceptables (Safinia & Alkalbani, 2016).

En la universidad de Western Virginia se presentó una investigación que tiene que ver con el potencial de los residuos plásticos como un reemplazo de agregado en las propiedades del concreto normal en el cual se obtuvieron resultados satisfactorios en la optimización de agregados de residuos plásticos para la producción de concreto (Aldahdooh et al., 2016).

En la ciudad de Sulaimani situada en Irak, se publicó un artículo cuyo objetivo fue comparar el comportamiento a la flexión de diferentes vigas hechas en concreto reforzado (usando un concreto que contenía distintos porcentajes de partículas PET recicladas), con las vigas en concreto reforzado convencionales. Entre los resultados más sobresalientes se tienen que la capacidad última de carga de la viga es ligeramente reducida con la adición de residuos PET; la resistencia a la compresión de las vigas decrece al añadir desechos reciclados PET; también se indica que

usando partículas gradadas de residuos PET en lugar de partículas del mismo tamaño, no favorece al control de pérdidas en valores de resistividad compresiva (Mohammed, 2017).

En el estado Minas Geras de Brasil, se elaboró una investigación con el objetivo de estudiar el efecto conjunto entre longitud y porcentaje de fibras PET con las propiedades mecánicas de compresión y tensión del concreto ecológico. Como principal resultado se tiene que al añadir fibras de botellas PET recicladas al concreto se incrementa su capacidad de resistir fuerzas de compresión y tensión; sin embargo, el volumen y longitud de la fibra puede modificar la resistencia del concreto a la tracción. También fue posible denotar que el hormigón ecológico tiene una capacidad de carga mayor en comparación al hormigón convencional (Pereira, Oliveira & Fineza, 2017).

En la Universidad de Anbar, Irak se publicó un artículo donde se diseñaron diferentes mezclas (6 en total) con distintas dosificaciones de residuos plásticos medidos en porcentaje y además se utilizaron 3 residuos de plástico de diferentes tamaños como parámetros para las mezclas de plásticos finos y plásticos gruesos. Se evaluó la viabilidad de la mezcla de hormigón y sus propiedades evidenciadas mediante pruebas como el cono de Abrams y pruebas de resistencia a la compresión a los 28 días de los hormigones autocompactantes; finalmente dando como resultado que los desechos plásticos que se usaron en éste trabajo se pueden usar con éxito como agregado fino en una mezcla de concreto (Hama & Hilal, 2017).

En la Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta-Colombia, se presentó un trabajo de grado el cual se centra en el desarrollo de nuevos métodos de construcción, buscando nuevas tecnologías eco amigables por medio de la inclusión de residuos Biosanitarios tratados para el diseño de una mezcla de concreto no estructural, a la cual se le realizaron los ensayos pertinentes de acuerdo a la normativa obteniendo parámetros que confirman su viabilidad para el uso de éstos

materiales ayudando a la reducción de los elementos convencionales que conforman la mezcla de concreto (Dugarte & Lizarazo, 2018).

2.2.Marco teórico

2.2.1. Bloques en concreto en la construcción

Durante siglos, los materiales básicos de albañilería estuvieron constituidos por “la piedra natural”, con sus variantes de mampostería, sillería, etc., junto con “el ladrillo artificial” con la ventaja de tratarse de una pieza de barro cocido prefabricada, con una modulación precisa para permitir una mayor facilidad de construcción, con la consiguiente economía de la edificación.

De estos materiales, el ladrillo cerámico tuvo su máximo auge a finales del siglo XIX cuando la industrialización desarrolló plenamente sus posibilidades de prefabricación y cocción.

Hasta llegado el siglo XX con la aparición del hormigón armado, no se abrió paso un nuevo material de albañilería, el denominado “bloque de hormigón” capaz de ampliar los campos de aplicación de los materiales de albañilería con un formato de mayores dimensiones, junto con sus múltiples posibilidades constructivas y arquitectónicas, basadas en la combinación con el hormigón armado con que se rellenaba su interior, logrando suplir con ventaja a las estructuras de fábrica cerámica tradicional, y ligándose más directamente con el tradicional lenguaje de la mampostería de piedra natural, con mucho menor coste. (NORMABLOC, 2007).

Para 1855 se registraba la primera patente sobre bloques de concreto en Estados Unidos y ya en 1900 Sears ofrecía a la venta equipos patentados que fabricaban bloques texturizados y de menor costo que los bloques de roca natural usados entonces para fachadas. En 1909, inversiones Samper inició la producción del primer cemento fabricado en Colombia, y en los años siguientes aparecieron las primeras fábricas que desarrollaron prefabricados. (Asocreto, s.f.).

Para la elaboración y posterior uso de las unidades de mampostería se precisa seguir en obligatoriedad con la ley las siguientes normas: *NTC 4024, Muestreo y ensayo de prefabricados de concreto no reforzados, vibrocompactados*. En esta norma se determinan diferentes parámetros para el muestreo y ensayos que se deben tener en cuenta a lo largo de la investigación, tales como refrentado, humedad y secado de los especímenes. La *NTC 4076, Unidades de concreto para mampostería no estructural interior y chapas de concreto* será la base de los lineamientos para poder desarrollar las diferentes unidades de mampostería expuestas en este documento, donde se tendrá su clasificación según el peso (densidad), las resistencias mínimas de compresión y el porcentaje de absorción de agua que deberán cumplir los nuevos bloques para que puedan ofrecerse en usos no estructurales. A continuación, se muestran los parámetros descritos anteriormente en las tablas 1 y 2:

Tabla 1.

Valores de resistencia a la compresión a los 28 días de acuerdo con la NTC 4076

Resistencia a la compresión a los 28 d (R_{c28})^A, evaluada sobre el área neta promedio	
Mínimo, MPa	
Promedio de 3 unidades	Individual
6,0	5,0

Fuente. La información de la tabla se extrajo directamente del documento reglamentario NTC 4076.

Tabla 2 .

Valores de absorción de agua según la densidad del concreto de acuerdo con la NTC 4076

Absorción de agua, % según el peso (densidad) del concreto secado en horno, para las chapas			
kg/m³			
Promedio de 3 unidades, máximo, %			
	Peso liviano, menos de 1680 kg/m³	Peso mediano de 1680 kg/m³ hasta menos de 2000 kg/m³	Peso normal, 2000 kg/m³ o más
Unidades	18 %	15 %	12 %
Chapas	15 %	12 %	9 %

Fuente. La información de la tabla se extrajo directamente del documento reglamentario NTC 4076.

2.2.2. Residuos hospitalarios en Colombia

Debido a la dinámica exponencial de crecimiento poblacional que se experimentan en las sociedades actualmente, la demanda de servicios de salud también crece desmesuradamente. Esta actividad que obedece a necesidades primordiales de seguridad del ser humano genera a su vez una cantidad considerable de desechos, los cuales deben tener una disposición especial.

Entonces el Congreso de Colombia (2000) afirma: “los residuos hospitalarios y similares son todas aquellas sustancias materiales o subproductos sólidos, líquidos o gaseosos, generados por una tarea productiva resultante de la actividad ejercida por el generador” (Decreto 2676 de 2000); entendiéndose por generador a nosocomios, clínicas, consultorios médicos u odontológicos, laboratorios clínicos, clínicas veterinarias, entre otros (dicho decreto se presenta en la sección Anexos como Anexo I). Estos desechos pueden o no representar algún riesgo para la comunidad en general y para el medio ambiente debido a que de la totalidad de residuos generados en el sector

salud, según la Resolución 1164 del 2002, el 40% aproximadamente presenta características infecciosas (Ministerios de salud y del medio ambiente, 2002). Sin embargo, el 60% restante puede llegar a contaminar si el manejo de éstos es inadecuado.

Los residuos hospitalarios en general hacen parte del conjunto denominado residuos peligrosos. Según el Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC) los residuos peligrosos son aquellos que representan un riesgo para el ambiente y para la salud.

Hoy en día, con el desarrollo tecnológico y el aumento de la demografía, son diversas las fuentes generadoras de RESPEL (Residuos Peligrosos), cuyas actividades crecen de forma desproporcionada y dispersa. Entre algunas de ellas, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de la República de Colombia (2007) ha identificado los siguientes generadores principales de RESPEL:

- ❖ RESPEL generado por actividades productivas: Sector industrial, minero-energético, agroindustrial, de infraestructura, etc. (2007a)
- ❖ RESPEL generado por actividades del sector servicios: Salud, transporte, educación, laboratorios, ciencia e investigación, etc. (2007b)
- ❖ RESPEL generado por el consumo masivo de productos con características peligrosas: Baterías, envases de plaguicidas, desechos electrónicos, solventes, etc. (2007c)
- ❖ RESPEL generado por actividades domésticas: Cosméticos, productos de aseo para el hogar, productos automotrices, etc. (2007d)

Una disposición inapropiada de estos residuos podría agravar dinámicas contaminantes en los ecosistemas y peligros tangibles en la salud de los individuos.

El SIAC también describe que algunos de los principales problemas que arraigan los residuos peligrosos se encuentran coligados a la presencia de impureza de los materiales, la baja tecnología de proceso, deficiencias en prácticas operacionales o simplemente las características de los productos y sustancias al final de su vida útil, entre otros factores.

Otra definición de residuos peligrosos a considerar es la proporcionada por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2005), el cual afirma:

Un residuo o desecho peligroso es aquel residuo o desecho que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables, infecciosas o radiactivas puede causar riesgo o daño para la salud humana y el ambiente. Así mismo, se considera residuo o desecho peligroso los envases, empaques y embalajes que hayan estado en contacto con ellos. (Decreto 4741 de 2005).

Uno de los principales generadores de residuos peligrosos es el sector servicios, dentro del cual se ubican los residuos producidos en el área de la salud, los cuales tendrán un enfoque especial para la investigación propuesta en este escrito.

Los residuos hospitalarios, como se mencionó anteriormente, representan un potencial peligro para las personas involucradas en el sector de la salud, así como para pacientes, visitantes y el personal encargado de recolección y tratamiento de estos desechos. Este tipo de residuos peligrosos contiene agentes patógenos, residuos de sangre y/o materiales infecciosos que pueden transmitir enfermedades o incluso provocar la muerte de los individuos que tengan algún contacto directo o indirecto con ellos.

Debido a lo anterior, es importante que dentro de una nación existan entidades ambientales que en permanente ejercicio divulguen y sensibilicen a los miembros del sector salud sobre los riesgos de este tipo de residuos, así como también es necesario que existan autoridades sanitarias que

supervisen regulen y administren la recolección, tratamiento y disposición de residuos hospitalarios y similares, cuyo manejo inadecuado puede resultar en epidemias mortales.

El gobierno colombiano, por medio de los Ministerios de Salud y del Medio Ambiente, estableció la Resolución 1164 de 2002 en la cual se presenta el MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS HOSPITALARIOS Y SIMILARES EN COLOMBIA (MPGIRH), el cual establece procedimientos, procesos, actividades y estándares de microorganismos, que deben adoptarse y realizarse en la gestión interna y externa de los residuos provenientes del generador.

Los residuos hospitalarios se pueden clasificar como residuos No Peligrosos y residuos Peligrosos. Los primeros según los Ministerios de salud y del medio ambiente (2002) son aquellos que se generan en cualquier actividad y no suponen un peligro para la salud ni para el medio ambiente. Los segundos se definen de la siguiente manera:

Son aquellos que presentan características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables, infecciosas o radiactivas puede causar riesgo o daño para la salud humana y el ambiente, así como también peligroso los envases, empaques y embalajes que hayan estado en contacto con ellos (Ministerios de salud y del medio ambiente, 2002).

Del mismo modo, los residuos no peligrosos se pueden clasificar de la forma en que se muestra en la Tabla 3:

Tabla 3.

Clasificación de residuos hospitalarios no peligrosos

Tipo de Residuos	Descripción	Ejemplos
Biodegradables	Son desechos químicos o naturales que se descomponen fácilmente en el ambiente	Alimentos infectados, papel higiénico, jabones, madera, entre otros
Reciclables	Son desechos que no se descomponen con facilidad y pueden ser reutilizados como materia prima	Algunos papeles y plásticos, chatarra, vidrio, entre otros
Inertes	Son desechos que no se descomponen con facilidad pues su degradación conlleva largos períodos de tiempo y tampoco pueden ser utilizados nuevamente	Icopor, algunos plásticos y papeles, entre otros
Ordinarios o comunes	Son desechos generados en actividades comunes de oficina, cafeterías, salas de espera, auditorios y demás sitios similares	-

Fuente. Información extraída de la Resolución 1164 de 2002 — Manual de Procedimientos para la Gestión Integral de Residuos Hospitalarios y Similares en Colombia (MPGIRH).

A su vez, los Ministerios de Salud y del Medio Ambiente, en el Manual de Procedimientos para la Gestión Integral de Residuos Hospitalarios y Similares (2002), también clasifican los Residuos Hospitalarios Peligrosos en:

- ❖ Infecciosos o de riesgo Biológico: Son aquellos que presentan microorganismos patógenos que puedan producir una enfermedad infecciosa (2002a). Se dividen en:
 - ❖ Biosanitarios: Son aquellos elementos utilizados durante la ejecución de los procedimientos asistenciales que tienen contacto con materia orgánica, sangre o fluidos corporales del paciente humano o animal. Por ejemplo: gasas, apósitos, aplicadores, algodones, drenes, vendajes, mechas, guantes, bolsas para transfusiones sanguíneas, catéteres, sondas, material de laboratorio, entre otros (2002b).
 - ❖ Anatomopatológicos: Son residuos originarios de restos humanos como muestras para análisis donde se incluyen biopsias, tejidos orgánicos amputados, fluidos corporales, partes del cuerpo removidas, entre otros (2002c).
 - ❖ Cortopunzantes: como limas, cuchillas, agujas, pipetas, entre otros objetos de similares características que puedan ocasionar accidentes percutáneos (2002d).
 - ❖ Animales: Proviene de animales de experimentación o de animales infectados con alguna enfermedad infecciosa (2002e).
- ❖ Químicos: Son residuos de sustancias químicas y de cualquier material que haya tenido contacto con ellas (2002f). Se dividen en:
 - ❖ Fármacos parcialmente consumidos, vencidos y/o deteriorados.
 - ❖ Residuos de Citotóxicos: Son desechos de fármacos utilizados en tratamientos oncológicos y elementos usados en su aplicación (2002g).
 - ❖ Metales Pesados: como Mercurio, Níquel, Bario, Estaño y Zinc.
 - ❖ Reactivos: Son aquellos que por sí solos y en condiciones normales, al mezclarse o al entrar en contacto con otros elementos, compuestos, sustancias o residuos, generan gases, vapores,

humos tóxicos, explosión o reaccionan térmicamente colocando en riesgo la salud humana o el medio ambiente (2002h).

- ❖ Contenedores Presurizados: Son empaques presurizados de gases anestésicos, medicamentos y otros con la misma presentación (2002i).
- ❖ Aceites Usados: Como lubricantes, grasas, aceites de equipos y otros (2002j).
- ❖ Radioactivos: Son sustancias emisoras de energía predecible y continua en forma alfa, beta o de fotones, cuya interacción con materia puede dar lugar a rayos x y neutrones (2002k).

En Colombia, es estricta la normatividad que rige la disposición y tratamiento de residuos peligrosos y son varias las empresas que cuentan con el equipo y los instrumentos requeridos para un adecuado proceso de esterilización de los desechos descritos anteriormente. Las empresas dedicadas al manejo de residuos hospitalarios se rigen por un riguroso control descrito en la Resolución 1164 de 2002, donde se expone un Plan de Gestión Integral de Residuos Hospitalarios y Similares – PGIRH con atención al detalle, y dirigido tanto a las instituciones generadoras como a las entidades encargadas de prestar servicios de aseo. Sin embargo, aun después de los procesos de tratamiento y esterilización al que son sometidos los residuos hospitalarios, no se cuenta con un plan destinado a la vida de estos desechos y, por el contrario, se acumulan hasta tener disposición final en rellenos sanitarios.

