



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 1

Neiva, 20-01-2023

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Los suscritos:

Leonardo Gómez Noguera, con C.C. No.1075316985

Carlos Tomás Motta Millán, con C.C. No. 1075319334

Autor(es) de la tesis titulada RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE DOS TIPOS DE MORTERO EMPLEANDO PARCIALMENTE TEREFALATO DE POLIETILENO Y POLIPROPILENO COMO AGREGADO FINO presentado y aprobado en el año 2023 como requisito para optar al título de INGENIERO CIVIL; Autorizamos al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales "open access" y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma:

Carlos Tomás Motta Millán

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma:

Leonardo Gómez Noguera

Vigilada Mineducación



**TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO:** RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE DOS TIPOS DE MORTERO EMPLEANDO PARCIALMENTE TEREFALATO DE POLIETILENO Y POLIPROPILENO COMO AGREGADO FINO

**AUTOR O AUTORES:**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Gómez Noguera	Leonardo
Motta Millán	Carlos Tomás

**DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Duarte Toro	Mauricio

**ASESOR (ES):**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Duarte Toro	Mauricio

**PARA OPTAR AL TÍTULO DE: INGENIERO CIVIL**

**FACULTAD: INGENIERÍA**

**PROGRAMA O POSGRADO: INGENIERÍA CIVIL**

**CIUDAD: NEIVA**

**AÑO DE PRESENTACIÓN: 2023**

**NÚMERO DE PÁGINAS: 79**

**TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):**



Diagramas X Fotografías X Grabaciones en discos \_\_\_ Ilustraciones en general X Grabados \_\_\_  
Láminas \_\_\_ Litografías \_\_\_ Mapas \_\_\_ Música impresa \_\_\_ Planos \_\_\_ Retratos \_\_\_ Sin ilustraciones \_\_\_ Tablas  
o Cuadros X

**SOFTWARE** requerido y/o especializado para la lectura del documento:

**MATERIAL ANEXO:**

**PREMIO O DISTINCIÓN** (*En caso de ser LAUREADAS o Meritoria*):

**PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:**

Español

Inglés

- |                               |                            |
|-------------------------------|----------------------------|
| 1. Plástico                   | Plastic                    |
| 2. Mortero                    | Mortar                     |
| 3. Reciclaje                  | Recycling                  |
| 4. Polipropileno              | Polypropylene              |
| 5. Tereftalato de polietileno | Polyethylene terephthalate |

**RESUMEN DEL CONTENIDO:** (Máximo 250 palabras)

Debido a la gran cantidad de plásticos que son producidos y desechados por el hombre, es cada vez más difícil el manejo que se le debe dar a este tipo de residuos. Es por ello, que por medio de la presente investigación se evaluó el comportamiento del esfuerzo de compresión para diferentes tipos de mezclas de mortero que contengan parcialmente tereftalato de polietileno (PET) y polipropileno (PP) con respecto a una mezcla de referencia de mortero (Testigo), la cual tuvo una proporción cemento: arena de 1:2.53 y, a su vez, se usaron porcentajes de plástico en reemplazo de la arena del 5%, 10% y 15% para cada tratamiento. De igual manera, para llevar a cabo un análisis de varianza y una prueba de múltiples rangos, se realizaron 12 especímenes por cada porcentaje reemplazado, además del



mortero de referencia, para fallar a las edades de 7, 14 y 28 días.

Después de realizados los ensayos, se llega a la conclusión de que los tratamientos con 10% y 15% tanto de PET como de PP afectan considerablemente la resistencia del mortero, sin embargo, el tratamiento que mejores resultados obtuvo después de la mezcla de referencia es la que contiene 5% de polipropileno que, aunque tiene diferencias estadísticamente significativas, estas podrían mitigarse ajustando la mezcla. Es decir, ese 11.7% de diferencia con respecto al testigo se lograría solucionar en caso de encontrar otras propiedades que justifiquen el uso de plástico en el mortero.

**ABSTRACT:** (Máximo 250 palabras)

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional [www.usco.edu.co](http://www.usco.edu.co), link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



Due to the large amount of plastics that are produced and discarded by man, it is increasingly difficult to manage this type of waste. For this reason, the behavior of the compressive strength of different types of mortar mixtures partially containing polyethylene terephthalate (PET) and polypropylene (PP) was evaluated with respect to a reference mortar mixture (Control), which had a cement:sand ratio of 1:2.53 and, in turn, percentages of plastic were used to replace sand of 5%, 10% and 15% for each treatment. Similarly, to carry out an analysis of variance and a multiple range test, 12 specimens were made for each percentage replaced, in addition to the reference mortar, to fail at ages 7, 14 and 28 days.

After the tests were carried out, it was concluded that the treatments with 10% and 15% of both PET and PP considerably affect the mortar strength; however, the treatment that obtained the best results after the reference mix is the one containing 5% of polypropylene, which, although it has statistically significant differences, these could be mitigated by adjusting the mix. That is to say, the 11.7% difference with respect to the control could be solved if other properties were found that would justify the use of plastic in the mortar.



**APROBACION DE LA TESIS**

Nombre Presidente Jurado:

Firma:

Nombre Jurado: WILLIAM JAVIER ANDRADE

Firma:

Nombre Jurado: HENRY MAURICIO CASTILLO SALGADO

Firma:



**RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE  
DOS TIPOS DE MORTERO  
EMPLEANDO PARCIALMENTE  
TEREFTALATO DE POLIETILENO Y  
POLIPROPILENO COMO AGREGADO  
FINO**

**Leonardo Gómez Noguera**

**Carlos Tomás Motta Millán**

Universidad Surcolombiana

Facultad de ingeniería

Neiva, Colombia

2022

# RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE DOS TIPOS DE MORTERO EMPLEANDO PARCIALMENTE TEREFTALATO DE POLIETILENO Y POLIPROPILENO COMO AGREGADO FINO

**Leonardo Gómez Noguera**

**Carlos Tomás Motta Millán**

Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de:  
Ingeniero civil

Director (a):  
Ing. MSc Mauricio Duarte Toro

Línea de Investigación:  
Materiales de construcción

Universidad Surcolombiana  
Facultad de Ingeniería  
Programa de ingeniería civil  
Neiva, Colombia

2022

## **Dedicatoria**

El presente trabajo va dedicado a mi toda familia que con su apoyo incondicional fueron capaces de ayudarme a alcanzar mis metas en el ámbito profesional y personal. De igual manera va dedicado a todos los docentes que con sus enseñanzas me guiaron en mi carrera con el fin de que cada día sea un mejor profesional y una mejor persona.

*Leonardo Gómez Noguera*

Agradezco primero que todo a Dios por permitirme estar donde estoy ahora y estudiar lo que me apasiona; dedicarle el presente trabajo a mi mamá principalmente por su gran esfuerzo siempre de sacar a sus hijos adelante, a mi hermana, pareja y familia también por hacer parte de este lindo proceso; así como al Ing. Mauricio Duarte por su constante acompañamiento y demás docentes que aportaron en mi formación no solo profesional, sino integral.

*Carlos Tomás Motta Millán*

## **Agradecimientos**

Primeramente dar gracias a Dios por permitirnos llevar a cabo este proyecto de investigación en el cual tenemos grandes expectativas de aporte al ámbito académico. Así mismo, gratificamos a nuestras familias que han sido el pilar fundamental para lograr culminar esta etapa de nuestras vidas de la mejor manera.

Agradecemos a nuestros compañeros y docentes que en cada momento de nuestra vida académica nos brindaron el apoyo necesario para superar los obstáculos que se presentaron durante el transcurso de nuestra carrera.

De igual manera agradecemos a nuestro director de tesis, el ingeniero Mauricio Duarte Toro, quien con su apoyo constante nos dió los mejores instrumentos e ideas para poder llevar a cabo la presente investigación.

Al señor Efrén Mosquera Villarreal por toda su contribución durante el transcurso de la investigación, ya que gracias a él tuvimos a disposición todas las herramientas y equipos necesarios para efectuar los diferentes procesos que conlleva la ejecución de los ensayos de laboratorio.

## Resumen

Debido a la gran cantidad de plásticos que son producidos y desechados por el hombre, es cada vez más difícil el manejo que se le debe dar a este tipo de residuos. Es por ello, que por medio de la presente investigación se evaluó el comportamiento del esfuerzo de compresión para diferentes tipos de mezclas de mortero que contengan parcialmente tereftalato de polietileno (PET) y polipropileno (PP) con respecto a una mezcla de referencia de mortero (Testigo), la cual tuvo una proporción cemento:arena de 1:2.53 y, a su vez, se usaron porcentajes de plástico en reemplazo de la arena del 5%, 10% y 15% para cada tratamiento. De igual manera, para llevar a cabo un análisis de varianza y una prueba de múltiples rangos, se realizaron 12 especímenes por cada porcentaje reemplazado, además del mortero de referencia, para fallar a las edades de 7, 14 y 28 días.

Después de realizados los ensayos, se llega a la conclusión de que los tratamientos con 10% y 15% tanto de PET como de PP afectan considerablemente la resistencia del mortero, sin embargo, el tratamiento que mejores resultados obtuvo después de la mezcla de referencia es la que contiene 5% de polipropileno que, aunque tiene diferencias estadísticamente significativas, estas podrían mitigarse ajustando la mezcla. Es decir, ese 11.7% de diferencia con respecto al testigo se lograría solucionar en caso de encontrar otras propiedades que justifiquen el uso de plástico en el mortero.

**Palabras clave:** Plástico, Mortero, Reciclaje, Polipropileno, Tereftalato de polietileno

### Abstract

Due to the large amount of plastics that are produced and discarded by man, it is increasingly difficult to manage this type of waste. For this reason, the behavior of the compressive strength of different types of mortar mixtures partially containing polyethylene terephthalate (PET) and polypropylene (PP) was evaluated with respect to a reference mortar mixture (Control), which had a cement:sand ratio of 1:2.53 and, in turn, percentages of plastic were used to replace sand of 5%, 10% and 15% for each treatment. Similarly, to carry out an analysis of variance and a multiple range test, 12 specimens were made for each percentage replaced, in addition to the reference mortar, to fail at ages 7, 14 and 28 days.

After the tests were carried out, it was concluded that the treatments with 10% and 15% of both PET and PP considerably affect the mortar strength; however, the treatment that obtained the best results after the reference mix is the one containing 5% of polypropylene, which, although it has statistically significant differences, these could be mitigated by adjusting the mix. That is to say, the 11.7% difference with respect to the control could be solved if other properties were found that would justify the use of plastic in the mortar.

