

**ELABORACIÓN DE LADRILLO ECOLÓGICO REUTILIZANDO MATERIALES A  
BASE DE PLÁSTICO “PET” EN EL MUNICIPIO DE VALLEDUPAR, CESAR**



**KELLYS DAYANA PÉREZ OSPINO  
JONATHAN ARIAS RESTREPO**

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y TECNOLOGÍAS  
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA  
VALLEDUPAR  
2019**

**ELABORACIÓN DE LADRILLO ECOLÓGICO REUTILIZANDO MATERIALES A  
BASE DE PLÁSTICO “PET” EN EL MUNICIPIO DE VALLEDUPAR, CESAR**

**KELLYS DAYANA PÉREZ OSPINO  
JONATHAN ARIAS RESTREPO**

**Director:**

**YIM JAMES RODRIGUEZ DIAZ  
MSc. Ingeniería Ambiental**

**Asesor técnico:**

**EBERTO ORTEGA SINNING  
MSc. Desarrollo Sostenible**

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y TECNOLOGÍAS  
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA  
VALLEDUPAR**

**2019**

## **DEDICATORIA**

Primeramente, le doy gracias a Dios por darme la fortaleza, sabiduría y paciencia para poder llegar y cumplir esta etapa de mi vida.

A mis padres Kellys Ospino Orozco y Abelardo Pérez Díaz por su apoyo incondicional, por su comprensión, su amor, por los valores inculcados y ayudarme a realizarme como persona.

A mis hermanos y sobrinos, por estar siempre para animarme y apoyarme en todo momento para cumplir mis metas y propósitos.

A mis tías y primos que con palabras de aliento y animo me impulsaban a seguir avanzando.

A mis amigos Paul Arias, Sindy Montero, Oscar Beleño y Emiliano Agámez por contar con su apoyo y amistad invaluable.

A mi querido novio, compañero y colega Jonathan Arias por su compañía durante este proyecto, por su amor, comprensión y paciencia para poder realizar y finalizar este trabajo con éxito.

A mis familiares, amigos y compañeros por el apoyo durante este proceso.

**KELLYS DAYANA PÉREZ OSPINO**

## **DEDICATORIA**

A Dios y al aliento de vida por haberme dado la fuerza de seguir adelante con mis estudios y así poder lograr mis objetivos.

A mi madre Rubiela Restrepo que siempre estuvo apoyándome en todo momento y enseñándome con amor buenos valores para conseguir mis objetivos, y a mi padre Nicanor Arias por su apoyo y ayuda en el transcurrir de la carrera, y mis hermanos por ser motivos de seguir adelante.

A mi querida y linda novia Kellys Pérez, que con todo su amor y amistad me ayudo a culminar mis logros y me dio ánimos para no rendirme en este camino.

También quiero dedicar y dar las gracias a todos mis amigos, compañeros, y a todas aquellas personas que estuvieron apoyándome en este proceso.

**JONATHAN ARIAS RESTREPO**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por brindarnos sabiduría y fortaleza para llevar a cabo este trabajo de grado.

A nuestros familiares que siempre nos respaldaron y nos brindaron sus palabras de aliento para salir exitoso en nuestros proyectos de vida.

A la Universidad por habernos aceptado ser parte de ella y abrirnos las puertas para poder estudiar nuestra carrera, así como a los diferentes docentes que brindaron su conocimiento y apoyo para seguir adelante día a día.

A nuestro director de proyecto Ing. Yim James Rodríguez Díaz, por su ayuda, sus consejos y recomendaciones para el desarrollo de la investigación del presente trabajo de grado.

A el Ing. Erlin David Carpio Vega, quien fue el que impulso la idea, y a seguir trabajando arduamente para conseguir este logro, gracias por sus valiosos aportes a esta investigación.

A nuestro asesor y amigo el Ing. PAUL KLEMENT ARIAS RUIDIAZ por su grata ayuda constante, recomendaciones y correcciones durante todo este proceso.

A la empresa MUNDOPLAST CARTAGENA Ltda. y a su empleado ROGER DURANGO, por permitir el acceso al material triturado de PET.

A todos los amigos que de una u otra nos brindaron durante este proceso, su apoyo y cariño.

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN .....	15
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
2. JUSTIFICACIÓN.....	19
3. OBJETIVOS.....	20
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	20
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
4. MARCO REFERENCIAL .....	21
4.1 ANTECEDENTES.....	21
4.2 MARCO TEÓRICO .....	26
4.2.1 Desarrollo sostenible: origen del término y rasgos principales .....	27
4.2.2 Principios de la construcción sustentable .....	28
4.2.3 Gestión ambiental residuos sólidos .....	29
4.2.4 Plástico .....	32
4.2.4.1 Reseña histórica de los materiales plásticos.....	32
4.2.4.2 Características de los plásticos .....	34
4.2.4.3 Problemas con el reciclaje de los plásticos .....	36
4.2.4.4 Fuentes Generadoras de Residuos Plásticos.....	38
4.2.5 Materias Primas.....	41
4.2.5.1 Polietileno Tereftalato (PET).....	41
4.2.5.2 Cemento.....	41
4.2.5.3 Arena.....	42

4.2.5.4	Agua de Mezcla.....	43
4.2.5.5	Bloques.....	43
4.3	MARCO CONTEXTUAL .....	47
4.4	MARCO CONCEPTUAL.....	50
4.5	MARCO LEGAL.....	53
5.	MARCO METODOLÓGICO.....	54
5.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	55
5.2	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	55
5.2.1	Población.....	55
5.2.2	Muestra.....	55
5.3	DISEÑO METODOLÓGICO .....	56
5.3.1	Diseño Experimental.....	56
5.3.1.1	Variables dependientes de estudio.....	57
5.3.2	Estructura de Recolección de Datos.....	58
5.3.2.1	Etapa 1 .....	58
5.3.2.2	Etapa 2 .....	60
5.3.2.3	Etapa 3 .....	61
5.3.2.4	Etapa 4 .....	61
6.	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	63
6.1	IMPLEMENTACIÓN DE ACCIONES ESTRATÉGICAS Y OPERATIVAS PARA LA REUTILIZACIÓN DEL PLÁSTICO PET COMO MECANISMO DE REDUCCIÓN Y MITIGACIÓN DE LOS PROBLEMAS MEDIO AMBIENTALES. ..	63
6.1.1	Acopio del material plástico .....	63
6.1.2	Clasificación y Separación del Material .....	65
6.1.3	Limpieza y Secado Del Material .....	66

6.1.4	Molido o triturado del material.....	67
6.2	DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES Y PROPORCIONES DE DOSIFICACIÓN DEL PET, ARENA Y CEMENTO MEDIANTE DISEÑO DE MEZCLA. ....	68
6.2.1	Ensayos al PET .....	68
6.2.1.1	Análisis Granulométrico PET .....	68
6.2.1.2	Densidad del PET.....	70
6.2.2	Ensayos a la Arena.....	71
6.2.2.1	Contenido de Humedad.....	71
6.2.2.2	Análisis Granulométrico Arena .....	71
6.2.3	Dosificación de la Mezcla .....	74
6.2.3.1	Dosificación por porcentajes PET.....	75
6.2.4	Elaboración de Ladrillos Ecológicos .....	77
6.2.4.1	Fraguado .....	78
6.2.4.2	Curado.....	78
6.2.4.3	Reposo .....	79
6.3	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS RESPECTO A LO ESTIPULADO EN LA NORMATIVA SISMO RESISTENTE 2010 Y NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. ....	79
6.3.1	Ensayos Físico-Mecánicos de los Ladrillos Ecológicos .....	79
6.3.1.1	Determinación del porcentaje de absorción de agua.....	79
6.3.1.2	Densidad (D) .....	82
6.3.1.3	Resistencia a la Compresión (MPA) y carga máxima (KN) .....	83
6.3.2	Diseño Experimental.....	88

6.4	ANÁLISIS DE LOS BENEFICIOS Y COSTOS DE LA UTILIDAD ECOLÓGICA DEL LADRILLO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL EN EL MUNICIPIO DE VALLEDUPAR. ....	95
6.4.1	Análisis de Precios Unitarios (APU).....	95
6.4.2	Comparación Económica.....	97
6.4.3	Análisis de los Beneficios Ambientales.....	99
7.	CONCLUSIONES .....	101
8.	RECOMENDACIONES.....	103
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	104

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Fuentes generadoras de residuos plásticos.....	38
Tabla 2. Granulometrías para los agregados según NTC 77, 174, 2240 y 4020 ...	42
Tabla 3. Clasificación del agregado fino según NTC 77 .....	43
Tabla 4. Densidad de los bloques de concreto .....	45
Tabla 5. Valor mínimo de la resistencia a la compresión .....	46
Tabla 6. Marco Normativo del Proyecto .....	53
Tabla 7. Porcentajes correspondientes de cada material. ....	56
Tabla 8. Niveles de las variables de estudio .....	57
Tabla 9. Diseño de la matriz experimental .....	57
Tabla 10. Peso del material acopiado .....	64
Tabla 11. Granulometría del PET .....	69
Tabla 12. Granulometría de la Arena .....	72
Tabla 13. Proporciones Iniciales .....	75
Tabla 14. Dosificación para los Ladrillos Ecológicos .....	76
Tabla 15. Pesos determinados de acuerdo con la composición de PET .....	80
Tabla 16. Porcentajes de absorción de acuerdo a la composición de PET .....	80
Tabla 17. Densidad de los ladrillos de acuerdo con su composición de PET .....	82
Tabla 18. Resistencia a la Compresión a los 14 días .....	84
Tabla 19. Resistencia a la compresión a los 28 días .....	86
Tabla 20. Datos para Diseño Experimental .....	88
Tabla 21. Media Aritmética de la Resistencia .....	89
Tabla 22. Estimaciones de Parámetros .....	89
Tabla 23. Predicciones del modelo .....	89
Tabla 24. Residuos .....	90
Tabla 25. Sumas de cuadrados .....	90
Tabla 26. Coeficientes de determinación .....	91
Tabla 27. Datos ANOVA .....	91

Tabla 28. Medias Calculadas.....	92
Tabla 29. Combinaciones y Significancias.....	92
Tabla 30. Análisis de precios unitarios a la mejor muestra de PET .....	95
Tabla 31. Precios unitarios para un m <sup>2</sup> de muro PET .....	96
Tabla 32. Precios unitarios para un m <sup>2</sup> de muro de ladrillo convencional.....	97
Tabla 33. Análisis comparativo a nivel económico del bloque con PET y el ladrillo convencional.....	98

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Clasificación de los Residuos Sólidos Fuente: GTC – 24, 2018 .....	31
Figura 2. Localización General de Valledupar .....	49

## LISTA DE FOTOGRAFÍAS

	Pág.
Fotografía 1. Acopio del Material .....	64
Fotografía 2. Material descartado .....	66
Fotografía 3. Material descartado .....	66
Fotografía 4. Material seleccionado .....	66
Fotografía 5. Material sin etiquetas .....	67
Fotografía 6. Material Triturado en Escamas .....	68
Fotografía 7. Materiales para la Elaboración de Mezcla .....	76
Fotografía 8. Proceso de Compactación.....	77
Fotografía 9. Fraguado de las Muestras .....	78
Fotografía 10. Etapa de Curado.....	79
Fotografía 11. Determinación de masa suspendida.....	81
Fotografía 12. Masa saturada del ladrillo .....	81
Fotografía 13. Rotura de Ladrillo Ecológico .....	83

## LISTA GRÁFICAS

	Pág.
Gráfico 1. Gradación de PET .....	70
Gráfico 2. Gradación de la Arena.....	73
Gráfico 3. Comparación de Modulo de Finura .....	73
Gráfico 4. Resistencia de la Muestra a 14 días.....	85
Gráfico 5. Resistencia de la Muestra a 28 días.....	87
Gráfico 6. Resistencias vs. Días .....	93
Gráfico 7. Resistencia vs. %PET .....	94

## INTRODUCCIÓN

El problema de generación de plásticos en el mundo crece alarmantemente, gracias a los procesos de globalización económica, este problema se observa en sitios donde los procesos de generación no estaban asociados a plástico. En las comunidades rurales en donde sus residuos eran predominantemente orgánicos, la tasa de generación de residuos plásticos ha crecido en los últimos años. “Para Valledupar en el 2016 el porcentaje promedio residencial urbano por estratos se situó en un 18,93%, siendo aproximadamente igual a 26.166 Toneladas”<sup>1</sup>.

Como respuesta a este desafío, existe una tendencia mundial por desarrollar iniciativas amigables con el medio ambiente que dan uso del reciclaje como una solución al problema de eliminación o tratamiento de los materiales de desecho, permitiendo, así como recuperar algunos elementos como el papel, cartón, vidrio, plásticos, entre otros. Con estas iniciativas se busca evitar que los materiales de desecho altamente contaminantes se mezclen con otros materiales orgánicos que pueden reciclarse directamente.

Los materiales plásticos usados por la industria son considerados como contaminantes debido a sus materiales poliméricos no degradables. Por este motivo, existe la necesidad de reciclar con eficacia los materiales de desecho contaminantes, y así minimizar el impacto económico en construcción dada su versatilidad y funcionalidad al presentar propiedades como: durabilidad y resistencia a la corrosión, efectividad como aislamiento de frío, calor y ruido. Estos residuos plásticos normalmente tardan cientos de años en degradarse por sí mismos, es decir que si se aprovechan adecuadamente pueden tener una gran vida útil, pero el tratamiento final que reciben para acelerar su descomposición no es el más

---

<sup>1</sup> Aseo del Norte SA ESP. Informe Cumplimiento Ambiental. Valledupar: Coordinación Ambiental. 2016.

adecuado ya que terminan en rellenos sanitarios, basureros o sufren procesos de incineración.

El enfoque específico del presente proyecto de investigación es el uso del material Polietileno Tereftalato (PET) reciclado como elemento alternativo para el diseño de ladrillos ecológicos y con ello contribuir a minimizar el impacto que generan los desechos plásticos industriales, domésticos y de consumo en el medio ambiente.

El propósito es determinar las posibilidades de uso del PET como material de refuerzo o usarlo como uno de los materiales principales para diseñar ladrillos ecológicos que tengan potencialidad de aplicabilidad en áreas de construcción, incluso pensar en el sector rural y sus problemas de déficit cualitativo y cuantitativo de vivienda. Según el Censo DANE realizado en 2005, “en Colombia, el 23,84% de los hogares habitan en viviendas con problemas cualitativos o susceptibles a ser mejorados, ya que las viviendas que ocupan presentaron deficiencias.”<sup>2</sup>

Para llevar a cabo el estudio, en primer lugar, se propuso hacer una evaluación y análisis de las propiedades del PET a partir de los diferentes estudios adelantados en el tema, seguidamente se planteó la forma de transformación del PET reciclado a través de un proceso de triturado.

Después de la transformación, se procede a diseñar los ladrillos ecológicos con este material PET ya triturado, a los cuales se le realizan pruebas físico-mecánicas a través de diferentes ensayos encaminados a conocer su comportamiento y resistencia, dentro de los dichos ensayos tenemos: prueba de compresión y prueba de flexión. Lo que se buscó con ello es disminuir la creciente demanda de plásticos no reutilizables y sugerir elementos para la construcción elaborados con material reciclable como el PET.

---

<sup>2</sup> DANE. Boletín Censo General 2005. Déficit de Vivienda. Bogotá, D.C.: DANE. 2005

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad uno de los mayores problemas que presentan las grandes ciudades es la contaminación por residuos sólidos que provienen del post-consumo de plásticos, cauchos, textiles, metales, papel, cuero, materia orgánica entre otros, situación de la cual no se escapa la ciudad de Valledupar. “La generación de residuos plásticos es superior a los producidos por otros materiales. En Colombia se procesan alrededor de 11,6 millones de toneladas anuales de las principales resinas plásticas de las cuales solo se aprovecha el 17%”<sup>3</sup>.

“De los productos nacionales, alrededor de un tercio se destina a la exportación y las dos terceras partes se quedan para atender el mercado interno. Sin embargo, en Colombia el consumo anual de productos plásticos es cercano a 20 kg por habitante”<sup>4</sup>.

Actualmente no se lleva a cabo una separación de residuos sólidos que promueva el proceso de transformación y generación de nuevas materias primas. “Para el 2016, en el Relleno Sanitario Los Corazones se dispusieron 165.263 toneladas, de las cuales Valledupar aportó el 84%, equivalente a 138.820,92 toneladas; es decir, alcanzándose promedios diarios de 385,61 toneladas dispuestas, solo para la zona urbana de Valledupar”<sup>5</sup>

Bajo esta óptica, “la capacidad de almacenamiento del relleno sanitario se está saturando lo cual está causando que su vida útil se acorte, pues está recibiendo residuos sólidos de la ciudad de Valledupar y municipios de Codazzi, La Paz, Pueblo

---

<sup>3</sup> ROJAS, Juan. Colombia entierra millones de pesos por no reciclar. el colombiano. 2016.

<sup>4</sup> Redacción por Negación. Plástico, Sólido. El Espectador. 2011.

<sup>5</sup> Aseo del Norte SA ESP. Óp. Cit.

Bello, San Diego, Manaure, la Jagua de Ibirico y últimamente de Villanueva, estas situaciones han sido expuestas por la Contraloría Municipal<sup>6</sup>.

Otro inconveniente que podemos observar es la dificultad que presenta algunas familias para acceder a una vivienda de interés social (VIS), debido a las situaciones económicas, algunos por ser víctimas de la violencia y ser desplazados y otros por la falta de empleo. Los materiales utilizados pueden ser de igual o menor calidad que los de cualquier otro tipo de vivienda. Así mismo, es probable que el aumento de los niveles de vida también suponga un incremento de la demanda de viviendas de mayor calidad (incluyendo una mayor dependencia de los sistemas de refrigeración y ventilación, electrodomésticos e iluminación de mayor consumo energético), sin compensar necesariamente los aumentos en el rendimiento térmico y estructural de las estructuras (por ejemplo, mayor aislamiento). Como tal, la región se enfrenta a la decisión de comprometerse a mantener su modesta contribución al cambio climático en el futuro mediante la aplicación de técnicas sencillas en el presente, con opciones viables y económicas que reduzcan el impacto ambiental de forma significativa, por lo anterior podemos definir como pregunta investigativa:

¿Cuáles son las ventajas y desventajas con la elaboración del ladrillo PET en comparación al ladrillo convencional en cuanto a sus propiedades físico-mecánicas, costos de elaboración y como estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático para las viviendas de interés social?