En Cúcuta, la empresa ASEO URBANO S. A. S. ESP del GRUPO SALA (Actual Veolia Environnement S.A.), cuenta con una sofisticada máquina de esterilización de residuos Biosanitarios llamada ECOSTERYL 250 y gracias a ella se puede obtener un material que en la actualidad solo es llevado a vertederos de basura donde empieza su ciclo de degradación. En un estudio anterior se demostró que este material puede ser utilizado en la elaboración de hormigón no estructural y presenta beneficios descritos anteriormente.

Esta investigación intenta direccionar los residuos biosanitarios tratados (a los que hemos denominado con el nombre de material ecoestéril), como un posible agregado en la mezcla de concreto para la elaboración de bloques con uso no estructural y arquitectónico.

2.2.3. Tratamiento de residuos biosanitarios y cortopunzantes por medio de la máquina ECOSTERYL 250 según certificación de la ANLA

La empresa ASEO URBANO S. A. S. ESP (Actual Veolia Environnement S.A.), cuenta con una máquina especializada en el tratado de residuos biosanitarios y cortopunzantes llamada ECOSTERYL 250 de marca AMB Ecosteryl (Ver figura 3). Su función es tratar y esterilizar residuos hospitalarios biosanitarios y cortopunzantes para convertirlos en residuos ordinarios libres de riesgos para la salud a los cuales se les dará disposición final en vertederos de basura.

La máquina ECOSTERYL 250 funciona como un sistema térmico de alta eficiencia compuesto de un “pesaje electrónico, sistema de manipulación, tolva de carga, triturador 4 ejes de 37 KW, contenedores de microondas, generadores de microondas, tolva conservación de temperatura, tomillo de salida, sistema de tratamiento de aire, sistema de automatización, dispositivo de presión hidráulica” (ANLA, 2016). Cuenta también con una capacidad de 300 kg/h, un sistema que funciona únicamente con electricidad, por lo que no genera emisiones y la garantía esterilizar un 99.99% de los residuos incorporados.

La máquina ocupa un área que oscila entre 40 m² y 90 m² y puede tratar un aproximado de 6 toneladas diarias.



Figura 3. Fotografía de la máquina ECOSTERYL 250. Fuente TECNIAMSA SA ESP.

El proceso que conlleva la esterilización de residuos biosanitarios por la máquina ECOESTERIL 250 consta de 4 etapas que son:

❖ **Carga y Pesajes automáticos**

Un contenedor de 240 a 770 litros es instalado en el sistema de manipulación, el cual lo eleva después de realizado el pesaje para verter el contenido en la tolva de carga. Este elemento se abre automáticamente con la ayuda de un cilindro hidráulico, en el momento que llega el contenedor.

La tolva de carga está equipada con un extractor de aire que crea una depresión al abrirse, lo cual no permite la intrusión del polvo contaminado al aire circundante. El flujo de aire se lava, desinfecta, desodoriza y se filtra por medio de un tratamiento con carbón activado.

❖ **Trituración**

Al cerrarse la tolva de carga, un brazo hidráulico ejerce presión gradual sobre el material residual, activando la trituradora, que es de 4 ejes y cuenta con un dispositivo antibloqueo. Los residuos son triturados hasta obtener un tamaño homogéneo inferior a los 20 mm.

Posteriormente, los residuos triturados son llevados a una tolva antes de pasar al tornillo de procesamiento.

❖ **Proceso continuo de Microondas**

El tornillo de procesamiento tiene forma espiralizada y su función es llevar los residuos biosanitarios triturados hacia el túnel de microondas, donde se calentarán hasta alcanzar una temperatura de 100 °C. Dicho túnel se compone de una viga en cajón de 12kW.

❖ **Tratamiento final y salida**

Por último, los residuos ingresan a una tolva de aislamiento térmico que mantendrá la temperatura con la que vienen del proceso anterior. Para garantizar su desinfección y esterilización, los desechos homogeneizados permanecen en esta tolva durante una hora.

Para finalizar con el tratamiento, los residuos salen del equipo gracias a un tornillo externo espiral y se depositan en un contenedor. En este momento se puede observar que el material producido es completamente diferente a los desechos que ingresaron, ya que presenta una reducción del 80% en volumen y del 10% en peso.

La máquina ECOESTERIL 250 se encuentra ubicada en el Parque Tecnológico y Ambiental Guayabal, en el corregimiento de Buena Esperanza, Vereda Patillales, Sector Guayabal aproximadamente a kilómetro 10 de la vía que de Cúcuta conduce a Puerto Santander. Es

importante resaltar que, por medio de esta técnica, ASEO URBANO S. A. S. ESP reportó en su informe de gestión para San José de Cúcuta un total de 838.732 Kg de residuos biosanitarios y cortopunzantes para el año 2017.

2.3. Marco conceptual

❖ Bloques en Concreto

Los bloques de concreto son pequeñas unidades que hacen parte de un sistema de construcción de elementos estructurales y no estructurales llamado mampostería, permitiendo la edificación de distintos recintos de acuerdo con un proceso determinado.

(Alejandro Navas Carro, 2007)

❖ Dosificación

La dosificación se entiende como la medida determinada de cierta cantidad, en porcentaje, de una porción de material que se va a agregar o quitar para una mezcla.

❖ Mampostería

Se puede definir como la construcción hecha con mampuestos desiguales y colocados sin formar hileras regulares.

(Diccionario de la lengua española plus, 2019)

❖ Material Ecoestéril

Plástico generado por residuos hospitalarios-sanitarios que son esterilizados con la máquina ECOSTERYL-250 C.

(Dugarte, Buitrago, 2018)

❖ **Residuos Biosanitarios**

“Son los elementos que estuvieron en contacto con materia orgánica, sangre o fluidos corporales del paciente, entre estos elementos se pueden mencionar: gasas, apósitos, vendajes, drenes, guantes, sondas, toallas higiénicas o cualquier otro elemento desechable que haya tenido contacto con el paciente.”

(Departamento Administrativo Distrital de Salud de Cartagena (DADIS), s.f.)

❖ **Residuos Hospitalarios**

“Los residuos sólidos hospitalarios son aquellas sustancias, materiales, subproductos sólidos, líquidos, gaseosos, que son el resultado de una actividad ejercida por el generador; que se define como la persona natural o jurídica que produce residuos hospitalarios relacionados con la prestación de servicios de salud por lo cual se implementa la gestión integral que abarca el manejo, la cobertura y planeación de todas las actividades relacionadas con los residuos hospitalarios desde su generación hasta su disposición final”

(Departamento Administrativo Distrital de Salud de Cartagena (DADIS), s.f.)

❖ **Residuos Peligrosos**

“El Decreto 4741 de 2005, unificado en el año 2015 en el Título 6 del Decreto 1076, define a los residuos peligrosos como aquellos residuos o desechos que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables, infecciosas o radiactivas pueden causar riesgos, daños o efectos no deseados, directos o indirectos, a la salud humana y el ambiente. Así mismo, se

considera residuo peligroso a los empaques, envases y embalajes que estuvieron en contacto con ellos”

(Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC), s.f.)

2.4. Marco Contextual

El Parque Tecnológico y Ambiental Guayabal es el sitio donde se ubica el relleno sanitario de más de 20 municipios en Norte de Santander donde se incluyen Cúcuta, Los Patios, Villa del Rosario y Puerto Santander. Actualmente es también un Centro Tecnológico que opera bajo altos estándares de calidad y tiene una vida útil de 80 años. Está ubicado en el corregimiento de Buena Esperanza, Vereda Patillales, Sector Guayabal aproximadamente a kilómetro 10 de la vía que de Cúcuta conduce a Puerto Santander. Este lugar limita al norte con la vereda El Silencio, al sur con El Salado Patillales, al este con la Quebrada Pozo Azul y al oeste con El Zulia.

PRECONCRETOS S.A. es una empresa especializada en la producción de elementos prefabricados en concreto y de agregados pétreos. Se encuentra localizada en el km vía Boconó de la ciudad de Cúcuta, Norte de Santander. Sus instalaciones limitan al norte con el Viejo Escobal, al sur con el barrio San Martín y Boconó, al este con Ureña, Venezuela y al oeste con la Urbanización San Martín.

La Universidad Francisco de Paula Santander es una institución pública de educación superior cuyo objetivo es la formación integral de profesionales en diferentes áreas de conocimiento. Su sede en la ciudad de Cúcuta, Norte de Santander se encuentra en la Avenida Gran Colombia #12E-96 barrio Colsag. Limita al norte con la Urbanización PRADOS CLUB y con el colegio INEM; al sur limita con la Avenida Gran Colombia de cara al barrio Colsag; al este limita con la Clínica MEDICAL DUARTE; al oeste limita con el barrio quinta Bosch.

2.5. Marco Legal

Constitución Política de Colombia 1991, Capítulo 3 “De los Derechos Colectivos y Del Ambiente”; donde se estipulan garantías, deberes y derechos del Estado colombiano respecto a la protección del medio ambiente, enfatizando el artículo 79 del mismo documento, en el cual se resalta el derecho de las personas a gozar de un ambiente sano y a participar en la toma de decisiones que puedan afectarlo.

(Gobierno de Colombia, 1991)

Certificación 0954 del 01 de septiembre del 2016, por el cual se certifica que es acreditable el equipo objeto de la solicitud de exclusión del impuesto sobre las ventas IVA presentada por la ASEO URBANO S.A.S. E.S.P., y se toman otras determinaciones; en este documento se otorgan especificaciones, cálculos del IVA, localización, descripción general y del funcionamiento de la maquina ECOESTERYL 250, propiedad de la empresa ASEO URBANO S. A. S. E. S. P. A su vez, se estipulan beneficios posibles que trae consigo el uso del equipo anteriormente mencionado para el tratamiento de residuos biosanitarios.

(Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA, Colombia, 2016).

Decreto 1600 de 1994, por el cual se reglamenta parcialmente el Sistema Nacional Ambiental y se le otorga dirección y coordinación del mismo al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).

(Ministerio del Medio Ambiente, Colombia, 1994)

Decreto 4741 de 2005, por el cual se establece la reglamentación para la gestión integral de residuos peligrosos, lo que incluye manejo y prevención de dichos residuos, en busca proteger la salud humana y conservar el ambiente.

(Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Colombia, 2005)

Resolución 0043 de 2007, por el cual el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) dispone estándares generales para el acopio de datos, procesamiento, transmisión y difusión de información para el Registro de Generados de Residuos o Desechos Peligrosos.

(Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2007)

Decreto 2240 de 1996, por el cual se reglamentan las condiciones sanitarias que las instituciones prestadoras de salud deben cumplir.

(Ministerio de Salud, Colombia, 1996)

Decreto 2676 de 2000, en el cual se dictan normas ambientales y sanitarias que buscan la gestión integral de residuos hospitalarios y similares que son producidos por generadores de carácter natural o jurídico.

(Ministerios del Medio Ambiente y de la Salud, Colombia, 2000)

Resolución 1164 de 2002, por el cual los Ministerios de Salud y del Medio Ambiente de la Republica de Colombia crean el MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS HOSPITALARIOS Y SIMILARES EN COLOMBIA MPGIRH. El objetivo de este documento es establecer los procedimientos, procesos y actividades para la gestión integral de residuos hospitalarios y similares.

(Ministerios del Medio Ambiente y de la Salud, Colombia, 2002)

NTC 4024 de 2001, por la cual el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación dictamina los parámetros de muestreo y ensayo de prefabricados en concreto no reforzados,

vibrocompactados, de donde se extraen lineamientos para ensayos de humedad y resistencia a la compresión.

(ICONTEC, Colombia, 2001)

NTC 4076 de 1997, por la cual el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación normaliza los parámetros de calidad de las unidades de concreto para mampostería no estructural.

(ICONTEC, Colombia, 1997)

Según las Normas de producción y calidad, todas las unidades de mampostería utilizadas en el diseño y la construcción de estructuras de mampostería en concreto deben cumplir con las siguientes normas: **(a)**. *Las unidades (bloques) de perforación vertical portante de concreto para mampostería deben cumplir con la norma NTC 4026 (ASTM C90)*. **(b)**. *Las unidades portantes de concreto macizo (tolete) para mampostería, deben cumplir con la norma NTC 4026 (ASTM C55)*. **(c)**. *Las unidades de concreto para mampostería no estructural, deben cumplir con la norma NTC 4076 (ASTM C129)*.

(Cap. D.3.6.2 Normas de producción y calidad– Unidades de mampostería, NSR10)

3. Diseño metodológico

3.1. Tipo de investigación

3.1.1. Nivel de investigación

El nivel de investigación desarrollado es el de una Investigación Explicativa, pues se busca determinar los efectos que puedan presentarse al agregar material ecoestéril en bloques de concreto para funciones arquitectónicas.

3.1.2. Diseño de investigación

El diseño de investigación empleado es el de una Investigación Experimental debido a que los bloques fabricados con material ecoestéril se someterán a diferentes pruebas de laboratorio para observar efectos que permitan analizar un futuro uso arquitectónico.

3.1.3. Propósito de investigación

La investigación llevada a cabo es aplicada, ya que se sustenta su desarrollo en prácticas y conceptos ingenieriles con el propósito de elaborar una unidad de mampostería en concreto que cumpla los parámetros de resistencia a la compresión y absorción de agua dictaminados por la normativa colombiana. Para esto se debe tener conocimiento de diseño de mezclas, caracterización de los elementos que conforman un bloque, la necesidad de reciclar en el sector constructivo, y demás conceptos que aporten a la evolución de la investigación.

3.2. Población y Muestra

3.2.1. Población

De acuerdo con el número de muestras se definirá la cantidad de bloques fabricados con material ecoestéril que conformarán la población del estudio. Debido a que la maquina empleada por PRECONCRETOS S.A. fabrica un mínimo de 60 bloques por bachada, y a que se

implementarán 4 formas de dosificar el ecoestéril, entonces se tendrán 240 bloques en total para la investigación.

3.2.2. Muestra

La muestra que se extraerá de la población será determinada según lo indica la NTC 4076, donde se requieren 3 especímenes para ensayar la resistencia a la compresión, y otros 3 especímenes para realizar la prueba de absorción de agua.

Entonces, para cada dosificación se requieren 6 bloques en concreto con material ecoestéril, donde 3 son para someterlos a ensayo de resistencia a la compresión y 3 para absorción. Debido a que se tienen 4 dosificaciones diferentes, la muestra para la investigación la conformaran 24 bloques elaborados con material ecoestéril, es decir, el 10% de la población.

3.3. Instrumentos para la recolección de información

Para la recopilación de información técnica que es implementada en la fabricación de mampuestos de uso no estructural, se recurrió a la asesoría de una empresa especializada en prefabricados de concreto como lo es PRECONCRETOS S.A.

Por su parte, para la ejecución de los ensayos de laboratorio pertinentes para las unidades de mampostería elaboradas se utilizó la información proporcionada por la NTC 4024: Muestreo y Ensayo de Prefabricados de Concreto No Reforzados, Vibrocompactados; y la NTC 4076: Unidades de Concreto, para Mampostería No Estructural Interior y Chapas de Concreto.

Sin embargo, en ambas etapas de fabricación y ensayos de laboratorio se determinó la implementación de las bases de datos proporcionadas por la UFPS para recolectar diferentes

investigaciones similares que contribuyan a la elaboración de los bloques y de sus respectivos laboratorios.

Debido a que se utilizará la técnica de observación sistemática para la recolección de información, el instrumento para documentar estos datos es una Guía de Observación en la que anotarán los detalles y resultados de los laboratorios de resistencia a la compresión y absorción de agua.

3.4. Técnicas de análisis y procesamiento de datos

Una vez se tengan los resultados de los ensayos realizados a los bloques, la información recolectada será procesada a través de tablas en Excel que permitirán crear gráficos y diagramas de barras con los valores obtenidos de resistencia a la compresión y porcentaje de absorción de agua, cada ensayo en un diagrama diferente. Del mismo modo, se utilizará el valor normalizado en la NTC 4076 para relacionar y permitir visualizar gráficamente nuestros resultados con lo requerido por la ley colombiana.