**Keywords:** Plastic, Mortar, Recycling, Polypropylene, polyethylene terephthalate

## Tabla De Contenido

<b>Resumen</b>	<b>4</b>
<b>Abstract</b>	<b>5</b>
<b>Tabla De Contenido</b>	<b>6</b>
<b>Lista De Figuras</b>	<b>8</b>
<b>Lista De Tablas</b>	<b>10</b>
<b>Lista De Anexos</b>	<b>12</b>
<b>Introducción</b>	<b>13</b>
1.1 Planteamiento Del Problema	14
1.2 Antecedentes	16
1.2.1 A nivel internacional	16
1.2.2 A nivel nacional	18
1.3 Justificación	19
1.4 Objetivos	20
1.4.1 Objetivo General	20
1.4.2 Objetivos Específicos	20
1.5 Alcance	20
<b>Marco Teórico</b>	<b>21</b>
2.1 Mortero	21
2.1.1 Tipos De Morteros	21
2.1.2 Propiedades Del Mortero En Estado Plástico	24
2.1.3 Propiedades Del Mortero En Estado Endurecido	27
2.1.4 Diseño De Mezcla De Mortero	28
2.1.5 Ensayo A Compresión Para Mortero	28
2.1.6 Curado del mortero	28
2.1.6.1 Curado Con Agua.	29
2.1.6.1.1 Curado Por Anegamiento O Inmersión.	29
2.2 Plásticos	29
2.2.1 Tipos De Plásticos Reciclables Por Códigos	29
2.2.2 Tereftalato De Polietileno	30
2.2.3 Polipropileno	31
<b>Metodología</b>	<b>31</b>
3.1 Recopilación Y Revisión Bibliográfica	31
3.2 Compra, Clasificación Y Caracterización De Los Materiales	32

3.2.1 Caracterización De Materiales	32
3.2.1.1 Granulometría.	32
3.2.1.2 Peso Unitario Suelto Y Compactado.	33
3.2.1.3 Densidad Aparente.	34
3.3 Diseño Y Preparación De La Mezcla	34
3.3.1 Ensayo De Fluidez De la Mezcla de Mortero	34
3.4 Obtención De Los Datos De Resistencia A La Compresión De Los Especímenes	35
3.5 Análisis Estadístico De Los Datos	35
<b>Resultados Y Análisis De Resultados</b>	<b>36</b>
4.1 Resultados Diseño De Mezcla	36
4.2 Variación De Resistencia En El Tiempo	37
4.3 Resultados Y Análisis De La Resistencia A Compresión	39
4.3.1 Resultados Resistencia A Los 7 Días	41
4.3.2 Resultados Resistencia A Los 14 Días	42
4.3.3 Resultados Resistencia A Los 28 Días	44
4.4 Resultados Peso De Los Especímenes	45
4.5 Relación Esfuerzo-Peso De Los Especímenes De Mortero	47
4.6 Comparación De Costos De Materiales	49
<b>Discusión</b>	<b>51</b>
<b>Conclusiones Y Recomendaciones</b>	<b>52</b>
5.1 Conclusiones	52
5.2 Recomendaciones	53
<b>Bibliografía</b>	<b>55</b>

## Lista De Figuras

Figura 1	30
Códigos de identificación de los plásticos reciclables.	
Figura 2	35
Máquina de compresión hidráulica DIRIMPEX REF: CT-1500	
Figura 3	37
Diagrama de cajas y bigotes resistencia a la compresión cubos de mortero a los 7 días	
Figura 4	38
Diagrama de cajas y bigotes resistencia a la compresión cubos de mortero a los 14 días	
Figura 5	39
Diagrama de cajas y bigotes resistencia a la compresión cubos de mortero a los 28 días	
Figura 6	47
Diagrama de cajas y bigotes peso a los 28 días	
Figura A.1.1	60
Organización de los tamices para realizar el ensayo de granulometría de agregados	
Figura A.1.2	60
Vaciado del material en la serie de tamices	
Figura A.1.3	61
Tamizaje de los agregados en máquina eléctrica	
Figura A.2.1	64
Compactación de la arena por capas	
Figura A.2.2	64
Compactación del Polipropileno (PP) por capas	
Figura A.2.3	65
Compactación y enrase del tereftalato de polietileno (PET)	
Figura A.2.4	65
Peso del recipiente + peso de la arena sin compactar	
Figura A.2.5	66
Peso del recipiente + peso del polipropileno compactado	
Figura A.2.6	66
Peso del recipiente + peso del tereftalato de polietileno compactado	
Figura A.3.1	69
Inmersión de la muestra del material	
Figura A.3.2	70
Secado de la muestra del material	
Figura A.3.3	70

Lleno del material en el molde cónico	
Figura A.3.4	71
Peso de la muestra del material a utilizar (S)	
Figura A.3.5	72
Peso del agua + picnómetro (B)	
Figura A.3.6	72
Peso de la muestra + agua + picnómetro (C)	
Figura C.1	77
Preparación de mezclas para el ensayo de fluidez	
Figura C.2	77
Compactación del mortero en el molde de bronce	
Figura C.3	78
Diámetro inicial del mortero	
Figura C.4	78
Diámetro final del mortero	

## Lista De Tablas

Tabla 1	24
Usos de los morteros de cemento	
Tabla 2	26
Fluidez recomendada del mortero para diversos tipos de estructura y condiciones de colocación.	
Tabla 3	33
Resultados pesos unitarios sueltos y compactados de materiales	
Tabla 4	36
Resultados diseño de mezcla de mortero y proporciones para cada tratamiento	
Tabla 5	40
Promedio de los esfuerzos a compresión y desviación estándar para los 7 tipos de mezclas	
Tabla 6	41
Análisis de varianza sobre resultados a compresión a los 7 días	
Tabla 7	42
Prueba de múltiples rangos para resistencia a los 7 días	
Tabla 8	43
Análisis de varianza sobre resultados a compresión a los 14 días	
Tabla 9	43
Prueba de múltiples rangos para resistencia a los 14 días	
Tabla 10	45
Análisis de varianza sobre resultados a compresión a los 28 días	
Tabla 11	45
Prueba de múltiples rangos para resistencia a los 28 días	
Tabla 12	46
Promedio del peso a los 7, 14 y 28 días	
Tabla 13	48
Relación esfuerzo/peso de los especímenes a los 7, 14 y 28 días	
Tabla 14	50
Resumen costos de materiales por metro cúbico de mortero	
Tabla 15	51
Comparación de resultados sobre resistencia a la compresión de mortero con PET	
Tabla A.1.1	61
Ensayo de granulometría según NTC 77 para agregado fino (Arena)	
Tabla A.1.2	62
Ensayo de granulometría según NTC 77 para agregado fino (PET)	

	11
Tabla A.1.3	63
Ensayo de granulometría según NTC 77 para agregado fino (PP)	
Tabla A.2.1	67
Peso unitario suelto del agregado fino	
Tabla A.2.2	67
Peso unitario compactado agregado fino	
Tabla A.2.3	67
Peso unitario suelto tereftalato de polietileno PET	
Tabla A.2.4	68
Peso unitario compactado tereftalato de polietileno PET	
Tabla A.2.5	68
Peso unitario suelto polipropileno PP	
Tabla A.2.6	68
Peso unitario compactado polipropileno PP	
Tabla A.3.1	73
Densidad aparente seca de la arena	
Tabla C.1	76
Porcentaje de fluidez inicial del mortero	
Tabla C.2	76
Porcentaje de fluidez del mortero	

**Lista De Anexos**

Anexo A. Caracterización de los agregados	59
A.1 Ensayo de Granulometría De Los Agregados	59
A.2 Peso Unitario De Los agregados	63
A.3 Densidad Aparente	69
Anexo B. Diseño De La Mezcla De Mortero	73
Anexo C. Ensayo De Fluidez Del Mortero	75

## Introducción

Desde la invención del plástico y hasta el día de hoy las personas no han dimensionado el daño que pueden causar dichos desechos a la propia humanidad y en general a todos los seres vivos que habitan el planeta tierra. Es por eso que mediante la presente investigación se pretende conocer cuál es la resistencia a la compresión del mortero sustituyendo parte de la arena por material plástico, específicamente por tereftalato de polietileno (PET) y polipropileno (PP), los cuales son de los residuos más comunes en los desechos de cada hogar, que a su vez, presentan características bastante favorables como su resistencia, ligereza, flexibilidad e impermeabilidad, que hacen que los plásticos sean por mucho uno de los materiales favoritos de casi todas las industrias a nivel mundial.

En lo referente al tipo de plástico a emplear, cabe resaltar que los dos materiales mencionados anteriormente se pueden encontrar ya en forma triturada, lo que hace que sea más factible su adquisición y posible uso en el mortero. Al contrario de otros residuos plásticos, como por ejemplo el poliestireno (PS) y el policloruro de vinilo (PVC), que pueden llegar a no ser una opción viable a gran escala para su reutilización en materiales de construcción, debido a su gran dificultad de ser reciclados y, en consecuencia, no haya una oferta de los mismos en el mercado de materiales reciclados.

Para llevar a cabo la fase experimental de este proyecto se planea inicialmente realizar la caracterización de los materiales a emplear, los cuales son: arena, tereftalato de polietileno, polipropileno y cemento. Seguidamente, se procederá a diseñar la mezcla de mortero para finalmente fundir las muestras de: 0% (Referencia), 5%, 10%, 15% de PET y PP respectivamente.

## 1.1 Planteamiento Del Problema

La crisis ambiental es uno de los mayores desafíos a los que se enfrenta la humanidad actualmente. Según un estudio realizado por el Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente (PNUMA, 2021, como se citó en ONU, 2021), se expone la amenaza que representa la contaminación por plásticos que crece progresivamente en todos los ecosistemas, resaltando el aumento que ha tenido en los sistemas acuáticos para los últimos años y del cual, aproximadamente un 85% de los residuos llegan a los océanos y aún se prevé duplicar esta cifra para el año 2030. De acuerdo con estimaciones de la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2019) se afirma que “cada minuto se compran un millón de botellas de plástico y al año se usan 500.000 millones de bolsas”; también se considera que “estas cantidades, su fácil dispersión y su lento proceso de degradación convierten al plástico en uno de los peores enemigos para los mares y océanos” (Greenpeace, 2019).

Teniendo en cuenta lo anterior, la directora ejecutiva de PNUMA, Inger Andersen, expresó que “Una preocupación importante es el destino de los microplásticos, aditivos químicos y otros productos fragmentados”, incluídos también en este grupo los plásticos de base biológica o biodegradables, conocidos como de un solo uso, los cuales representan una amenaza química que se asemeja a la de los plásticos convencionales, llegando a generar posibles consecuencias graves para la salud, el clima, la biodiversidad y la economía. (PNUMA, 2021, como se citó en ONU, 2021)

Si bien existen algunas prácticas o iniciativas para intentar reducir el impacto que genera el uso y posterior desecho de los plásticos, como lo es la recolección y el reciclaje, estos no dan abasto para contrarrestar la problemática y reducir su contaminación, ya que, según Greenpeace (2019), inclusive las poblaciones que residen lejos al mar contribuyen a que lleguen plásticos a los océanos, debido a que, por medio de las plantas de depuración, sistemas de alcantarillado y cauces, terminan conduciendo todo el flujo de desechos plásticos

hasta dicho ecosistema. De acuerdo con lo anterior, es importante tomar consciencia de la magnitud del problema, observando la gestión ineficiente de estos residuos y unas cifras bastante significativas; por lo que es necesario buscar soluciones que permitan dar otras alternativas que logren impactar de forma positiva esta problemática.