---

<sup>6</sup> Contraloría Municipal de Valledupar. Informe del Estado de los Recursos Naturales 2012. Valledupar. Informes Contraloría Municipal. 2013.

## 2. JUSTIFICACIÓN

Con este trabajo de investigación se crea una alternativa para aprovechar los residuos plásticos de PET en la elaboración de ladrillos ecológicos, buscando implementar acciones estratégicas y operativas para disminuir su disposición final en rellenos sanitarios controlados, existiendo la posibilidad práctica de reutilización en sistemas constructivos no convencionales de viviendas.

Debido a los grandes costos y contaminación que se genera al realizar construcciones con los materiales convencionales, se procedió a realizar una investigación de carácter experimental mediante la utilización de materiales alternativos como elementos constructivos de bajo costo (Polietileno Tereftalato) que ayuden a reducir y mitigar los problemas medioambientales y, a su vez, cumplir la promesa social de reducir las necesidades de vivienda existentes en las poblaciones menos favorecidas de Valledupar. Además, el proyecto tiene como propósito abrir una ventana a nuevas tecnologías para viviendas que sean rentables en comparación a las diseñadas con ladrillos convencionales de tal forma que sean eficientes energéticamente, sostenibles y resilientes para ser aplicadas a viviendas de interés social (VIS).

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

- Elaborar ladrillos ecológicos reutilizando materiales a base de plástico “PET” en el municipio de Valledupar, Cesar.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Implementar acciones estratégicas y operativas para la reutilización del plástico PET como mecanismo de reducción y mitigación de los problemas medio ambientales.
- Determinar las propiedades y proporciones de dosificación del PET, arena y cemento, mediante diseño de mezcla.
- Analizar si las propiedades físico-mecánicas cumplen con los requisitos de la NSR-10 y de las Normas Técnicas Colombianas NTC del ICONTEC referentes al tema de investigación.
- Realizar el análisis de los beneficios y costos de la utilidad ecológica del ladrillo para la construcción de viviendas de interés social en el Municipio de Valledupar.

## 4. MARCO REFERENCIAL

### 4.1 ANTECEDENTES

“J. R. Whinfield y J. T. Dickson, investigadores del poliéster termoplástico, definieron el polietileno tereftalato (PET) como un polímero para fibra. Desde que comenzó la producción comercial del PET, este ha producido un gran desarrollo tecnológico, logrando de esta manera un alto nivel de sofisticación por su crecimiento a nivel mundial”<sup>7</sup>. Sin embargo, la mala disposición de estos plásticos ha llevado a plantear iniciativas que promuevan el aprovechamiento y reutilización de estos materiales en distintas áreas y una de ellas es como componente de ladrillos en el área de la construcción, para esto existen varios referentes niveles mundiales.

- **DISEÑOS DE MEZCLA DE TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET) – CEMENTO.**

Esta investigación tiene como objetivo ensayar y caracterizar mezclas de polietileno tereftalato (PET) y cemento, para ello se determinó de manera preliminar el posible comportamiento del material al usarlo como agregado en una mezcla. La cantidad de PET empleado en la mezcla varió entre 5%, 10% y 15%. Además, dependiendo del uso final de ésta, usaron 3 diseños de mezclas en donde el PET sustituyó una cantidad parcial de arena. Se hicieron probetas con la mezcla para posteriores ensayos de compresión simple, erosión, absorción e impacto. Tras ser curada durante 7 días se hicieron pruebas de absorción y erosión. El día 28 se practicaron ensayos de compresión.

---

<sup>7</sup> AYALA, Miguel; HERNÁNDEZ, Michelle y LOOR, Nicole. Proyecto de ecoeficiencia reciclaje de botellas PET. Lima. Universidad Espíritu Santo. Escuela de ciencias ambientales.2012. p.6.

Como resultados de estos ensayos se obtuvo que la mezcla del 15% de PET, pese a no ser la más homogénea, era la más apropiada, demostrando ser la más resistente. Por otro lado, su capacidad de absorción fue baja, al igual que su comportamiento ante la erosión e impacto. Estas condiciones la confirmaron como la mezcla más idónea para ser utilizada como material de construcción. Cabe destacar que no es la más costosa dentro de las tres mezclas que contienen PET. Desde el impacto ambiental, la mezcla de PET - cemento es totalmente amigable con la naturaleza, ya que ayuda a reutilizar y reducir las cantidades de PET que no poseían una disposición final adecuada, disminuyendo así su impacto negativo al ecosistema. Por ejemplo, se necesitan una gran cantidad de botellas de gaseosas para obtener el material para elaborar la mezcla, por lo que dichas botellas se estarían eliminando del ambiente.

Como limitación se podría resaltar que en dicha investigación los procedimientos y resultados de los ensayos se llevaron a cabo bajo el parámetro de las normas venezolanas, pero al ser una investigación muy similar a la de esta investigación proporcionó gran información al momento que se hizo la comparación de los resultados<sup>8</sup>.

- **ELABORACIÓN DE BLOQUES EN CEMENTO REUTILIZANDO EL PLÁSTICO POLIETILEN-TEREFTALATO (PET) COMO ALTERNATIVA SOSTENIBLE PARA LA CONSTRUCCIÓN**

La alternativa estudiada, es la de sustituir un porcentaje (12,5%, 25% y 37,5%) en volumen de agregado fino por plástico PET triturado y recolectado como desecho para la fabricación de bloques de hormigón de 6 pulgadas. El estudio de factibilidad

---

<sup>8</sup> ALESMAR, Luis, RENDON Nalia y KORODY María. Diseño de mezcla de tereftalato de polietileno (PET) – cemento 2008. Revista de la facultad de ingeniería U.C.V., vol. 23. Citado por CABALLERO, Brayan y FLOREZ Orlando. elaboración de bloques en cemento reutilizando el plástico polietileno-tereftalato (PET) como alternativa sostenible para la construcción. Trabajo de grado (ingeniería civil). Cartagena D.T y C.: universidad de Cartagena. facultad de ingeniería. programa de ingeniería civil. 2016.

consiste en que la alternativa, para diferentes sustituciones mantenga la geometría y proceso de fabricación de un bloque convencional, cumpliendo con los parámetros de resistencia, absorción, densidad y humedad de las normativas NSR-10 y Normas Técnicas Colombianas NTC del ICONTEC<sup>9</sup>.

- **ESTUDIO PARA LA FABRICACIÓN DE TABIQUES DE PLÁSTICOS**

En el mundo existe un problema causado por la creciente cantidad de residuos sólidos urbanos (RSU) y plásticos (RSP), que en general se depositan en tiradero municipal o relleno sanitarios, desaprovechando su potencial económico.

El objetivo de este breve ensayo fue analizar la situación actual del reciclaje de los residuos en el mundo y particularmente en la ciudad de Morelia, Mich, México. El análisis de este problema, indica que en los países desarrollados existe conciencia sobre el manejo de los residuos sólidos, especialmente plástico, que incluso representa una alternativa explotable comercialmente que, resuelve el problema ambiental y la pérdida de recursos naturales. En contraste, en países en desarrollo como México, no existe conciencia sobre la cultura del reciclaje, lo que causa contaminación ambiental y desaprovechamiento de su uso potencial<sup>10</sup>.

---

<sup>9</sup>CABALLERO, Brayan y FLOREZ Orlando. elaboración de bloques en cemento reutilizando el plástico polietilen-tereftalato (PET) como alternativa sostenible para la construcción. Trabajo de grado (ingeniería civil). Cartagena D. T. y C.: universidad de Cartagena. facultad de ingeniería. programa de ingeniería civil. 2016.

<sup>10</sup> CHALCHY, Alejandro. Estudio para la fabricación de tabiques de plástico. Tesis de grado para Ingeniero en robótica industrial. México, D.F.: Instituto Politécnico Nacional. Escuela superior de ingeniería mecánica y eléctrica unidad profesional Azcapotzalco, 2008. p.38

- **MATERIALES ALTERNATIVOS PARA LA ELABORACIÓN DE TABIQUES ECOLÓGICOS**

Realizado por el Arquitecto LUIS ENRIQUE RIVERA MARTÍNEZ<sup>11</sup>, el cual indica que el trabajo que se realizó fue de materiales es el tabique de jal, que es un elemento prefabricado y que por sus dimensiones cubre una superficie mayor con un menor número de piezas, cumpliendo con los requerimientos para la edificación; lamentablemente el alza en el precio del cemento y el jal, materias primas esenciales para su elaboración y cuyo impacto en el costo del mismo es del orden del 49 y 38 % respectivamente, ha incrementado su precio, haciendo de éste un material que está a expensas de dicha fluctuación, por lo que, la finalidad de este proyecto de investigación es encontrar un material que pueda sustituir al jal del tabique, sin sacrificar sus características de resistencia. Al ser empleado para el uso de materiales alternativos que sustituyan en forma parcial o total el jal.

- **REUTILIZACIÓN DE PLÁSTICO PET, PAPEL Y BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR, COMO MATERIA PRIMA EN LA ELABORACIÓN DE CONCRETO ECOLÓGICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS DE BAJO COSTO**

En la presente investigación se logró determinar los resultados de reutilizar los residuos de plástico PET, papel y bagazo de caña de azúcar como materia prima en la elaboración de concreto ecológico para la construcción de viviendas de bajo costo. Se utilizó como materia prima, para el diseño de mezclas, el cemento Portland Extra-Forte, gravilla de 1/2", arena gruesa y los residuos de plástico PET, papel y bagazo de caña de azúcar, estos residuos sustituyeron a la arena gruesa en los porcentajes en peso de 5%, 10% y 20% respectivamente.

---

<sup>11</sup> RIVERA, Luis. materiales alternativos para la elaboración de tabiques ecológicos. Para obtener el grado de maestría en ingeniería y administración de la construcción. Sonora.: instituto tecnológico de sonora. Maestría en ingeniería y administración de la construcción, 2013. 83p. disponible en <https://docplayer.es/4169898-Materiales-alternativos-para-la-elaboracion-de-tabiques-ecologicos.html>

Se elaboraron probetas de concreto simple y concreto conteniendo los residuos antes mencionados según la Norma Técnica Peruana 339.033, luego se realizó el ensayo de compresión a las probetas, después de 28 días de curado, según la Norma ASTM C39, con lo cual se pudo determinar que el concreto conteniendo 5% de plástico PET presentó la mejor resistencia a la compresión. También se determinó que conforme se aumenta el contenido de los residuos en el concreto su resistencia a la compresión disminuye.

Finalmente, se comparó el costo unitario del concreto simple y el concreto conteniendo plástico PET, concluyéndose que efectivamente hay un ahorro con la incorporación de plástico PET en el concreto<sup>12</sup>.

---

<sup>12</sup> REINA, cesar. reutilización de plástico PET, papel y bagazo de caña de azúcar, como materia prima en la elaboración de concreto ecológico para la construcción de viviendas de bajo costo. trabajo de grado para optar al grado académico de ingeniero ambiental. Trujillo: universidad nacional de Trujillo escuela de posgrado. Sección de posgrado ingeniería química, 2016. 70p

## 4.2 MARCO TEÓRICO

La generación y gestión de residuos sólidos requiere del compromiso de la sociedad, gobiernos, academia, medios de comunicación, comunidad, organizaciones e individuos, para minimizar los efectos adversos al ambiente y la salud. Principalmente, la adecuada gestión de materiales reciclables es de vital importancia para reducir la cantidad de residuos que se conducen a los rellenos sanitarios ocupando un espacio innecesario y reduciendo la vida útil de los mismos. En el año 2013, el 83% de los residuos sólidos domiciliarios que generados en Colombia fueron a los rellenos sanitarios y solo el 17% fue recuperado por recicladores para su reincorporación al ciclo productivo<sup>13</sup>.

El polietileno tereftalato (PET) es un material reciclable que está en aumento, ocasionando efectos ambientales adversos debidos a las actuales formas de disposición de los productos PET, una vez son utilizados por el consumidor final. Entre los problemas ambientales ocasionados por este material se encuentra mayor acumulación en el medio, muerte de animales, inundaciones, disminución de la vida útil de los rellenos sanitarios. Cuando son destinados para incineración producen contaminación por la generación de gases de efecto invernadero, afectan la salud humana por la emisión de gases tóxicos y la disposición final de las cenizas contamina el agua subterránea por infiltración de lixiviados<sup>14</sup>.

---

<sup>13</sup> Departamento Nacional de Planeación y Banco Mundial, 2015. Citado por VALDERRAMA, María; CHAVARRO, Luz; OSORIO, Juan y PEÑA, Claudia. Estudio dinámico del reciclaje de envases PET en el Valle del Cauca. revista lasallista de investigación. Vol. 15 No 1 – 2018., p. 68.

<sup>14</sup> Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2004. Citado por VALDERRAMA, María; CHAVARRO, Luz; OSORIO, Juan y PEÑA, Claudia. Estudio dinámico del reciclaje de envases pet en el Valle del Cauca. revista lasallista de investigación. Vol. 15 No 1 – 2018., p. 68-69.

#### 4.2.1 Desarrollo sostenible: origen del término y rasgos principales

El origen del concepto de desarrollo sostenible está asociado a la preocupación creciente existente en la comunidad internacional en las últimas décadas del siglo XX al considerar el vínculo existente entre el desarrollo económico y social y sus efectos más o menos inmediatos sobre el medio natural. Esto, como se expondrá algo más adelante, no se trataba de un conflicto nuevo. Lo nuevo fue la magnitud y extensión alcanzada por el mismo, que condujo a una valoración sobre sus consecuencias futuras, incluida dentro de ellas la capacidad de supervivencia de la especie humana.

En abril del año 1987 la Comisión publicó y dio a conocer su informe, titulado “Nuestro futuro común” (“Our common future”, en idioma inglés) conocido también como “Informe Brundtland<sup>15</sup>” en el cual se introduce el concepto de desarrollo sostenible, definido en estos términos:

“Está en manos de la humanidad asegurar que el desarrollo sea sostenible, es decir, asegurar que satisfaga las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las propias<sup>16</sup>”.

Por otra parte, según la Guía local de Planificación de la agenda 21, ICLEI 1996, “la sustentabilidad es el desarrollo que brinda servicios ambientales, sociales y económicos básicos a todas las viviendas de una comunidad sin amenazar la viabilidad de los sistemas naturales, construidos y sociales de los que depende el suministro de tales sistemas”. Es decir, el desarrollo sustentable está definido por tres pilares que se retroalimentan: el social, el económico y el ambiental; estos

---

<sup>15</sup> El Informe Brundtland es un informe que enfrenta y contrasta la postura de desarrollo económico actual junto con el de sostenibilidad ambiental, realizado por la ex primera ministra noruega Gro Harlem Brundtland. El informe fue elaborado por distintas naciones en 1987 para la ONU.

<sup>16</sup> GÓMEZ GUTIÉRREZ, Carlos. III el desarrollo sostenible: conceptos básicos, alcance y criterios para su evaluación. [en línea]. La Habana: cambio climático y desarrollo sostenible. Bases conceptuales para la educación en Cuba. Editorial Educación Cubana. Primera Edición, 2014., cap.3. p91. ISBN: 978-959-18-1047-2. disponible en: <http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Havana/pdf/Cap3.pdf>

mismos deben estar en iguales condiciones, y para ello se debe tener en cuenta la incorporación de variables a la idea de desarrollo, dejando atrás los sistemas convencionales constructivos<sup>17</sup>.

#### **4.2.2 Principios de la construcción sustentable**

A medida que aumenta la prosperidad, deseamos más cosas y se incrementa el consumo. Ello conlleva un mayor empleo de recursos naturales, y la consecuente generación de residuos y, finalmente, la producción de CO<sub>2</sub>.

Los edificios, fundamentales para la vida y el consumo, podrían reducir los efectos ecológicos adversos a través de un mejor diseño. La gran ironía, sin embargo, es que las naciones más avanzadas del mundo son también las que más contaminan.

La industrialización siembra las semillas de su propia destrucción, ya que genera altos niveles de emisiones de carbono que conducen directamente al calentamiento global. La arquitectura por sí sola no puede resolver los problemas ambientales del mundo, pero puede contribuir significativamente a la creación de un hábitat humano más sostenible.

En el mundo, la industria de la construcción es responsable del:

40% de las emisiones de CO<sub>2</sub>

60% del consumo de materias primas

50% del consumo de agua

35% de los residuos generados

En Argentina, la industria de la construcción es responsable del:

40% de la demanda de energía

---

<sup>17</sup> Sustentabilidad en Arquitectura 1. 2010. Citado por: El “ladrillo ecológico” como nuevo material para la construcción sustentable. Proyecto de investigación.

25% de las emisiones de CO2  
50% de los residuos sólidos generados  
20% de agua  
30% de la polución aérea  
35% de la polución térmica

Podemos decir entonces que la convierte en la actividad menos sostenible del planeta. A su vez en Argentina debemos agregar que dependemos en un 90.2% de los recursos fósiles que ya prácticamente agotamos. Es evidente que algo debe cambiar, y los ingenieros, arquitectos, diseñadores, técnicos y especialistas que trabajan en el sector, tienen un importante papel que desempeñar en ese cambio.

La construcción sustentable, implica dar un giro a los sistemas convencionales que venimos utilizando. Para ello es indispensable la innovación tecnológica, el desarrollo técnico científico, la creatividad y los cambios culturales. Construcción sustentable no es volver al pasado, sino que implica producir con calidad. Agregar a nuestros proyectos estudios más profundos, analizar la obra desde todos los puntos de vista: social, económico y ambiental para superar el desmedido crecimiento insostenible<sup>18</sup>.

#### **4.2.3 Gestión ambiental residuos sólidos**

Una de las acciones que permite proteger y preservar el medio ambiente es utilizar, en forma eficiente, los recursos naturales para evitar o minimizar la generación de residuos. La reducción en la fuente constituye la base fundamental del manejo integral de los residuos sólidos.

---

<sup>18</sup> MARTINO, Luciana. ¿qué es y cómo aplicar la arquitectura sustentable? [En línea]. Buenos aires: AYMA arquitectura y medio ambiente. 2014. disponible en <https://www.ayma.cl/single-post/2014/10/01/QU%C3%89-ES-Y-C%C3%93MO-APLICAR-LA-ARQUITECTURA-SUSTENTABLE>.