4. Fases y actividades específicas del proyecto

4.1. Obtención del material ecoestéril

En la ciudad de Cúcuta la empresa que se encarga de la recolección de los residuos hospitalarios producidos por organismos generadores de los mismos (hospitales, clínicas, laboratorios clínicos, entre otros), es ASEO URBANO S. A. S. ESP del GRUPO SALA (Actual Veolia Environnement S.A.). Esta entidad, luego de obtener dichos recursos procede con la separación de los mismos y los cataloga según sean residuos incinerables, residuos no triturables y/o incinerables, y residuos biosanitarios. Cada uno de ellos tendrá una disposición y tratamiento final antes de ser transportados a los rellenos sanitarios.

En el desarrollo de esta investigación solo se tendrán en cuenta los residuos hospitalarios biosanitarios y cortopunzantes. Este tipo de desechos son almacenados en tanques especiales para luego trasportarse hasta el sitio donde experimentaran procesos de esterilización y disposición final. La empresa ASEO URBANO S. A. S. ESP (Actual Veolia Environnement S.A.), cuenta con la maquina ECOSTERYL 250 C localizada en el Parque Tecnológico y Ambiental Guayaba en Norte de Santander.

Cada que las instituciones prestadoras de salud lo requieran, entran en contacto con la empresa de aseo de la ciudad, la cual recolecta los residuos y los transporta al lugar previamente mencionados, donde sufren el proceso de tratamiento y esterilización descrito en el ítem 2.2.3. de este documento. Básicamente los residuos biosanitarios ingresan en la maquina donde primero sufren un proceso de trituración; posteriormente serán calentados por acción de microondas para eliminar microorganismos patógenos que representan algún peligro de infección, y por último permanecen a la temperatura del proceso anterior hasta asegurar la destrucción de los agentes riesgosos y obtener, de esta forma, el material ecoestéril.

La empresa ASEO URBANO S. A. S. ESP (Actual Veolia Environnement S.A.) proporcionó dos sacos en los cuales se contenía el material ecoestéril a implementar en la mezcla de concreto. En la Figura 4 se muestra como es el resultado final de la esterilización de residuos biosanitarios.



Figura 4. Fotografía de material ecoestéril suministrado por ASEO URBANO S. A. S. ESP (Actual Veolia Environnement S.A.). Fuente Autores.

4.2. Elaboración de los bloques en concreto con material ecoestéril

En esta fase se utilizó el material ecoestéril como un agregado en la mezcla de concreto para fabricar bloques. Con el apoyo de la empresa PRECONCRETOS S. A. se elaboraron los bloques con el molde MURO-CEL 19 LISO (M-19L), el cual es una unidad de dos volúmenes vacíos (orificios) con las siguientes dimensiones: 19 cm de alto, 19 cm de ancho, 39 cm de largo, con espesor de pared de 30 mm. Cada uno de los dos orificios del bloque miden 12,5 cm de ancho, 15 cm de largo, 19 cm de alto. Las medidas del bloque fabricado se aprecian en la figura 5.

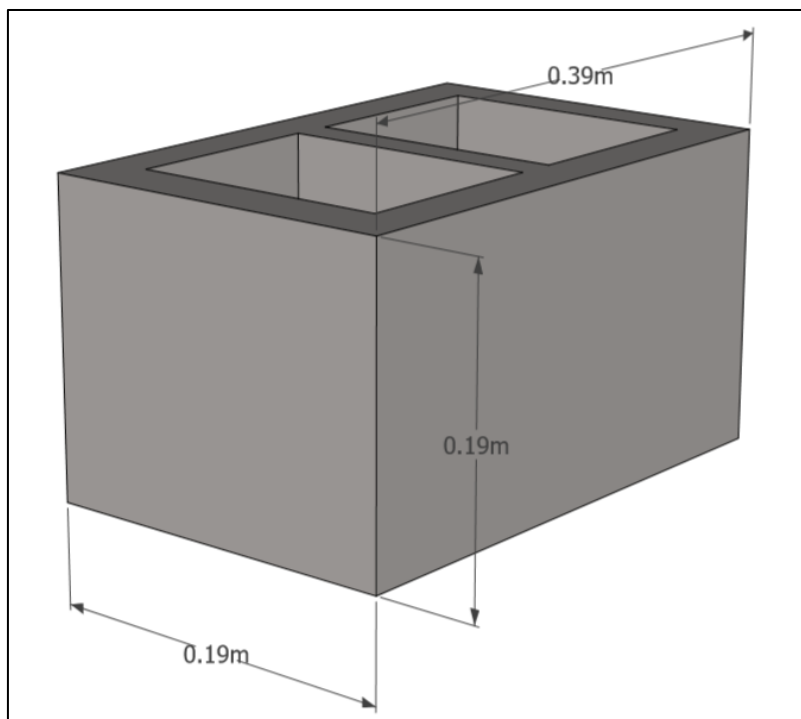


Figura 5. Medidas del bloque M-19L. Fuente autores.

A continuación, en la Tabla 4, se muestran los rangos de valores correspondientes a la proporción del diseño de la mezcla de concreto empleado por PRECONCRETOS S.A. en la fabricación de sus unidades de bloques M-19L.

Tabla 4 .

Componentes principales de la mezcla para 1m³ concreto para bloques convencionales M-19L.

Componente	Cantidad	Unidad	Volumen (m ³)	Proporción en la mezcla (%)
Cemento industrial	70.0	Kg	0.022	2.2
Agua	34.0	L	0.034	3.4
Arena	0.713	m ³	0.713	71.3

Triturado 3/8	0.230	m ³	0.230	23.0
Aditivos desmoldante	0.90	Kg	0.001	0.1
Total			1.000	100

Nota. Los datos registrados en la tabla anterior corresponden al diseño de mezcla de concreto normalmente utilizada por PRECONCRETOS S.A. para fabricar sus bloques M-19L, cuyos valores corresponden a aproximados ya que la composición del diseño de mezcla corresponde a un secreto empresarial.

La unidad de mampostería divisoria Muro-Cel 19 Liso (M-19L) es un bloque de uso no estructural que corresponde a la mampostería perforada, de acabado plano y cuyo peso por unidad es de 16.1 kilogramos. Su densidad es de 2178 kg/m³ y su resistencia a la compresión es de 6.0 MPa, por lo cual se clasifica, según la NTC 4076, como una unidad de peso normal (densidad de 2000 kg/m³ o más) y de resistencia alta (6.0 MPa). La ficha técnica de los bloques M-19L se presenta en la sección Anexos como Anexo II.

La fabricación de estas unidades de bloque (M-19L) con material ecoestéril, que representan el grupo de estudio de esta investigación, se realizó gracias a la maquinaria y los equipos que la empresa PRECONCRETOS S. A. tiene en sus instalaciones señaladas en la delimitación espacial del presente trabajo el día 8 de octubre del 2018.

Se fabricaron 4 tipos de bloques siguiendo las hipótesis de investigación, siguiendo las recomendaciones de la gerente de producción de la empresa PRECONCRETOS S. A.

Para elaborar cada muestra se tuvo en cuenta el porcentaje en masa de Cemento industrial en la mezcla convencional para ese tipo de bloque y del material ecoestéril como agregado, realizando 1 bachada de 60 unidades para cada dosificación. Este número de bloques está establecido como mínimo por la empresa PRECONCRETOS S.A. para la fabricación de sus elementos y no puede

disminuirse debido a que son especificaciones técnicas de la máquina que elabora las unidades de mampostería.

Es importante aclarar que el material ecoestéril se añadió sin someterse antes a un proceso de tamizado, de forma manual con un operario que agregaba a la maquina el triturado de los residuos biosanitarios esterilizados.

Cada muestra elaborada tuvo el mismo proceso de fabricación el cual fue el siguiente: Se dispuso de los materiales empleados para realizar la mezcla de concreto (Cemento industrial, Agua, Agregados pétreos) en una maquina especializada en las instalaciones de la empresa PRECONCRETOS S.A. Manualmente se añadió el material ecoestéril según la dosificación especificada para cada muestra, resultando en los bloques observados en la Figura 6.



Figura 6. Bloques elaborados con material ecoestéril.

Se debe aclarar que durante el proceso de fabricación de los bloques no fue posible obtener un registro fotográfico debido a que este proceso de manufactura es parte de un secreto empresarial y, por lo tanto, no se permiten fotografías de este.

Los materiales empleados por la empresa PRECONCRETOS S.A. en la fabricación de bloques con material ecoestéril como agregado se encuentran caracterizados de la siguiente forma, cumpliendo con el segundo objetivo de este trabajo investigativo:

4.2.1. Cemento industrial

El cemento es el material aglutinante que, al entrar en contacto con el agua, activa una serie de reacciones químicas que permiten desarrollar sus propiedades físicas y mecánicas. Para la fabricación de este tipo de mampuestos se utiliza cemento industrial proporcionado por la empresa ARGOS. Este tipo de cemento presenta el análisis químico enunciado en la Tabla 5.

Tabla 5.
Análisis químico del cemento según la NTC 184.

Componente químico	Resultado (%)	Límites (%)	Aprueba
Óxido de Magnesio (MgO)	2.31	Máx. 6.0	SI
Trióxido de Azufre (SO ₃)	2.47	Máx. 3.5	SI
C3A	5.60	Máx. 15.0	SI

Nota. Los datos registrados en la tabla anterior son el resultado de ensayos de análisis químico sobre el cemento industrial de acuerdo con la norma NTC 184: Métodos de análisis químico a cementos hidráulicos. Fuente ARGOS.

El cemento industrial utilizado presenta un tiempo inicial y final de fraguado de 113 min y 220 min respectivamente; una resistencia a la compresión de 20 MPa a la edad de 1 día y una superficie

específica Blaine de 4682 cm²/g; por lo tanto, cumple con las especificaciones de la NTC 33, NTC 220 y NTC 118.

El cemento hidráulico industrial utilizado se compone de un 95% por cemento Portland y un 5% de yeso (sulfato de calcio). Su densidad es de 3150 kg/m³, tiene apariencia de color gris, con una solubilidad en agua ligera (0.1% a 1.0%), un pH en agua entre 12 y 13, siendo un polvo inodoro estable y alcalino, es decir, es incompatible con ácidos, sales amoniacales y aluminio. En la sección Anexos se presentan la hoja de datos de seguridad y el informe de calidad del cemento industrial proporcionado por la empresa Argos a PRECONCRETOS S.A. como Anexo III y Anexo IV respectivamente.

4.2.2. Agregado fino (Arena)

El muestreo y el ensayo de los agregados deben hacerse de acuerdo con los siguientes métodos, a menos que se especifique otra cosa en esta norma. Los ensayos exigidos se deben hacer sobre especímenes que cumplan con los requisitos de los métodos de ensayo designados. Como lo indica la NTC 174, se permite el uso del mismo espécimen de ensayo para el análisis granulométrico y para la determinación del material que pasa el tamiz 75 µm, (No. 200). Para la preparación de muestras para los ensayos de sanidad y abrasión, se permite el uso de tamaños separados del análisis de granulometría. Para la determinación de todos los otros ensayos y para la evaluación de la reactividad potencial del álcali en donde se requiere, se usan especímenes de ensayo independientes (ICONTEC, 2000).

Según la NTC 174, Especificaciones de los agregados para concreto, el agregado fino debe estar compuesto de arena natural, arena triturada o una combinación de éstas.

Para el ensayo la masa muestra inicial seca de la arena fue de 504,17 (g) y la masa muestra seca lavada sobre el tamiz 200 fue de 491,30 (g).

En ningún tamiz pasó más del 45% del agregado fino, cumpliendo a cabalidad con los requerimientos estipulados por la norma.

El módulo de finura fue de 2,6, se mantuvo entre el rango de 2,3 y 3,1

El ensayo utilizó agregado fino sin exceso de impurezas orgánicas

De acuerdo con la NTC 129, donde resulte factible, las muestras para ensayos de calidad deben obtenerse del producto terminado. Las muestras obtenidas a partir del producto terminado, que se destinan a los ensayos de pérdidas por abrasión no deben someterse a trituraciones o a reducciones manuales del tamaño de las partículas en la preparación para el ensayo de abrasión, a no ser que el tamaño del producto terminado sea tal que requiera una reducción interior para propósitos del ensayo.

Los detalles de la granulometría de la arena implementada en la fabricación de los bloques con material ecoestéril se encuentran en un documento proporcionado por el laboratorio de PRECONCRETOS S.A. en la sección de Anexos como Anexo V.

4.2.3. Agua de mezclado

El agua ha sido un elemento fundamental en el oficio de la construcción a través de los años, permitiendo la combinación de materiales heterogéneos transformándolos en homogéneos.

En el campo de la ingeniería civil, el agua junto con el Cemento hidráulico son compuestos imprescindibles en el desarrollo de las obras y proyectos constructivos. El agua utilizada en las mezclas de concreto cumple diferentes funciones, como la de aportarles trabajabilidad, hacer

reaccionar partículas cementantes, permitir alcanzar resistencias establecidas, adecuar un correcto curado e incluso lavar los agregados.

El agua utilizada en las mezclas de concretos y morteros debe cumplir ciertos lineamientos de calidad física y química. Se puede utilizar agua natural potable que pueda consumirse sin que presente olores o sabores fuertes.

Según Kosmatka et al, (2004), prácticamente cualquier agua natural que sea potable y no presente fuerte sabor u olor se la puede usar como agua para la conformación de los mampuestos.

El agua que se va a utilizar debe encontrarse en un sitio visible, pero contemplando que no exista una exposición a cualquier tipo de impureza.

Cabe aclarar que si hay un exceso de impurezas en el agua de mezcla no sólo puede afectar el tiempo de fraguado y la resistencia del concreto, pero también puede causar eflorescencias, manchado, inestabilidad del volumen y reducción de la durabilidad. (Kosmatka, et al, (2004).

EL agua de mezclado utilizada en la fabricación de los bloques con agregado ecoestéril proviene del servicio de acueducto proporcionado por la empresa Aguas Kpital S.A. ESP de la ciudad de Cúcuta, garantizando que se cumplan con las normas especificadas para el agua de mezclado por la NTC 3459. En ella se especifica que el agua debe ser clara y de apariencia limpia, libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, sales, materiales orgánicos y otras sustancias que puedan ser dañinas para el concreto o el refuerzo.

La incorporación del agua es necesaria porque cumple la función de activar las propiedades fisicoquímicas y aglutinantes del cemento las cuales hacen que los materiales se unan y conformen la mezcla.

Se debe tener sumo cuidado con la cantidad de agua que se va a destinar para la mezcla, ya que puede tener repercusiones como, por ejemplo: variaciones en la velocidad del fraguado, exudación, pérdida de resistencia y otras consecuencias a largo plazo que no se verían en su momento.

4.2.4. Agregado grueso (Triturado 3/8)

El muestreo y el ensayo de los agregados deben hacerse de acuerdo con los siguientes métodos, a menos que se especifique otra cosa en esta norma. Los ensayos exigidos se deben hacer sobre especímenes que cumplan con los requisitos de los métodos de ensayo designados. Como lo indica la NTC 174, se permite el uso del mismo espécimen de ensayo para el análisis granulométrico y para la determinación del material que pasa el tamiz 75 μm , (No. 200). Para la preparación de muestras para los ensayos de sanidad y abrasión, se permite el uso de tamaños separados del análisis de granulometría. Para la determinación de todos los otros ensayos y para la evaluación de la reactividad potencial del álcali en donde se requiere, se usan especímenes de ensayo independientes.

Según la NTC 174, Especificaciones de los agregados para concreto, el agregado grueso debe estar compuesto de grava, grava triturada, roca triturada, escoria de alto horno enfriada al aire, o concreto triturado fabricado con cemento hidráulico o una combinación de ellos, conforme a los requisitos de esta norma.

Para el ensayo se utilizó Grava Triturada TM 3/8" para la conformación de la mezcla

La masa de la muestra inicial seca fue de 1924,91 (g).

La masa seca lavada sobre el tamiz 200 fue de 1911,7 (g).