Siguiendo el contexto y teniendo en cuenta la situación en la se ve inmerso el mundo entero, como ingenieros civiles y pertenecientes al sector de la construcción, área que se encuentra en constante actividad e interacción con el medio ambiente, se debe tener siempre como prioridad el respeto y la conservación del mismo, que como bien es de saber, cada acción de construcción tiene su impacto, desde los materiales que se eligen, las tecnologías que se utilizan, hasta las obras que se ejecutan, todo genera gases de carbono, causando el calentamiento global. Por esa razón, se debe pensar en acciones reflexivas que permitan de cierta manera buscar un equilibrio con respecto al impacto que estas generan.

De acuerdo a lo mencionado previamente, lo que se busca por medio de este proyecto es proporcionar una acción o alternativa que permita reducir el impacto ambiental, específicamente haciendo uso de los residuos plásticos que, como se ha expresado, genera implicaciones ambientales significativas; por ende se decide trabajar tanto con material reciclado de tereftalato de polietileno (PET) como de polipropileno (PP), siendo estos algunos de los plásticos más comunes en el uso diario; con el fin de reutilizarlos y evaluar su aprovechamiento en el campo de la construcción, más exactamente en los materiales como el mortero con sus diversas funciones a emplear como material directo, para así evitar su acumulación en el ambiente y reducir las emisiones contaminantes.

## 1.2 Antecedentes

### 1.2.1 A nivel internacional

Con la reutilización de plásticos en materiales de construcción, se han encontrado trabajos de investigación a nivel internacional de ensayos en morteros, tales como lo realizó Magariños, Alderete, Arias y Lucca (1998) de la Universidad Nacional de Tucumán (Argentina) publicado por la revista “Materiales de construcción” del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, que llevaron a cabo algo similar al presente proyecto propuesto, donde se sustituye la arena por escamas de plástico de PET en proporciones de 33%, 66% y 100%, con una relación de cemento:arena de 1:3 en varias probetas, añadiéndoles a algunas de estas aditivos superfluidificantes y plastificantes, variando la relación agua/cemento para cada una de las mezclas tanto con aditivos como sin aditivos, en los cuales se observa que el mejor tratamiento obtenido en resistencia a compresión a los 28 días fue el de 33% de escamas de PET, con una relación de agua/cemento de 0.40 y sin el uso de aditivos, cuyo valor no representa ninguna diferencia con respecto a la mezcla patrón (sin aditivos ni escamas de PET); mientras que, con el de 66% de reemplazo de escamas, su resistencia disminuye a un 50% del valor de referencia de la mezcla patrón.

También, según Mendoza, Aire y Dávila (2011) en su investigación para el Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, los resultados de resistencia a la compresión, pero en este caso para concretos a los 7 y 28 días, no existe variación en su resistencia por la incorporación de las fibras de polipropileno; aunque se observó que hay una tendencia a reducir la resistencia con el aumento del uso de fibras, que se debe principalmente a la disminución de su consistencia y que, por ende, no se puede lograr una compactación adecuada. Para el incremento de la consistencia, se le incorporó un aditivo superfluidificante

a una de las mezclas, obteniendo así, igualar la resistencia alcanzada por el concreto sin ninguna adición de fibras.

Otra alternativa utilizando PET, la aportan Casanova-del-Ángel, F., & Vázquez-Ruiz, JL (2012) en México, con el uso del plástico en lugar del agregado grueso en la fabricación del concreto, que con una granulometría adecuada se obtuvieron concretos de menor peso específico, pero resistencia similar a los tradicionales. La relación agua/cemento fue menor para estos hormigones y encontraron que es mejor emplear contenidos de cemento menores a 300 kg/m<sup>3</sup>.

De igual manera, Ojeda, Mercante, & Fajardo (2020) de la Universidad Nacional de Cuyo (Argentina), publicado por la Revista Internacional de Contaminación Ambiental, plantearon realizar probetas prismáticas y cúbicas para mortero, junto con unas probetas patrón (testigos), de manera que permita evaluar su comportamiento con el uso de PET y PP en diferentes texturas, evidenciando así que su incorporación generaba una disminución en la resistencia a compresión para la mayoría de los casos, demostrando que la forma más favorable que puede tener el agregado plástico es la redondeada, en lugar de forma de hojuelas, para obtener así una mezcla más trabajable y compacta, que a su vez, permita tener un mejor comportamiento en su resistencia.

Otro estudio realizado por Ojeda, Mercante y Fajardo (2020), consistió en diseñar tres tipos de mezcla: una patrón (testigo), otra con fibras desarrolladas con residuos plásticos (PET) y otra con fibras comerciales; elaborando probetas tanto prismáticas como cúbicas, observando en los resultados una mejoría en la resistencia a compresión por parte de las fibras de PET, en comparación con las fibras comerciales, que en este caso fueron de nailon, la cual generó una disminución en su comportamiento en cuanto a la resistencia.

### ***1.2.2 A nivel nacional***

En el ámbito Nacional, Zúñiga Díaz (2015) en la Universidad de La Salle (Bogotá), planteó evaluar el tereftalato de polietileno (PET) reciclado como agregado en la elaboración de morteros y concretos reemplazándolo por agregado fino hasta en un 15%, cuyo diseño de mezcla patrón (testigo) fue de 25 MPa, apreciando un comportamiento variable tanto ascendente como descendente en resistencia para cada porcentaje sustituido, donde finalmente se observó que los tratamientos que mejores resultados obtuvieron fueron los del porcentaje de PET más altos de 13%, 14% y 15%, con respecto a la mezcla patrón.

Según García Galindo y Hernández Sánchez (2017, p. 107) de la Universidad de Córdoba, se estudió las propiedades del concreto con la adición de fibras de polipropileno (PP) y tereftalato de polietileno (PET) en porcentajes de 0.5%, 1%, 1.5% y 2%, donde el porcentaje de adición de fibra a la mezcla que más se acercó a la resistencia de diseño (18.31 MPa) fue de 0.5 % en PP, alcanzando un valor de 15.53 MPa representando así un 85 % de la resistencia de diseño. Por el lado del PET, el porcentaje de adición de fibras que registró una menor caída en la resistencia de diseño fue el de 0.5 %, el cual alcanzó un valor 15.42 MPa.

Así mismo, Acevedo Jaramillo y Posada Franco (2019, p. 55), concluyeron por medio de ensayos de laboratorio que: “Los resultados obtenidos indican un buen comportamiento de las mezclas que incluyeron PET en términos de manejabilidad, puesto que no se alteró el valor del asentamiento especificado para la mezcla de referencia:  $75 \pm 25$  mm. Lo anterior se logró al realizar el reemplazo del agregado fino por PET buscando conservar la curva granulométrica de la arena. Para lo anterior, se tuvo en cuenta la relación de densidades entre el PET y el agregado fino, de modo que el PET ocupará el espacio de la arena reemplazada.”

También Arbelaez Perez, Venites Mosquera, Córdoba Palacios y Mena Ramírez (2020), con la idea de promover la reutilización de residuos plásticos provenientes del océano en concretos con resistencias moderadas a la compresión, sustituyeron el 2.5%, 5%, 7.5% y

10% de los agregados finos por dichos residuos, de los cuales, el tratamiento con el 7.5% fue el que mejor comportamiento presentó en cuanto a la resistencia a compresión, alcanzando un valor de 18.19 Mpa, el cual corresponde al 90.5% de la resistencia de la mezcla hecha de concreto tradicional (20 MPa).

Con base en los estudios expuestos, por medio del presente proyecto se pretende conocer cuál es el comportamiento del mortero si se reemplaza un porcentaje de arena por tereftalato de polietileno y polipropileno en muestras diferentes de dicho material. De igual manera, con los resultados obtenidos se espera tener la posibilidad de dar recomendaciones precisas para el uso del plástico reciclado en el mortero.

### **1.3 Justificación**

De acuerdo a un informe de Greenpeace (2018, p.3) aproximadamente 8,3 mil millones de toneladas de plástico se han elaborado desde 1950, sin embargo, solo el 9% de este se ha reciclado. Los porcentajes restantes se dividen en un 12% que se han quemado y un 79% que ha acabado en ecosistemas naturales. Conforme a esto, se estima que hasta 12.7 millones de toneladas de residuos plásticos accedieron a los océanos en 2010, semejante a que un camión lleno de plásticos sea depositado en los océanos cada minuto.

También, Greenpeace (2018, p. 6) indica que: “Colombia también sufre de una grave contaminación plástica. Estos elementos tienen una alta penetración en el mercado colombiano, pues se consume aproximadamente 24 kg per cápita, lo que implica un volumen anual de consumo en plásticos de 1.250.000 toneladas”. A su vez, el país produce alrededor de 12 millones de toneladas de desechos sólidos al año y solo se recicla el 17%, en donde el 74% de los envases tienen como destino los rellenos sanitarios. En el caso de la capital, Bogotá, se originan unas 7.500 toneladas al día, de las cuales se reciclan sólo entre el 14% y 15%, lo que indica que se encuentra incluso por debajo del promedio nacional.

En vista de esto, así como en el resto del mundo, Colombia no ha implementado programas rigurosos para la recolección, reciclaje y reutilización de los residuos plásticos, por consiguiente, es de suma importancia conocer cuáles son algunos de los usos que se le puede dar al plástico reciclado, ya que, hasta la actualidad al no existir una demanda significativa de los residuos plásticos, no se evidencia gran interés en su reciclaje.

## **1.4 Objetivos**

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

Evaluar la resistencia a la compresión de dos tipos de morteros diseñados con tereftalato de polietileno (PET) y polipropileno respectivamente (PP), con relación a una mezcla de mortero de referencia (testigo).

### ***1.4.2 Objetivos Específicos***

- Determinar la caracterización física de cada uno de los materiales.
- Estimar el diseño de mezcla para morteros, teniendo en cuenta diferentes proporciones (5%, 10% y 15%) de PET y PP.
- Comparar estadísticamente las resistencias a compresión del mortero empleando PET y PP.

## **1.5 Alcance**

Por medio de la siguiente investigación, se pretende establecer cuáles serían los parámetros ingenieriles correctos para el uso de dos tipos de plásticos, como lo es el tereftalato de polietileno y polipropileno como agregado en las mezclas de mortero. Es por tal motivo que por medio de ensayos de laboratorio, se llevarán a cabo tratamientos para evaluar la resistencia a la compresión de siete diferentes tipos de mezclas de mortero: Testigo con un

0% de agregado plástico como sustituto parcial de la arena, con PET en un 5%, 10% y 15%, y con PP en un 5%, 10% y 15%, estas últimas como reemplazo parcial del agregado fino.

## **Marco Teórico**

### **2.1 Mortero**

Un mortero es una mezcla que consiste de un compuesto de conglomerantes inorgánicos, áridos y agua, además de posibles aditivos, que comúnmente se utilizan para pegar elementos tales como ladrillos, rocas, bloques de concreto, entre otros. Asimismo, es empleado como relleno para espacios que quedan entre bloques y para el revestimiento de muros. (Arleco producciones, s.f)

#### **2.1.1 Tipos De Morteros**

El mortero en su estado de endurecimiento se puede diferenciar en dos tipos, según indica Gutierrez de Lopez (2003, p. 115) “Los aéreos que son aquellos que endurecen al aire al perder agua por secado y fraguan lentamente por un proceso de carbonatación, y los hidráulicos o acuáticos que endurecen bajo el agua, debido a que su composición les permite desarrollar resistencias iniciales relativamente altas”.