Los residuos que inevitablemente se producen deben aprovecharse al máximo, mediante diferentes alternativas que permiten hacerlo, como son:

- Reutilización
- Reciclaje
- Incineración con recuperación de energía
- Compostaje

Para los residuos sólidos que no pueden aprovecharse, queda la alternativa de una disposición final adecuada. Esta separación en la fuente permite obtener una mejor calidad de los materiales con valor de recuperación, optimizar su aprovechamiento y, por ende, conservar los recursos naturales y disminuir los impactos negativos sobre el medio ambiente.

Fuente de generación de residuos sólidos sitio donde se generan los residuos sólidos.

**Incineración con recuperación de energía:** Proceso industrial controlado mediante el cual los residuos sólidos con un alto poder calorífico se utilizan como combustible para generar energía.

**Manejo integral de residuos sólidos:** Es la selección y aplicación de técnicas y programas que, puestos en práctica en forma jerarquizada, conducen a la reducción en la fuente, al aprovechamiento y a la disposición final.

**Reciclaje:** Es el proceso mediante el cual los residuos sólidos son transformados en nuevos productos o en materias primas básicas, y pueden incluir las operaciones

de separación en la fuente, recolección, selección, acondicionamiento, procesamiento y comercialización<sup>19</sup>.

Estos residuos sólidos pueden clasificarse de varias formas, en Colombia la Guía Técnico-colombiana GTC – 24 los especifica así:

Figura 1. Clasificación de los Residuos Sólidos



Fuente: GTC – 24, 2018

<sup>19</sup> GUÍA TÉCNICA COLOMBIANA GTC-24. Gestión ambiental de residuos sólidos. [En línea]. Bogotá D.C.: 2013. disponible en <http://gruposolidos2013.blogspot.com/2013/04/guia-tecnica-colombia-gtc-24.html>

## 4.2.4 Plástico

### 4.2.4.1 *Reseña histórica de los materiales plásticos.*

Los primeros materiales con las propiedades maravillosas que hoy se les atribuyen a los plásticos, fueron los cuernos, las pezuñas de animales e incluso en ocasiones conchas de tortuga, que eran usados para fabricar peines y botones, entre otros artículos de moda o accesorios. Se usaron también polímeros naturales como la goma laca o la gutapercha, pero debido a su difícil recolección, recuperación o purificación, el primer paso a la búsqueda de polímeros sintéticos fue la modificación de materiales naturales que tratados químicamente resultaban en materiales duros, flexibles y elásticos; como el caucho vulcanizado de Charles Goodyear quien descubrió que, al combinar azufre en polvo con caucho natural, mejoraba enormemente sus características. El primer plástico se origina como resultado de un concurso realizado en 1860, cuando el fabricante estadounidense de bolas de billar Phelan and Collander ofreció una recompensa de 10.000 dólares a quien consiguiera un sustituto aceptable del marfil natural, destinado a la fabricación de bolas de billar. Una de las personas que compitieron fue el inventor norteamericano Wesley Hyatt, quien desarrolló un método de procesamiento a presión de la piroxilina, un nitrato de celulosa de baja nitración tratado previamente con alcanfor y una cantidad mínima de disolvente de alcohol. En 1909 el químico norteamericano de origen belga Leo Hendrik Baekeland (1863-1944) sintetizó un polímero de interés comercial, a partir de moléculas de fenol y formaldehído; este plástico se bautizó con el nombre de baquelita (o bakelita), el primer plástico totalmente sintético de la historia. Los resultados alcanzados por los primeros plásticos incentivaron a los químicos y a la industria a buscar otras moléculas sencillas que pudieran enlazarse para crear polímeros. En la década del 30, químicos ingleses descubrieron que el gas etileno polimerizaba bajo la acción del calor y la presión, formando un termoplástico al que llamaron polietileno (PE). Hacia los años 50 aparece el polipropileno (PP). Al reemplazar en el etileno un átomo de hidrógeno por uno de

cloruro se produjo el cloruro de polivinilo (PVC), un plástico duro y resistente al fuego, especialmente adecuado para tubería de todo tipo. Al agregarles diversos aditivos se logra un material más blando, sustitutivo del caucho, comúnmente usado para ropa impermeable, manteles, cortinas y juguetes. Escuela Colombiana de Ingeniería Laboratorio de Producción “Julio Garavito” Otro de los plásticos desarrollados en los años 30 en Alemania fue el poliestireno (PS), un material muy transparente comúnmente utilizado para vasos, potes y hueveras. El poliestireno expandido (EPS), una espuma blanca y rígida, es usado básicamente para embalaje y aislante térmico. También en los años 30 se crea la primera fibra artificial, el nylon. Su descubridor fue el químico Wallace Carothers, que trabajaba para la empresa Dupont. Descubrió que dos sustancias químicas como la hexametildiamina y el ácido adípico formaban polímeros que bombeados a través de agujeros y estirados formaban hilos que podían tejerse. Su primer uso fue la fabricación de paracaídas para las fuerzas armadas estadounidenses durante la Segunda Guerra Mundial, extendiéndose rápidamente a la industria textil en la fabricación de medias y otros tejidos combinados con algodón o lana. Al nylon le siguieron otras fibras sintéticas como por ejemplo el orlón y el acrilán. Los plásticos se deben en su mayoría a los desarrollos en la segunda guerra mundial, ya que eran sustitutos perfectos de fibras naturales que escaseaban durante la guerra. Durante los años de la posguerra se mantuvo el elevado ritmo de los descubrimientos y desarrollos de la industria de los plásticos destinados a diferentes usos. En el pasado siglo, su producción y uso aumentó significativamente con relación a los materiales metálicos, debido a su versatilidad<sup>20</sup>.

---

<sup>20</sup> Escuela Colombiana de ingeniería “Julio Garavito”. Plástico protocolo curso de proceso de manufactura. 2 ed. Colombia. Facultad de ingeniería industrial laboratorio de producción. 2007. P 67

#### **4.2.4.2 Características de los plásticos**

Son compuestos constituidos por moléculas que forman estructuras muy resistentes, que permiten moldeado mediante presión y calor. The American Society for Testing Materials (ASTM) define como plástico a cualquier material de un extenso y variado grupo que contiene como elemento esencial una sustancia orgánica de gran peso molecular, siendo sólida en su estado final; ha tenido o puede haber tenido en alguna etapa de su manufactura (fundido, cilindrado, prensado, estirado, moldeado, etc.) diferentes formas de fluidificación, mediante la aplicación, junta o separada, de presión o calor. Los plásticos se caracterizan por una relación resistencia/densidad alta, unas propiedades excelentes para el aislamiento térmico y eléctrico y una buena resistencia a los ácidos, álcalis y disolventes, tienen baja conductividad eléctrica y térmica, y no son adecuados para utilizarse a temperaturas elevadas. Los plásticos son producidos mediante un proceso conocido como polimerización, ya sea por adición, por condensación, o por etapas, es decir, creando grandes estructuras moleculares a partir de moléculas orgánicas. Las enormes moléculas de las que están compuestos pueden ser lineales, ramificadas o entrecruzadas, dependiendo del tipo de plástico.

#### **Clasificación de los Polímeros**

Según a su estructura y comportamiento al calor, los polímeros se clasifican en:

Elastómeros

Termoestables

Termoplásticos

## **Elastómeros**

Los elastómeros son compuestos químicos cuyas moléculas consisten en varios miles de monómeros, que están unidos formando grandes cadenas, las cuales son altamente flexibles, desordenadas y entrelazadas.

Cuando son estirados, las moléculas son llevadas a una alineación y con frecuencia toman una distribución muy ordenada (cristalina), pero cuando se las deja de tensionar retornan espontáneamente a su desorden natural, un estado en que las moléculas están enredadas.

Entre los polímeros que son elastómeros se encuentran el poliisopreno o caucho natural, el polibutadieno, el poliisobutileno y los poliuretanos:

## **Termoestables**

Los polímeros termoestables, son aquellos que solamente son blandos o "plásticos" al calentarlos por primera vez. Después de enfriados no pueden recuperarse para transformaciones posteriores. Es un material compacto y duro, su fusión no es posible (la temperatura los afecta muy poco), insoluble para la mayoría de los solventes, encuentran aplicación en entornos de mucho calor, pues no se ablandan y se carbonizan a altas temperaturas.

Según su componente principal y características algunas de las clasificaciones de los polímeros termoestables son:

Resinas fenólicas

Resinas de poliéster

Resinas ureicas

Resinas epóxicas

Poliuretano

Resinas de melamina

### **Termoplásticos**

Las resinas termoplásticas son fácilmente conformables al aplicárseles temperatura y presión, entre los métodos más usados para su manufactura se encuentran la inyección, extrusión, soplado y termoformado.

La temperatura máxima de trabajo para los productos moldeados es bastante más bajas que la temperatura de ablandamiento o de fusión, usualmente alrededor de la mitad de la temperatura de fusión correspondiente.

Variaciones en los esfuerzos mecánicos o condiciones ambientales pueden reducir los márgenes de resistencia del material. Otra característica de estos materiales es su tendencia a absorber agua, ya sea del ambiente o por inmersión<sup>21</sup>.

#### ***4.2.4.3 Problemas con el reciclaje de los plásticos***

Existe una variedad de más de 3000 diferentes productos plásticos en el mercado. Entre estos, es posible solamente recuperar los más comunes, bajo la condición que se puedan separar completamente según los diferentes materiales. Un reciclaje completo del plástico no es posible. Siempre se obtiene un producto de menor calidad que el producto original (“downcycling”). Por esto, no se puede repetir muchas veces el reciclaje de plástico.

Esto es debido a la variedad de los plásticos en el mercado. Es verdad que el 90 % de los plásticos usados en los hogares pertenecen a las categorías PP, PE, PS y PVC. Pero se utilizan varios químicos aditivos (suavizantes, colores,

---

<sup>21</sup> Ibid., p. 8-9

estabilizadores, ablandadores) que cambian las propiedades de estos plásticos. Por consecuencia, dos productos hechos del mismo plástico pueden tener características diferentes, lo que afecta a la calidad del producto hecho de plástico reciclado<sup>22</sup>.

---

<sup>22</sup> RÖBEN, Eva. Oportunidades para reducir la generación de los desechos sólidos y reintegrar materiales recuperables en el círculo económico. El reciclaje. Loja. 2003., p. 10. Disponible en [http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guia/calde/3residuos/d3/062\\_Reciclaje/Reciclaje.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guia/calde/3residuos/d3/062_Reciclaje/Reciclaje.pdf)

#### 4.2.4.4 Fuentes Generadoras de Residuos Plásticos

En la Tabla 1 se presentan las principales fuentes generadoras de residuos plásticos:

Tabla 1. Fuentes generadoras de residuos plásticos

Tipos de Residuos	Fuente	Características de los Residuos
<b>Resina virgen fuera de especificaciones. Tortas. Materia prima para otros procesos industriales.</b>	Industrias productoras de resinas plásticas.	<b>El residuo tiene un mínimo grado de contaminación. Fácil identificación del tipo de resina.</b>
<b>Empaques y embalajes de materias primas o productos.</b>	Industrias productoras de resinas plásticas. Transformadoras de resinas plásticas. Consumidores de productos plásticos. Otro tipo de industrias: sector agrícola, empresas floricultoras, bananeras, cafeteras y demás del sector agrícola.	<b>Variables, según la sustancia o producto químico que hayan contenido. Si contenían un producto químico tóxico o peligroso, estos empaques se consideran residuos peligrosos. Un solo tipo de resina o plásticos mezclados entre sí o con otros materiales.</b>
<b>Empaques y envases generados en otras secciones (cafetería, zona administrativa, laboratorios, talleres, zonas recreativas, etc.).</b>	<b>Industrias productoras de resinas plásticas. Transformadoras de resinas plásticas. Consumidores de productos plásticos. Otro tipo de industrias: Sector agrícola, empresas floricultoras, bananeras, cafeteras y demás del sector agrícola. Institucional: centros de salud, centros de educación y otras instituciones.</b>	<b>Un solo tipo de resina o plásticos mezclados entre sí o con otros materiales. Grado de contaminación de medio a alto y con diversos tipos de sustancias. Diversidad de formas y tamaños. Su aprovechamiento puede requerir descontaminación y análisis cuidadoso de usos posteriores.</b>

Tabla 1. (Continuación)

Tipos de Residuos	Fuente	Características de los Residuos
<b>Retales, tortas, productos fuera de especificación.</b>	Transformadoras de resinas plásticas.	<b>Bajo grado de contaminación.</b> <b>Fácil identificación del tipo de resina.</b> <b>Diversidad de formas y tamaños</b>
<b>Empaques y envases dañados en la sección de llenado.</b>	Consumidores de productos plásticos.	<b>Residuos de mecanizados de partes plásticas.</b> <b>Productos plásticos retornables</b> <b>Medio a alto grado de contaminación orgánica o química.</b> <b>Fácil identificación del tipo de resina.</b> <b>Diversidad de formas y tamaño.</b> <b>Un solo tipo de resina o plásticos mezclados entre sí o con otros materiales.</b>
<b>Envases y empaques de diversos tipos de productos.</b>	<b>Doméstica, unidades unifamiliares y multifamiliares.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Accesorios y partes de productos plásticos.</b></li> <li>▪ <b>Un solo tipo de resina o plásticos mezclados entre sí o con otros materiales.</b></li> <li>▪ <b>Altos niveles de contaminación y de variados tipos.</b></li> <li>▪ <b>Diversidad de tipos y tamaños.</b></li> <li>▪ <b>Su aprovechamiento puede requerir descontaminación y análisis cuidadoso de usos posteriores.</b></li> </ul> <b>No todos están identificados.</b>

Tabla 1. (Continuación)

Tipos de Residuos	Fuente	Características de los Residuos
<p><b>Empaques y envases de agroquímicos de productos agrícolas, recubrimientos de invernaderos y zonas de cultivo, accesorios utilizados durante la cosecha (películas, mallas, sogas, mangueras, etc.), vestuario de protección personal.</b></p>	<p>Empresas floricultoras, bananeras, cafeteras y demás del sector agrícola.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Altos niveles de contaminación son residuos tóxicos y peligrosos.</b></li> <li>▪ <b>Fácil identificación del tipo de resina.</b></li> <li>▪ <b>Diversidad de formas y tamaños.</b></li> <li>▪ <b>Presentan alto poder calorífico.</b></li> <li>▪ <b>Pérdida importante de sus propiedades mecánicas.</b></li> </ul> <p><b>No se puede realizar un reciclaje mecánico postconsumo o secundario sin un tratamiento previo de descontaminación y análisis cuidadosos de usos posteriores.</b></p>
<p><b>Empaques y envases de productos farmacéuticos, Jeringas, bolsas de suero y demás accesorios para venoclisis.</b></p>	<p>Institucional, centros de salud.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Alto grado de contaminación con residuos tóxicos y patógenos.</b></li> <li>▪ <b>Un solo tipo de resina o plásticos mezclados entre sí o con otros materiales.</b></li> </ul> <p><b>No todos están identificados con la codificación internacional.</b></p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Trozos de tubería para instalaciones eléctricas hidráulicas y de gas.</b></li> <li>• <b>Perfiles de ventanas, pisos, tejas, tapetes, grifería, recubrimiento de cables y accesorios eléctricos.</b></li> <li>• <b>Mallas y películas para protección e Impermeabilización.</b></li> </ul>	<p><b>Sector de la construcción: Construcción de casas, edificios, instalaciones industriales y comerciales.</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Un solo tipo de resina o plásticos mezclados entre sí o con otros materiales.</b></li> <li>▪ <b>Pérdida gradual de sus propiedades mecánicas.</b></li> <li>▪ <b>Posible contaminación con residuos de agregados, lacas, pinturas y otro tipo de recubrimientos.</b></li> </ul> <p><b>Diversidad de formas y tamaños.</b></p>

Fuente: ICONTEC, 2004.

## **4.2.5 Materias Primas**

### **4.2.5.1 Polietileno Tereftalato (PET)**

Es un polímero plástico que se clasifica dentro del grupo de los termoplásticos los cuales son constituidos a partir de cadenas de polímeros lineales y que se funden o reblandecen a una cierta temperatura o rango de temperaturas. Pueden mostrar una estructura completamente desordenada de sus cadenas y entonces los denominamos amorfos, o pueden tener ciertas zonas en las cuales las moléculas tienen una organización geoméricamente ordenada y entonces los llamamos semicristalinos<sup>23</sup>.

### **4.2.5.2 Cemento**

El cemento usado para los morteros de pega y de inyección pueden ser Portland gris Tipos I, II, III o VI, que deben cumplir con las NTC 121 y NTC 321; cemento blanco, que debe cumplir con la NTC 1362; o cementos de mampostería, que deben cumplir con la NTC 4050.

Como los bloques se fabrican con una relación agua/cemento menor que la del mortero, cuando se seca el muro, el color del bloque queda más claro que el del mortero de pega. Si se busca uniformidad con el color de la pega, se pueden preparar morteros con diferentes contenidos de cemento y arenas de diversos colores, esparcirlos en franjas o motas sobre la pared de un bloque y dejarlos secar, para apreciar cuál es el que más similar a la unidad<sup>24</sup>.

---

<sup>23</sup> CADENA, Francisco y QUIROZ Francisco. Manual de reciclaje de plásticos. Citado por ZÚÑIGA, Andrés. Evaluación del tereftalato de polietileno (PET) como agregado en la elaboración de mortero para ladrillos y concreto. Trabajo de grado para el título de Ingeniero Ambiental y Sanitario. Bogotá D.C.: 2015., p.12

<sup>24</sup> Prefabricado Concretodo. cómo construir con concretodo volumen 3. Mampostería de bloques de concreto. 2010., p.8 disponible en <http://www.concretodo.com/pdf/mamposteriabloques.pdf>

### 4.2.5.3 Arena

Agregado fino resultante de la desintegración natural y abrasión de las rocas o del procesamiento de conglomerados débilmente ligados. Este tipo de arena es típicamente usada en todas las mezclas de concreto, ya sea estructural o no estructural.

### Granulometría arena para concreto

Este ensayo se realizó siguiendo los lineamientos de la NTC 77 - MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS POR TAMIZADO DE LOS AGREGADOS FINOS Y GRUESOS, donde se indica que para este análisis granulométrico se debían tomar 3000gr según su tamaño 42 máximo nominal de la muestra es de es de 3/8" correspondiente a 9.5mm<sup>25</sup>, Ver tabla 2.