De acuerdo con la NTC 129, donde resulte factible, las muestras para ensayos de calidad deben obtenerse del producto terminado. Las muestras obtenidas a partir del producto terminado, que se

destinan a los ensayos de pérdidas por abrasión no deben someterse a trituraciones o a reducciones manuales del tamaño de las partículas en la preparación para el ensayo de abrasión, a no ser que el tamaño del producto terminado sea tal que requiera una reducción interior para propósitos del ensayo.

Los detalles de la granulometría del triturado de 3/8" implementado en la fabricación de los bloques con material ecoestéril se encuentran en un documento proporcionado por el laboratorio de PRECONCRETOS S.A. en la sección de Anexos como Anexo VI.

4.2.5. Material ecoestéril

El material ecoestéril es el nombre correspondiente al resultado final del proceso de esterilización al que son sometidos los residuos hospitalarios biosanitarios y cortopunzantes. Dicho procesamiento deriva en un producto triturado de diferentes tamaños, libre de agentes patógenos y listos para su acumulación final en rellenos sanitarios.

Los residuos hospitalarios hacen parte de una gran familia de residuos denominados residuos peligrosos. Estos residuos son aquellos que, por sus características corrosivas, explosivas, tóxicas, inflamables, infecciosas o radioactivas, constituyen un riesgo para la salud humana y el medio ambiente.

A su vez, los residuos hospitalarios son todos aquellos desechos sólidos, líquidos o gaseosos que son el resultado de algún tipo de manipulación en hospitales, clínicas, laboratorios, consultorios médicos u odontológicos, veterinarias, funerarias y similares, que contienen agentes patógenos por lo que representan un peligro para la salud y el ambiente, y cuyo mal manejo puede resultar en la transmisión de enfermedades que amenazan la vida de las personas.

Como se pudo observar en la sección 2.2.2. del presente documento, existen diferentes tipos de residuos hospitalarios. Sin embargo, el material ecoestéril proviene del tratamiento de un grupo específico de este tipo de residuos generados por instituciones de salud: los residuos biosanitarios.

Los residuos hospitalarios biosanitarios son aquellos elementos utilizados durante la ejecución de procedimientos asistenciales en los cuales se tiene contacto con materia orgánica, sangre o fluidos corporales, tales como:

- | | |
|---------------|-----------------------------|
| ❖ Gasas | ❖ Bolsas para transfusiones |
| ❖ Apósitos | sanguíneas |
| ❖ Drenes | ❖ Catéteres |
| ❖ Vendajes | ❖ Sondas |
| ❖ Mechas | ❖ Material de laboratorio |
| ❖ Aplicadores | ❖ Tapabocas |
| ❖ Algodones | ❖ Ropa desechable |
| ❖ Guantes | ❖ Jeringas |

Estos elementos enunciados anteriormente son los componentes principales del material ecoestéril. A su vez, se complementan con los residuos hospitalarios cortopunzantes, los cuales por sus características pueden ocasionar un accidente percutáneo infeccioso. Dichos residuos son:

- | | |
|-------------|-------------------------------|
| ❖ Limas | ❖ Restos de ampollitas |
| ❖ Lancetas | ❖ Pipetas |
| ❖ Cuchillas | ❖ Láminas de bisturí o vidrio |
| ❖ Agujas | |

Luego de ser recolectados, estos residuos atraviesan un proceso conjunto de esterilización (el cual fue descrito en el ítem 2.2.3. del presente documento), obteniendo como resultado un picadillo de diferentes tamaños y de color variado conocido como Material Ecoestéril.

Su disposición final está en los vertederos de basura municipales, en donde se acumulan para comenzar su proceso de degradación. No obstante, el objetivo de este trabajo investigativo es demostrar que se puede encontrar un uso apropiado a este tipo de residuos en la elaboración de mampostería no estructural.

El material ecoestéril utilizado en la mezcla tenía dos días de haberse procesado sanitariamente por la máquina Ecoesteryl 250 y fue entregado por la empresa ASEO URBANO S. A. S. ESP (Actual Veolia Environnement S.A.).

❖ **Densidad del material ecoestéril.**

Se le realizó el ensayo de densidad al material ecoestéril. Utilizando una jeringa y una gramera se pudo determinar que el valor de densidad del material ecoestéril es de 0.332 g/ml. El procedimiento fue el siguiente:

- I. Se pesó la jeringa de 5 ml vacía en la gramera.
- II. Se introdujo material ecoestéril en la totalidad de la jeringa.
- III. Se presionó el émbolo hasta compactar el material ecoestéril lo más posible.
- IV. Se pesó la jeringa con el material ecoestéril compactado.
- V. Se repitieron los pasos del I al IV tres veces.

A continuación, en la tabla 6, se muestran los valores de las mediciones realizadas para conocer el valor de la densidad del material ecoestéril teniendo en cuenta el procedimiento descrito

anteriormente y desarrollado en las instalaciones del laboratorio de suelos de la Universidad Francisco de Paula Santander.

Tabla 6.

Cálculo de la densidad del material ecoestéril.

Medición	Peso jeringa vacía (g)	Peso jeringa material compactado (g)	Diferencia de peso (g)	Volumen marcado (ml)	Densidad (g/ml)
1	4.10	5.72	1.62	4.80	0.337
2	4.10	5.69	1.59	4.85	0.328
3	4.10	5.71	1.61	4.85	0.331

Fuente. Autores.

El promedio de las tres densidades calculadas es de 0.332 g/ml; este valor es el que representa la densidad del material ecoestéril.

4.2.6. Aditivo desmoldante

En la fabricación de los bloques, tanto convencionales como con ecoestéril, se debe utilizar una mezcla química que permita el retiro del producto elaborado del molde en el cual se fabricó. En este caso se utilizó el producto QUIMIDES 1101, el cual es una mezcla de compuestos alquilfenólicos implementado como compactante para prefabricados semi-secos. Es fabricado por la empresa QUIMICOS & MEZCLAS S.A.S.

La mezcla QUIMIDES 1101 es un líquido claro de color traslúcido, inodoro de toxicidad aguda, cuyo contacto directo e inhalación produce irritación cutánea, visual y en las vías respiratorias.

El componente principal de este desmoldante es la mezcla de alquilfenoles identificados con el N° 104-40-5 de Chemical Abstracts Service (CAS), con una cantidad mayor e igual al 10%, según las especificaciones del distribuidor.

QUIMIDES 1101 es un desmoldante de estado líquido, cuya densidad es de 1.01 g/ml y es altamente soluble en agua. Se mantiene estable bajo condiciones ordinarias de uso y almacenamiento. Reacciona con ácidos fuertes, bases fuertes, agentes oxidantes fuertes, aldehídos, cetonas y acrilatos.

La información proporcionada por la empresa QUIMICOS & MEZCLAS S.A.S. acerca de este químico desmoldante en Colombia se encuentra reglamentada por la NTC 4435 del 22 de julio de 1998: Transporte de Mercancías. Hojas de seguridad para materiales. Preparación. En ella se especifica cómo elaborar una hoja de seguridad.

La ficha de seguridad para la mezcla QUIMIDES 1101 se encuentra en la sección Anexos del presente documento como Anexo VII.

Luego de fabricarlos, las muestras se transportan a unas bodegas especiales denominadas “Cámaras de Curado” (Figura 7), donde permanecieron 28 días hasta completar el proceso de curado y alcanzar su resistencia adecuada.



Figura 7. Transporte de los bloques a las cámaras de curado. Fuente Autores.

Por último, los bloques son llevados a los laboratorios de resistencia de materiales donde serán sometidos a los ensayos de resistencia a la compresión y absorción de agua que más adelante se detallarán a profundidad.

Al momento de definir la incorporación del material ecoestéril a la mezcla de concreto se revisó minuciosamente la bibliografía consultada para orientar la forma en la cual se elaborará el diseño de mezclas con los residuos hospitalarios biosanitarios esterilizados. De acuerdo a la investigación realizada por Akçaözoğlu et al. (2009), una forma de añadir material reciclable a mezclas de mortero es mediante residuos triturados de botellas PET. Estos investigadores desarrollaron 4 tipos de muestras en las cuales en 2 de ellas el triturado PET reemplazaba el porcentaje en peso total de la arena, y en las otras 2, lo sustituía parcialmente. Posteriormente, evaluaban su comportamiento en ensayos de densidad, compresión y flexión a diferentes edades; y también sometían las muestras a ensayos de absorción de agua y carbonatación, arrojando resultados interesantes en cada

laboratorio que permitieron concluir que el uso de residuos triturados PET permite aligerar el concreto, reduciendo cargas muertas, por lo tanto, reduciendo también riesgos de daños en sismos.

Sin embargo, en otras investigaciones se ha demostrado que al añadir fibras de residuos PET en porcentaje de volumen a la mezcla, se obtienen reducciones en la resistencia a la compresión entre 0.5% y 8.5% (Borg et al., 2016); dicho incremento es mayor al aumentar porcentajes de volumen de las fibras en la mezcla, utilizando una relación agua/cemento de 0.55.

Al discutir diferentes resultados del estado del arte con la gerente de producción de PRECONCRETOS S.A. se opta entonces por realizar 4 muestras en las cuales se añada y se sustituya parcialmente el material ecoestéril en la mezcla de concreto de acuerdo con diferentes porcentajes en masa de la mezcla convencional que la empresa utiliza normalmente en la producción de sus bloques M-19L.

Es importante resaltar que el material ecoestéril es un triturado irregular en su tamaño, por lo cual es necesario establecer una dosificación apropiada para no castigar la resistencia a la compresión del concreto a elaborar. Se ha encontrado que, para no disminuir considerablemente los valores de resistencia a la compresión, los rangos de proporción de reemplazo en Agregado Fino-Agregado Plástico de forma Regular debe ser menor al 5% y en Agregado Fino-Agregado Plástico de forma Irregular debe estar entre 0% al 20% (Aldahdooh et al., 2018). Las cifras anteriores ubican al presente proyecto en una guía para establecer las siguientes dosificaciones.

Las propiedades de la mezcla a elaborar deben permitir que, al endurecer el concreto de los bloques, se tenga un mampuesto en condiciones óptimas de uso no estructural para la edificación de diferentes proyectos de construcción. No obstante, al utilizar residuos hospitalarios biosanitarios esterilizados, es normal que ciertos factores como resistencia a la compresión y

absorción de agua se vean directamente afectados por la inclusión de este material. Por lo tanto, es posible que al añadir más material ecoestéril, disminuyan los valores anteriormente enunciados ya que, se ha demostrado que, al aumentar la inclusión de plástico, sin importar su forma y el tiempo de curado, disminuyen valores de resistencia a la compresión, tensión, flexión y módulo de elasticidad (Saika & De Brito, 2013).

Para el desarrollo de las dos primeras muestras se optó por añadir el material ecoestéril en lugar de reemplazarlo por algún componente de la mezcla de concreto, lo cual arrojó resultados interesantes respecto al volumen total de mezcla empleada. Como lo concluyeron las ingenieras Dugarte y Lizarazo (2018) “el aprovechamiento óptimo del residuo biosanitario fue con una proporción de 2,5 % de los residuos peligrosos biosanitarios tratados en relación con la cantidad por peso de los agregados pétreos, logrando alcanzar la resistencia a la compresión a 28 días”. Sin embargo, dentro de la misma investigación se puede observar que con una dosificación del 5% de material ecoestéril se alcanzan hasta 9.45 MPa de resistencia a la compresión, el cual es un valor importante teniendo en cuenta que los especímenes desarrollados en nuestra investigación son de mampostería no estructural, los cuales requieren una resistencia mínima individual de 5 MPa.

❖ **Muestra A: Agregando el 5% de material ecoestéril a la mezcla de concreto.**

Con relación a la masa total de la mezcla de concreto empleado normalmente por PRECONCRETOS S.A., el 5% de material ecoestéril representa un total de 3,5 kilogramos que fueron añadidos al momento de elaborar los 60 bloques que conforman una bachada.

Añadiendo esta cantidad de material ecoestéril pudimos observar que el volumen total de los materiales convencionales utilizados se disminuye un poco en relación con el volumen total de una mezcla tradicional de concreto, lo cual se refleja en el peso final del bloque ya que es de 14.5

kilogramos en promedio aproximadamente, y normalmente el peso del bloque M-19L es de 16.1 kilogramos.

En la Tabla 7 se pueden apreciar los componentes empleados para 1 m³ de la muestra A.

Tabla 7.

Componentes de la mezcla para 1m³ de concreto en la Muestra A

Componente	Cantidad	Unidad	Volumen (m ³)	Proporción en la mezcla (%)
Cemento industrial	70.0	kg	0.022	2.2
Material ecoestéril	3.5	kg	0.011	1.1
Agua	33	L	0.033	3.3
Arena	0.711	m3	0.711	71.1
Triturado 3/8	0.222	m3	0.222	22.2
Aditivos desmoldante	0.90	kg	0.001	0.1
Total			1.000	100

Fuente. Autores.

❖ **Muestra B: Agregando el 10% de material ecoestéril a la mezcla de concreto.**

Con relación a la masa total de la mezcla de concreto empleado normalmente por PRECONCRETOS S.A., el 10% de material ecoestéril representa un total de 7,0 kilogramos que fueron añadidos al momento de elaborar los 60 bloques que conforman una bachada.

Añadiendo esta cantidad de material ecoestéril pudimos observar que el volumen total de los materiales convencionales utilizados se disminuye un poco en relación con el volumen total de

una mezcla tradicional de concreto, lo cual se refleja en el peso final del bloque ya que es de 14,5 kilogramos en promedio aproximadamente, y normalmente el peso del bloque M-19L es de 16.1 kilogramos.

En la Tabla 8 se pueden apreciar los componentes empleados para 1 m³ de la muestra B.

Tabla 8.

Componentes de la mezcla para 1m³ de concreto en la Muestra B

Componente	Cantidad	Unidad	Volumen (m ³)	Proporción en la mezcla (%)
Cemento industrial	70.0	Kg	0.022	2.2
Material ecoestéril	7.0	Kg	0.021	2.1
Agua	32.0	L	0.032	3.2
Arena	0.707	m3	0.707	70.7
Triturado 3/8	0.217	m3	0.217	21.7
Aditivos desmoldante	0.90	Kg	0.001	0.1
Total			1.000	100

Fuente. Autores.

Para el desarrollo de las dos últimas muestras, se pensó en reemplazar el Cemento industrial por material ecoestéril, ya que según PRECONCRETOS S.A. es el material que mayores gastos presenta al momento de fabricar mampuestos de este tipo. Saikia, De Brito (2012), demostraron que sustituir parcialmente agregados naturales por fibras trituradas de desechos PET disminuían los valores de las propiedades mecánicas de resistencia a la compresión, tensión y flexión, así como el módulo de elasticidad del concreto. Por ello, con las siguientes muestras se pretendió

evaluar hasta que porcentaje es viable reemplazar el material ecoestéril por cemento industrial, cumpliendo los parámetros normativos exigidos por la NTC 4076.

❖ **Muestra C: Reemplazando 5% de Cemento industrial por 15% de material ecoestéril en la mezcla de concreto.**

El 5% de Cemento industrial constituye un total de 3,5 kilogramos. Por su parte, se añadieron 10,5 kilogramos de material ecoestéril, correspondientes al 15% de la mezcla de concreto para elaborar los bloques. Se puede esperar una disminución en el peso del elemento, sin embargo, pese a que se disminuye la cantidad de material aglutinante, no se observaron deficiencias en la adherencia de los demás materiales y la calidad del bloque no se vio comprometida, en su aspecto físico. Sin embargo, es posible evidenciar más presencia del triturado de los residuos adheridos en la unidad de mampostería.

La masa del bloque de esta muestra fue de aproximadamente poco menos de 14 kilogramos.

En la Tabla 9 se pueden apreciar los componentes empleados para 1 m³ de la muestra C.

Tabla 9.