Los morteros se clasifican según el conglomerante que se utiliza, entre los que se encuentran:

- **Morteros Calcáreos**

Según Sánchez de Guzmán (1996, pp. 303-304) estos morteros se elaboran utilizando la cal como plastificante, lo que hace que sea más manejable; sin embargo, su resistencia no es muy alta debido a su baja velocidad de endurecimiento. Entre las cales más conocidas están la cal blanca y la cal dolomítica (cal gris). Las relaciones de cal:arena más utilizadas

son de 1:2 para pañetes y 1:3 o 1:4 para mampostería simple. En caso de que las proporciones aumenten, el mortero perderá ductilidad y trabajabilidad, por lo que también pueden ocurrir contracciones y agrietamientos no deseables. Debido a que no hay ningún procedimiento que permita medir la capacidad de endurecimiento de este tipo de mortero, su uso es bastante limitado.

Gutierrez de Lopez (2003, p. 115) expresa que la arena para los morteros aéreos de este tipo, tiene como objetivo principal evitar el agrietamiento por las contracciones al ir perdiendo agua de amasado, cuyas partículas se recomienda que sean angulares y que estén libres de materia orgánica.

- **Morteros de cal y cemento portland**

Sánchez de Guzmán (1996, p. 304) expone que este tipo de mortero posee una gran trabajabilidad, buena retención de agua y altas resistencias iniciales, cuyas mezclas más usadas con proporciones de cemento:cal:arena, varían de 1:2:6 a 1:2:10. Si su contenido de cemento es alto, dentro de sus características más relevantes que obtendrá será mayor resistencia, poco tiempo entre amasado y colocación. Para el caso donde el contenido de cal es alto, este tendrá menor resistencia, mayor tiempo entre amasado y colocación, pero mayor plasticidad y permeabilidad. Mientras que, si el contenido de arena es alto, su resistencia disminuirá significativamente y su trabajabilidad será menor.

Según Gutierrez de Lopez (2003, p. 117) su uso en Colombia inició en 1975 con ladrillos de arcilla para la construcción de edificios con muros portantes, donde se evidenció que su resistencia a la compresión era baja, además de encontrar otras dificultades por la mala calidad de las cales.

- **Morteros de cemento**

De acuerdo a Gutierrez de Lopez (2003, p. 117), son los tipos de mortero más empleados en Colombia; son hidráulicos (endurecen sumergidos en agua) y, se componen de arena y cemento Portland. Posee dentro de sus características, resistencias altas y su trabajabilidad varía de acuerdo a la proporción de cemento y arena utilizados. Su preparación debe realizarse en el menor tiempo posible entre el amasado y colocación de la mezcla, este proceso se acostumbra a hacer en obra, primero revolviendo el cemento y la arena, para luego adicionar el agua.

Las características de la arena para este tipo de morteros como la granulometría, módulo de finura, textura y forma de sus partículas, juegan un papel muy importante para la calidad del material. Si el mortero posee muy poca cantidad de cemento, la mezcla se hace poco trabajable. Por otro lado, si su contenido de cemento es alto, la mezcla es muy resistente, pero con mayor retracción, por lo que lo hace más susceptible a tener grietas, estos morteros suelen utilizarse en estructuras que requieran de resistencias altas como, por ejemplo, muros de contención o cimientos. (Gutierrez de Lopez, 2003, p. 118)

Su uso en Colombia, se conoce por medio de la dosificación que se realiza de acuerdo a la proporción en peso de cemento y arena, como se evidencia en la Tabla 1.

**Tabla 1***Usos de los morteros de cemento*

<b>MORTERO</b>	<b>USOS</b>
1:1	Mortero muy rico para impermeabilizaciones. Rellenos
1:2	Para impermeabilizaciones y pañetes de tanques subterráneos. Rellenos
1:3	Impermeabilizaciones menores. Pisos
1:4	Pega para ladrillos en muros y baldosines. Pañetes finos
1:5	Pañetes exteriores. Pega para ladrillos y baldosines, pañetes y mampostería en general. Pañetes no muy finos
1:6 y 1:7	Pañetes interiores: pega para ladrillos y baldosines, pañetes y mampostería en general. Pañetes no muy finos
1:8 y 1:9	Pegas para construcciones que se van a demoler pronto. Estabilización de taludes en cimentaciones

*Nota. Adaptado de Tecnología del Concreto y del Mortero (p. 307), por D. Sánchez de Guzmán, 1996, Bhandar Editores.*

De acuerdo a Sánchez de Guzmán (1996, p. 307), los usos de los morteros de cemento se reúnen en cuatro categorías: Los morteros que proporcionen suficiente resistencia para soportar cargas a compresión o a abrasión, los morteros que permitan mantener los elementos unidos, como el mortero de pega, los morteros que permitan juntar ciertas unidades estructurales, como los de revoques y revestimientos, y los morteros que sirvan como relleno de juntas entre diferentes elementos constructivos.

### **2.1.2 Propiedades Del Mortero En Estado Plástico**

- **Consistencia:**

Construmática (2018) define la consistencia en un mortero como la propiedad encargada de determinar la trabajabilidad o manejabilidad del mismo, esta se obtiene mediante la adición de agua que varía en función de “la granulometría del mortero, cantidad

de finos, empleo de aditivos, absorción de agua de la base sobre la que se aplica, condiciones ambientales, etc”.

La consistencia se determina por medio de la mesa de flujo y eje, de acuerdo a las especificaciones dadas por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (2021) en la NTC-111, esta “debe constar de un soporte de hierro rígido vaciado integralmente y una plataforma circular rígida de  $(250 \pm 2,5)$  mm de diámetro, con un eje roscado unido perpendicularmente a la mesa” como se observa en las figuras C.3 y C.4

- **Trabajabilidad:**

De acuerdo a Navas y Arias (2015) la trabajabilidad de un mortero es una de las propiedades más importantes debido a que esta favorece los procesos de mezclado y puesto en obra sin segregar la mezcla. La consistencia es un indicador importante de la trabajabilidad y, según este factor, se pueden clasificar en tres tipos: seca, plástica y fluida.

También Navas y Arias (2015) indican que "El contenido de aire en la mezcla permite un aumento en la trabajabilidad ya que los vacíos son llenados por burbujas de aire que facilitan el roce entre las partículas"; no obstante, tener un gran contenido de aire en la mezcla podría generar afectaciones en otras propiedades como la resistencia y durabilidad, por lo que se tienen establecidos unos límites para evitar que se presenten estos casos.

Sánchez de Guzmán (1996) propone “una guía de manejabilidad o trabajabilidad requerida para diferentes tipos de construcción y sistemas de colocación”, en donde se definen los tres tipos de consistencia y fluidez en la tabla 2.

**Tabla 2**

*Fluidez recomendada del mortero para diversos tipos de estructura y condiciones de colocación.*

<b>CONSISTENCIA</b>	<b>% FLUIDEZ</b>	<b>CONDICIÓN DE COLOCACIÓN</b>	<b>EJEMPLO DE TIPOS DE ESTRUCTURA</b>	<b>EJEMPLO DE SISTEMA DE COLOCACIÓN</b>
Dura (seca)	80-100	Secciones sujetas a vibración	Reparaciones, recubrimiento de túneles, galerías, pantallas de cimentación, pisos.	Proyección neumática, con vibradores de formaleta
Media (plástica)	100-120	Sin vibración	Pega de mampostería, baldosines, pañetes y revestimientos.	Manual con palas y palustres
Fluida (húmeda)	120-150	Sin vibración	Pañetes, rellenos de mampostería estructural, morteros autonivelantes para pisos.	Manual, bombeo, inyección

*Nota. Adaptado de Tecnología del Concreto y del Mortero (p. 308), por D. Sánchez de Guzmán, 1996, Bhandar Editores.*

- **Retención de agua:**

Gutierrez de Lopez (2003, p. 119) la define como la capacidad que tiene el mortero de conservar su plasticidad cuando este entra en contacto con una superficie absorbente, como por ejemplo el ladrillo. En el caso de querer aumentar la retención de agua, se recomienda incrementar el contenido de finos en la arena, disponer del uso de aditivos o agregar cal; en el que también se vería influenciado la velocidad de endurecimiento y la resistencia final a

compresión, ya que si el mortero no logra retener agua, no está permitiendo que el cemento se hidrate.

- **Velocidad de endurecimiento:**

Sánchez de Guzmán (1996, p. 309) expresa que los tiempos de fraguado inicial y final de la mezcla se deben encontrar entre unos límites que por lo regular oscilan entre las 2 y 24 horas; no obstante, estos se encuentran en función de diferentes parámetros como la composición de la mezcla o las condiciones climáticas; factores que hoy en día se pueden controlar mediante el uso de aditivos.

### ***2.1.3 Propiedades Del Mortero En Estado Endurecido***

- **Retracción:**

Según Sánchez, Barrios, J., Barrios, A., y Arellano Agudo (1997), la retracción se conoce como el proceso en donde disminuye el volumen de los morteros y los concretos en las diferentes etapas previas y posteriores al fraguado, cuando estos son expuestos al aire; dando origen a dos tipos de retracción: Retracción térmica, cuyo origen es el enfriamiento del mortero dado por el calor desprendido por el cemento; y la retracción hidráulica o de secado, cuya causa es la evaporación del agua que se encuentra en poros generando así una presión negativa.

- **Adherencia:**

Gutierrez de Lopez (2003, p. 120) lo define como la capacidad que tiene el mortero de responder de forma monolítica ante la unión con otra estructura frente a solicitudes de carga. Para el caso de la mampostería, se logra una buena adherencia cuando la superficie donde se dispondrá el mortero es lo más rugosa posible y posee una absorción óptima en relación con la del mortero.

- **Resistencia a la compresión:**

Mejía, Chinchilla y Mendoza (2012) exponen que la resistencia a la compresión de un mortero es de las propiedades que más se resalta, dependiendo principalmente del contenido de cemento, la cantidad de agua que se utilice y, además, del tipo de agregado con el que se trabaje; esta resistencia se incrementa con el aumento en el contenido de cemento, pero reduce con el aumento de cal, arena, agua o contenido de aire.

#### ***2.1.4 Diseño De Mezcla De Mortero***

Dimezco (2017) define el diseño de mezcla como “el cálculo de las cantidades de materiales por unidad de volumen que se requieren para fabricar un mortero que tenga las características especificadas”.

#### ***2.1.5 Ensayo A Compresión Para Mortero***

Según Arias y Navas (2015), este ensayo consiste en mezclar el material con la proporción necesaria de agua para alcanzar la fluidez requerida, en este caso de  $90\% \pm 5\%$  (seca), para luego moldear especímenes en forma de cubos de cinco centímetros en cada lado y así mantenerlos en curación hasta las edades de falla solicitadas, las cuales permiten establecer proyecciones de la resistencia de cada tipo de mortero en el tiempo.