Tabla 2. Granulometrías para los agregados según NTC 77, 174, 2240 y 4020

% ACUMULADO QUE PASA POR EL TAMIZ ICONTEC CORRESPONDIENTE						
Tamiz ICONTEC NTC 33		AGREGADO FINO			AGREGADO GRUESO	
		Arena para Mortero de Pega para Mampostería NTC 2240		Arena para concreto NTC 174	Gradación 1	Gradación 2
		Natural	Procesada			
12,5 mm	(1/2")	-	-	-	100	100
9,5 mm	(3/8")	-	-	100	85 a 100	90 a 100
4,75 mm	(No. 4)	100	100	95 a 100	10 a 30	20 a 55
2,36 mm	(No. 8)	95 a 100	95 – 100	80 a 100	0 a 10	5 a 30
1,18 mm	(No. 16)	70 a 100	70 – 100	50 a 85	0 a 5	0 a 10
600 µm	(No. 30)	40 a 75	40 – 75	25 a 60	-	0 a 5
300 µm	(No. 50)	10 a 35	20 – 40	10 a 30	-	-
150 µm	(No. 100)	2 a 15	10 – 25	2 a 10	-	-
75 µm	(No. 200)	0 a 5	0 – 10	0 a 5	-	-

Fuente: NTC 77, 1997.

<sup>25</sup> ZÚÑIGA, Andrés. Evaluación del tereftalato de polietileno (PET) como agregado en la elaboración de mortero para ladrillos y concreto. Trabajo de grado para el título de Ingeniero Ambiental y Sanitario. Bogotá D.C.: 2015., p. 41-42.

Tabla 3. Clasificación del agregado fino según NTC 77

MODULO DE FINURA	AGREGADO FINO
Menor que 2,00	Muy fino o extra fino
2,00 – 2,30	Fino
2,30 – 2,60	Ligeramente fino
2,60 – 2,90	Mediano
2,90 – 3,20	Ligeramente grueso
3,20 – 3,50	Grueso
Mayor que 3,50	Muy grueso o extra grueso

Fuente: NTC 77, 1997.

#### **4.2.5.4 Agua de Mezcla**

El agua de mezcla cumple dos funciones muy importantes, permitir la hidratación del cemento y hacer la mezcla manejable. De toda el agua que se emplea en la preparación de un mortero o un concreto, parte hidrata el cemento, el resto no presenta ninguna alteración y con el tiempo se evapora; como ocupaba un espacio dentro de la mezcla, al evaporarse deja vacíos los cuales disminuyen la resistencia y la durabilidad del mortero o del hormigón. La cantidad de agua que requiere el cemento para su hidratación se encuentra alrededor del 25% al 30% de la masa del cemento, pero con esta cantidad la mezcla no es manejable, para que la mezcla empiece a dejarse trabajar, se requiere como mínimo una cantidad de agua del orden del 40% de la masa del cemento, por lo tanto, de acuerdo con lo anterior como una regla práctica, se debe colocar la menor cantidad de agua en la mezcla, pero teniendo en cuenta que el bloque de concreto quede trabajable<sup>26</sup>.

#### **4.2.5.5 Bloques**

El bloque (unidad de mampostería de perforación vertical), es un prisma recto de concreto, prefabricado, con una o más perforaciones verticales, que se usa para construir mamposterías (por lo general muros). Esto implica que sus 6 lados deben

---

<sup>26</sup> RIVERA, Gerardo. Concreto simple. Cauca: Universidad del Cauca. Facultad de ingeniería civil. 2013., p. 77

formar ángulos rectos con los demás, y que sus perforaciones deben tener, al menos, una cuarta parte (25%) de su área bruta (la que resulta de multiplicar la longitud x el ancho del bloque). Es responsable, en muy buena medida, de las características mecánicas y estéticas de dichas mamposterías<sup>27</sup>.

### Propiedades

Las características que deben tener los bloques de concreto están definidas por la NTC 4026, cuando se va a construir mampostería estructural; y por la NTC 4076 cuando se va a construir mampostería no estructural (divisoria). Estas características son las mismas que se piden en la Norma Sismo Resistente NSR10, que rige el diseño y construcción de estructuras en Colombia. Los ensayos para definir estas características están presentados en la NTC 4024.

### Densidad (peso) (D)

La densidad de un bloque depende del peso de los agregados, del proceso de fabricación y de la dosificación de la mezcla. La densidad debe ser la máxima que se pueda alcanzar, pues de ella dependen sus otras características como: resistencia a la compresión, absorción, permeabilidad, durabilidad y comportamiento al manejo durante su producción, transporte y manejo en obra; capacidad de aislamiento térmico y acústico, y textura y color de su superficie, etc. (véase la Tabla 4).

---

<sup>27</sup> Prefabricado Concretado. Óp. Cit., p. 4.

Tabla 4. Densidad de los bloques de concreto

Densidad de los bloques de concreto.			
Clase	Peso liviano	Peso mediano	Peso normal
<b>Densidad, kg/m<sup>3</sup></b>	Menores de 1680	1680 hasta menos de 1900	1900 o más

Fuente: Prefabricado Concretodo, 2010.

### Resistencia a la compresión (Rc28)

La resistencia a la compresión es la principal propiedad que deben tener los bloques, y determina si se pueden usar para mampostería estructural (portante) o divisoria (no portante o no estructural).

En los bloques para estructural se tienen dos clases de resistencias: alta y normal. La resistencia alta se usa para todo tipo de construcciones, incluyendo edificios de mampostería estructural. La baja se fundamentalmente para construcciones de uno y dos pisos. El uso de una u otra depende de las necesidades estructurales, sin importar la exposición a la intemperie o el recubrimiento que vaya a tener el muro (véase la Tabla 5).

La resistencia a la compresión está especificada para ser alcanzada a los 28 días de producidos los bloques; pero se pueden pegar en el muro a edades menores cuando se tenga un registro sobre la evolución de la resistencia de bloques de iguales características, y éste indique que alcanzarán dicha resistencia, lo que no exime de la verificación directa de la calidad de los bloques.

Se pueden especificar resistencias a la compresión mayores que el alta, cuando lo requiera el diseño estructural; pero se debe consultar antes a los productores locales, sobre la posibilidad de fabricarlos<sup>28</sup>.

La resistencia a la compresión se determina mediante el ensayo descrito en la NTC 4076.

Tabla 5. Valor mínimo de la resistencia a la compresión

Resistencia la compresión a los 28 días, evaluada sobre el área neta promedio	
Mínimo, Mpa	
Promedio de 3 unidades	Individual
6,0	5,0

Fuente: (NTC 4076, 1997)

---

<sup>28</sup> Prefabricado Concretodo. Óp. Cit., p. 5.

### 4.3 MARCO CONTEXTUAL

Valledupar es la capital del Departamento del Cesar, cuenta con 204 barrios, 15 asentamientos, 25 corregimientos y 102 veredas, con una extensión de 4.192KM<sup>2</sup> (el 18% de la extensión del departamento) de los cuales el 40% corresponden al área de protección forestal según la Ley 2<sup>a</sup> de 1959. El perímetro urbano abarca 50.5KM<sup>2</sup> y está dividido en seis comunas. Además de limitar al norte con el departamento de La Guajira, Valledupar es la capital del Área Metropolitana del Valle del Cacique Upar, conocida actualmente como MetropoliUpar, que agrupa en un mismo proyecto de desarrollo a los municipios de Valledupar, La Paz (Los Robles), Manaure Balcón del Cesar, San Diego y Agustín Codazzi. Fundada por los conquistadores españoles el 6 de enero de 1550 y dominada por los pueblos indígenas de Aruhacos, Kogüi, Kankuamos, Wiwa y Yukpa, Valledupar cuenta con todos los pisos térmicos, desde los picos nevados de la Sierra Nevada de Santa Marta y las alturas de la Serranía del Perijá hasta el fértil Valle bañado principalmente por los ríos Guatapurí, Badillo y Cesar<sup>29</sup>.

Valledupar está ubicada en los 10° 29' de latitud Norte y 73° 15' de longitud Oeste.

Por el Norte limita con los departamentos de Magdalena y la Guajira.

Por el Sur con los municipios de San Diego, La Paz y el Paso.

Por el Este con la Guajira y los municipios de San Diego y la Paz

Por el Oeste con el Magdalena y los municipios de Bosconia y el Copey.

El municipio de Valledupar está conformado por 6 zonas geográficas:

Zona Norte: consta de 5 corregimientos y 42 veredas.

---

<sup>29</sup> Plan de desarrollo municipal 2016 – 2019. Valledupar avanza, alcaldía municipal. ACUERDO No. 001 del 25 de abril 2016. Valledupar. 2016., p.37

Corregimientos: Atanquez, Guatapurí, Chemesquemena, La Mina, Los Haticos.

Zona Nororiental: 10 corregimientos y 4 veredas

Corregimientos: Guacoche, Guacochito, La Vega arriba, Los Corazones, El Jabo, Las Raíces, El Alto la Vuelta, Badillo, Patillal y Rio Seco.

Zona Suroriental: 2 corregimientos y 13 veredas

Corregimientos: Aguas Blancas y Valencia de Jesús.

Zona Sur: 4 corregimientos y 15 veredas

Corregimientos: Guaimaral, Caracolí, Los Venados, El Perro.

Zona Suroccidental: 2 corregimientos y 30 veredas.

Corregimientos: Mariangola y Villa Germania.

Zona Noroccidental: 2 corregimientos y 21 veredas.

Corregimientos: Sabana Crespo y Azúcar Buena<sup>30</sup>.

---

<sup>30</sup> OAPM. Anuario Estadístico de Valledupar 2010. Valledupar: OAPM, 2011.

Figura 2. Localización General de Valledupar



Fuente: OAPM, 2011.

## **4.4 MARCO CONCEPTUAL**

### **Envase plástico**

Recipiente de forma y tipo variadas, elaboradas con materiales plásticos, en el que se va a envasar un producto determinado<sup>31</sup>.

### **Ladrillos ecológicos**

Es 100% ecológico, en su proceso de fabricación, su endurecimiento es por prensado, fraguado y no por cocción; no se usan contaminantes, ni se produce emisiones de gases generalmente es producida por los hornos en los que se cuece el ladrillo tradicional, proceso que consiste en 40 días en el horno con los costos que se implica. La fabricación del ladrillo ecológico solo dura alrededor de 7 días en proceso de fraguado, lo cual permite ahorrar tiempo de fabricación y costos operacionales, significa que un ladrillo ecológico es entre 25-40 % más económico que un ladrillo tradicional<sup>32</sup>.

### **Ensayo de resistencia a la compresión**

“Este método de ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a los cilindros moldeados o núcleos a una velocidad que se encuentra dentro de un rango prescrito hasta que ocurra la falla”<sup>33</sup>.

---

<sup>31</sup> NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. NTC 5511 (25, Julio, 2007). Envases plásticos. Uso general. p. 1.

<sup>32</sup> BUITRAGO CAMELO, Ener. Fábrica de ladrillos ecológicos del Meta “FALAMET”. [En línea]. Villavicencio: Proyecto de gestión empresarial. 2014. Disponible en <https://www.academia.edu/8493147/Proyecto-fabrica-de-ladrillos-ecologicos>.

<sup>33</sup> NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. NTC 4024. (21, marzo, 2001). Prefabricados de concreto. muestreo y ensayo de prefabricados de concreto no reforzado, vibrocompactados. I.C.S.: 91.100.30

## **Polietileno Tereftalato PET:**

El polietileno tereftalato, mejor conocido como PET por sus siglas en inglés, es uno de los materiales comúnmente utilizados en la industria embotelladora de bebidas por sus características muy particulares que favorecen la distribución, el almacenaje y la presentación de algunos productos. Derivado de los altos niveles de consumo de estos productos, se tiene también grandes cantidades de residuos<sup>34</sup>.

## **Plástico**

En su significación más general, se aplica a las sustancias de distintas estructuras y naturalezas que carecen de un punto fijo de ebullición y poseen durante un intervalo de temperaturas propiedades de elasticidad y flexibilidad que permiten moldearlas y adaptarlas a diferentes formas y aplicaciones. Sin embargo, en sentido restringido, denota ciertos tipos de materiales sintéticos obtenidos mediante fenómenos de polimerización o multiplicación artificial de los átomos de carbono en las largas cadenas moleculares de compuestos orgánicos derivados del petróleo y otras sustancias naturales<sup>35</sup>.

## **Dosificación de mezcla**

Dosificar una mezcla de concreto es determinar la combinación más práctica y económica de los agregados disponibles, cemento, agua y en ciertos casos aditivos, con el fin de producir una mezcla con el grado requerido de manejabilidad, que al

---

<sup>34</sup>MUÑOZ PÉREZ, Liliانا. [En línea]. Estudio del uso del polietileno de tereftalato (PET) como material de restitución de suelos de baja capacidad de carga. Trabajo de grado para obtener el título de ingeniero civil. México D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de ingeniería. 2012. Disponible en <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/2514/1/TESIS.pdf>

<sup>35</sup> QUARMBY, Arthur. Materiales plásticos y arquitectura experimental. Barcelona: Gustavo Gili, 1976.

endurecer a la velocidad apropiada adquiriera las características de resistencia y durabilidad necesarias para el tipo de construcción en que habrá de utilizarse.

Para encontrar las proporciones más apropiadas, será necesario preparar varias mezclas de prueba, las cuales se calcularán con base en las propiedades de los materiales y la aplicación de leyes o principios básicos preestablecidos. Las características de las mezclas de prueba indicarán los ajustes que deben hacerse en la dosificación de acuerdo con reglas empíricas determinadas<sup>36</sup>.

---

<sup>36</sup> RIVERA. Óp. Cit., p.169.

## 4.5 MARCO LEGAL

Tabla 6. Marco Normativo del Proyecto

NORMA	DESCRIPCIÓN
<b>NSR-10</b>	Reglamento colombiano de construcción sismo resistente.
<b>NTC-77</b>	Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos.
<b>NTC-890</b>	Ingeniería civil y arquitectura. Determinación del tiempo de fraguado de mezclas de concreto por medio de su resistencia a la penetración.
<b>NTC-1776</b>	Método de Ensayo para Determinar por Secado el Contenido Total de Humedad de los Agregados.
<b>NTC-4017</b>	Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla.
<b>NTC-4024</b>	Muestreo y ensayo de prefabricados de concreto no reforzado, vibro compactados.
<b>NTC-4026</b>	Unidades (bloques y ladrillos) de concreto, para mampostería estructural.
<b>NTC-4076</b>	Unidades (bloques y ladrillos) de concreto, para mampostería no estructural interior y chapa de concreto.
<b>NTC-4227</b>	Máquinas de ensayo: Verificación de tensión, Compresión y flexión.
<b>GTC-24</b>	Gestión ambiental. Residuos sólidos. Guía para la separación en la fuente.
<b>GTC-53-2</b>	Gestión ambiental. Residuos sólidos. Guía para el aprovechamiento de los residuos sólidos.

Fuente: Autores, 2019.

## 5. MARCO METODOLÓGICO

La contaminación al medio ambiente se ha convertido en una gran problemática para los ingenieros ambientales y sanitarios que buscan preservar la salud del planeta, y a través de investigaciones se ha podido constatar el problema que está causando al medio ambiente por los desechos plásticos, debido a que requiere un tiempo de 100 a 1.000 años para descomponerse lo cual se ve reflejado en graves impactos ambientales en el planeta.

Analizando la problemática, se propone encontrar una alternativa para aprovechar estos plásticos que ya cumplieron su función inicial y que no cause un impacto ambiental mayor al planeta. Basándose en este criterio se busca una alternativa para esta problemática, la cual consiste en el diseño de ladrillos ecológicos que sean amigable con el medio ambiente, para reducir el índice de contaminación que se genera en la explotación de materia prima y emisiones de dióxido de carbono, y por otro lado reducir el impacto causado por la lenta descomposición del material plástico.

Se empezó realizando una investigación bibliográfica para ampliar el marco de referencias, la cual consistió en buscar la posibilidad de usar plástico como material constructivo, donde se encontró que el plástico más adecuado para hacer estos diseños es el plástico PET (tereftalato de polietileno), es el indicado debido a sus características. Como también se investigó a profundidad en las NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS (NTC) del ICONTEC, las propiedades, características, dimensiones y ensayos que se deben realizar a los bloques de concreto o ladrillos. Estas características son las mismas que se piden en la NORMA SISMO RESISTENTE (NSR-10)<sup>37</sup>.

---

<sup>37</sup> REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE, NSR-10. TITULO D-MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL. Bogotá, D. C., 2010.

## **5.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

La investigación fue experimental ya que se buscó conocer a través de distintas pruebas la cantidad de plástico PET más adecuado para la fabricación de ladrillos ecológicos, y que además cumpla con las normas colombianas.

## **5.2 POBLACIÓN Y MUESTRA**

### **5.2.1 Población**

Está conformada por el total de ladrillos mezclados con distintos porcentajes de plástico PET reciclado. Con este porcentaje se calculó cuánto PET se invirtió en este proceso, en este caso se utilizaron 30 kg de PET triturado.

### **5.2.2 Muestra**

Está conformada por los ladrillos que se diseñaron de forma rectangular, con unas dimensiones de (ancho, alto y largo) de 7,5cm x 15cm x 30cm de acuerdo con la maquina compactadora BLOQUETERAS FAMACON, a la cuales se les determinaron las proporciones de cemento y agua definidas, como también la de agregados (arena y escamas de plástico PET variables), mientras tanto los porcentajes de cada elemento quedan como lo indica la tabla 7.

Tabla 7. Porcentajes correspondientes de cada material.

Muestra	Numero de muestras	Agregados		Cemento	Agua
		PET	Arena		
<b>M1</b>	6	0%	100%	100%	100%
<b>M2</b>	6	10%	90%	100%	100%
<b>M3</b>	6	17%	83%	100%	100%
<b>M4</b>	6	25%	75%	100%	100%
<b>M5</b>	6	40%	60%	100%	100%

Fuentes: Autores 2019

### 5.3 DISEÑO METODOLÓGICO

#### 5.3.1 Diseño Experimental

El diseño experimental para implementar es el diseño factorial con dos factores.

“Es el más simple de los diseños factoriales, está constituido por dos conjuntos de tratamientos, es decir, que hay "*a*" niveles del factor “A” y "*b*" niveles del factor “B”, además las réplicas de los tratamientos contienen a su vez las posibles combinaciones entre los niveles “*ab*”. Este es un diseño de filas por columnas”<sup>38</sup>.