Componentes de la mezcla para 1m³ de concreto en la Muestra C

Componente	Cantidad	Unidad	Volumen (m ³)	Proporción en la mezcla (%)
Cemento industrial	66.5	kg	0.021	2.1
Material ecoestéril	10.5	kg	0.031	3.1
Agua	32.0	L	0.032	3.2
Arena	0.705	m3	0.705	70.5
Triturado 3/8	0.210	m3	0.210	21.0

Aditivos desmoldante	0.75	Kg	0.0007	0.07
Total			~1.000	~100.0

Fuente. Autores.

❖ **Muestra D: Reemplazando 10% de Cemento industrial por 10% de material ecoestéril en la mezcla de concreto.**

El 10% de Cemento industrial constituye un total de 7,0 kilogramos. Esta masa será reemplazada en la mezcla por material ecoestéril para fabricar los bloques. Se puede esperar una disminución en el peso del elemento, sin embargo, pese a que se disminuye la cantidad de material aglutinante, no se observaron deficiencias en la adherencia de los demás materiales y la calidad del bloque no se vio comprometida.

Añadiendo esta cantidad de material ecoestéril pudimos observar que el volumen total de los materiales convencionales utilizados se disminuye un poco en relación al volumen total de una mezcla tradicional de concreto, lo cual se refleja en el peso final del bloque ya que es de 13.7 kilogramos en promedio aproximadamente, y normalmente el peso del bloque M-19L es de 16.1 kilogramos.

En la Tabla 10 se pueden apreciar los componentes empleados para 1 m³ de la muestra D.

Tabla 10.

Componentes de la mezcla para 1m³ de concreto en la Muestra D

Componente	Cantidad	Unidad	Volumen (m ³)	Proporción en la mezcla (%)
Cemento industrial	63	Kg	0.020	2.0
Material ecoestéril	7.0	Kg	0.021	2.1

Agua	32	L	0.032	3.2
Arena	0.707	m ³	0.709	70.9
Triturado 3/8	0.217	m ³	0.217	21.7
Aditivos desmoldante	0.85	kg	0.0008	0.08
Total			~1.000	~100.0

Fuente. Autores.

Pese a que el material está libre de agentes patógenos y no representa un riesgo biológico para la salud de las personas, se debe recordar que se trabajó con residuos biosanitarios, por lo cual, incluso aun después de esterilizado, presenta un olor desagradable que disgustó al operario que se encargó de añadir el material a la mezcla de concreto. Además, se debe aclarar que el material ecoestéril no se sometió a ningún tipo de tamizado, por lo cual también se incorporaron en la mezcla materiales como sondas y jeringas, siendo estas últimas de un gran tamaño en comparación a los otros agregados, ocupando un espacio considerable dentro de la conformación de los bloques. Sin embargo, en Omán, Safinia, Alkalbany (2016) concluyeron que bloques de concreto con botellas plásticas incluidas mostraron un incremento del 57% de fuerza compresiva respecto a los concretos huecos omaníes.

Con lo anterior se puede afirmar que se alcanzó el tercer objetivo de esta investigación, el cual consiste en la obtención de un nuevo bloque conformado a base de material ecoestéril a diferentes porcentajes utilizando técnicas de fabricación convencionales.

4.3. Ensayos de laboratorio a los bloques fabricados

Siguiendo con la metodología y dando cumplimiento al objetivo número cuatro de este trabajo (el de obtener las propiedades físico-mecánicas del nuevo bloque), se efectuaron los ensayos de laboratorio sobre los bloques en concreto siguiendo los lineamientos establecidos por la NTC 4076

para unidades de concreto en mampostería no estructural y la NTC 4024 para el muestreo y ensayo de prefabricados de concreto no reforzados. Dichos ensayos se realizaron en las instalaciones de la empresa PRECONCRETOS S.A., quienes permitieron el uso de sus laboratorios y equipos, así como la asesoría del laboratorista de la compañía.

De acuerdo con la Norma Técnica Colombiana 4076, los ensayos de laboratorio a los que se deben someter las unidades de concreto para mampostería no estructural son: ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION y ENSAYO DE ABSORCION DE AGUA.

Antes de proceder con los ensayos, es importante tener en cuenta que la resistencia a la compresión es un valor que se verá castigado al utilizar material ecoestéril. Según se ha demostrado, la adición de plásticos en el concreto, independientemente de su forma, hace que la fuerza compresiva del concreto disminuya (Sharma & Bansal, 2015).

Por su parte, se espera que la humedad de los bloques con material ecoestéril sea más baja que los bloques convencionales de las mismas características. Se puede intuir este resultado, ya que Al-Hadithi & Hilal (2016) concluyeron que, al adicionar fibras de residuos plásticos, los valores de densidad húmeda disminuían debido a la baja gravedad específica del plástico.

❖ **Ensayo de Resistencia a la Compresión**

Los bloques fueron ensayados el 3 de enero de 2019 a una edad de 87 días luego de ser fabricados, debido a que se presentaron inconvenientes de logística en el laboratorio de PRECONCRETOS S.A. que impidieron realizar este ensayo a los 28 días.

Se sometieron 3 especímenes al azar de cada una de las bachadas elaboradas para cada una de las muestras. Primero, se realizó la medición de las dimensiones del área de cada uno de los especímenes, como lo muestra la Figura 8.



Figura 8. Medición de las dimensiones de los bloques. Fuente Autores.

Posteriormente, y de acuerdo a la NTC 4024, cada bloque a ensayar debe someterse a un proceso de refrentado o capinación (ver Figura 9), el cual dicta que se debe utilizar una mezcla con una proporción del 40% a 60% de azufre y el restante debe ser de arcilla cocida, molida u otro material inerte que pase por el tamiz N°100 (con o sin la adición de plastificante), para recubrir una superficie lisa no absorbente que reposará sobre las áreas transversales del bloque durante el ensayo de compresión para garantizar su resistencia. A su vez, para garantizar la no adherencia y separación del espécimen con las placas, se utilizó una brocha para esparcir aceite de motor sobre estas últimas.



Figura 9. Proceso de refrentado de los bloques a ensayar. Fuente Autores.

Luego de capinar los bloques, éstos son llevados a la prensa universal donde se sometieron a una carga continua sobre el área transversal neta de cada bloque, como se muestra en la Figura 10.



Figura 10. Prensa universal UTC-4131 donde se sometieron los boques a cargas compresivas. Fuente Autores.

El laboratorio de resistencia a la compresión se desarrolló en la planta de Normix S.A.S. ubicada en las instalaciones de la empresa PRECONCRETOS S.A. utilizando una máquina para ensayos del fabricante UTEST modelo UTC-4131 con el número de serie 16/001921, la cual tiene un rango de medición de 100.0 kN A 1000.0 kN (escala 1000 kN) y de 10.0 kN a 100.0 kN (escala 100 kN).

En la sección Anexos se presenta el Certificado de Calibración de la prensa con la que se desarrollaron las mediciones como Anexo VIII.

Se debe aclarar que la carga se aplicó sobre una placa de 39 cm x 19 cm. Estas dimensiones corresponden al área total de la superficie del bloque, sin embargo, para conocer la resistencia a la compresión de cada espécimen, se debe calcular el área neta, la cual es el área total de la superficie menos el área que ocupan los dos orificios del bloque.

Como se especificó anteriormente, los bloques elaborados tienen unas medidas estándar de acuerdo con los moldes empleados; en este caso, es el molde M-19L.

Así pues, para calcular el área neta sobre la cual se aplica realmente la carga compresiva se debe restar a la superficie total, la superficie de los dos orificios que tiene la unidad de mampostería.

Los datos del laboratorio para cada muestra son presentados a continuación:

❖ Muestra A.

A continuación, en la Tabla 11 se detallan los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión para cada espécimen de la Muestra A, mostrando medidas, área neta, carga máxima y el valor de la resistencia a la compresión.

Tabla 11.

Resultados del ensayo de compresión para los bloques de la Muestra A.

Espécimen N°	Longitud (mm)	Altura (mm)	Espesor (mm)	Área neta promedio (mm²)	Carga Máxima (N)	Resistencia a la Compresión (MPa)
1	390	190	190	39.267	398.800	10,2
2	390	190	190	39.267	400.700	10,2
3	390	190	190	39.267	421.800	10,7

Fuente. Autores.

El promedio de la resistencia de las 3 unidades es de 10,37 MPa.

En la gráfica representada en la Figura 11 se muestra el comportamiento de la resistencia a la compresión por cada bloque de la Muestra A, a medida que transcurre el tiempo del ensayo.

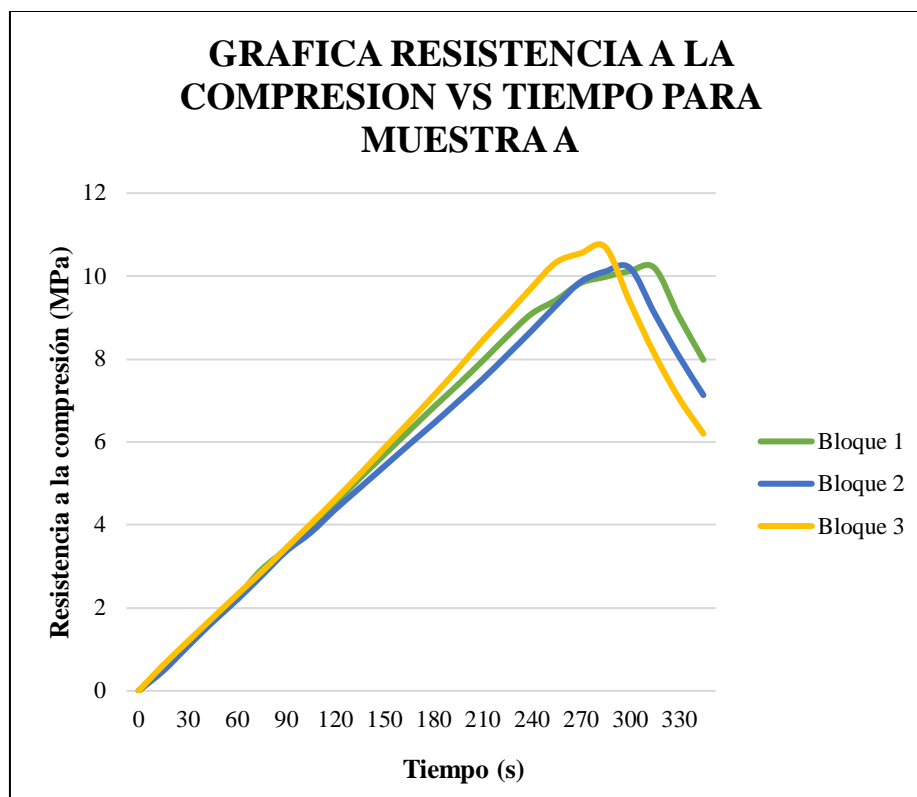


Figura 11. Gráfica resistencia a la compresión vs tiempo de los 3 bloques ensayados para la muestra A. Fuente autores.

❖ Muestra B.

A continuación, en la Tabla 12 se detallan los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión para cada espécimen de la Muestra B, mostrando medidas, área neta, carga máxima y el valor de la resistencia a la compresión.

Tabla 12.

Resultados del ensayo de compresión para los bloques de la Muestra B.

Espécimen N°	Longitud (mm)	Altura (mm)	Espesor (mm)	Área neta promedio (mm ²)	Carga Máxima (N)	Resistencia a la Compresión (MPa)

1	390	190	190	39.117	330.400	8,4
2	390	190	190	39.117	340.500	8,7
3	390	190	190	39.117	232.600	5,9

Fuente. Autores.

El promedio de la resistencia de las 3 unidades es de 7,67 MPa.

En la gráfica representada en la Figura 12 se muestra el comportamiento de la resistencia a la compresión por cada bloque de la Muestra B a medida que transcurre el tiempo del ensayo.

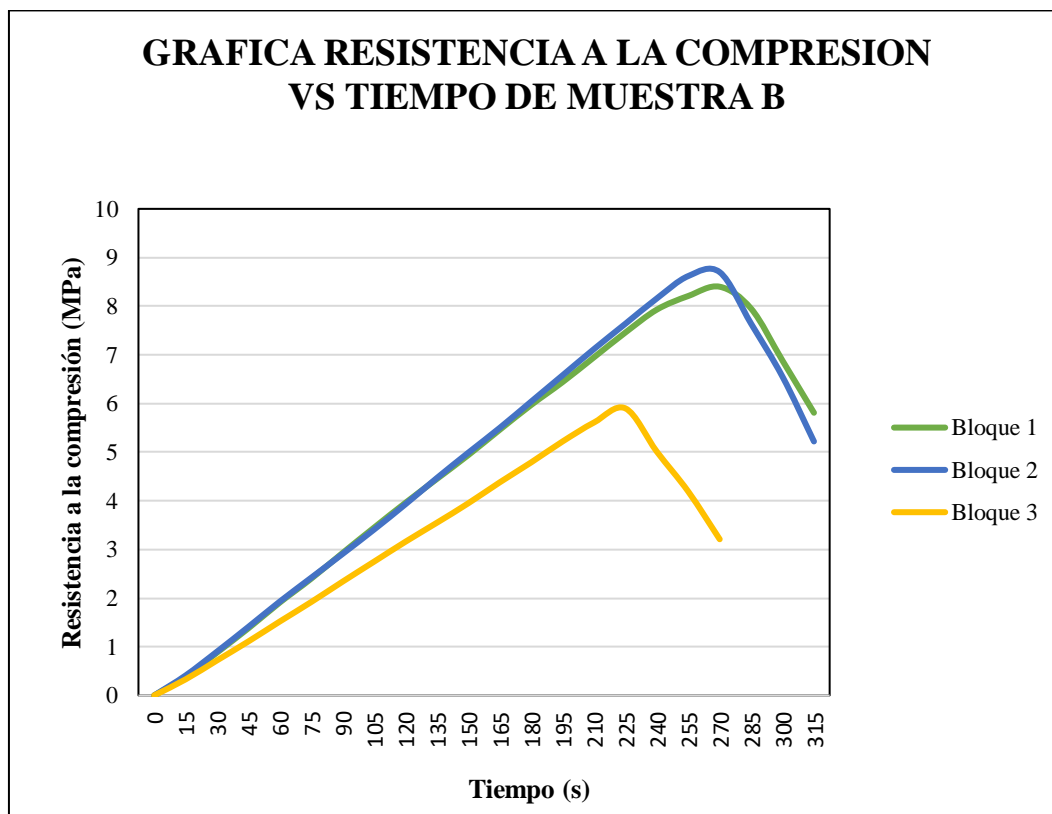


Figura 12. Gráfica resistencia a la compresión vs tiempo de los 3 bloques ensayados para la muestra B. Fuente autores.

❖ Muestra C.

A continuación, en la Tabla 13 se detallan los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión para cada espécimen de la Muestra C, mostrando medidas, área neta, carga máxima y el valor de la resistencia a la compresión.

Tabla 13.

Resultados del ensayo de compresión para los bloques de la Muestra C.

Espécimen N°	Longitud (mm)	Altura (mm)	Espesor (mm)	Área neta promedio (mm²)	Carga Máxima (N)	Resistencia a la Compresión (MPa)
1	390	190	190	38.518	155.300	4,0
2	390	190	190	38.518	175.400	4,6
3	390	190	190	38.518	238.600	6,2

Fuente. Autores.

El promedio de la resistencia de las 3 unidades es de 4,93 MPa.

En la gráfica representada en la Figura 13 se muestra el comportamiento de la resistencia a la compresión por cada bloque de la Muestra C a medida que transcurre el tiempo del ensayo.