#### ***2.1.6 Curado del mortero***

De acuerdo a la American Concrete Institute (1979) el curado es un proceso que consiste en conservar un contenido de humedad y temperatura en el concreto o mortero, para que estos puedan desarrollar las propiedades de resistencia y durabilidad deseadas, que en caso de no contar con las condiciones ambientales favorables para su desarrollo, se tendría que optar por adiciones especiales que lo regulen.

### **2.1.6.1 Curado Con Agua.**

American Concrete Institute (1979) indica que este método "debe proporcionar una cubierta completa y continua de agua libre de cantidades perjudiciales de materias deletéreas"; en el que el aspecto del agua es muy importante por lo que debe estar libre de toda sustancia que provoque que se contamine, manche o destiña el concreto o mortero. También, expresa que "se debe procurar evitar el ahogue térmico o los gradientes térmicos excesivamente agudos, debidos al empleo de agua fría para el curado o a un nivel de enfriamiento por evaporación muy elevado".

#### **2.1.6.1.1 Curado Por Anegamiento O Inmersión.**

American Concrete Institute (1979) lo define como el método más completo de curado, pues consiste en la inmersión total en agua de los especímenes de concreto o mortero. En algunos casos se emplea en lugares en donde sea posible formarse charcos, como en losas, pavimentos y techos planos, en donde deben procurar evitar que se libere prematuramente su agua, posiblemente por fugas que no permitan así recibir el curado adecuado. También, señala que "El agua de curado no debe ser más fría de 11°C que el concreto, ya que el posible desarrollo de esfuerzos por temperatura en la superficie puede causar agrietamiento".

## **2.2 Plásticos**

### **2.2.1 Tipos De Plásticos Reciclables Por Códigos**

Vázquez Morillas, Espinosa Valdemar, Beltrán Villavicencio y Velasco Pérez (2016) en su investigación resaltan cómo la Sociedad de la Industria de los Plásticos (SPI, por su sigla en inglés), propuso en 1988 unos códigos asignados a los "Commodities" que son los plásticos de bajo costo que se producen y son empleados en amplios volúmenes en aplicaciones de una vida útil corta, como: los polietilenos de baja densidad (PEBD) y alta

densidad (PEAD), tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP), policloruro de vinilo (PVC), poliestireno (PS), entre otros; con el fin de que las personas puedan distinguir con mayor facilidad estos plásticos y se pueda llevar a cabo una separación correcta de estos al momento de reciclar. Inicialmente, estos se distinguían por medio de su numeración dentro de un triángulo formado por flechas, sin embargo, para evitar confusiones en los usuarios, también se ha venido optando por dejar la numeración tal cual se estableció, dentro de un triángulo normal. Un ejemplo de estos se evidencia en la figura 1.

**Figura 1**

*Códigos de identificación de los plásticos reciclables.*



*Nota.* Reproducido de “Plásticos reciclables”, por Cámara de la Industria de Reciclados Plásticos (CAIRPLAS), s.f. (<https://cairplas.org.ar/plasticos-reciclables/>). Todos los derechos reservados [2018] por Licenciatario. Reproducido con permiso del autor.

### **2.2.2 Tereftalato De Polietileno**

El tereftalato de polietileno según Materiales Ecológicos (s.f), también conocido como politereftalato de etileno, polietilentereftalato o simplemente PET, es un plástico usado para elaborar envases de alimentos y tejidos sintéticos, especialmente botellas. El PET, Dentro de su grupo de plásticos, se distingue como un polímero que dispone de un alto grado de transparencia, que se originan partiendo de un proceso de polimerización de ácido

tereftálico y monoetilenglicol, este se puede elaborar como muchos otros termoplásticos, que son los plásticos que se ablandan con el calor, mediante extrusión, soplado e inyección. Entre sus propiedades principales se encuentran la alta transparencia, la resistencia al desgaste y la capacidad de soportar bien la corrosión, características que permiten obstaculizar de manera eficiente la humedad; además de presentar una buena resistencia al calor y a los químicos.

### ***2.2.3 Polipropileno***

El polipropileno, también conocido por sus siglas como PP, de acuerdo a Envaselia (s.f) es uno de los materiales plásticos más empleados, junto con el tereftalato de polietileno; estos pueden abarcar diversos usos, desde envases y textiles donde son más conocidos, hasta encontrarlo en dispositivos médicos, materiales de laboratorio o componentes automovilísticos. El polipropileno se obtiene por medio de la polimerización del propileno, material que hace parte de la familia de los termoplásticos como el PET.

Dentro de sus principales ventajas se destaca su gran resistencia mecánica al impacto, su resistencia química a sustancias tanto ácidas como alcalinas, su ligereza ya que es uno de los plásticos con menor densidad, y su gran versatilidad, por lo que es compatible con la mayoría de técnicas de procesamiento, que le permite tener usos muy diversos.

## **Metodología**

### **3.1 Recopilación Y Revisión Bibliográfica**

En el presente proyecto de investigación se pretende evaluar la resistencia a compresión con diferentes proporciones de agregado plástico en lugar de la arena para el mortero. Para tal fin, inicialmente se recopila la información necesaria, determinando la caracterización de cada uno de los materiales para posteriormente estimar su respectivo

diseño de mezcla y así poder comparar sus resultados, con apoyo de las bases teóricas más destacadas en este tipo de proyectos.

### **3.2 Compra, Clasificación Y Caracterización De Los Materiales**

En esta etapa, se realiza la compra de los materiales como son: cemento, arena, tereftalato de polietileno y polipropileno. Seguido a esto, se procederá a la caracterización de la arena y el cemento de acuerdo con las normas dadas por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) - NTC, que en el caso de los materiales plásticos, se les realizará un ensayo de granulometría para determinar cuál es el tamaño del plástico más adecuado para realizar la mezcla de mortero, además, de su peso unitario suelto y compactado.

#### ***3.2.1 Caracterización De Materiales***

Dentro de los parámetros previos al diseño de mezcla de mortero, se deben tener en cuenta aquellos que son imprescindibles para el cálculo de las cantidades de materiales como lo son: arena, agua y cemento, en consecuencia, en el presente estudio se realizaron los siguientes laboratorios para determinar las características de los insumos empleados: Granulometría, peso unitario suelto y compactado, y densidad aparente. A continuación, se describen cada uno de los ensayos realizados.

##### **3.2.1.1 Granulometría.**

Los ensayos granulométricos se realizaron conforme a la NTC 77 establecida por el ICONTEC (2018) en donde se explica el “MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS POR TAMIZADO DE LOS AGREGADOS FINOS Y GRUESOS”. En el caso del presente estudio, dicho laboratorio se elabora para poder determinar el módulo de finura de la arena, dato usado para calcular entre otras cosas la relación agua-cemento en el diseño de mezcla.

De igual forma, la realización de la granulometría debe ser tomada en cuenta para conocer la distribución del tamaño de las partículas del agregado a utilizar, y así entender algunas especificaciones y requisitos de gradación del mismo.

Conforme al mencionado laboratorio, se determinó que, para los materiales empleados en el presente estudio (Arena, PET, PP) se obtuvo un módulo de finura de 2.09, 4.42 y 4.16 respectivamente. Los procedimientos detallados se encuentran en el Anexo A:

Caracterización de los agregados.

### 3.2.1.2 Peso Unitario Suelto Y Compactado.

El laboratorio de peso unitario se debe desarrollar conforme a la NTC 92 “DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA Y LOS VACÍOS ENTRE LAS PARTÍCULAS DE LOS AGREGADOS” del ICONTEC (2019), en donde se presentan las recomendaciones generales para dicho ensayo en tanto el tamaño máximo nominal del agregado no exceda los 150 mm.

Por medio de la realización de los procedimientos experimentales se hallaron los pesos unitarios para cada material, como se muestra en la Tabla 3.

**Tabla 3**

*Resultados pesos unitarios sueltos y compactados de materiales*

<b>Material</b>	<b>Peso unitario suelto (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Peso unitario compactado (Kg/m<sup>3</sup>)</b>
Arena	1513,92	1684,19
PET	412,47	510,82
PP	307,51	421,62

*Nota. Los métodos utilizados para encontrar los anteriores resultados se presentan en el anexo A.2*

### **3.2.1.3 Densidad Aparente.**

Con el fin de llevar a cabo correctamente el ensayo de laboratorio se seguirá las recomendaciones de la NTC 237 “MÉTODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO”, en la cual se disponen todas las indicaciones. De igual forma, el procedimiento detallado se encuentra dispuesto en el Anexo A.3. (ICONTEC, 2020)

Conforme al ensayo anteriormente mencionado, se encontró que la densidad aparente para el agregado fino es de 2.64 g/cm<sup>3</sup>, siendo este uno de los datos usados para calcular la cantidad de material requerido en la mezcla de mortero.

## **3.3 Diseño Y Preparación De La Mezcla**

Para su elaboración, se prepara una mezcla de mortero diseñada de acuerdo con Sánchez De Guzmán (1996) en su libro “TECNOLOGÍA DEL CONCRETO Y DEL MORTERO”. Así mismo, los especímenes de mortero se fabricarán sobre cubos con un volumen de 0.000125m<sup>3</sup>. El procedimiento detallado sobre los cálculos de cantidades del diseño de mezcla se encuentra consignado en el Anexo B.

### ***3.3.1 Ensayo De Fluidez De la Mezcla de Mortero***

Con el propósito de hacer un correcto diseño de mezcla, se realizó un ensayo de fluidez a la pasta de mortero y así se obtuvo la cantidad de agua ideal en el diseño de mezcla para un 90% de fluidez, cumpliendo así con el parámetro establecido previamente en la investigación.

Dado que cada uno de las pruebas realizadas a los materiales debe estar regida por la Norma Técnica Colombiana; el proceso experimental y teórico de la fluidez del mortero se realizaron teniendo en cuenta las recomendaciones dadas en la NTC 111 “MÉTODO PARA

DETERMINAR LA FLUIDEZ DE CEMENTO HIDRÁULICO”. De igual manera, la descripción precisa se encuentra descrita en el Anexo C. (ICONTEC, 2021)

### 3.4 Obtención De Los Datos De Resistencia A La Compresión De Los Especímenes

Después de fabricados los especímenes de mortero se procedió a fallarlos a los 7, 14 y 28 días contados a partir del día en el que se funden las respectivas muestras. Cabe resaltar que el dato medido será el de la resistencia a la compresión, siguiendo los lineamientos que dicta la NTC 220 del ICONTEC (2017). Así mismo, en la Figura 2 se presenta la máquina que se empleará para la falla de los cubos de mortero.

#### Figura 2

*Máquina de compresión hidráulica DIRIMPEX REF: CT-1500*



### 3.5 Análisis Estadístico De Los Datos

Con los datos obtenidos se graficarán los resultados en un diagrama de cajas y bigotes para cada una de las mezclas de mortero con el fin de conocer cuál fue su comportamiento de resistencia en función del porcentaje reemplazado y el tipo de plástico añadido a la muestra. Finalmente, con un diseño experimental multifactorial, se determinará si existen diferencias

estadísticamente significativas en las resistencias de los distintos tratamientos. Así mismo y, para tener una mayor organización de los datos obtenidos, se emplearán dos herramientas de software como Microsoft Excel y el aplicativo de análisis de datos Statgraphics versión 16.1.03.