H<sub>0</sub> (hipótesis nula) = No existen diferencias significativas entre los tratamientos.

H<sub>1</sub> (hipótesis alternativa) = Cuando hay tratamientos significativamente diferentes de los demás.

Las variables de estudio estarán dispuestas según las tablas 8 y 9.

<sup>38</sup> MONTGOMERY, Douglas. Diseño y análisis de experimentos. 2 ed. México D. F.: Limusa Wiley. 2004. 686p.

Tabla 8. Niveles de las variables de estudio

Variables independientes de estudio	Niveles de estudio
<b>FACTOR A:</b> porcentajes PET de las muestras (%)	a1, a2, a3, a4, a5
<b>FACTOR B:</b> tiempo de rotura de las muestras	A los 14 y 28 días de haberse fabricado los ladrillos. (b1, b2)

Fuentes: Autores, 2017

### 5.3.1.1 Variables dependientes de estudio

- Resistencia a la compresión, Mpa

Tabla 9. Diseño de la matriz experimental

		FACTOR A				
		a1	a2	a3	a4	a5
FACTOR B	b1	a1, b1	a2, b1	a3, b1	a4, b1	a5, b1
		a1, b1	a2, b1	a3, b1	a4, b1	a5, b1
		a1, b1	a2, b1	a3, b1	a4, b1	a5, b1
	b2	a1, b2	a2, b2	a3, b2	a4, b2	a5, b2
		a1, b2	a2, b2	a3, b2	a4, b2	a5, b2
		a1, b2	a2, b2	a3, b2	a4, b2	a5, b2

Fuente: Autores, 2017.

$$\text{Número Total de Muestras} = \# \text{Factor A} \times \# \text{Factor B} \times \# \text{Repeticiones}$$

$$\text{Número Total de Muestras} = (5) \times (2) \times (3)$$

$$\text{Número Total de Muestras} = 30$$

La experiencia corresponderá a 3 réplicas o repeticiones haciendo un total de 30 pruebas experimentales.

Contrastando las hipótesis se procedió a realizar una prueba para determinar cuáles son los tratamientos adecuados según su significancia.

$$\text{Pruebas de Dumnet} = \text{LSD} = \text{gl} * \sqrt{2 * \frac{\text{CMerror}}{r}}$$

Dónde,

CMerror: Cuadrado Medio del error

r = Número de Repeticiones

### 5.3.2 Estructura de Recolección de Datos

#### 5.3.2.1 *Etapa 1*

##### **Actividad 1.1:** Acopio del material plástico PET

**Descripción:** La recolección de estos estos plásticos se llevó a cabo en la ciudad de Valledupar, donde muchos de estos plásticos fueron recolectados con ayuda de algunas tiendas de los diferentes barrios de la ciudad, donde se les pidió a los tenderos que recolecten los envases de botellas plásticas que ya no se les dará otro uso, y que por lo general le dan como disposición final en las basuras que recoge el servicio de INTERASEO S.A. E.S.P. de la ciudad.

Por otro lado, la recolección se llevó acabó al caminar por algunas calles de la ciudad, donde se recolecto el plástico indicado para el proyecto a ejecutar.

##### **Actividad 1.2:** Clasificación y separación del material

**Descripción:** Después del acopiado del material se procedió al separado del PET ya que los envases plásticos reciclados en las tiendas no fueron netamente plástico PET,

se llevó a cabo la clasificación y separación de los plásticos, donde se pudo encontrar que algunos de estos fueron Polietileno de Alta Densidad (PEAD), y la forma de identificación fue la siguiente:

- Polietileno Tereftalato (PET): Envases para gaseosas, aceites, agua mineral, cosmética, frascos varios (mayonesa, salsas, etc.), envases al vacío.
- Polietileno de Alta Densidad (PEAD): Envases para detergentes, lavandina, aceites automotores, shampoo, lácteos.

### **Actividad 1.3:** Limpieza y secado del material

**Descripción:** Para una adecuada limpieza se debió tener en cuenta los siguientes pasos:

- Retirar las cintas adhesivas que se encuentran adheridas a la superficie de los envases.
- Inmersión del material en detergente previamente diluido en agua con ayuda de una jeringa con punta de cono, (tres veces)
- Lavado con agua limpia de todos los envases hasta retirar todo residuo contaminante o de detergente.
- Dejar escurrir al medio ambiente o al aire libre.

### **Actividad 1.4:** Molido o triturado del material.

**Descripción:** Debido a que no se pudo encontrar en la ciudad de Valledupar un lugar que cumpliera con los requerimientos del triturado del PET, se procedió a buscar en otros lugares.

El material fue triturado en la ciudad de Cartagena de Indias, en la empresa Mundoplast Cartagena Ltda, debido a que nos pudo generar el plástico PET triturado en escamas.

### **5.3.2.2 Etapa 2**

**Actividad 2.1:** Realización de los ensayos granulométricos de los materiales.

**Descripción:** Para esta etapa se llevaron a cabo los ensayos físico-mecánicos propuestos tanto en la norma NSR-10 como en las Normas Técnicas Colombianas NTC del ICONTEC. Esto con el propósito de determinar sus propiedades y poder hacer una comparación entre los resultados obtenidos y los aceptados por las normas.

**Actividad 2.2:** Dosificación de mezcla del ladrillo ecológico.

**Descripción:** Se elaboró el diseño de mezcla con las proporciones y relaciones más óptimas de los diferentes materiales utilizados, con el fin de calcular la cantidad de componentes.

**Actividad 2.3:** Elaboración de los ladrillos ecológicos.

**Descripción:** El procedimiento para la elaboración de los ladrillos de plástico reciclado consistió en el diseño de un ladrillo macizo con las siguientes dimensiones: 7,5cm x 15cm x 30cm.

Para el diseño del ladrillo fue necesario conocer las cantidades de los componentes o materias primas (cemento, arena y agua de mezcla) que se determinaron en la actividad anterior (dosificación de mezcla del ladrillo ecológico), posteriormente se reemplazó la arena por el plástico PET triturado en proporciones de 0%, 10%, 17%, 25% y 40%.

### **5.3.2.3 Etapa 3**

**Actividad 3.1:** Ensayos fisico-mecánicos a los ladrillos, y análisis de los resultados obtenidos en base a la normativa colombiana.

**Descripción:** En esta etapa se realizaron los ensayos siguientes: Determinación del porcentaje de absorción de agua (Aa%), Densidad (D), ensayo a la compresión (Mpa) y carga máxima (KN).

Con los resultados determinados se procedió a compararlos con la reglamentación o normativas que tienen que ver con la elaboración de ladrillos, para dar una conclusión de si pueden ser fabricados para mampostería estructural (portante) o divisoria (no portante o no estructural).

**Actividad 3.2:** Realizar el diseño experimental de los diferentes ensayos.

**Descripción:** El diseño experimental que se implementó es el diseño factorial con dos factores. Lo que se buscó con este diseño experimental es identificar cuál de las proporciones utilizada fue la que dio significativa, logrando así la dosificación de mezcla ideal para elaborar los ladrillos ecológicos.

### **5.3.2.4 Etapa 4**

**Actividad 4.1:** Análisis del costo de los ladrillos ecológicos.

**Descripción:** Se planteó los beneficios y costos unitarios del ladrillo ya que en el mercado se requiere un producto de construcción a bajo costo, pero teniendo en cuenta que este debe tener: una buena calidad al momento en que se vaya a construir, que ofrezca garantías como lo establece las Normas Técnicas Colombianas y que permita que las familias de más bajos recursos obtengan una casa digna.

**Actividad 4.2:** Comparación los ladrillos ecológicos con los ladrillos convencionales.

**Descripción:** Se realizó la comparación económica de los ladrillos ecológicos con los ladrillos convencionales en cuanto a costos de un metro cuadrado, para determinar cuál de los dos es de mejor utilidad, teniendo en cuenta la economía y calidad del producto.

**Actividad 4.3:** Analizar el impacto ambiental de la elaboración del ladrillo ecológico.

**Descripción:** Se planteó el grado de impacto ambiental de los ladrillos ecológicos, ya sea positivo o negativo, debido a que se busca reducir los contaminantes y emisiones que se liberan al medio ambiente causantes de cambios climáticos. Los ladrillos ecológicos por su novedoso proceso no provocan daño al ambiente, y ayuda así a la reducción y reutilización del plástico PET.

## 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 6.1 IMPLEMENTACIÓN DE ACCIONES ESTRATÉGICAS Y OPERATIVAS PARA LA REUTILIZACIÓN DEL PLÁSTICO PET COMO MECANISMO DE REDUCCIÓN Y MITIGACIÓN DE LOS PROBLEMAS MEDIO AMBIENTALES.

#### 6.1.1 Acopio del material plástico

El centro de acopio busca garantizar la adecuada disposición del material plástico, teniendo en cuenta que este lugar se encuentre condiciones apropiadas para su disposición y conservación. El objetivo de este acopio es tener un manejo adecuado de la materia prima, la minimización de residuos y el aprovechamiento del material reciclaje; el manejo adecuado de residuos trae la conservación como uno de sus beneficios principales.

El beneficio directo de una buena gestión, lo constituye la recuperación de recursos mediante el reciclaje o reutilización de residuos que pueden convertirse en materia prima o ser utilizados nuevamente.

El centro de acopio debe tener:

- La ubicación del centro de acopio fue en una bodega, el cual conto con un amplio espacio para la disposición del material reciclable.
- De fácil acceso
- Conto con techado para evitar que el material se moje o se vean afectados por las altas temperaturas.
- Es un lugar fresco y libre de plaga.
- Conto con ventilación

Fotografía 1. Acopio del Material



Fuente: Autores, 2019

Cada semana se recopilada el material y se pesaba, en la siguiente tabla se muestran los resultados:

Tabla 10. Peso del material acopiado

Peso por semana	Peso recopilado	Material PET
<b>Semana 1</b>	13 kilogramos	
<b>Semana 2</b>	17 kilogramos	
<b>Peso total</b>	30 kilogramos	

Fuente: Autores, 2019

### 6.1.2 Clasificación y Separación del Material

Para el diseño de los ladrillos ecológicos se selecciona el material hecho de Tereftalato de polietileno; en su totalidad botellas en presentación transparente. El material recolectado procede de los siguientes productos:

- Bebidas carbonatadas
- Agua purificada
- Jugos
- Aceite
- Detergentes y productos químicos
- Productos farmacéuticos

La separación se realiza previa al lavado del material, donde las botellas que se encuentran contaminadas con sustancias que dificultarían el proceso de transformación de estas, para la elaboración de los ladrillos son retiradas para luego ser desechadas. En este proceso se obtienen como resultado dos grupos:

Material apto para continuar en el proceso: Botellas relativamente limpias o que contienen sustancias de fácil lavado y extracción (botellas de agua, jugos y bebidas gaseosas que no fueron contaminadas con otras sustancias)

Material no apto para continuar en el proceso: Botellas contaminadas con productos reactivos, corrosivos o de difícil lavado (botellas con residuos de aceites, detergentes, productos químicos o farmacéuticos).



Fuente: Autores, 2019

### 6.1.3 Limpieza y Secado Del Material

Este es un proceso meticuloso cuya finalizada es obtener un producto limpio, en condiciones óptima para su transformación y próximo uso mediante la eliminación de impurezas u otras sustancias presentes. Dicho procedimiento se lleva a cabo de forma manual y automática.

En la limpieza del material se ejecutaron las siguientes actividades:

- Extracción de las etiquetas y las tapas
- Adición de agua y detergente
- Se frotaron diligentemente con un estropajo
- Luego se enjuagaron en repetidas ocasiones hasta ver que el detergente desaparezca en su totalidad.
- Se dejó escurrir al medio ambiente o al aire libre.

Fotografía 5. Material sin etiquetas



Fuente: Autores, 2019

#### **6.1.4 Molido o triturado del material**

El material fue triturado en la Ciudad de Cartagena de Indias, en la empresa MUNDOPLAST Cartagena Ltda. La máquina utilizada para el proceso de trituración fue EL MOLINO PICADOR DE PLÁSTICO de FABRICACIÓN NACIONAL el cual tiene un MOTOR: 24 H.P.A (caballos de fuerza), realiza un corte en forma de escamas.

Fotografía 6. Material Triturado en Escamas



Fuente: Autores, 2019

## **6.2 DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES Y PROPORCIONES DE DOSIFICACIÓN DEL PET, ARENA Y CEMENTO MEDIANTE DISEÑO DE MEZCLA.**

### **6.2.1 Ensayos al PET**

Los resultados obtenidos del plástico PET se presentan a continuación.

#### **6.2.1.1 *Análisis Granulométrico PET***

Se llevó a cabo el ensayo de granulometría del plástico PET por tamiz, para este ensayo se tomó una muestra de 500 gramos del PET, posteriormente se pasó por los tamices de 3/8"; N°4; N°8; N°16; N°30; N°50; N°100 y N°200, pesando la cantidad del

material retenido en cada uno de estos, y así conocer su clasificación según la NTC 174.

Tabla 11. Granulometría del PET

Tamiz	Diámetro (mm)	Peso retenido (gr)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasa
3/8"	9,5	0	0	0	100
N°4	4,75	33,5	6,7	6,7	93,3
N°8	2,36	51,5	10,3	17	83
N°16	1,18	98,5	19,7	36,7	63,3
N°30	0,6	164	32,8	69,5	30,5
N°50	0,3	67,5	13,5	83	17
N°100	0,15	58	11,6	94,6	5,4
N°200	0,075	27	5,4	100	0,0
<b>Total</b>		500	100		

Fuente: Autores, 2019

Se observó que la mayor retención del material se encontró en la franja de los tamices N°16 y N°30, lo cual corresponde a agregados medios.

Cálculo del módulo de finura:

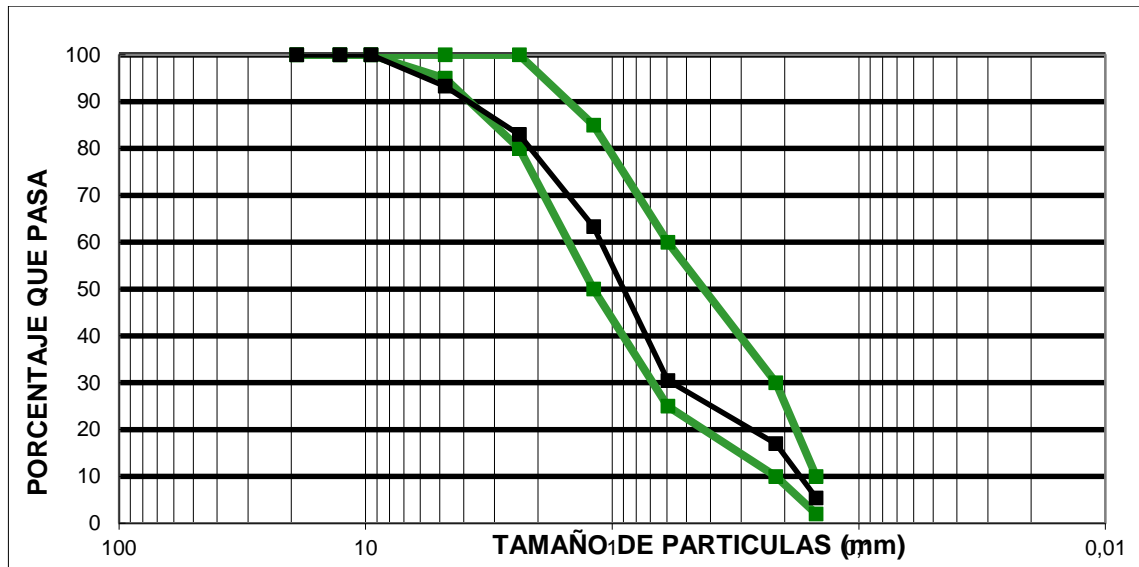
$$M_f = \frac{\sum \% \text{ retenido acumulado}}{100}$$

$$M_f = \frac{6,7 + 17 + 36,7 + 69,5 + 83 + 94,6}{100}$$

$$\mathbf{mf = 3,1}$$

Con la granulometría realizada se procedió a sacar el módulo de finura el cual da como resultado 3.1, según la Tabla 3, la cual nos muestra la clasificación del agregado fino de acuerdo con el valor del módulo de finura según NTC 77, este se encuentra en el rango de 2.90 - 3.20, el cual nos indica que el agregado es ligeramente grueso.

Gráfico 1. Gradación de PET



Fuente: Autores, 2019

### 6.2.1.2 Densidad del PET

Para determinar la densidad del material fue necesario una probeta de 500 ml, a la cual se le agrego el plástico PET hasta llenarla a la medida, luego se pesó la cantidad de PET en una balanza con tara, para conocer el peso correspondiente al volumen medido.

Se procede a calcular la densidad del plástico PET:

$$D = [(M) / (V)]$$
$$D = (0,2025 \text{ kg}) / 0,5 \text{ lt}$$
$$D = 0,405 \text{ kg/lt}$$

## 6.2.2 Ensayos a la Arena

### 6.2.2.1 Contenido de Humedad

Para determinar el contenido de humedad de la arena se tomó una muestra de 113.1 gr del material, la cual se puso a secar en la estufa para obtener su peso seco.

$$\text{Peso del Recipiente} = 35,3 \text{ gr}$$

$$\text{Peso del Recipiente con la muestra de arena} = 148,4 \text{ gr}$$

$$\text{Peso de la Arena} = 148,4 - 35,3 = 113,1 \text{ gr}$$

$$\text{Peso del Recipiente con la muestra de arena en seco} = 147,7 \text{ gr}$$

$$\text{Peso de la arena en seco} = 147,7 - 35,3 = 112,4 \text{ gr}$$

Por lo tanto, aplicando los valores a la ecuación, se tiene que:

$$\text{Humedad} = \frac{131.1 \text{ gr} - 112.4 \text{ gr}}{112.4 \text{ gr}} * 100$$

$$\text{Humedad} = 0,006\%$$

Para 113.1 de material tenemos 0.7 gr de agua, lo cual quiere decir que el contenido de humedad en la arena es de 0,006%.