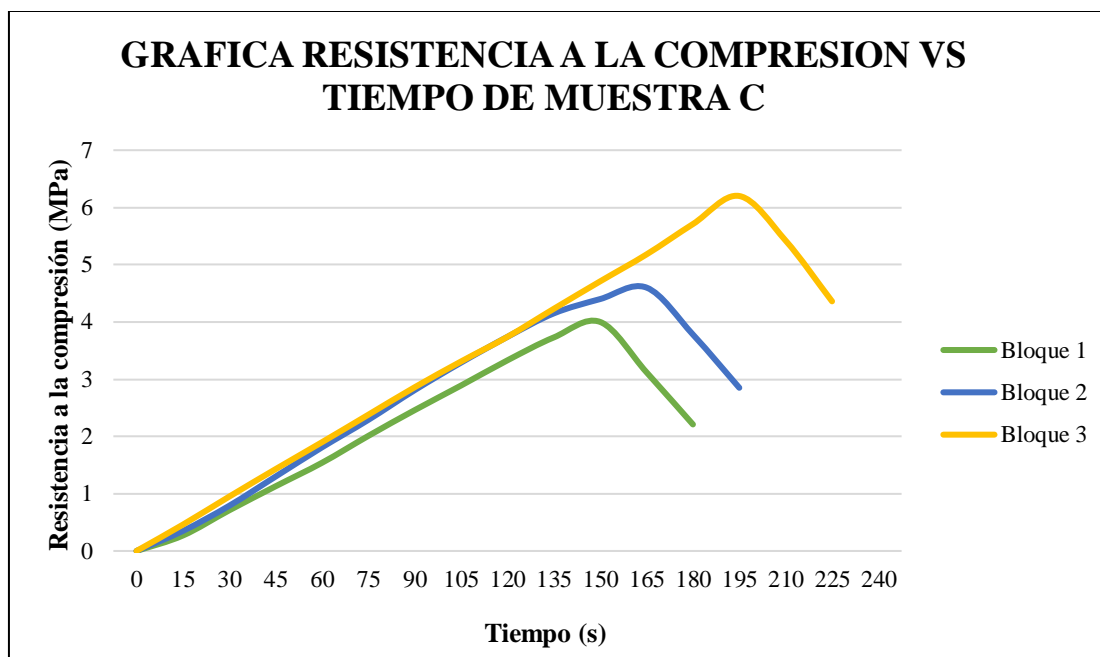


Figura 13. Gráfica resistencia a la compresión vs tiempo de los 3 bloques ensayados para la muestra C. Fuente autores.

❖ Muestra D.

A continuación, en la Tabla 14 se detallan los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión para cada espécimen de la Muestra D, mostrando medidas, área neta, carga máxima y el valor de la resistencia a la compresión.

Tabla 14.

Resultados del ensayo de compresión para los bloques de la Muestra D.

Espécimen N°	Longitud (mm)	Altura (mm)	Espesor (mm)	Área neta promedio (mm ²)	Carga Máxima (N)	Resistencia a la Compresión (MPa)
1	390	190	190	38.705	168.300	4,3
2	390	190	190	38.705	292.900	7,6
3	390	190	190	38.705	239.000	6,2

Fuente. Autores.

El promedio de la resistencia de las 3 unidades es de 6,03 MPa.

En la gráfica representada en la Figura 14 se muestra el comportamiento de la resistencia a la compresión por cada bloque de la Muestra D a medida que transcurre el tiempo del ensayo.

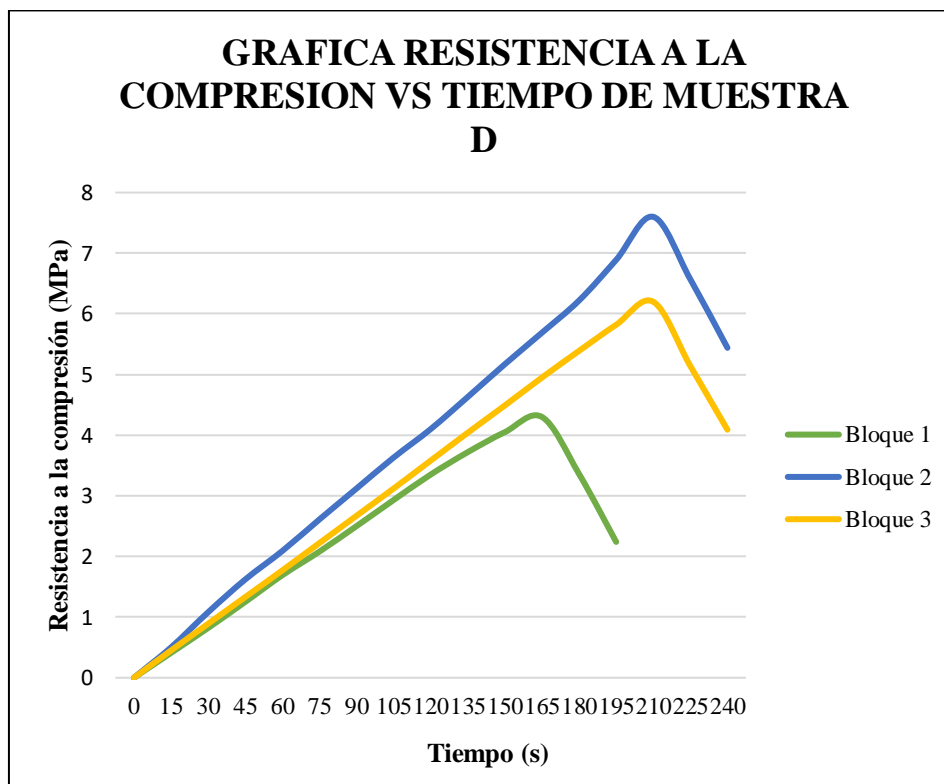


Figura 14. Gráfica resistencia a la compresión vs tiempo de los 3 bloques ensayados para la muestra D. Fuente autores.

Se debe recordar que estos ensayos fueron ejecutados con una edad en los bloques de 87 días. Para poder conocer su valor a 28 días se debe realizar una regresión en los valores de resistencia a la compresión, pues el parámetro de esta magnitud en la normatividad colombiana es a la edad de 28 días. De acuerdo con Kosmatka et al. (2004), la resistencia a los 7 días se estima como el 75% de la resistencia a los 28 días; la resistencia a los 56 y 90 días es aproximadamente 10% y 15% mayor que la de los 28 días, respectivamente. En consecuencia, teniendo bloques de 87 días de

edad, se puede tomar un valor aproximado de 15% mayor a la resistencia que tendrían los bloques si fuesen ensayados a los 28 días. Por lo tanto, en la Tabla 15 se muestran los promedios de 3 unidades de los valores de resistencia a la compresión al realizar una regresión desde los 87 a los 28 días de edad.

Tabla 15.

Valores promedio de resistencia a la compresión de las muestras a 28 días luego de su regresión.

Muestra	Promedio de resistencia a los 87 días (MPa)	Resistencia a la Compresión a 28 días (MPa)
A	10.37	9.02
B	7.67	6.67
C	4.93	4.29
D	6.03	5.24

Nota. La regresión de los valores de resistencia a la compresión de 87 a 28 días se realizó estableciendo que, a los 87 días se tiene un valor 15% mayor al de la resistencia a los 28 días. Fuente Autores.

Como se puede observar, en algunos casos, los valores correspondientes a la resistencia a la compresión de los bloques disminuyeron considerablemente en comparación a las otras muestras y a lo permitido por la NTC 4076. Este fenómeno puede atribuirse a la presencia de jeringas inmersas en el concreto al momento de fabricar los bloques. Sin embargo, Mohammed (2017) aplicó cargas puntuales a diferentes vigas elaboradas en concreto con residuos PET reforzado y concluyó que, sin importar la granulometría de los residuos, la resistencia a la compresión del elemento se vio disminuida. No obstante, es importante aclarar que el tamaño de la jeringa es considerablemente mayor al tamaño de los residuos utilizados en la investigación previamente citada.

Por su parte, Hama & Hilal (2017) demostraron que al sustituir parcialmente residuos plásticos por arena en mezclas de concreto se obtenía una relación inversa entre contenido de residuos plásticos con valores de resistencia a la compresión, los cuales fluctuaban entre 65 MPa y 37 MPa. Por lo tanto, se optó por remplazar cemento en lugar de arena al fabricar los bloques, ya que, sin importar la sustitución por arena o cemento, de igual forma se esperaría una disminución en los valores de éste parámetro.

❖ Ensayo de absorción de agua

Se ensayaron 3 bloques por cada muestra de bloques fabricados. Inicialmente, los bloques son llevados a una piscina donde se sumergen en agua a una temperatura de 25,2°C durante 24 horas como lo registra la Figura 15.



Figura 15. Inmersión de los bloques en las piscinas con agua. Fuente Autores.

Pasadas las 24 horas se mide la masa inmersa y suspendida en agua (ma) de los bloques utilizando un alambre. Luego se retiran del agua y se dejan escurrir por un minuto. El agua restante se seca con un paño seco y después se pesa el bloque para obtener su masa saturada (mh).

Según lo estipula la NTC 4024, luego del proceso de saturación se deben someter las unidades de concreto a la ventilación y secado en un horno con una temperatura constante entre 100°C y 115°C durante 24 horas para poder determinar su masa seca (ms).

A continuación, se presentan en la Tabla 16 los cálculos promedios de absorción y densidad de los bloques para la Muestra A:

Tabla 16.

Resultados del promedio de absorción de agua y densidad de la Muestra A.

ABSORCIÓN Y DENSIDAD MUESTRA A		
Masa seca (Ms)	Kg	14,508
Masa saturada (Mh)	Kg	15,833
Masa inmersa y suspendida en agua (Ma)	Kg	8,372
Absorción (Aa)	kg/m ³	177,6
Absorción (Aa)	%	9,1
Densidad (D)	kg/m ³	1944,6

Nota. Los valores presentados en la tabla corresponden al promedio de 3 bloques ensayados. Fuente Autores.

A continuación, se presentan en la Tabla 17 los cálculos promedios de absorción y densidad de los bloques para la Muestra B:

Tabla 17.

Resultados del promedio de absorción de agua y densidad de la Muestra B.

ABSORCIÓN Y DENSIDAD MUESTRA B		
Masa seca (Ms)	Kg	14,574
Masa saturada (Mh)	Kg	15,859
Masa inmersa y suspendida en agua (Ma)	Kg	8,427
Absorción (Aa)	kg/m ³	172,9
Absorción (Aa)	%	8,8
Densidad (D)	kg/m ³	1960,9

Nota. Los valores presentados en la tabla corresponden al promedio de 3 bloques ensayados. Fuente Autores.

A continuación, se presentan en la Tabla 18 los cálculos promedios de absorción y densidad de los bloques para la Muestra C:

Tabla 18.

Resultados del promedio de absorción de agua y densidad de la Muestra C.

ABSORCIÓN Y DENSIDAD MUESTRA C		
Masa seca (Ms)	Kg	13,759
Masa saturada (Mh)	Kg	15,175
Masa inmersa y suspendida en agua (Ma)	Kg	7,857
Absorción (Aa)	kg/m ³	193,5
Absorción (Aa)	%	10,3
Densidad (D)	kg/m ³	1880

Nota. Los valores presentados en la tabla corresponden al promedio de 3 bloques ensayados. Fuente Autores.

A continuación, se presentan en la Tabla 19 los cálculos promedios de absorción y densidad de los bloques para la Muestra D:

Tabla 19.

Resultados del promedio de absorción de agua y densidad de la Muestra D.

ABSORCIÓN Y DENSIDAD MUESTRA D		
Masa seca (Ms)	Kg	13,760
Masa saturada (Mh)	Kg	15,110
Masa inmersa y suspendida en agua (Ma)	Kg	7,756
Absorción (Aa)	kg/m ³	183,6
Absorción (Aa)	%	9,8
Densidad (D)	kg/m ³	1871,1

Nota. Los valores presentados en la tabla corresponden al promedio de 3 bloques ensayados. Fuente Autores.

De acuerdo con lo establecido en la NTC 4076, el porcentaje de absorción permitido para las unidades de mampostería y chapas de concreto va a depender según la clasificación según el peso del espécimen ensayado.

Como se puede observar, los bloques fabricados con material ecoestéril se clasifican entonces según su peso como unidad de peso medio (densidad de 1680 kg/m³ hasta menos de 2000 kg/m³).

En la sección Anexos del presente documento se presentan los reportes entregados por el laboratorio Normix S.A.S. en PRECONCRETOS S.A. como Anexo IX, en los cuales se detallan cada uno de los ensayos para las muestras de los bloques elaborados con material ecoestéril.

Como se puede apreciar en los resultados de los ensayos, y basándose en los parámetros colombianos de construcción establecidos en la NTC 4076, la implementación de material

ecoestéril para el desarrollo de mampostería no estructural no castiga considerablemente los valores de resistencia a la compresión (salvo en algunas muestras), y contribuye al aligeramiento del elemento.

4.4. Análisis de los resultados de laboratorio obtenidos

En esta sección del documento se presentarán los análisis de los resultados evidenciados en los ensayos de resistencia a la compresión y absorción de agua, efectuados sobre las muestras de los bloques elaborados con material ecoestéril.

Los bloques fabricados con material ecoestéril en la mezcla de concreto obedecen a un diseño previamente establecido por PRECONCRETOS S.A., el cual corresponde a una unidad de mampostería divisoria, no estructural, con dos volúmenes vacíos y unas dimensiones descritas en el ítem 4.2. del presente trabajo. Por lo tanto, este tipo de bloque debe obedecer los lineamientos de normatividad establecidos por la NTC 4076 para su correcta comercialización y uso en obras civiles. Es por ello que, para el procesamiento y análisis de los resultados observados en los ensayos efectuados, se deben tomar como referencia los parámetros dictaminados en dicha norma, ya que son estos los que permitirán concluir si las unidades de mampostería elaboradas con los residuos hospitalarios biosanitarios son un producto viable como material de construcción.

Por otra parte, se deben realizar los análisis en las muestras que pudieron evidenciar incumplimientos en los ensayos, es decir, interpretar por qué algunas muestras no alcanzaron a los valores mínimos de la norma, ya que este podría ser un factor determinante al momento de realizar futuras producciones. En consecuencia, detectar las razones de los ensayos fallidos podría traer un beneficio futuro al momento de la fabricación de nuevos bloques debido a que, si la falla se presentó en el proceso de manufactura, es posible remediarlo con ciertos ajustes cuyo análisis compete en esta sección, más adelante.

Por último, es importante que se tenga en cuenta en este análisis la viabilidad comercial del producto, ya que es un factor de alto interés para las empresas que quieran comercializar este tipo de unidades. Para que lo anterior suceda, el bloque fabricado con material ecoestéril debe generar cierta reducción de costos ya sea en la parte de fabricación o en la parte de transporte.

❖ **Parámetros de resistencia a la compresión y absorción de agua según la NTC 4076**

La Norma Técnica Colombiana 4076 es un documento para ingeniería civil y arquitectura que normaliza las unidades de concreto para mampostería no estructural interior y chapas de concreto. Es un documento estipulado por el ICONTEC para reglamentar el uso de mampuestos en obras civiles, estableciendo los requisitos que estos deben cumplir para poder ser implementados en construcción.

La norma segmenta a los mampuestos en 2 categorías: según su peso y según su control de humedad. La primera, según su peso, establece 3 tipos de mampuestos:

- ❖ Liviano, cuya densidad es menor a 1680 kg/m^3 .
- ❖ Medio, cuya densidad fluctúa entre 1680 kg/m^3 hasta menos de 2000 kg/m^3 .
- ❖ Normal, cuya densidad es de 2000 kg/m^3 o mayor.

Por su parte, según el control de humedad se tienen dos categorías:

- ❖ Tipo I: Con control de humedad
- ❖ Tipo II: Sin control de humedad.

De igual forma, la NTC 4076 también referencia las otras normativas que deben consultarse al momento de fabricar los bloques en cuanto a los materiales que intervienen en la mezcla tales como los materiales cementantes, los agregados y otros componentes como el agua de mezcla y

los aditivos. A su vez, la norma ofrece los requisitos físicos a cumplir: Dimensionales, Resistencia a la Compresión y Absorción de agua.

En los requisitos dimensionales se dictaminan lineamientos para unidades perforadas y unidades sólidas. En este caso, para los bloques con material ecoestéril se debe cumplir que cada unidad tenga espesores de pared y tabique de 20 mm (unidades perforadas).