## Resultados Y Análisis De Resultados

### 4.1 Resultados Diseño De Mezcla

Una vez realizados los cálculos de las proporciones de agregado, agua y material cementante, se procede a realizar un ensayo de fluidez del mortero con el fin de determinar la cantidad correcta de agua para obtener la consistencia requerida. Finalmente, se procedió a calcular las cantidades finales para cada tratamiento, teniendo en cuenta que en los que se reemplazan con plástico, solo se realiza por un porcentaje de arena con la misma cantidad en peso, tanto de PET como de PP. Los valores finales se referencian en la Tabla 4. De igual manera, el procedimiento completo del diseño de mezcla se encuentra en el anexo B.

**Tabla 4**

*Resultados diseño de mezcla de mortero y proporciones para cada tratamiento*

<b>Material</b>	<b>Testigo (0%)</b>	<b>5% PET</b>	<b>10% PET</b>	<b>15% PET</b>	<b>5% PP</b>	<b>10% PP</b>	<b>15% PP</b>
Cemento (kg/m <sup>3</sup> )	533	533	533	533	533	533	533
Agua (L/m <sup>3</sup> )	350,00	350,00	350,00	350,00	350,00	350,00	350,00
Arena (kg/m <sup>3</sup> )	1351,30	1283,74	1216,17	1148,61	1283,74	1216,17	1148,61
Plástico PET o PP (kg)	0	67,57	135,13	202,70	67,57	135,13	202,70

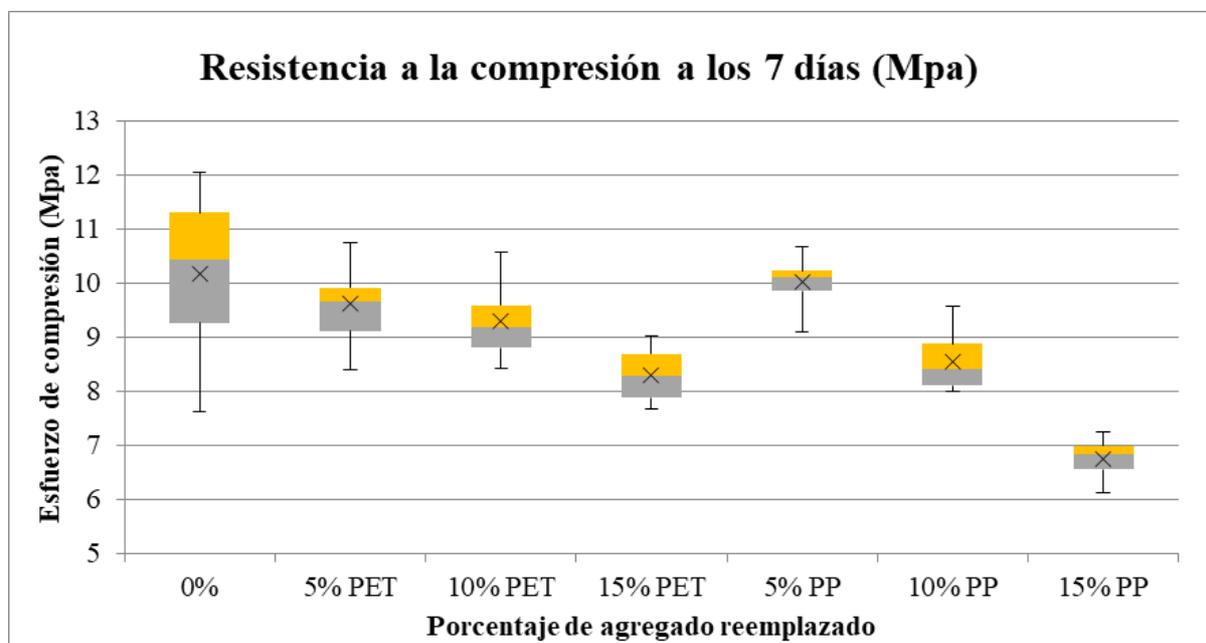
*Nota. Las cantidades son para hacer un metro cúbico de mortero*

## 4.2 Variación De Resistencia En El Tiempo

Considerando la figura 3, se puede afirmar que, en un principio la resistencia a la compresión de los morteros tiene un comportamiento decreciente a razón del aumento de la cantidad de PET o PP en la composición de la mezcla de mortero. Sin embargo, en términos de dispersión de los datos, se observa que todas las muestras que contienen plástico en su composición (5% PET, 10%PET, 15%PET, 5%PP, 10%PP y 15%PP), dan como resultado familias de datos con magnitudes de resistencia más cercanas entre sí, contrario a lo que pasa con la muestra testigo (0%) que es el tratamiento que presenta una mayor dispersión entre la resistencia de sus especímenes; es decir, que la desviación estándar es superior en la mezcla de control (0%) para los 7 días de curado.

**Figura 3**

*Diagrama de cajas y bigotes resistencia a la compresión cubos de mortero a los 7 días*

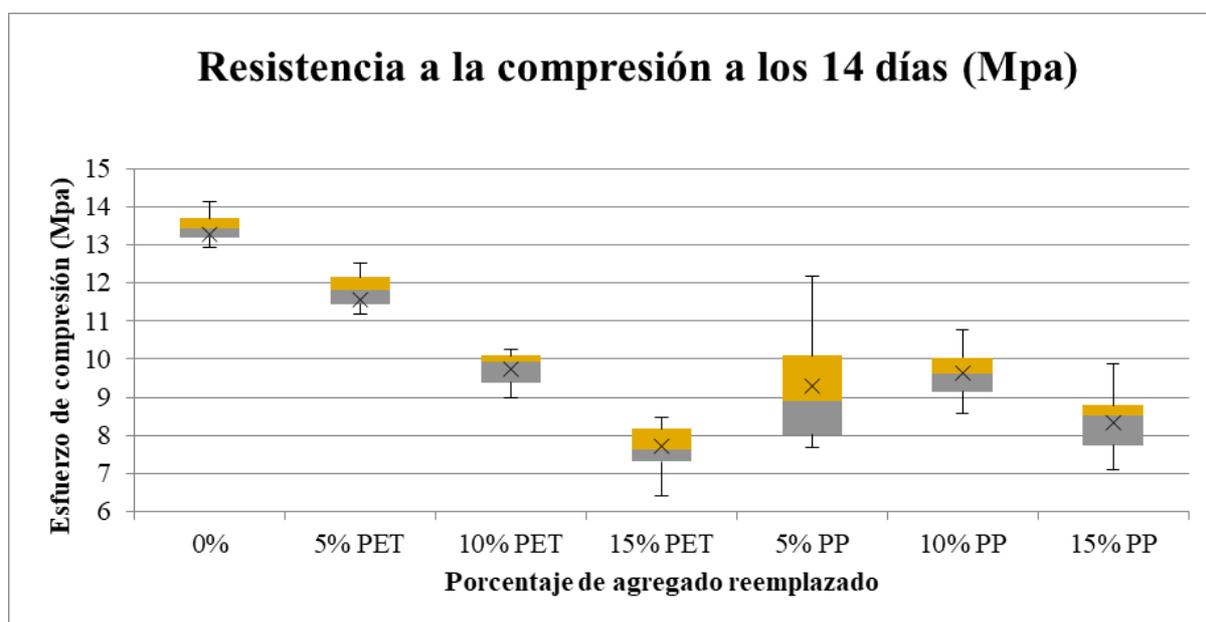


A pesar de que a los 7 días hay un comportamiento descendente en la resistencia conforme se aumenta el porcentaje de plástico, a los 14 días se presenta una particularidad que se distingue en la figura 4, ya que en la muestra con reemplazo de 10% PP tiene una

media aritmética de 9.65MPa, mientras que la mezcla con un contenido de 5% PP se obtiene como resultado 9.29Mpa en promedio. Con lo anterior se podría inferir que, posiblemente empleando un porcentaje que se encuentre entre los que se utilizan en estos dos tipos de mezclas, permita soportar un esfuerzo a la compresión similar a estos, de forma que posibilite la inclusión de más plástico en la mezcla sin que se vea afectada su resistencia; por lo que se entiende que, para los tratamientos de 10% PP y 5% PP a los 14 días, no se sigue la tendencia de reducción de resistencia al aumentar la cantidad de plástico incorporado en el mortero.

#### Figura 4

*Diagrama de cajas y bigotes resistencia a la compresión cubos de mortero a los 14 días*

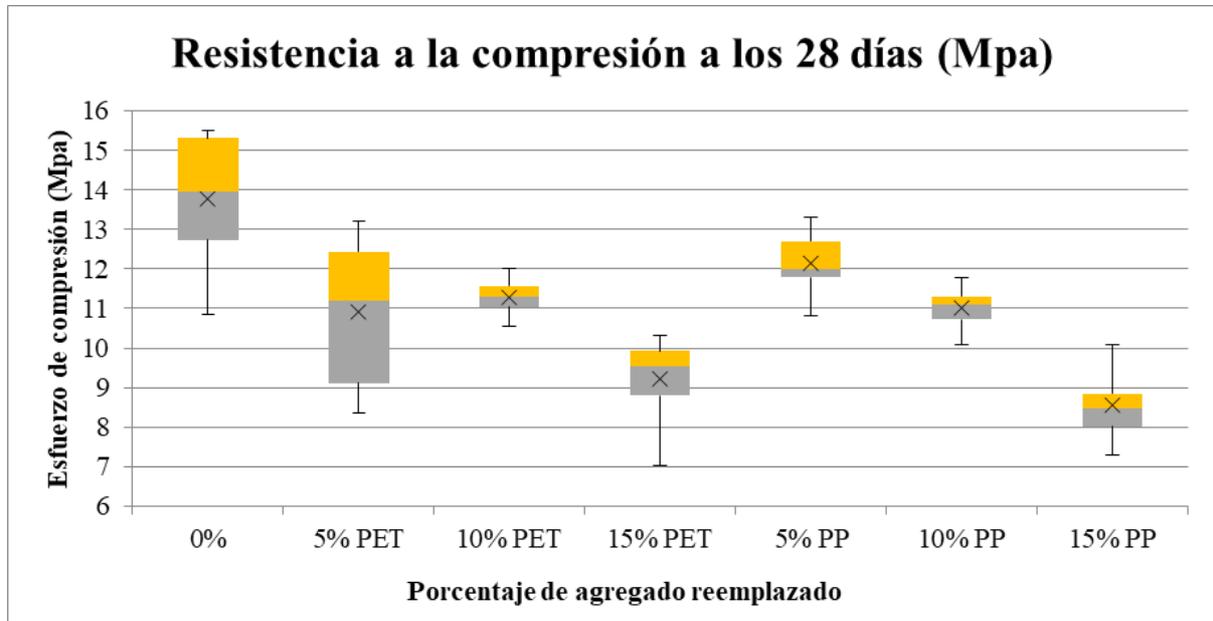


Similar al comportamiento de los 7 y 14 días, a los 28 días se observa de acuerdo con la figura 5 que, los tratamientos tienden a disminuir la resistencia al aumentar la cantidad de plástico. Sin embargo, la excepción a los 28 días se presenta en la mezcla con 10% PET con una media ligeramente superior a la que incluye 5% PET. Del mismo modo, cabe resaltar que las mezclas que obtuvieron menor resistencia a lo largo del tiempo fueron las de 15% PET y

15% PP, es decir, que a los 7, 14 y 28 días no superaron en ningún momento a los demás tratamientos en sus respectivas edades de falla.