### 6.2.2.2 Análisis Granulométrico Arena

Se llevó a cabo el ensayo de granulometría de la arena por tamiz, para este ensayo se tomó una muestra de 1000 gramos de arena y con el porcentaje de humedad se determinó el peso que pasa por los tamices.

$$\text{Muestra Total} = \text{Muestra Arena} - (\text{Muestra Arena} * \% \text{ Humedad})$$

$$\text{Muestra Total} = 1000 - (1000 * 0,006\%) = 994 \text{ gr}$$

Posteriormente se pasó por los tamices de 3/8"; N°4; N°8; N°16; N°30; N°50; N°100 y N°200, pesando la cantidad del material retenido en cada uno de estos, y así conocer su clasificación según la NTC 174.

Tabla 12. Granulometría de la Arena

Tamiz	Diámetro (mm)	Peso retenido (gr)	%retenido	%retenido acumulado	%pasa
3/8	9,5	0	0%	0%	100%
N°4	4,75	0.6	0.06%	0.06%	99.94%
N°8	2,36	4.0	0.41%	0.47%	99.53%
N°16	1,19	11.3	1.14%	1.61%	98.39%
N°30	0,595	493.3	49.63%	51.24%	48.76%
N°50	0,297	330.2	33.22%	84.46%	15.54%
N°100	0,149	78.2	7.87%	92.33%	7.67%
N°200	0,075	76.2	7.67%	100%	0.0%
<b>Total</b>		994	100%		

Fuente: Autores, 2019

Se observó que la mayor retención del material se encuentre en la franja de los tamices N°30 y N°50, lo cual corresponde a arenas finas.

Cálculo del módulo de finura:

$$M_f = \frac{\sum \% \text{ retenido acumulado}}{100}$$

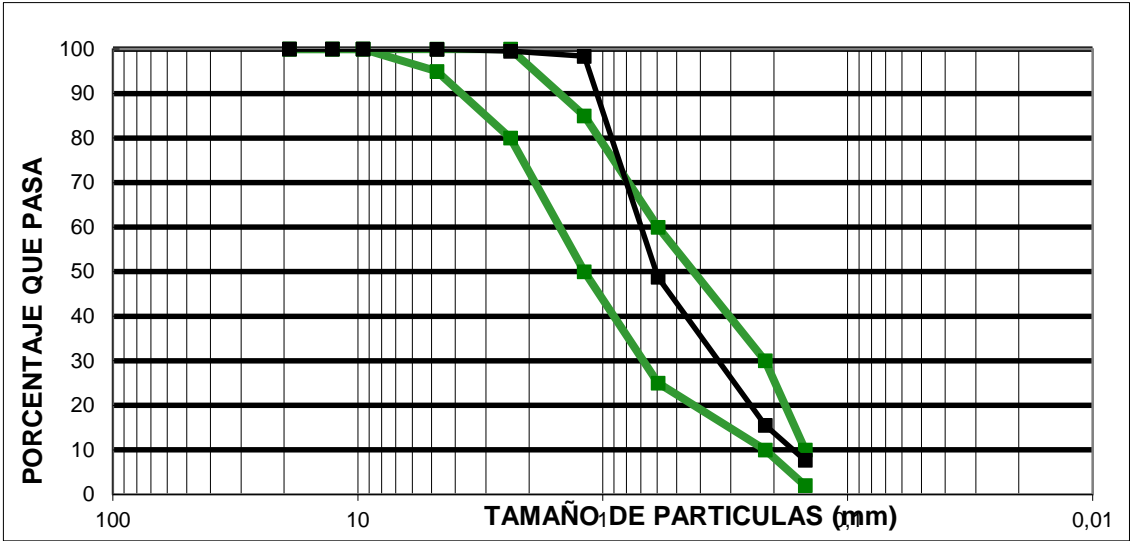
$$M_f = \frac{0,06 + 0,47 + 1,61 + 51,24 + 84,46 + 92,33}{100}$$

$$\mathbf{mf = 2,30}$$

Con la granulometría realizada se procedió a sacar el módulo de finura el cual dio como resultado 2,30, en base a la Tabla 1, nos muestra la clasificación del agregado

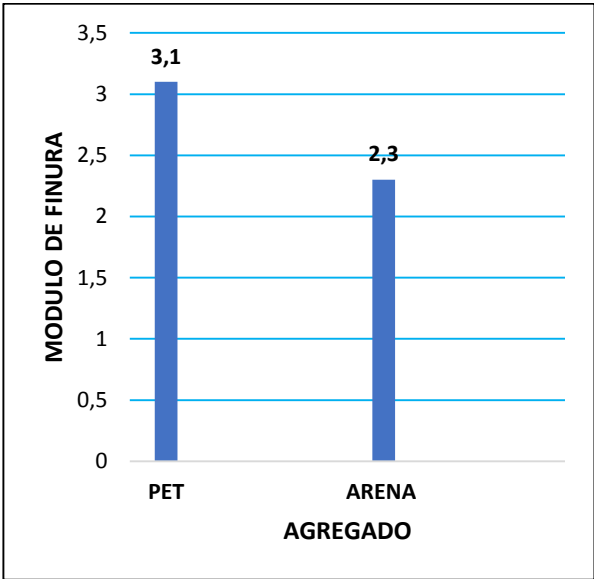
fino según el módulo de finura dado en la NTC 77, este se encuentra en el rango de 2.0-2.30, el cual nos indica que la arena es un agregado fino.

Gráfico 2. Gradación de la Arena



Fuente: Autores, 2019

Gráfico 3. Comparación de Modulo de Finura



Fuente: Autores, 2019

De la gráfica y la tabla se establece una comparación del módulo de finura del PET y la arena dando como resultado que ambos cumplen con los rangos establecidos para agregados finos en la norma NTC 77. Siguiendo lo que indica la norma se infiere que a mayor módulo de finura más grueso es el agregado para implementar.

### **6.2.3 Dosificación de la Mezcla**

En base a la investigación realizada en la tesis de grado nombrada: ELABORACIÓN DE BLOQUES EN CEMENTO REUTILIZANDO EL PLÁSTICO POLIETILENO TEREFALATO (PET) COMO ALTERNATIVA SOSTENIBLE PARA LA CONSTRUCCIÓN<sup>39</sup>, se determinó que la dosificación 1:4 (cemento, arena) sería la más indicada, mientras que la relación agua-cemento que se implementaría era del 44% del cemento a utilizar, según las recomendaciones de blog 360 de concreto, ya que es la más eficiente para los bloques a base de cemento. Sin embargo, al momento de ir a la práctica no se logró una adecuada homogeneidad de todos los materiales, debido a esto se realizaron varios ensayos, donde se determinó que la proporción idónea sería de 47%.

Por lo tanto, la dosificación escogida por peso a utilizar quedó como 0.47:1:4 (agua, cemento, arena).

Para el cálculo de las proporciones iniciales se tuvo en cuenta la cantidad de materiales para elaborar un ladrillo normal (agua, cemento, arena) con la máquina compactadora BLOQUETERAS FAMACON, después de esto se adecuaron las proporciones de acuerdo con la dosificación escogida a implementar.

---

<sup>39</sup> CABALLERO, Brayan y FLOREZ Orlando. Óp. Cit.

Tabla 13. Proporciones Iniciales

Relación de peso		
A/C (kg)	Cemento (kg)	Arena (kg)
0,611/1,3	1,3/1,3	5,2/1,3
0,47	1	4

Fuente: Autores, 2019

### **6.2.3.1 Dosificación por porcentajes PET**

Una vez establecidas las proporciones iniciales, producto del análisis efectuado a través de varias dosificaciones, se procede a realizar la investigación para establecer el “ladrillo patrón”, mediante la dosificación de cinco diferentes mezclas de materiales de cemento, arena, plástico y agua. El objetivo central de la propuesta es reemplazar el agregado fino por el PET, es decir; a partir de la dosificación obtenida en el punto anterior, dosificación 1:4, se procede a reemplazar mediante porcentajes a la arena utilizada anteriormente por el polímero. Las dosificaciones por tomar en cuenta avanzan progresivamente desde (10, 17, 25, y 40) %; con respecto a la cantidad de arena utilizada, es decir, siempre se tomará en cuenta el incremento de PET, frente a la reducción del agregado fino. Respecto al cemento y al agua, estos no tendrán variación de acuerdo con el incremento del PET.

Tabla 14. Dosificación para los Ladrillos Ecológicos

Muestra	Numero de muestra	Agregados		Cemento (gr)	Agua (gr)
		PET (gr)	Arena (gr)		
<b>M1 (0%)</b>	6	0	31200	7800	3666
<b>M2 (10%)</b>	6	3120	28080	7800	3666
<b>M3 (17%)</b>	6	5304	25920	7800	3666
<b>M4 (25%)</b>	6	7800	23400	7800	3666
<b>M5 (40%)</b>	6	12480	18720	7800	3666
<b>Total</b>	<b>30</b>	<b>28704</b>	<b>127320</b>	<b>39000</b>	<b>18330</b>

Fuente: Autores, 2019

Después de haber determinado los cálculos pertinentes para las proporciones de las diferentes muestras se procedió a la elaboración de las mezclas de acuerdo con las diferentes proporciones de agregados.

Fotografía 7. Materiales para la Elaboración de Mezcla



Fuente: Autores, 2019

#### 6.2.4 Elaboración de Ladrillos Ecológicos

Para una correcta elaboración del diseño de los ladrillos se toma en cuenta las recomendaciones del Manual de construcción de mampostería de concreto por el Instituto Colombiano de Productores de Cemento.

Fotografía 8. Proceso de Compactación



Fuente: Autores, 2019

Para esta actividad primeramente se realizó el montaje de la maquina compactadora, luego se procedió a colocar la mezcla de los distintos agregados dentro de la máquina, según las proporciones, y al llenarla se le coloco la tapa, y se procedió a ejercerle presión para que se compacte la mezcla, y se forme el ladrillo.

#### **6.2.4.1 Fraguado**

Los ladrillos se llevaron al reposo sobre unas estribas artesanales durante un día, durante el tiempo de fraguado los ladrillos se protegieron bajo techo, protegidos del viento, la lluvia y los rayos directos del sol, tal como lo indica la NTC 890.

Fotografía 9. Fraguado de las Muestras



Fuente: Autores, 2019

#### **6.2.4.2 Curado**

El curado se realizó en un lugar donde los rayos del sol no afectarían directamente a los ladrillos, se humedecieron diariamente y se cubrieron con una tela que también debe estar húmeda, este proceso se realizó durante 7 días.

Fotografía 10. Etapa de Curado



Fuente: Autores, 2019

#### **6.2.4.3 Reposo**

Después de terminar el curado de los ladrillos se almacenaron en un recinto cerrado hasta que alcanzaron la resistencia, el reposo duro de acuerdo con el tiempo de ruptura que se estimó para cada muestra.

### **6.3 ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS RESPECTO A LO ESTIPULADO EN LA NORMATIVA SISMO RESISTENTE 2010 Y NORMA TÉCNICA COLOMBIANA.**

#### **6.3.1 Ensayos Físico-Mecánicos de los Ladrillos Ecológicos**

##### **6.3.1.1 Determinación del porcentaje de absorción de agua**

Para la realización de esta prueba fue necesario utilizar las diferentes muestras, para ello se utilizó una balanza electrónica en la cual se procede a pesar las muestras en seco ( $M_s$ ), luego se sumergen los ladrillos en agua, a una temperatura que oscila entre  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ , durante el lapso de 24 horas. Los ladrillos se pesaron sumergidos en agua, suspendidos mediante un alambre, para registrar la masa del espécimen

inmersa en agua y suspendida (Ma). Después se procede a retirar las muestras del agua y se dejan escurrir por 1 minuto colocándolo sobre una malla metálica con una apertura mínima de 9,5mm se seca el agua superficial con un paño seco y se pesan inmediatamente para así obtener la masa saturada (Mh), como lo indica la NTC 4024.

Tabla 15. Pesos determinados de acuerdo con la composición de PET

Composición PET Triturado	MASA SECA (Kg) (Ms)	MASA SATURADA (Kg) (Mh)	MASA SUSPENDIDA (Kg) (Ma)
M1 (0%)	6205	6783	3109
M2 (10%)	6040	6595	2781
M3 (17%)	5528	5970	2720
M4 (25%)	4515	5275	2043
M5 (40%)	3508	4168	1532

Fuente: Autores, 2019

Con base a estos resultados se determina el porcentaje de absorción para los ladrillos con diferentes composiciones de PET, la formula se expresa con la siguiente ecuación:

$$\text{absorción (Aa\%)} = \left[ \frac{Mh - Ms}{Ms} \right] \times 100$$

*Mh* = masa saturada del ladrillo, en kg

*Ms* = Masa seca, kg

Tabla 16. Porcentajes de absorción de acuerdo a la composición de PET

Composición PET Triturado	ABSORCIÓN (Aa%)
M1 (0%)	9,32
M2 (10%)	9,19
M3 (17%)	8,00
M4 (25%)	19,05
M5 (40%)	21,72

Fuente: Autores, 2019

Se puede observar que los ladrillos de las muestras (M1, M2 y M3) cumplen con el porcentaje de humedad para mampostería de peso mediano y clase alta, ya que se encuentran en rangos menores de 12% y 15%. Mientras tanto las muestras (M4 Y M5) no cumplen con el rango establecido de absorción de agua, lo que nos indica que tienen mayor índice de porosidad.

Fotografía 11. Determinación de masa suspendida



Fuente: Autores, 2019

Fotografía 12. Masa saturada del ladrillo



Fuente: Autores, 2019

### 6.3.1.2 Densidad (D)

Al momento de diseñar estructuras se desea buscar el menor peso muerto de éstas. Por lo tanto, se hace necesario evaluar la densidad de los ladrillos a implementar. Para determinar este valor se tiene en cuenta los pesos de la tabla 16, y los valores se encuentran con la siguiente ecuación:

$$\text{Densidad (D)}, \frac{Kg}{m^3} = \left[ \frac{Ms}{Mh - Ma} \right] \times 1000 \frac{Kg}{m^3}$$

*Mh = masa saturada del ladrillo, en kg*

*Ma = Masa del ladrillo inmerso en agua y suspendida, en kg*

*Ms = Masa seca, kg*

Tabla 17. Densidad de los ladrillos de acuerdo con su composición de PET

Composición PET Triturado	DENSIDAD (Kg/M3)
M1 (0%)	1689
M2 (10%)	1584
M3 (17%)	1701
M4 (25%)	1355
M5 (40%)	1281

Fuente: Autores, 2019

En base a la tabla podemos concluir que las muestras (M1 y M3) se clasifican con peso mediano ya que se encuentran en el rango de 1680 hasta menos de 1900, como se establece en la tabla 4, mientras que las muestras (M2, M4 y M5) se clasifican con peso liviano debido a que están por debajo de los 1680 kg/m<sup>3</sup>.

### **6.3.1.3 Resistencia a la Compresión (MPA) y carga máxima (KN)**

La resistencia a la compresión se determinó siguiendo el procedimiento normalizado a la máquina de ensayo, como lo indica la (NTC 4227) y su valor es tomado como referencia de calidad, como lo establece la norma (NTC 4076). Este ensayo se realizó a los 14 días (tres (3) ladrillos por cada muestra) y a los 28 días (tres (3) ladrillos por cada muestra), para conocer el comportamiento de la resistencia en esos periodos de tiempo.

Fotografía 13. Rotura de Ladrillo Ecológico



Fuente: Autores, 2019

El ensayo consistió en la aplicación de una fuerza creciente de compresión sobre la unidad, en la misma dirección en que trabaja en el muro hasta su fallo, los valores obtenidos se expresan en Mega Pascales (Mpa), ya que es la unidad utilizada según la NORMA TÉCNICA COLOMBIANA.

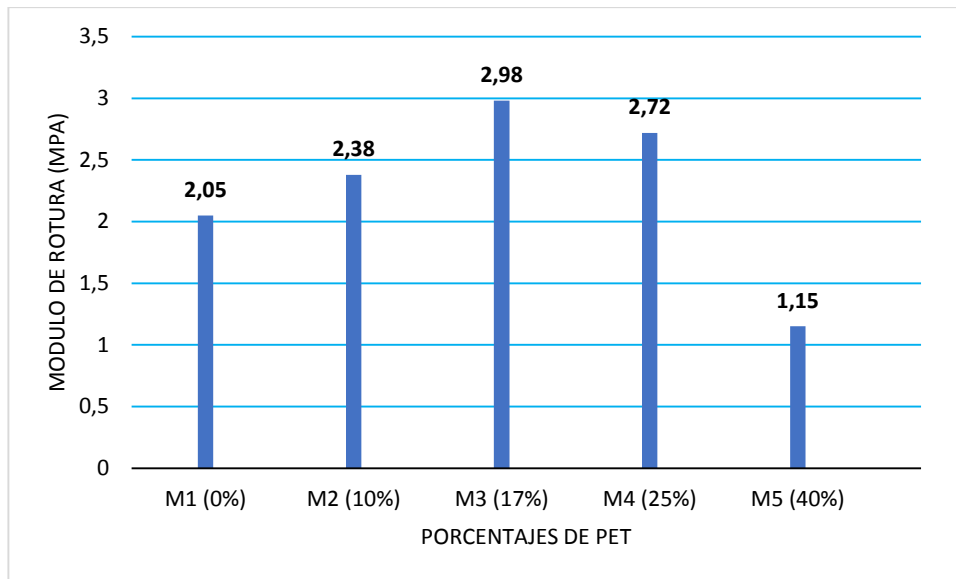
A partir de las pruebas realizadas se presentan los resultados obtenidos de los de los diferentes ensayos de compresión realizados a los ladrillos con plástico PET.