Los requisitos para la resistencia a la compresión y para la absorción de agua se pueden encontrar en las Tablas 1 y 2 respectivamente del presente documento en el ítem 2.2.1.

4.4.1. Análisis de resultados en el ensayo de resistencia a la compresión

Como se enunció anteriormente, se realizaron 4 diferentes dosificaciones de material ecoestéril en la mezcla de concreto para producir 4 tipos de bloques, ensayándose 3 muestras por cada dosificación. Para su ensayo fueron capinados y posteriormente sometidos a cargas en la prensa universal hasta someterse a la falla de cada elemento, con el propósito de conocer su resistencia a la compresión. Según Sharma & Bansal (2015), añadir plásticos al concreto causa una disminución en la resistencia a la compresión del concreto debido a la débil cohesión entre la textura y las partículas PET. Por ende, siendo este valor el más importante al momento de utilizar mampostería en obras civiles, se debe esperar que la resistencia a la compresión de los bloques se vea castigada; sin embargo, su disminución no debe presentar valores inferiores al estipulado en la normativa correspondiente.

Para analizar el comportamiento de los bloques ante cargas compresivas, y su viabilidad en la construcción, se deben comparar los valores de resistencia obtenidos por cada muestra con el valor estandarizado por la NTC 4076.

A continuación, en la Figura 16, se muestran los valores promedios obtenidos de resistencia a la compresión por cada dosificación de material ecoestéril en la mezcla y su comparativa con el valor normalizado en la NTC 4076.

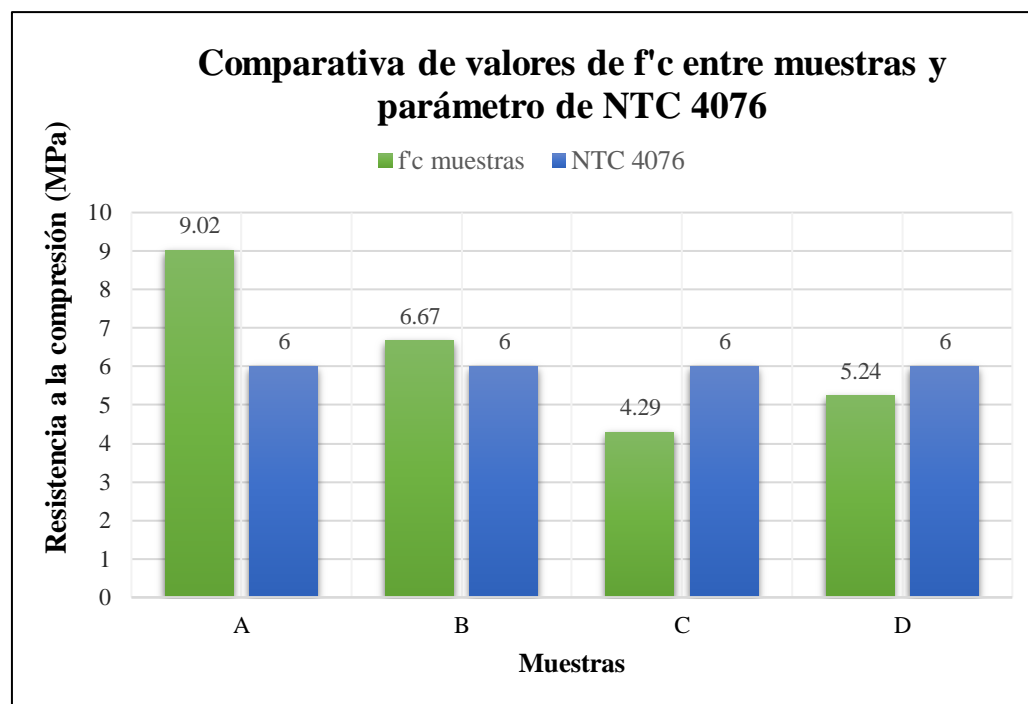


Figura 16. Gráfica comparativa entre parámetro de resistencia a la compresión (MPa) de la NTC 4076 con el promedio de las 3 unidades ensayadas por cada muestra a los 28 días. Fuente autores.

Como se puede observar, 2 de las 4 muestras dosificadas con material ecoestéril cumplen con el requisito de resistencia compresiva estipulado en la NTC 4076 (Muestras A, B). Las muestras C, D permiten observar un comportamiento débil cuando se le aplican cargas compresivas. Un análisis de la relación entre material ecoestéril y valores de resistencias permite intuir que, siendo esta la muestra con mayor contenido de residuos, a mayor porcentaje de sustitución de material ecoestéril por cemento, menor es el valor de resistencia a la compresión del elemento.

Sin embargo, esta disminución de la resistencia compresiva en las muestras C, D también puede ser el resultado de la falta de tamizaje del material ecoestéril. Por ejemplo, en la Tabla 10 se puede

observar que el valor de resistencia del espécimen 3 es de 5.9 MPa, mientras que el de los especímenes 1 y 2 son 8.4 MPa y 8.7 MPa respectivamente. Esta diferencia de valores en el mismo ensayo radica en la presencia de jeringas inmersas en la mezcla con la que se fabricaron algunos bloques y fueron ensayados con ese volumen vacío en su interior, lo cual permite afirmar que, por este motivo, algunas piezas no alcanzaron los 6.0 MPa reglamentados por la NTC 4076.

Otro ejemplo de lo anteriormente descrito se evidencia en la Tabla 9, donde los valores de resistencia reportados por los 3 especímenes sobrepasan los 10 MPa. Como se puede observar, Ninguno de los bloques mostraron caídas abruptas en sus valores al momento del ensayo. Esto se debe a que, en su interior no se encontraron jeringas que pudieran haber alterado su comportamiento frente a cargas de compresión.

Por lo tanto, al contener un mayor porcentaje de material ecoestéril en sustitución por el cemento, se puede atribuir la poca resistencia compresiva a la presencia de jeringas en los bloques de las muestras C, D. Del mismo modo, al sustituir el 10% y 15% de cemento por los residuos hospitalarios biosanitarios, se pierde la cohesión de partículas que amalgaman la mezcla de concreto en estos bloques, lo cual es otro factor influyente en la pérdida de cuantía en la resistencia a la compresión de los bloques de las muestras C, D.

Observando el comportamiento de las muestras A y B se puede ejecutar un análisis interesante. Añadir material ecoestéril como un agregado más (sin sustituciones por otro, de forma independiente), genera un incremento importante con respecto a las unidades M-19L de PRECONCRETOS S.A. Cuando se adiciona el 5% y 10% de material ecoestéril en relación con la cantidad de cemento, el incremento en la resistencia a la compresión es del 50.33% y del 11.17% respectivamente. Por ende, se puede afirmar que a menor cantidad de ecoestéril añadido, mayor es el incremento en la resistencia a la compresión.

Entonces las muestras A, B si cumplen con el requisito de compresibilidad, ya que el promedio de 3 unidades ensayadas es superior a los 6.0 MPa a los 28 días y la norma exige este valor como un mínimo permitido. En consecuencia, el uso en construcciones de bloques con material ecoestéril como agregado es apto según este parámetro.

4.4.2. Análisis de resultados en el ensayo de absorción de agua

Para comenzar este análisis debemos ubicar las unidades de mampostería con agregado ecoestéril en su categoría correspondiente. Los bloques elaborados en este trabajo, al igual que los fabricados comercialmente por PRECONCRETOS S.A. (M-19L), son mampuestos tipo I: sin control de humedad, por lo que no deberán cumplir ciertos requisitos establecidos en la NTC 4076. Sin embargo, se deben cumplir unos requisitos de absorción de agua que previamente fueron establecidos y demostrados en la Tabla 2 de este documento.

Los bloques M-19L tienen, como se vio anteriormente, una densidad de 2178 kg/m^3 , por lo que para evaluar su parámetro de absorción se debe clasificar como una unidad de peso normal (mayor a 2000 kg/m^3). Es por eso que su porcentaje máximo de absorción debe ser del 12% en el promedio de 3 unidades. Sin embargo, los bloques fabricados con material ecoestéril reportan los siguientes valores de densidad, consignados en la Tabla 20.

Tabla 20.

Valores de densidad del promedio de 3 bloques por muestra elaborados con material ecoestéril.

Muestra	Densidad (kg/m^3)
A	1944.6
B	1960.9

C	1880.0
D	1871.1

Fuente. Autores.

Es posible evidenciar que todas las 4 muestras tienen una densidad inferior a los 2000 kg/m³. Entonces es acertado clasificar a los bloques elaborados con material ecoestéril en la categoría de peso mediano (densidad entre 1680 kg/m³ y menor a 2000 kg/m³). Por consiguiente, el porcentaje de absorción máximo de estos bloques es de 15%.

A continuación, en la Figura 17, se muestran los valores promedios obtenidos de porcentaje de absorción por cada dosificación de material ecoestéril en la mezcla y su comparativa con el valor normalizado en la NTC 4076.

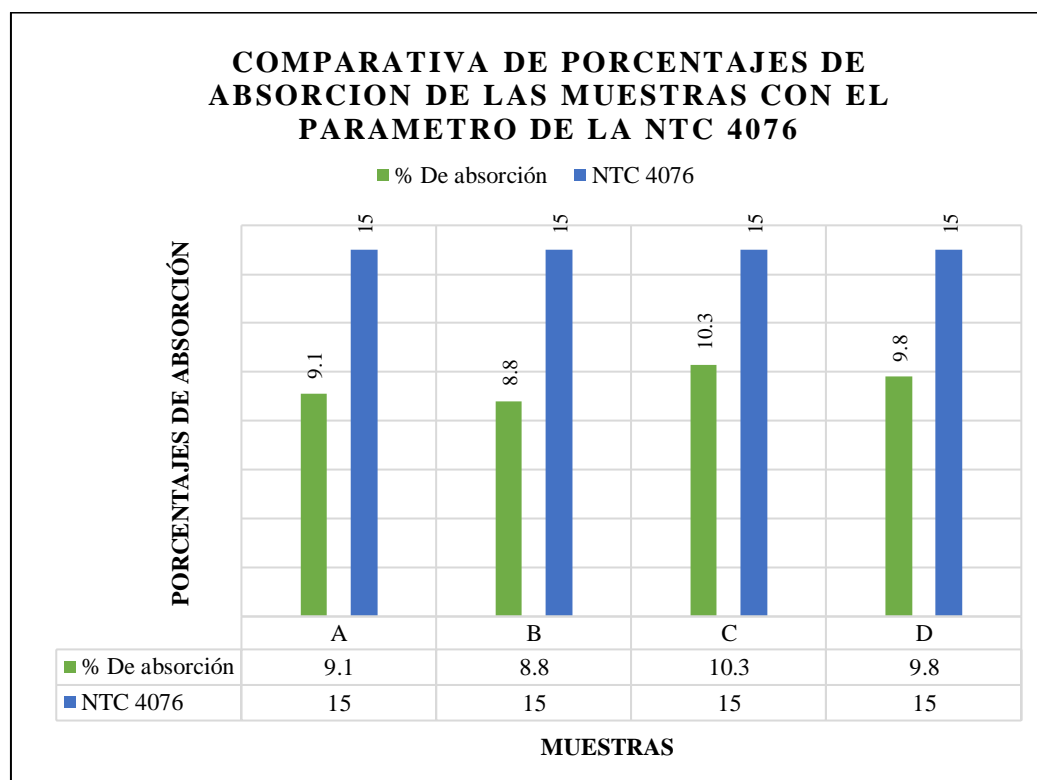


Figura 17. Gráfica comparativa entre parámetro de absorción de agua (%) de la NTC 4076 con el promedio de las 3 unidades ensayadas por cada muestra. Fuente autores.

Teniendo en cuenta lo anterior, es correcto afirmar que las unidades de mampostería elaboradas con material ecoestéril no sobrepasan el 15% máximo de absorción de agua establecido en la norma, por lo que su uso en construcciones, de acuerdo con este requisito, es apto. No obstante, es posible evidenciar que los valores promedio de cada muestra elaborada con material ecoestéril son mayores que los reportados por el bloque M-19L de PRECONCRETOS S.A., cuyos porcentajes de absorción de agua oscilan entre 8.5% al 9.0% aproximadamente. Esto puede obedecer a que algunos componentes de los residuos biosanitarios, (como las gasas, algodones, apósitos, vendas, entre otros), absorben más agua que el concreto normal. Esto ocasiona que los porcentajes se vean elevados, aunque ese incremento es irrelevante pues se siguen cumpliendo las normas establecidas para este parámetro.

Estos resultados permiten afirmar que la implementación de material ecoestéril en mezcla para producir mampuestos no estructurales es una alternativa optima ya que no castiga los valores de absorción de agua como lo hacen otros materiales como los envases Tetra Pak, cuya incorporación en paneles amalgamados con yeso hacen que se hinchen casi un 4% de su volumen normal, por lo que se considera húmedo con desgaste a su manipulación (Domínguez & Guemez, 2011).

Sin embargo, pese a que todas las 4 muestras cumplen cabalmente con el requisito de absorción de agua, únicamente se podrían comercializar las muestras A, B ya que son las únicas que cumplen también los requisitos de resistencia a la compresión.

El análisis comercial de este producto se puede realizar de dos formas: rentabilidad en el proceso de manufactura y rentabilidad en el proceso de acarreo.

El primer enfoque, el de rentabilidad en el proceso de manufactura, hace referencia a los beneficios económicos observados durante el proceso de fabricación de los bloques con material

ecoestéril. Teniendo en cuenta que solo es posible comercializar las muestras A, B (en las que se añadió material ecoestéril como un agregado extra y no como sustituto parcial), es posible afirmar que no se cuenta con un ahorro en el proceso de manufactura. Pese a que, por la cantidad dosificada de material ecoestéril en cada muestra se observa un ahorro en el volumen total de la mezcla de concreto al momento de elaborar las bachadas, esta reducción es mínima en un proceso de producción en masa, por lo que no representa ningún beneficio económico en la fabricación de los bloques, ya que no se cuenta con un ahorro en agregados, aglutinante, agua ni en ningún otro material interviniente en la mezcla de concreto.

El segundo enfoque, el de rentabilidad en el proceso de acarreo, presenta resultados interesantes comercialmente. Como se pudo observar, existe una reducción notoria en el peso de los bloques elaborados con material ecoestéril con respecto al bloque M-19L de PRECONCRETOS S.A. En la Tabla 21 se pueden observar los valores de peso (kg) de los bloques con material ecoestéril obtenidos en esta investigación.

Tabla 21.

Valores del promedio de 3 unidades por muestra de peso de los bloques con material ecoestéril y el comercializado por PRECONCRETOS S.A.

Muestra	Peso (kg)
A	14.508
B	14.574
C	13.759
D	13.760
M-19L	16.100

Fuente. Autores.

Las comparaciones de la tabla 19 permiten afirmar que el material ecoestéril es un elemento que, al incorporarlo en la mezcla de concreto, contribuye al aligeramiento del elemento, reduciendo cargas muertas en las estructuras y, por lo tanto, mitigando efectos nocivos al momento de presentarse un sismo (Akçaözöglu et al., 2009).

4.4.3. Análisis comercial de los bloques

Como se demostró anteriormente, los bloques desarrollados con material ecoestéril no presentan un ahorro significativo en la parte de manufactura, por lo que el análisis comercial será relegado únicamente a las ventajas ofrecidas por el aligeramiento del elemento de acuerdo a las muestras viables para el mercado.

Para efectos de análisis comercial de acarreos, solo se tendrán en cuenta las muestras A, B ya que estas son las únicas que cumplen con los requisitos establecidos por la NTC 4076 y por lo tanto se pueden comercializar para su uso en obras civiles. Teniendo en cuenta esto, se puede afirmar que existe una reducción de 1.592 kg y 1.526 kg entre el bloque M-19L y las muestras A, B respectivamente.

PRECONCRETOS S.A. cobra el transporte de sus prefabricados por kilogramos; es decir, por ejemplo, que, si los bloques son acarreados desde Cúcuta hasta Bucaramanga, el costo del viaje será de \$60.00 por cada kilogramo transportado. Teniendo en cuenta que el bloque M-19L distribuido por PRECONCRETOS S.A. pesa 16.1 kg, el costo total del acarreo por unidad de mampostería es de \$966.00 COP.