### Figura 5

*Diagrama de cajas y bigotes resistencia a la compresión cubos de mortero a los 28 días*



### 4.3 Resultados Y Análisis De La Resistencia A Compresión

Los resultados de resistencia a la compresión se obtuvieron con un equipo de compresión hidráulica con la referencia: “Bastidor rígido para el ensayo a compresión de cilindros normales de concreto DIRIMPEX REF: CT-1500” tal como se ilustró en la figura 2. Así mismo y con el fin de identificar las diferencias y/o similitudes de los 7 tratamientos, se empleó un análisis de varianza (ANOVA) de un solo factor con un 95% de confianza, en donde se plantea: una hipótesis nula ( $H_0$ ) que establece como iguales las medias aritméticas de las muestras obtenidas y una hipótesis alterna ( $H_a$ ) que plantea que hay diferencias estadísticas entre las medias aritméticas para los diferentes tratamientos.

De igual manera, se planteó un análisis HSD de Tukey con el fin de conocer en cuales casos posiblemente se presente similitud estadística para las diferentes muestras de datos. De forma similar que en la prueba de ANOVA el nivel de confianza para esta prueba es del 95%.

Teniendo en cuenta los parámetros de análisis ya mencionados, en la Tabla 5, se muestran cada una de las medias aritméticas de los esfuerzos a compresión obtenidos para los 7 tipos de mezclas y su respectiva variación de resistencia a los 7, 14 y 28 días de curado.

**Tabla 5**

*Promedio de los esfuerzos a compresión y desviación estándar para los 7 tipos de mezclas*

Tratamiento	7 días		14 días		28 días	
	Esfuerzo promedio (Mpa)	Desviación estándar	Esfuerzo promedio (Mpa)	Desviación estándar	Esfuerzo promedio (Mpa)	Desviación estándar
0%	10,18	1,40	13,27	0,99	13,76	1,68
5% PET	9,61	0,69	11,55	0,94	10,92	1,75
10% PET	9,28	0,66	9,74	0,44	11,27	0,44
15% PET	8,29	0,48	7,7	0,61	9,22	1
5% PP	10,02	0,44	9,29	1,57	12,14	0,74
10% PP	8,54	0,51	9,65	0,69	11	0,47
15% PP	6,73	0,37	8,34	0,82	8,55	0,87

A primera vista, se observa en la Tabla 5 que para cada una de las edades de curado (7,14 y 28 días) existe una disminución de resistencia de las mezclas que contienen algún tipo de plástico con respecto a la mezcla que contiene solamente arena como agregado fino. De igual modo, puede apreciarse que la desviación estándar de forma general tiende a disminuir para los tratamientos con PET y PP, aunque hay que aclarar que existen algunas excepciones, por ejemplo, la mezcla que contiene 5% PP a los 14 días tuvo una desviación de 1,57, mientras que la mezcla referencia (0%) obtuvo un valor de 0,99. Por consiguiente, es posible

afirmar que en la mayoría de las ocasiones existe una menor desviación estándar para los tratamientos que incluyen tereftalato de polietileno y polipropileno en su composición, con relación a la mezcla testigo.

#### **4.3.1 Resultados Resistencia A Los 7 Días**

Con respecto al análisis de varianza ANOVA, se puede asegurar con un 95% de confianza que entre las medias de los resultados obtenidos existen diferencias significativas, esto debido a que la prueba da como resultado un valor-P de  $2.2e-19$ , que es bastante menor al valor de 0.05 que es la condición para rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ ) “Las medias de las muestras son estadísticamente iguales entre sí” y aceptar la hipótesis alterna ( $H_a$ ) “Las medias de las muestras son diferentes entre sí” (Ver tabla 6)

De acuerdo con lo expuesto anteriormente, se precisa que hay diferencias entre cada uno de los tratamientos realizados, sin embargo, de acuerdo con la Tabla 7 para la prueba HSD de Tukey, se puede indicar con un 95% de confianza que los valores de la prueba testigo (0%), 5% PET y 5% PP no presentan diferencias estadísticamente significativas, es decir, que en los primeros días del ensayo las pruebas para los dos tipos de materiales empleados (PET y PP) es satisfactoria en términos de resistencia, que aunque exista una leve disminución de esta, no es significativa.

**Tabla 6**

*Análisis de varianza sobre resultados a compresión a los 7 días*

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad (Valor - P)	Valor crítico para F
Entre grupos	104,6	6	17,4	33,0	2,20E-19	2,2
Dentro de los grupos	40,7	77	0,5			
Total	145,3	83				

**Tabla 7**

*Prueba de múltiples rangos para resistencia a los 7 días*

<b>Item</b>	<b>Casos</b>	<b>Media</b>	<b>Grupos Homogéneos</b>
Análisis resistencia 7 días.15% PP	12	6,73	X
Análisis resistencia 7 días.15% PET	12	8,29	X
Análisis resistencia 7 días.10% PP	12	8,54	XX
Análisis resistencia 7 días.10% PET	12	9,28	XX
Análisis resistencia 7 días.5% PET	12	9,61	X
Análisis resistencia 7 días.5% PP	12	10,02	X
Análisis resistencia 7 días.0%	12	10,18	X

Al analizar la Tabla 7, se puede intuir que a los 7 días de curado, la resistencia de esfuerzo a compresión disminuye conforme se aumenta el porcentaje de arena reemplazada, ya sea por PET o PP. Asimismo, se distingue que el tratamiento que logra la menor resistencia es el de 15% PET en donde hay una diferencia de 3.45Mpa con respecto a la mezcla de control (0%).

#### **4.3.2 Resultados Resistencia A Los 14 Días**

Una vez ejecutado el análisis de ANOVA de un solo factor para los datos de resistencia a la compresión a los 14 días, se obtuvo que el comportamiento es semejante al de los 7 días, puesto que el valor-P consignado en la Tabla 8 tiene una magnitud de  $9.08e-25$  lo que hace que nuevamente se acepte la hipótesis alterna ( $H_a$ ), en donde se supone que entre los 7 tratamientos existen diferencias significativas entre sus medias.

De igual forma, al observar la Tabla 9, a los 14 días se evidencia que es prácticamente nula la similitud entre la mayoría de familias de datos. Sin embargo, se muestra que entre los tratamientos que contienen 10% PET y 10%PP no hay una diferencia estadísticamente

significativa, teniendo en valores porcentuales una diferencia tan solo del 0.92%, por lo tanto pueden considerarse como muestras semejantes en términos de resistencia.

**Tabla 8**

*Análisis de varianza sobre resultados a compresión a los 14 días*

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad (Valor - P)	Valor crítico para F
Entre grupos	261,4	6	43,6	50,7	9,08E-25	2,2
Dentro de los grupos	66,1	77	0,9			
Total	327,6	83				

**Tabla 9**

*Prueba de múltiples rangos para resistencia a los 14 días*

Item	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Análisis resistencia 14 días.15% PET	12	7,70	X
Análisis resistencia 14 días.15% PP	12	8,34	XX
Análisis resistencia 14 días.5% PP	12	9,29	XX
Análisis resistencia 14 días.10% PP	12	9,65	X
Análisis resistencia 14 días.10% PET	12	9,74	X
Análisis resistencia 14 días.5% PET	12	11,55	X
Análisis resistencia 14 días.0%	12	13,27	X

Cabe resaltar, que teniendo en cuenta los grupos homogéneos de la Tabla 9, es razonable decir que en esta edad de curado los tratamientos realizados con plástico varían considerablemente su resistencia entre sí. También, es válido recalcar que tanto a los 14 como a los 7 días, las menores resistencias las obtuvieron las mezclas con las cantidades más grandes de plástico, es decir, los tratamientos de 15% PP y 15% PET.

### **4.3.3 Resultados Resistencia A Los 28 Días**

Teniendo en cuenta que tanto los datos obtenidos a los 7 y 14 días son útiles para conocer el comportamiento y tendencia de la resistencia, el valor que tiene mayor relevancia es el que se alcanza a los 28 días, puesto que es un valor más cercano al máximo esfuerzo capaz de soportar una mezcla de mortero. En ese orden de ideas, es importante mencionar que en la prueba de análisis de varianza ANOVA (Tabla 10), se evidencia que el valor-P es menor que 0.05, lo que a su vez sugiere que se acepta la hipótesis alterna ( $H_a$ ) en donde se establece que: “las medias de los datos no son iguales entre sí”. Este resultado se debe a que existen algunas mezclas que no son estadísticamente similares como, por ejemplo, las que tienen en su composición 5% PET y 15% PET.

Similar al comportamiento a los 14 días, la prueba de múltiples rangos HSD de Tukey para 28 días, dió como resultado que no hay ninguna muestra que sea estadísticamente similar a la mezcla de referencia, siendo la más cercana la que contiene un 5% de polipropileno (PP), en donde se produce una disminución de 1.62Mpa, lo que representa en términos porcentuales una baja del 11.77% con respecto al testigo (0%).

En cuanto a los demás tratamientos, cabe resaltar que existe una relación cercana entre las mezclas de 5% PP, 10% PP, 5% PET y 10% PP, que según la Tabla 11, no presentan diferencias estadísticamente significativas entre ellas y, según los datos, solo hay una disminución del 10% entre las mezclas de 5%PP y 5% PET, que son las proporciones entre las que más hay mayor contraste con las anteriormente mencionadas.

**Tabla 10***Análisis de varianza sobre resultados a compresión a los 28 días*

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad (Valor - P)	Valor crítico para F
Entre grupos	218,3	6	36,4	29,6	3,86E-18	2,2
Dentro de los grupos	94,5	77	1,2			
Total	312,8	83				

**Tabla 11***Prueba de múltiples rangos para resistencia a los 28 días*

Item	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Análisis resistencia 28 días.15% PP	12	8,55	X
Análisis resistencia 28 días.15% PET	12	9,22	X
Análisis resistencia 28 días.5% PET	12	10,92	X
Análisis resistencia 28 días.10% PP	12	11,00	X
Análisis resistencia 28 días.10% PET	12	11,27	X
Análisis resistencia 28 días.5% PP	12	12,14	X
Análisis resistencia 28 días.0%	12	13,76	X

#### 4.4 Resultados Peso De Los Especímenes

Adicionalmente a los ensayos de esfuerzo a la compresión, se tuvo en cuenta la variación del peso de cada una de las mezclas de mortero, en donde se precisa, como era de esperarse, que para los resultados a los 7, 14 y 28 días de curado, las variaciones de la masa sean prácticamente nulas en relación con la edad de los cubos de mortero (ver Tabla 12). Por su parte, al hacer referencia a la figura 6, se observa que las muestras a los 28 días disminuyen su masa conforme se aumenta el porcentaje de plástico en reemplazo por agregado fino.