Tabla 18. Resistencia a la Compresión a los 14 días

MUESTRA	ELEMENTO	ESPESOR	ANCHO	LONGITUD	ÁREA NETA	CARGA MÁXIMA	RESISTENCIA	PROM. DE RESISTENCIA
		T(cm)	W(cm)	L(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(KN)	(Mpa)	(Mpa)
<b>M1 (0%)</b>	1	7,5	15	30	450	39,34	2,16	2,05
	2	7,5	15	30	450	37,4	2,04	
	3	7,5	15	30	450	31,08	1,94	
<b>M2 (10%)</b>	1	7,5	15	30	450	44,71	2,53	2,38
	2	7,5	15	30	450	48,92	2,76	
	3	7,5	15	30	450	32,79	1,85	
<b>M3 (17%)</b>	1	7,5	15	30	450	63,03	3,56	2,98
	2	7,5	15	30	450	38,47	2,17	
	3	7,5	15	30	450	53,17	3,21	
<b>M4 (25%)</b>	1	7,5	15	30	450	51,01	2,88	2,72
	2	7,5	15	30	450	44,29	2,5	
	3	7,5	15	30	450	49,09	2,77	
<b>M5 (40%)</b>	1	7,5	15	30	450	20,81	1,15	1,15
	2	7,5	15	30	450	22,41	1,26	
	3	7,5	15	30	450	18,63	1,05	

Fuente: Autores, 2019

Gráfico 4. Resistencia de la Muestra a 14 días



Fuente: Autores, 2019

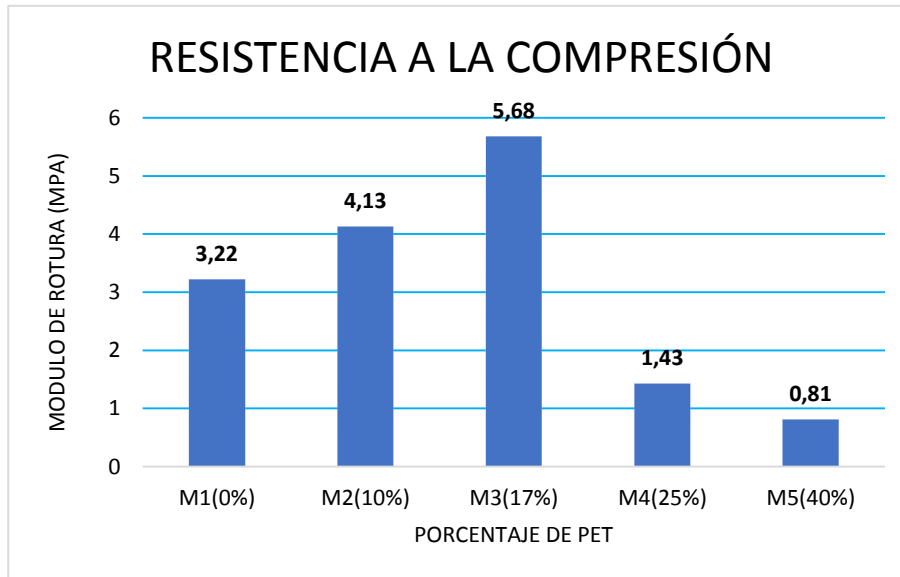
Los resultados obtenidos en el ensayo del módulo de rotura a los 14 días están muy bajos al exigido por la NTC 4076 en la tabla 5, donde se pudo observar una mejor resistencia fue en la muestra 3 (M3), con un 2.9 Mpa en promedio para la mezcla con un porcentaje de 17% de plástico PET, en comparación con la muestra patrón, es decir la muestra 1 (M1) vs muestra 3(M3), se observan mejores resultados en la muestra 3 (M3) en cuanto a la resistencia.

Tabla 19. Resistencia a la compresión a los 28 días

ENSAYO A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS								
MUESTRA	ELEMENTO	ESPESOR	ANCHO	LONGITUD	ÁREA NETA	CARGA MÁXIMA	RESISTENCIA	PROM. DE RESISTENCIA
		T(cm)	W(cm)	L(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(KN)	(Mpa)	(Mpa)
<b>M1 (0%)</b>	1	7,5	15	30	450	67,69	3,83	3,22
	2	7,5	15	30	450	59,21	3,01	
	3	7,5	15	30	450	50,39	2,81	
<b>M2 (10%)</b>	1	7,5	15	30	450	87,01	4,92	4,13
	2	7,5	15	30	450	82,61	4,67	
	3	7,5	15	30	450	49,35	2,79	
<b>M3 (17%)</b>	1	7,5	15	30	450	97,17	5,5	5,68
	2	7,5	15	30	450	112,04	6,33	
	3	7,5	15	30	450	92,33	5,22	
<b>M4 (25%)</b>	1	7,5	15	30	450	23,67	1,34	1,43
	2	7,5	15	30	450	17,41	0,98	
	3	7,5	15	30	450	34,81	1,97	
<b>M5 (40%)</b>	1	7,5	15	30	450	12,49	0,7	0,81
	2	7,5	15	30	450	17,09	0,96	
	3	7,5	15	30	450	34,81	0,76	

Fuente: Autores, 2019

Gráfico 5. Resistencia de la Muestra a 28 días



Fuente: Autores, 2019

La norma técnica colombiana NTC 4076 “Ingeniería civil y arquitectura unidades (bloques y ladrillos) de concreto para mampostería no estructural interior y chapas de concreto”, especifica que la resistencia a la compresión a los 28 días evaluada sobre el área neta promedio debe ser mínimo de 5 MPa para unidades individuales. De acuerdo con los resultados obtenidos en el ensayo del módulo de rotura a los 28 días si cumplen con lo exigido por la NTC 4076 debido a que se pudo observar que la mejor resistencia para unidades individuales fue en la muestra 3 (M3), donde los 3 elementos cumplen con el valor mínimo de resistencia.

Por otra parte, la resistencia promedio de 3 unidades mínima no alcanzo a cumplir con el valor mínimo de 6,0 Mpa, ya que el valor de la resistencia fue de 5,68 Mpa en promedio para esta muestra, en comparación con la muestra patrón, es decir la muestra 1 (M1) vs muestra 3(M3), se observan mejores resultados en la muestra 3 (M3). Debido a estos resultados obtenidos se puede determinar que el bloque con mezcla de 17% PET se pueden utilizar para mampostería estructural.

### 6.3.2 Diseño Experimental

Para la fabricación de ladrillos ecológicos con plástico reutilizado, se decide probar diferentes grados o porcentajes de plásticos PET. Para estudiar el efecto del porcentaje de PET y de los periodos de roturas se diseña el siguiente experimento: comprobar la resistencia óptima fabricando ladrillos con 5 muestras de porcentajes de PET y roturas en 2 periodos de tiempo 14 y 28 días. El experimento consta de tres replicas por muestra, y los resultados obtenidos son indicado en la tabla siguiente:

Tabla 20. Datos para Diseño Experimental

Días	Porcentaje (%) de PET				
	0	10	17	25	40
14	2,16	2,53	3,56	2,88	1,15
	2,04	2,76	2,17	2,5	1,26
	1,94	1,85	3,21	2,77	1,05
28	3,83	4,92	5,50	1,34	0,70
	3,01	4,67	6,33	0,98	0,96
	2,81	2,79	5,22	1,97	0,76

Fuente: Autores, 2019

A continuación, se analiza estos datos y se estudia la influencia de los factores *porcentaje de PET* y *Días* en el *rendimiento y/o resistencia de los ladrillos*.

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ijk} + \mu_{ijk}$$

Donde,

$\alpha_i$  es el efecto del *factor días*,  $i = 1, 2$ ,  $l = 2$

$j$  es el efecto del *factor porcentaje de PET*,  $j = 1, 2, 3, 4, 5$   $J = 5$

$ij$  es el efecto de la *interacción* entre ambos factores.

Para estimar estos parámetros, se calcula en una primera tabla las medias de cada casilla y las medias de cada fila y cada columna

Tabla 21. Media Aritmética de la Resistencia

Medias de cada casilla						
$\bar{y}_{ij}$ .	PET 0%	PET 10%	PET 17%	PET 25%	PET 40%	$\bar{y}_{i...}$
<b>Día 14</b>	2,05	2,38	2,98	2,72	1,15	2,26
<b>Día 28</b>	3,22	4,13	5,68	1,43	0,81	3,05
$\bar{y}_{.j}$ .	2,63	3,25	4,33	2,07	0,98	$\bar{y} = 2,65$

Fuente: Autores, 2019

Nota: el valor resaltado es la media general.

En base a estos resultados se calculan estimaciones de los parámetros

$$\alpha_i = \bar{y}_i - \bar{y}, \quad \beta_j = \bar{y}_j - \bar{y}, \quad (\alpha\beta)_{ij} = \bar{y}_{ij} - \bar{y}_{ii} - \bar{y}_i - \bar{y}_j$$

Tabla 22. Estimaciones de Parámetros

$(\alpha\beta)_{ij}$	PET 0%	PET 10%	PET 17%	PET 25%	PET 40%	$\alpha_i$
<b>Día 14</b>	-0,19	-0,47	-0,95	1,04	0,57	-0,4
<b>Día 28</b>	0,19	0,47	0,95	-1,04	-0,57	0,4
$\beta_j$	-0,02	0,6	1,68	-0,58	-1,67	

Fuente: Autores, 2019

Ahora se obtienen las predicciones del modelo:

$$\hat{y}_{ij} = \hat{\mu} + \hat{\alpha}_i + \hat{\beta}_j + (\widehat{\alpha\beta})_{ij} = \bar{y}_{ij}$$

Tabla 23. Predicciones del modelo

Predicciones = Medias de casillas					
$\hat{y}_{ij}$	PET 0%	PET 10%	PET 17%	PET 25%	PET 40%
<b>Día 14</b>	2,05	2,38	2,98	2,72	1,15
<b>Día 28</b>	3,22	4,13	5,68	1,43	0,81

Fuente: Autores, 2019

Los residuos son:

$$e_{ijk} = y_{ijk} - \hat{y}_{ij}$$

Tabla 24. Residuos

Residuos					
	PET 0%	PET 10%	PET 17%	PET 25%	PET 40%
<b>Día 14</b>	0,11	0,15	0,58	0,16	0,00
	-0,01	0,38	-0,81	-0,22	0,11
	-0,11	-0,53	0,23	0,05	-0,10
<b>Día 28</b>	0,61	0,79	-0,18	-0,09	-0,11
	-0,21	0,54	0,65	-0,45	0,15
	-0,41	-1,34	-0,46	0,54	-0,05

Fuente: Autores, 2019

Observar que la suma de residuos de cada casilla vale cero.

Se calculan las sumas de cuadrados y se obtiene:

Tabla 25. Sumas de cuadrados

Parámetros	Valor
<b>ScT(<math>\alpha</math>) = scT(Días) =</b>	4,77
<b>ScT(<math>\beta</math>) = scT(%PET) =</b>	37,88
<b>ScT(<math>\alpha\beta</math>) = scT(interacción)=</b>	15,49
<b>ScT= ScT(<math>\alpha</math>) + ScT(<math>\beta</math>) + ScT(<math>\alpha\beta</math>)</b>	58,14
<b>ScR (error) =</b>	6,12
<b>ScG= interacción + ScT=</b>	73,62

Fuente: Autores, 2019

Los coeficientes de determinación que se obtienen son:

Tabla 26. Coeficientes de determinación

Coeficientes	Valor	Porcentaje
$R^2(\alpha) = R^2(\text{Días}) = \text{ScT}(\alpha)/\text{ScG} =$	0,065	6,5%
$R^2(\beta) = R^2(\%PET) = \text{ScT}(\beta)/\text{ScG} =$	0,515	51,5%
$R^2(\alpha\beta) = R^2(\text{Interacción}) =$	0,210	21,0%
$R^2 = \text{ScT}/\text{ScG} = R^2(\alpha) + R^2(\beta) + R^2(\alpha\beta) =$	0,790	79,0%

Fuente: Autores, 2019

La Tabla ANOVA que se obtiene es:

Tabla 27. Datos ANOVA

Tabla ANOVA (Confianza del 95 %)						
Efecto	Sum. Cuad.	g.l.	CM	F. Calculada	F. Tabulada	Probabilidad
<b>ScT(<math>\alpha</math>)</b>	4,77	1	4,77	15,59	4,35	0,000793962
<b>ScT(<math>\beta</math>)</b>	37,88	4	9,47	30,96	2,87	2,59299E-08
<b>ScT(<math>\alpha\beta</math>)</b>	15,49	4	3,87	12,66	2,87	2,70582E-05
<b>ScT</b>	58,14	9				
<b>ScR (Error)</b>	6,12	20	0,31	0,55		
<b>ScG (Total)</b>	73,62	29	2,54	1,59		

Fuente: Autores, 2019

Después de estudiar la influencia de los factores: *porcentaje de PET* y *Días* en el *rendimiento y/o resistencia de los ladrillos*. Se concluyó en la ANOVA que el efecto de las variables es significativamente diferente, es decir se acepta la hipótesis alternativa. Por lo cual fue necesario aplicar una prueba, dado que se tiene un blanco (0% de PET), se aplicó la prueba de Dunnet, para determinar el tratamiento más significativo de los porcentajes de PET.

$$\text{Dunnet} = 2,65 \sqrt{2 * \frac{0.31}{3}} = 1,20$$

Fórmula para las combinaciones posibles

$$t \frac{(t - 1)}{2}$$

t: tratamientos

Reemplazando:

$$5 \frac{(5 - 1)}{2} = 10$$

Tabla 28. Medias Calculadas

Porcentajes	0%	10%	17%	25%	40%
Medias	2.63	3.25	4.33	2.07	0.98

Fuente: Autores, 2019

Se realizaron las combinaciones y se obtuvo su significancia (siguiente tabla)

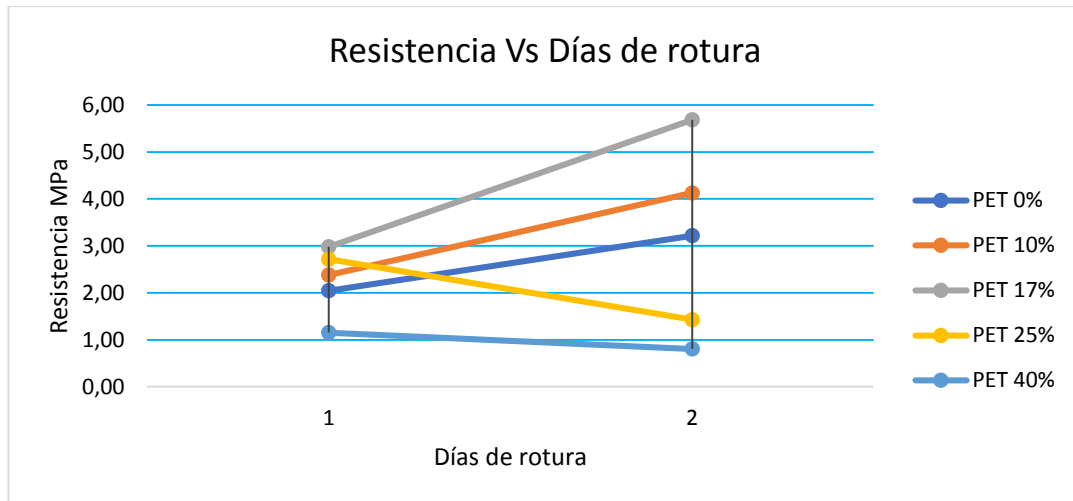
Tabla 29. Combinaciones y Significancias

Combinaciones		Significancia
0% - VS - 10%	= 0.62	No significativo
0% - VS - 17%	= 1.7	Significativo
0% - VS - 25%	= 0.56	No significativo
0% - VS - 40%	= 1.65	Significativo
10% - VS - 17%	= 1.08	No significativo
10% - VS - 25%	= 1.18	No significativo
10% - VS - 40%	= 2.27	Significativo
17% - VS - 25%	= 2.26	Significativo
17% - VS - 40%	= 3.35	Significativo
25% - VS - 40%	= 1.09	No significativo

Fuente: Autores, 2019

De la tabla 24 se deduce que se obtuvo mayor significancia en la muestra con porcentaje de 17% PET, ya que tuvo mayor interacción en las combinaciones efectuadas con las demás muestras.

Gráfico 6. Resistencias vs. Días

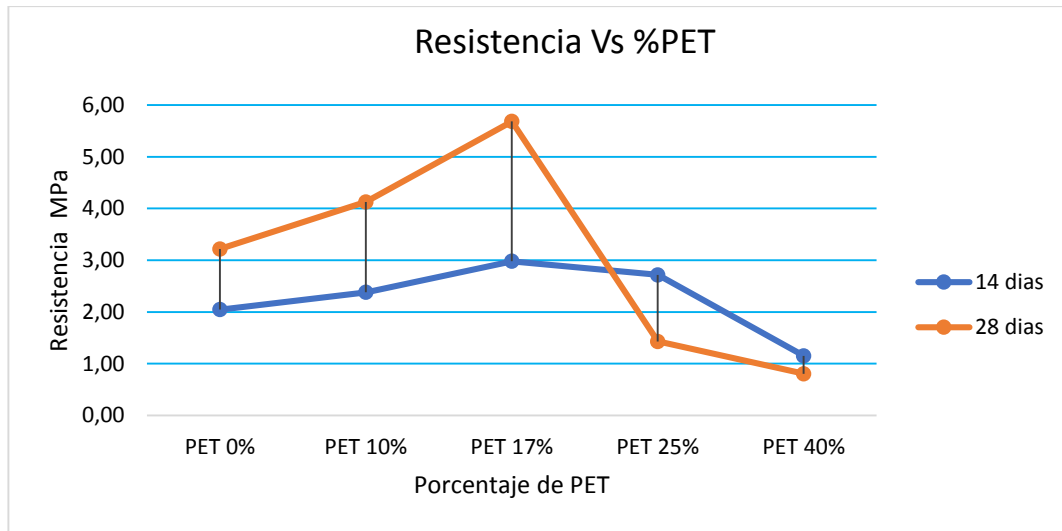


Fuente: Autores, 2019

De la gráfica se puede deducir que hay tratamientos significativamente diferentes. Se interpreta que los porcentajes de PET al (0%,10%,17%) corresponden a variables de efectos positivos, es decir que las resistencias pasan de un valor bajo a un valor alto en los diferentes días, teniendo interacciones las muestras de (0% y 10%) con la del 25%.

La variable positiva con mayor significancia en cuanto a resistencia vs días de rotura es la muestra con 17% de plástico PET. En el porcentaje de PET al 25% se observan interacciones de efecto negativo, es decir que este porcentaje de PET corresponde a una interacción sinérgica ya que los valores se invierten con los diferentes días, es decir que la resistencia en Mpa disminuye para el día 2 (rotura a los 28 días). De igual manera se observa en la muestra de PET con 40% no hay interacciones y la variable de respuesta tiende a ser de efecto negativo, es decir menor resistencia para el día 2.

Gráfico 7. Resistencia vs. %PET



Fuente: Autores, 2019.