Por su parte, las muestras A, B tienen un peso de 14.508 kg y 14.574 kg respectivamente. Esto quiere decir que el costo de los acarreos realizando el mismo recorrido entre Cúcuta y

Bucaramanga, con un valor de \$60.00 por kilogramo, tendría un costo de \$870.48 COP y \$874.44 COP por unidad de muestra A, B respectivamente.

Debido a que la incorporación de material ecoestéril no representa ningún costo extra (ya que es un residuo que no cuenta con ningún tipo de uso luego de esterilizado), se puede calcular un ahorro neto por unidad entre las muestras A, B y el bloque M-19L de la siguiente manera:

Muestra A: $\$966.00 - \$870.48 = \mathbf{\$95.52 \text{ COP}}$.

Muestra B: $\$966.00 - \$874.44 = \mathbf{\$91.56 \text{ COP}}$.

El mismo ejercicio se puede realizar para acarreo local, dentro de la ciudad de Cúcuta, donde el costo por kg de bloque M-19L es de \$15.00 COP. Por lo tanto, una unidad de esta referencia tendría un valor de \$241.5 COP. Por su parte, asignando el mismo valor por kg para las muestras A, B se tiene un costo por unidad de \$217.62 COP y \$218.61 COP respectivamente. Esto representa entonces un ahorro neto por unidad de $\mathbf{\$23.88 \text{ COP}}$ y $\mathbf{\$22.89 \text{ COP}}$ respectivamente.

La anterior información se refleja mejor en la tabla 22 de valores comparativos para acarreos entre el bloque M-19L y los bloques ecoestéril desde la ciudad de Cúcuta hasta Bucaramanga.

Tabla 22.

Comparación de valores de acarreo entre bloques M-19L y bloques ecoestéril desde Cúcuta, Norte de Santander hasta Bucaramanga, Santander.

Bloque	Peso (kg)	Valor acarreo por kilogramo (\$COP)	Valor acarreo total (\$COP)	Ahorro (\$COP)
M-19L	16.100	60.00	966.00	-
Muestra A	14.508	60.00	870.48	95.52
Muestra B	14.574	60.00	874.44	91.56

Fuente. Autores.

En la tabla 23 se presentan los valores comparativos para acarreos entre el bloque M-19L y los bloques ecoestéril dentro de la ciudad de Cúcuta.

Tabla 23.

Comparación de valores de acarreo entre bloques M-19L y bloques ecoestéril dentro de la ciudad de Cúcuta, Norte de Santander.

Bloque	Peso (kg)	Valor acarreo por kilogramo (\$COP)	Valor acarreo total (\$COP)	Ahorro (\$COP)
M-19L	16.100	15.00	241.50	-
Muestra A	14.508	15.00	217.62	23.88
Muestra B	14.574	15.00	218.61	22.89

Fuente. Autores.

Con lo anterior se puede observar el ahorro que se presenta al implementar material ecoestéril en la mezcla de concreto para acarreos, ya que estos se valorizan según el peso del elemento.

Conclusiones

En esta investigación se realizó el análisis de cómo incorporar residuos hospitalarios biosanitarios esterilizados en una mezcla de concreto para desarrollar unidades de mampostería no estructural. Basados en los resultados obtenidos se pueden obtener las siguientes conclusiones:

❖ Al investigar sobre posibles materiales ecológicos implementados en mezclas de concreto se pudo concluir que gran parte de estas se orientan al uso de residuos plásticos como agregados adicionales o sustituciones parciales de otros, en estos diseños. Sin embargo, al indagar sobre el uso de residuos hospitalarios en la construcción, la información encontrada fue demasiado escasa.

❖ Se obtuvieron cuatro nuevos bloques que representan cada una de las dosificaciones implementadas en la mezcla para la producción de unidades de mampostería no estructural con material ecoestéril, de acuerdo con las recomendaciones otorgadas por PRECONCRETOS S.A. en su manufactura, utilizando materiales comunes como cemento industrial, arena, triturado de 3/8, agua y la adición y sustitución parcial de un nuevo material: residuos hospitalarios biosanitarios esterilizados.

❖ Utilizar material ecoestéril como un agregado adicional o como sustitución parcial con respecto al peso del concreto hace que exista una reducción en la densidad de los bloques con respecto a las unidades M-19L, ya que estas presentan un valor de 2178 kg/m^3 que las ubica dentro de la categoría de peso normal, y las unidades con material ecoestéril presentan un valor fluctuante entre 1870 kg/m^3 y 1960 kg/m^3 , lo que las ubica en la categoría de peso mediano.

❖ El material ecoestéril es un elemento que permite el aligeramiento de los bloques en concreto ya que reduce el peso de las unidades de mampostería a diferentes dosificaciones en la mezcla. Por lo tanto, se puede considerar que este tipo de residuos incorporados en los bloques son un aligerante en la elaboración de este tipo de productos.

❖ Pese a que existe una reducción en densidad y un aligeramiento en peso, el porcentaje de absorción de agua no se ve comprometido en ninguna de las 4 muestras elaboradas, pues todas se encuentran por debajo del porcentaje máximo establecido por la NTC 4076 (15% para unidades de peso mediano).

❖ El material ecoestéril encuentra su dosificación óptima como un agregado extra en la mezcla para producir bloques no estructurales. Los resultados indican que añadir estos residuos en proporciones del 5% y 10% en relación con el peso del cemento no castiga la resistencia a la compresión de los elementos, sino que puede incluso mostrar cierto incremento.

❖ La sustitución parcial de cemento por material ecoestéril en porcentajes del 15% y 10% en relación con el peso no representan dosificaciones viables para el desarrollo de bloques en concreto debido a que se presenta una disminución considerable en la resistencia a la compresión, siendo este valor inferior al requerido en la norma colombiana para su uso en obras civiles.

❖ Debido a las reducciones en peso y los resultados positivos en los ensayos de resistencia a la compresión y de absorción de agua, los bloques con material ecoestéril como agregado extra a dosificaciones del 5% y 10% en relación con el peso del cemento son unidades viables económica y operacionalmente.

Recomendaciones

Al momento de añadir el material ecoestéril en la mezcla de concreto se presentaron inconvenientes con los operarios debido al fuerte olor que se desprendía de estos residuos. Por lo tanto, se recomienda extender el material ecoestéril en condiciones de sol para que se reduzca su intensidad de olor y sea más sencillo su manejo. Del mismo modo, se recomienda el uso de guantes y tapabocas al incorporar el material ecoestéril para mitigar el impacto del olor en los operarios.

Someter el material ecoestéril a un proceso de segregación en el cual se extraigan elementos de gran tamaño como jeringas, sondas y catéteres ya que estos son los principales causantes de la disminución en los valores de resistencia a la compresión.

Realizar los ensayos de resistencia a la compresión a los 28 días y no a la edad de 87 días. Esto se debió a una confusión con el laboratorio de PRECONCRETOS S.A. en la cual no se pudo ejecutar los ensayos a los 28 días y gestionar la logística para realizarlos tomó más tiempo.

Utilizar un porcentaje de sustitución parcial del 5% en peso de material ecoestéril por cemento en lugar del 15% implementado en la muestra C para evitar pérdidas considerables en los valores de resistencia a la compresión.

Realizar mezclas con sustituciones parciales de 3%, 5% y 7% de material ecoestéril por agregado fino (arena) de acuerdo con su volumen en la mezcla y de acuerdo con su peso para evaluar de qué forma es más viable su fabricación y sus propiedades físico-mecánicas.

Implementar el material ecoestéril como aligerante en mezclas para elaborar bordillos prefabricados, pues uno de sus principales problemas es el gran peso que estos tienen y que hacen muy difícil su transporte y su instalación.

Analizar el comportamiento del material ecoestéril bajo condiciones extremas como lo pueden ser el congelamiento, en ambientes de invierno, o en situaciones como incendios, donde sea posible determinar su nivel de flamabilidad.

Bibliografía

- Açaözođlu, S., Duran, C. & Açaözođlu, K. (2009). An investigation on the use of shredded waste PET bottles as aggregate in lightweight concrete. *Waste Management*, 30(2), 285-290. doi: [10.1016/j.wasman.2009.09.033](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.09.033)
- Al-Hadithi, A. I. & Hilal, N. N. (2016). The possibility of enhancing some properties of self-compacting concrete by adding waste plastic fibers. *Journal of Building Engineering*, 8, 20-28. doi: [10.1016/j.jobbe.2016.06.011](https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2016.06.011)
- Alkalbani, A. & Safinia, S. (2016). Use of recycled plastic water bottles in concrete blocks. *Procedia Engineering*, 164, 214-221. doi: [10.1016/j.proeng.2016.11.612](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.612)
- Asociación Nacional de Fabricantes de Bloques y Mampostería de Hormigón. (2007). *Manual técnico NORMABLOC*. Recuperado de <http://www.barruca.es/sites/default/files/manual-tecnico-normabloc.pdf>
- Asocreto. (s.f.). Control de calidad para bloques de concreto. *Laboratorio del concreto, Noticiero 142*, 66-70. Recuperado de <https://docplayer.es/70904495-Mayor-eficiencia-en-mamposteria-control-de-calidad-para-bloques-de-concreto.html>
- Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA. (01 de septiembre de 2016). Certificación de acreditación del equipo objeto de la solicitud de exclusión del impuesto sobre las ventas IVA presentada por la ASEO URBANO S.A.S. E.S.P. y otras disposiciones. [Certificación 0954 del 2016]. Recuperado de http://portal.anla.gov.co/sites/default/files/res_cert_0954_01092016_ct_3570.pdf

- Azad, A. M. (2017). Flexural behavior and analysis of reinforced concrete beams made of recycled PET waste concrete. *Construction and Building Materials*, 155, 593-604. doi: [10.1016/j.conbuildmat.2017.08.096](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.08.096)
- Balaga, H. & Nanthagopalan, P. (2015). Studies on strength and weight loss of paper concrete. *Proceedings of the institution of civil engineers-engineering sustainability*, 169(1), 39-44. Recuperado de <https://doi.org/10.1680/ensu.14.00057>
- Baldacchino, O., Borg, R. P. & Ferrara, L. (2016). Early age performance and mechanical characteristics of recycled PET fiber reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 108, 29-47. doi: [10.1016/j.conbuildmat.2016.01.029](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.01.029)
- Bansal, P. P. & Sharma, R. (2015). Use of different forms of waste plastic in concrete – a review. *Journal of Cleaner Production*, 112(1), 473-482. doi: [10.1016/j.jclepro.2015.08.042](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.042)
- Constitución Política de Colombia [Const.]. (1991). Edición especial para la Corte Constitucional. Recuperado de http://www.palatauruscentrostudi.eu/doc/COL_Constitution_1991-2015_ES.pdf
- De Brito, J. & Saikia, N. (2013). Mechanical properties and abrasion behavior concrete containing shredded PET bottle waste as a partial substitution of natural aggregate. *Construction and Building Materials*, 52, 236-244. doi: [10.1016/j.conbuildmat.2013.11.049](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.11.049)
- Domínguez, J. A. & Guemez, P. D. (2011). Fabricación y evaluación de paneles aplicables a la industria de la construcción a partir del reciclaje de envases multicapa (tetra brik). *Ingeniería*, 14(3), 191-195. Recuperado de <http://www.redalyc.org/html/467/46715742007/>
- Dugarte, J. P. & Lizarazo, J. P. (2018). *Aprovechamiento de residuos peligrosos (biosanitarios tratados) en una mezcla de concreto no estructural*. (Trabajo de grado). Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia.

Gomes, A., Oliveira, A. L. & Lopes, E. (2017). Optimization of mechanical properties in concrete reinforced with fibers from solid urban wastes (PET bottles) for the production of ecological concrete. *Construction and Building Materials*, 149, 837-848. doi: [10.1016/j.conbuildmat.2017.05.148](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.05.148)

Hama, S. M. & Hilal, N. N. (2017). Fresh properties of self-compacting concrete with plastic waste as partial replacement of sand. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 6(2), 299-308. doi: [10.1016/j.ijbsbe.2017.01.001](https://doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2017.01.001)

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Ingeniería Civil y Arquitectura: Práctica para la toma de muestras de agregados. Bogotá: ICONTEC, 1995. (NTC 129).

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Concretos: Especificaciones de los agregados para concreto. Bogotá: ICONTEC, 2000. (NTC 174).

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Ingeniería civil y arquitectura: Unidades (bloques y ladrillos) de concreto, para mampostería no estructural interior y chapas de concreto. Bogotá: ICONTEC, 1997. (NTC 4076).

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Prefabricados de concreto: Muestreo y ensayo de prefabricados de concreto no reforzados, vibrocompactados. Bogotá: ICONTEC, 2001. (NTC 4024).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (14 de marzo de 2007). Estándares generales para el acopio de datos, procesamiento, transmisión y difusión de información para el Registro de Generadores de Residuos o Desechos Peligrosos. [Resolución 0043 de 2007]. DO: 46.579.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (Diciembre de 2018). Informe Nacional de Residuos o Desechos Peligrosos en Colombia 2017. [ISSN 2665-2285]. Recuperado de http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023849/Informe_RESPEL_2017.pdf

Kosmatka, S., Kerkhoff, B., Panarese, W. & Tanesi, J. (2004). *Diseño y control de mezclas de concreto*. Illinois, Estados Unidos: Portland Cement Association [PCA].

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2007). *Gestión integral de residuos o desechos peligrosos – Bases conceptuales*. Recuperado de http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/sustancias_qu%C3%ADmicas_y_residuos_peligrosos/gestion_integral_respel_bases_conceptuales.pdf

Ministerio del Medio Ambiente & Ministro de Salud. (06 de septiembre de 2002). Manual de Procedimientos para la Gestión Integral de Residuos Hospitalarios y Similares MPGIRH. [Resolución 1164 de 2002]. DO: 45.009.

Navas Carro, A. (2007). Propiedades a compresión de la mampostería de bloques de concreto. *Ingeniería. Revista de la Universidad de Costa Rica*, 17(2). [53-70]. Recuperado de <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/ingenieria/article/view/7746>

Librería Norma. (2019). *Diccionario de la lengua española plus*. Bogotá, Colombia: Editorial Norma.

Presidente de la República de Colombia. (27 de julio de 1994). Reglamentación parcial del Sistema Nacional Ambiental SINA en relación a los Sistemas Nacionales de Investigación Ambiental y de Información Ambiental. [Decreto 1600 de 1994]. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/documents/51310/536020/Decreto+1600+de+1994.pdf/1a4cdca5-fc09-43bc-93ce-5845c818ec2e>

Presidente de la República de Colombia. (22 de diciembre de 2000). Reglamentación de la gestión integral de los residuos hospitalarios y similares. [Decreto 2676 de 2000]. Recuperado de <http://parquearvi.org/wp-content/uploads/2016/11/Decreto-2676-de-2000.pdf>

Presidente de la República de Colombia. (30 de diciembre de 2005). Reglamentación parcial de la prevención y manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral. [Decreto 4741 de 2005]. Recuperado de http://www.metropol.gov.co/Residuos/Documents/Legislacion%20Peligrosos/Decreto_4741_2005_Respel.pdf

Sistema de Información Ambiental de Colombia SIAC. (n. d.) *Residuos peligrosos*. Colombia: SIAC. Recuperado de <http://www.siac.gov.co/residuos peligrosos>

SGS Colombia. (2018). Pruebas de ladrillos y bloques. Recuperado de <https://www.sgs.co/es-es/construction/services-related-to-materials/materials-testing/brick-and-block-testing>

Tecniamsa S.A. ESP. (2017). *AMB ECOSTERYL-250*. [Fotografía]. Recuperado de http://exporesiduos.com/documentos/MEMORIAS_EXP_2017/SALON_MUTIS/Mutis2_12%20de%20Oct/3_EXPORES2017_T2_HOSPITALARIOS_APO_TECNIAMSA.pdf

Anexos