De la gráfica se infiere que las muestras que se sometieron al ensayo de resistencia a la compresión a los 14 días tuvieron un comportamiento bajo, donde el porcentaje de PET más sobresaliente es el de 17%. Sin embargo, los porcentajes de PET a los 28 días mostraron mejores variables de respuesta en las muestras con 0%, 10% y 17% de PET, analizando estos porcentajes de PET es observable que la mejor proporción de PET es la de 17% con resistencias a la compresión evaluada a los 28 días, mientras que los valores de 25% y 40% de PET dieron como resultados variables de efecto negativo, es decir que las resistencias a la compresión no mejoraron con el pasar de los días.

## 6.4 ANÁLISIS DE LOS BENEFICIOS Y COSTOS DE LA UTILIDAD ECOLÓGICA DEL LADRILLO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL EN EL MUNICIPIO DE VALLEDUPAR.

### 6.4.1 Análisis de Precios Unitarios (APU)

Para la determinación del precio por unidad de los ladrillos con PET se realizó un análisis de precios unitarios con todas las materias primas implementadas en la fabricación. A continuación, se muestra el APU obtenido para los especímenes del material reciclado con mejor eficiencia en la resistencia.

Tabla 30. Análisis de precios unitarios a la mejor muestra de PET

MATERIALES REQUERIDOS Y PRECIOS SEGÚN LA MEJOR MUESTRA (M3 AL 17% DE PET)						
MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD UTILIZADA	MUESTRAS	CANTIDAD TOTAL	PRECIO PARA UNA UNIDAD	PRECIO TOTAL
PET triturado	Kg	0,884	6	5,30	\$ 980	\$ 5.194
Arena	Kg	4,32	6	25,92	\$ 58	\$ 1.512
Cemento	Kg	1,3	6	7,80	\$ 410	\$ 3.198
Agua	Lt	0,611	6	3,67	\$ 13	\$ 49
NOTA: SE ADOPTA UN VALOR DE DESPERDICIO PARA LAS MUESTRAS DE 3%			PRECIO PARA 6 MUESTRAS			\$ 10.252
			PRECIO UNITARIO POR MUESTRA			\$ 1.708

Fuente: Autores, 2019.

Como se observa en la tabla anterior, el valor del adobe de PET oscila alrededor de los \$ 1.708 colombianos, el cual comparado con el ladrillo de barro común es elevado ya que la unidad de este tiene valores que varían de \$ 500 pesos hasta \$ 950 pesos comúnmente en los centros de venta de la ciudad de Valledupar.

**Análisis de precios unitarios (APU) para un metro cuadrado de muro con adobe PET y con ladrillo común.**

Se presenta a continuación los APU de construcción de un metro cuadrado (m<sup>2</sup>) de ladrillo con PET y ladrillo común.

Tabla 31. Precios unitarios para un m<sup>2</sup> de muro PET

<b>PRECIO POR METRO CUADRADO DE MURO PET</b>					
MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	DESPERDICIO	PRECIO TOTAL
Ladrillo PET triturado de 7,5 x 15 x 30 cm	Unid	18	\$ 1.708	3%	\$ 31.666
mortero 1:3 (producción)	M <sup>3</sup>	0,02	\$ 302.635	5%	\$ 6.355
maestro de obra + 1 Ayudante (jornal + prestaciones)	Día	1	\$ 101.575	(18,00)	\$ 5.643
Herramientas (% mano obra)	%MO	0,100	\$ 5.643	0,00	\$ 564
NOTA: LOS VALORES EN ( ) INDICAN RENDIMIENTOS			<b>PRECIO M<sup>2</sup> MURO DE PET</b>		<b>\$ 44.228</b>

Fuente: Autores, 2019

Con este análisis se logra conocer la cantidad y valor exacto que se necesita para construir un muro de con ladrillos PET.

Tabla 32. Precios unitarios para un m<sup>2</sup> de muro de ladrillo convencional.

<b>PRECIO POR METRO CUADRADO DE MURO CON LADRILLO CONVENCIONAL</b>					
MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	DESPERDICIO	PRECIO TOTAL
Ladrillo tolete común de 8*12*24 cm	Unid	36	\$ 700	3%	\$ 25.956
mortero 1:3 (producción)	M <sup>3</sup>	0,026	\$ 302.635	5%	\$ 8.262
maestro de obra + 1 Ayudante (jornal + prestaciones)	Día	1	\$ 101.575	(18,00)	\$ 5.643
Herramientas (% mano obra)	%MO	0,100	\$ 5.643	0,00	\$ 564
NOTA: LOS VALORES EN ( ) INDICAN RENDIMIENTOS			<b>PRECIO M<sup>2</sup> DE MURO CON LADRILLO CONVENCIONAL</b>		<b>\$ 40.425</b>

Fuente: Autores, 2019

Con respecto a los análisis de precios unitarios realizados anteriormente se concluye que el metro cuadrado de muro hecho con ladrillos fabricados con plástico PET reciclado es más costoso que el metro cuadrado de muro de ladrillo convencional por lo cual no es efectiva o rentable la realización de estos muros con respecto al costo de construcción que este implica.

#### **6.4.2 Comparación Económica**

La tabla a continuación muestra los resultados para los ladrillos con PET y los ladrillos convencionales con las variables económicas a comparar.

Tabla 33. Análisis comparativo a nivel económico del bloque con PET y el ladrillo convencional.

ASPECTO	TIPO DE LADRILLO	VALOR
PRECIO UNITARIO DE BLOQUE	LADRILLO CON PET	\$ 1.708
	LADRILLO CONVENCIONAL	\$ 700
CANTIDAD DE LADRILLOS POR M <sup>2</sup>	LADRILLO CON PET	18
	LADRILLO CONVENCIONAL	36
PRECIO DE MURO EN LADRILLOS POR M <sup>2</sup>	LADRILLO CON PET	\$ 44.428
	LADRILLO CONVENCIONAL	\$ 40.425

Fuente: Autores, 2019

A partir de la información recopilada en la tabla anterior se puede concluir que la diferencia entre el metro cuadrado del muro fabricado con ladrillos de PET al 17% y el muro tradicional de ladrillos macizos es mínima, siempre y cuando se consideren a pequeños proyectos, pero rentablemente se debe tener preferencia en el muro de ladrillo convencional ya que su precio es más bajo que el metro cuadrado con PET.

### **6.4.3 Análisis de los Beneficios Ambientales**

El proceso de análisis ambiental se realizará con el fin de determinar el grado de impacto ambiental que produce la fabricación de los ladrillos a base de plástico PET y los ladrillos convencionales, debido a que la elaboración del ladrillo ecológico no requiere de material combustible, esto se debe a que no se utiliza la cocción, es decir que reduce en un 100% el porcentaje de emanación de gases tóxicos que afecta en los cambios climáticos a nivel mundial y la salud del ser humano. La elaboración de estos ladrillos en sí no genera mayor daño al contorno ambiental donde se ubican.

Para la elaboración de los ladrillos ecológicos se utilizaron materiales como son el cemento, la arena, plástico PET y agua, los cuales son amigables con el medio ambiente y no generan a corto, mediano o largo plazo alteraciones de gran índole en el contorno ambiental, además de esto no se utilizaron químicos, ni tampoco requiere de lugares especiales para su fabricación, ni mucho menos de un personal capacitado para su diseño.

Por otra parte, los ladrillos convencionales usan materiales que simpatizan con el ambiente, mediante la explotación de la arcilla, posteriormente la preparación del fango. Estas actividades han venido generando un impacto ambiental relacionado con la degradación y erosión de los suelos.

Estas malas técnicas han causado tala de bosques en busca de leña para el proceso de cocción del ladrillo convencional, sin embargo, esto es ineficiente debido a que la quema de estos llega al punto de combustión, los cuales pueden tener grados de contaminación altos, intermedios o bajos, también suelen usar como combustible llantas, plásticos, cascara de arroz, gas, entre otros. Estos combustibles pueden producir gases contaminantes, como lo son el dióxido de azufre, el óxido de nitrógeno, el cloruro de hidrogeno, que pueden afectar la

población cercana con infecciones respiratorias agudas e infecciones pulmonares a causa de una mala calidad del aire.

A partir de este análisis se indica como mejor recomendación la implementación de los ladrillos ecológicos reutilizando materiales a base de plástico “PET” para la construcción de viviendas de interés social, debido a que no genera un impacto ambiental negativo; y mediante la implementación de estos ladrillos a largo plazo pueden contribuir con un notable descenso de la contaminación presente en el Municipio de Valledupar.

## 7. CONCLUSIONES

- Teniendo en cuenta el gran uso comercial que se le da al PET, se concluye que es un material fácil de obtener, y los procesos de clasificación, separación y limpieza no presentan mayores dificultades, mientras que el triturado se realizó en otra ciudad, debido a que se requiere de un proceso más industrializado para obtenerlo en forma de escamas.
- Al analizar las características de los materiales, se observa que sí es posible utilizar el PET reciclado y la arena implementada como agregados en la fabricación de ladrillos, y mediante el análisis de otras investigaciones y/o antecedentes se pudo lograr establecer unas proporciones que permitieran generar un adecuado diseño de mezcla, y por ende llevar a cabo un buen proceso de fabricación de los ladrillos ecológicos.
- De las propiedades evaluadas a los ladrillos se concluyó, que la muestra que presento mejor resultado respecto al porcentaje de absorción de agua (Aa%), Densidad (D), ensayo a la compresión (Mpa) y carga máxima (KN), fue la muestra 3, que contiene 17 % de agregado PET con resistencia evaluada a los 28 días de su elaboración, logrando cumplir con los requerimientos normativos estipulados para la resistencia y durabilidad permitidos por las normas técnicas colombianas y la NSR 10.
- Del diseño experimental podemos concluir que se aceptó la hipótesis alternativa, es decir que se dieron tratamientos significativamente diferentes de los demás, y en la comprobación de la significancia por medio de la prueba de Dunnet, y las gráficas de interacciones se pudo determinar que las

combinaciones arrojaron mejor variable de respuesta en la muestra 3 con 17% PET a los 28 días.

- A pesar que los costos de producción de los ladrillos ecológicos son más altos que los ladrillos convencionales, el producto obtenido es sustentable y amigable con el medio ambiente, concediéndole a los residuos tipo PET una nueva forma de aprovechamiento y, así mismo, lograr una considerable disminución del plástico en el medio ambiente, contribuyendo en los procesos de reutilización; además la comparación de los ladrillos ecológicos con agregado PET y los ladrillos convencionales no producen emisiones contaminantes a la atmosfera ya que en su elaboración no se requiere de cocción sino que son secados mediante exposición al ambiente.

## 8. RECOMENDACIONES

- Tener en consideración el porcentaje de humedad contenida en las escamas de PET en el proceso de dosificación, para evitar alteraciones en los resultados respecto a la relación A/C.
- Tener en cuenta la realización de otras pruebas que corroboren la efectividad de los ladrillos ecológicos, como ensayos de flexotracción, modelación sísmica, entre otras.
- Tomar precaución al momento de dosificar los materiales que llevan los ladrillos ecológicos, ya que es un factor importante y si no se tienen los debidos cuidados se pueden modificar los diseños iniciales.
- Se recomienda analizar las cargas ejercidas sobre la mezcla al momento de compactación del ladrillo, para conocer mejor el comportamiento en la rotura de los mismos, ya que en la compactación se busca que se integren correctamente los materiales y así evitar que los bloques contengan alta porosidad, disminuyendo su resistencia y provocando el desmoronamiento de estos.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

ALESMAR, Luis, RENDON Nalia y KORODY María. Diseño de mezcla de tereftalato de polietileno (PET) – cemento 2008. Revista de la facultad de ingeniería U.C.V., vol. 23.

Aseo del Norte SA ESP. Informe Cumplimiento Ambiental. Valledupar: Coordinación Ambiental. 2016.

AYALA, Miguel; HERNÁNDEZ, Michelle y LOOR, Nicole. Proyecto de ecoeficiencia reciclaje de botellas PET. Lima. Universidad Espíritu Santo. Escuela de ciencias ambientales.2012.

BUITRAGO CAMELO, Ener. Fábrica de ladrillos ecológicos del Meta “FALAMET”. [En línea]. Villavicencio: Proyecto de gestión empresarial. 2014. Disponible en <https://www.academia.edu/8493147/Proyecto-fabrica-de-ladrillos-ecologicos>.

CABALLERO, Brayan y FLOREZ Orlando. Elaboración de bloques en cemento reutilizando el plástico polietilen-tereftalato (PET) como alternativa sostenible para la construcción. Trabajo de grado (ingeniería civil). Cartagena D.T y C.: universidad de Cartagena. Facultad de ingeniería. Programa de ingeniería civil. 2016.

CADENA, Francisco y QUIROZ Francisco. Manual de reciclaje de plásticos. Citado por ZÚÑIGA, Andrés. Evaluación del tereftalato de polietileno (PET) como agregado en la elaboración de mortero para ladrillos y concreto. Trabajo de grado para el título de Ingeniero Ambiental y Sanitario. Bogotá D.C.: 2015.

Contraloría Municipal de Valledupar. Informe del Estado de los Recursos Naturales 2012. Valledupar. Informes Contraloría Municipal. 2013.

CHALCHY, Alejandro. Estudio para la fabricación de tabiques de plástico. Tesis de grado para Ingeniero en robótica industrial. México, D.F.: Instituto Politécnico

Nacional. Escuela superior de ingeniería mecánica y eléctrica unidad profesional Azcapotzalco, 2008

DANE. Boletín Censo General 2005. Déficit de Vivienda. Bogotá, D.C.: DANE. 2005

Departamento Nacional de Planeación y Banco Mundial, 2015. Citado por VALDERRAMA, María; CHAVARRO, Luz; OSORIO, Juan y PEÑA, Claudia. Estudio dinámico del reciclaje de envases PET en el Valle del Cauca. Revista lasallista de investigación. Vol. 15 No 1 – 2018.

Escuela Colombiana de ingeniería “Julio Garavito”. Plástico protocolo curso de proceso de manufactura. 2 ed. Colombia. Facultad de ingeniería industrial laboratorio de producción. 2007

GÓMEZ GUTIÉRREZ, Carlos. III el desarrollo sostenible: conceptos básicos, alcance y criterios para su evaluación. [en línea]. la habana: cambio climático y desarrollo sostenible. Bases conceptuales para la educación en Cuba. Editorial Educación Cubana. Primera Edición, 2014., cap.3. p91. ISBN: 978-959-18-1047-2. Disponible. en:  
<http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Havana/pdf/Cap3.pdf>

GUÍA TÉCNICA COLOMBIANA GTC-24. Gestión ambiental de residuos sólidos. [En línea]. Bogotá D.C.: 2013. disponible en  
<http://gruposolidos2013.blogspot.com/2013/04/guia-tecnica-colombia-gtc-24.html>

MARTINO, Luciana. ¿qué es y cómo aplicar la arquitectura sustentable? [En línea]. Argentina: AYMA arquitectura y medio ambiente. 2014. disponible en  
<https://www.ayma.cl/single-post/2014/10/01/QU%C3%89-ES-Y-C%C3%93MO-APLICAR-LA-ARQUITECTURA-SUSTENTABLE>.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2004. Citado por VALDERRAMA, María; CHAVARRO, Luz; OSORIO, Juan y PEÑA, Claudia. Estudio

dinámico del reciclaje de envases PET en el Valle del Cauca. Revista lasallista de investigación. Vol. 15 No 1 – 2018.

MONTGOMERY, Douglas. Diseño y análisis de experimentos. 2 ed. México D. F.: Limusa Wiley. 2004.

MUÑOZ PEREZ, Liliana. [En línea]. Estudio del uso del polietileno de Tereftalato (PET) como material de restitución de suelos de baja capacidad de carga. Trabajo de grado para obtener el título de ingeniero civil. México D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México D.F.: Facultad de ingeniería. 2012. Disponible en <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/2514/1/TESIS.pdf>.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. NTC 4024. (21, marzo, 2001). Prefabricados de concreto. Muestreo y ensayo de prefabricados de concreto no reforzado, vibro compactados. I.C.S.: 91.100.30

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. NTC 5511 (25, Julio, 2007). Envases plásticos. Uso general.

OAPM. Anuario Estadístico de Valledupar 2010. Valledupar: OAPM, 2011.

Plan de desarrollo municipal 2016 – 2019. Valledupar avanza, alcaldía municipal. ACUERDO No. 001 del 25 de abril 2016. Valledupar. 2016

Prefabricado Concretodo. Cómo construir con concretodo volumen 3. Mampostería de bloques de concreto. 2010., p.8 disponible en <http://www.concretodo.com/pdf/mamposteriabloques.pdf>

QUARMBY, Arthur. Materiales plásticos y arquitectura experimental. Barcelona: Gustavo Gili, 1976.

Redacción por Negación. Plástico, Sólido. El Espectador. 2011.

REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE, NSR-10. TITULO D- MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL. Bogotá, D. C., 2010.

REINA, cesar. reutilización de plástico PET, papel y bagazo de caña de azúcar, como materia prima en la elaboración de concreto ecológico para la construcción de viviendas de bajo costo. trabajo de grado para optar al grado académico de ingeniero ambiental. Trujillo: universidad nacional de Trujillo escuela de posgrado. Sección de posgrado ingeniería química, 2016.

RIVERA, Gerardo. Concreto simple. Cauca: universidad del cauca. Facultad de ingeniería civil. 2013.

RIVERA, Luis. materiales alternativos para la elaboración de tabiques ecológicos. Para obtener el grado de maestría en ingeniería y administración de la construcción. Sonora.: instituto tecnológico de sonora. Maestría en ingeniería y administración de la construcción, 2013. 83p. disponible en <https://docplayer.es/4169898-Materiales-alternativos-para-la-elaboracion-de-tabiques-ecologicos.html>

RÖBEN, Eva. Oportunidades para reducir la generación de los desechos sólidos y reintegrar materiales recuperables en el círculo económico. El reciclaje. Loja. 2003.

ROJAS, juan. Colombia entierra millones de pesos por no reciclar. el colombiano. 2016.

VALDERRAMA, María; CHAVARRO, Luz; OSORIO, Juan y PEÑA, Claudia. Estudio dinámico del reciclaje de envases PET en el Valle del Cauca. revista lasallista de investigación. Vol. 15 No 1 – 2018.

ZÚÑIGA, Andrés. Evaluación del tereftalato de polietileno (PET) como agregado en la elaboración de mortero para ladrillos y concreto. Trabajo de grado para el título de Ingeniero Ambiental y Sanitario. Bogotá D.C., 2015.