Un aspecto importante es que los morteros realizados con polipropileno son más ligeros que los que tienen en su composición el tereftalato de polietileno, un claro ejemplo de esto es la mezcla realizada con 5% PP, que los 28 días obtuvo una media en peso de 252.37 g, mientras que los especímenes con 10% PET pesaron en promedio 251.48g, lo cuál indica que es posible asociarlos a un mismo grupo estadístico, con la salvedad de que el que contiene 5% de polipropileno es ligeramente superior en resistencia a la compresión.

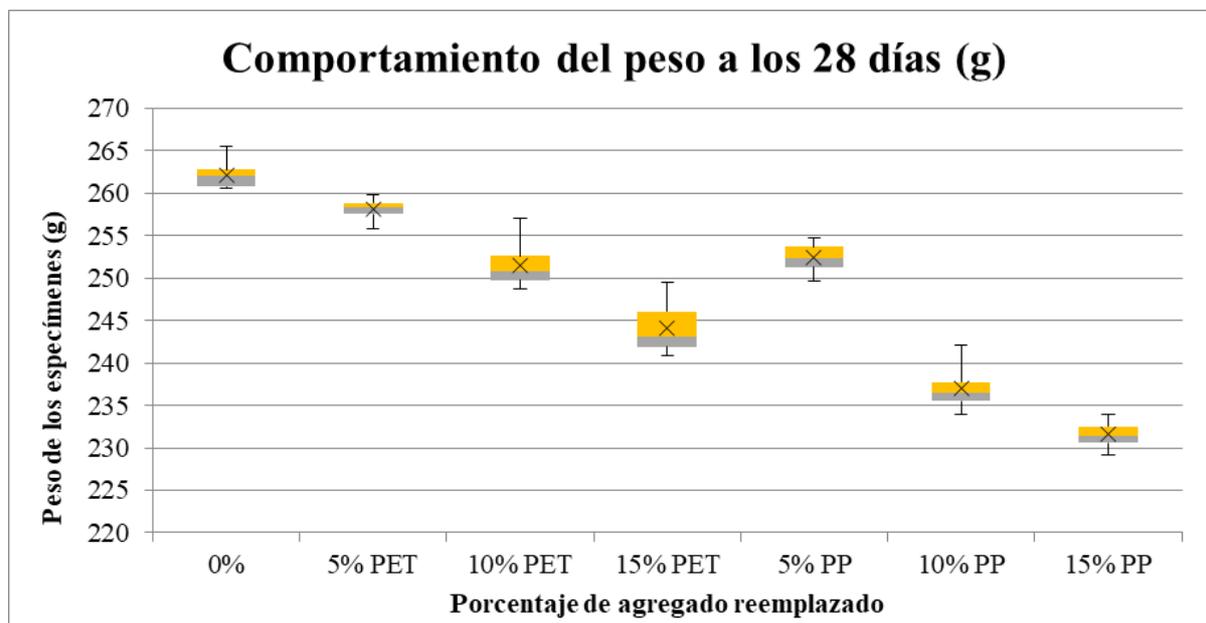
**Tabla 12**

*Promedio del peso a los 7, 14 y 28 días*

<b>Tratamiento</b>	<b>Peso de los especímenes (g)</b>		
	<b>7 días</b>	<b>14 días</b>	<b>28 días</b>
0%	260,04	261,52	262,19
5% PET	255,58	255,73	258,1
10% PET	246,91	247,68	251,48
15% PET	242,77	243,53	244,13
5% PP	249,42	250,38	252,37
10% PP	238,3	237,08	236,97
15% PP	228,01	229,03	231,58

**Figura 6**

*Diagrama de cajas y bigotes peso a los 28 días*



#### 4.5 Relación Esfuerzo-Peso De Los Especímenes De Mortero

De acuerdo a los resultados analizados anteriormente, es importante realizar una relación que tenga en cuenta tanto la resistencia de cada familia de datos, así como también, el peso que se obtuvo de cada una de ellas. Por tal motivo, en el presente apartado se calculó cuántos megapascales (Mpa) fueron capaces de soportar los especímenes por cada gramo de peso. Para tal fin, se determinó el cociente entre los promedios de las resistencias y los promedios de los pesos a los 7, 14 y 28 días, para cada uno de los tratamientos realizados.

Conforme con la Tabla 13, se evidencia que en los primeros 7 días de curado del mortero, la mayor resistencia obtenida por unidad de peso la tiene el tratamiento con 5% PP, la cual tiene 0.040 Mpa/g. Dicho de otra manera, la mezcla con 5% PP obtuvo 0.040 megapascales por cada gramo de peso. Es de notar, que incluso la mezcla de referencia obtuvo una menor relación esfuerzo/peso, obteniendo así a los 7 días 0.039 Mpa/g.

Al analizar los resultados de la Tabla 13 a los 14 días, se demuestra como el tratamiento de referencia (0%) es el que presenta el resultado más alto obteniendo 0.051 Mpa/g, lo que supera por 0.006Mpa/g al segundo mejor tratamiento que fue el de 5% PET con una magnitud de 0.045Mpa/g.

Finalmente, al considerar los resultados a los 28 días, se observa que nuevamente la mejor relación esfuerzo/peso la obtuvo el tratamiento que no contiene ningún plástico en su composición (0%), en donde se aprecia según la Tabla 13, que su resultado fue de 0.052 Mpa/g, lo que indica que es la mezcla que más aporta resistencia por unidad de masa. No obstante, al igual que las comparaciones de resistencia a la compresión, el segundo mejor resultado a los 28 días lo tiene el tratamiento con 5% PP, que alcanzó una magnitud de 0.048 Mpa/g, reafirmando así que el mejor tratamiento después de la mezcla testigo es la que contiene 5% PP, ya que no solo es la que aporta mayor resistencia en comparación con los demás tratamientos con plástico, sino que también proporciona más megapascales por cada gramo de peso.

**Tabla 13**

*Relación esfuerzo/peso de los especímenes a los 7, 14 y 28 días*

Tratamiento	Relación esfuerzo/peso (Mpa/g)		
	7 días	14 días	28 días
0%	0,039	0,051	0,052
5% PET	0,038	0,045	0,042
10% PET	0,038	0,039	0,045
15% PET	0,034	0,032	0,038
5% PP	0,040	0,037	0,048
10% PP	0,036	0,041	0,046
15% PP	0,030	0,036	0,037

*Nota. En esta tabla se relaciona el esfuerzo promedio que soporta cada espécimen por cada gramo de peso, el resultado es obtenido del cociente de los datos de resistencia de la tabla 5 entre los datos de peso de la tabla 12.*

#### **4.6 Comparación De Costos De Materiales**

Partiendo de que, en cada una de las investigaciones sobre materiales, se realiza un análisis de uno de los factores más importantes en la industria de la construcción, que corresponde al factor económico, por lo que cada día se desarrollan diseños y métodos de construcción sumamente eficientes y fáciles de implementar.

Por lo referente a la presente investigación, los materiales plásticos necesarios para reemplazar el agregado fino, como el tereftalato de polietileno (PET) y el polipropileno (PP), fueron adquiridos en diferentes empresas cada una, en donde se encargan de darle un tratamiento a distintos tipos de plásticos, y así entregarlos al comprador final en forma de “hojuelas” que pueden ser usadas posteriormente para múltiples fines.

De igual manera, cabe mencionar que en el laboratorio se debió tamizar los dos tipos de plásticos para que cumplieran con el tamaño idóneo en el reemplazo de arena por los materiales ya mencionados. Es posible que, si el material se adquiriera en mayores cantidades y con el tamaño adecuado de las empresas procesadoras, para así cumplir con las condiciones requeridas, disminuirían tanto los costos de adquisición como el desperdicio de dichos plásticos. Sin embargo, en la Tabla 14 se presenta el valor unitario aproximado por metro cúbico de mortero, en donde se debe resaltar que los morteros que emplean PP son más económicos que los que utilizan PET como agregado parcial.

**Tabla 14**

*Resumen costos de materiales por metro cúbico de mortero*

<b>Tratamiento</b>	<b>Cemento</b>	<b>Agua</b>	<b>Arena</b>	<b>PET ó PP</b>	<b>Total costo materiales</b>
0%	\$ 298.544	\$ -	\$ 84.796	\$ -	\$ 383.340
5% PET	\$ 298.544	\$ -	\$ 80.556	\$ 310.800	\$ 689.899
10% PET	\$ 298.544	\$ -	\$ 76.316	\$ 621.599	\$ 996.459
15% PET	\$ 298.544	\$ -	\$ 72.076	\$ 932.399	\$ 1.303.019
5% PP	\$ 298.544	\$ -	\$ 80.556	\$ 202.695	\$ 581.795
10% PP	\$ 298.544	\$ -	\$ 76.316	\$ 405.391	\$ 780.251
15% PP	\$ 298.544	\$ -	\$ 72.076	\$ 608.086	\$ 978.706

*Nota. Los costos se presentan en pesos colombianos que a su vez se calcularon de acuerdo a las cantidades de la tabla 4.*

Con lo ilustrado en la Tabla 14, es posible afirmar que el tratamiento menos costoso después del tratamiento testigo (0%) es el que contiene 5% de polipropileno, que para este caso dicha mezcla cuesta \$581.795 el metro cúbico. Sin embargo, es importante mencionar que un metro cúbico de mortero sin plástico (mezcla testigo) vale aproximadamente el 66% de una mezcla con 5% PP, lo que significa un aumento considerable en el costo de realizar una mezcla con ambos tipos de plásticos en cualquiera de sus proporciones (5%, 10% o 15%).

## Discusión

Según Zúñiga Díaz (2015, p.78), el tratamiento que logró la mayor resistencia es el que contiene 5% PET, en donde en promedio da un valor de 25.69 Mpa la cual supera inclusive a la mezcla testigo (0%) que tiene de media una resistencia de 23.48 Mpa, es decir, que la mezcla con 5% PET obtuvo una ganancia de 2.21 Mpa respecto a la mezcla de referencia. Por el contrario, de acuerdo con la Tabla 15, en la prueba a los 28 días del presente estudio, el testigo (0%) alcanzó una resistencia promedio de 13.76 Mpa, mientras que el tratamiento con el resultado más alto de los elaborados con PET fue el que contenía 10% PET con una media de 11.27 Mpa, mostrando así una caída en la resistencia de 2.49 Mpa respecto al tratamiento sin plástico (0%).

**Tabla 15**

*Comparación de resultados sobre resistencia a la compresión de mortero con PET*

Porcentaje de reemplazo	Resistencia promedio a los 28 días (Mpa)	Resistencia promedio a los 28 días (Mpa)
0%	23.48	13,76
5%	25.69	10,92
10%	21.56	11,27
15%	24.02	9,22

*Fuente: Zúñiga Díaz (2015), (pág. 78)*      *Fuente: Elaboración propia*

Así mismo, al observar los promedios de resistencia de las tres mezclas con PET se tiene que: En el estudio de Zúñiga Díaz (2015) solo el tratamiento con 10% PET obtuvo una resistencia menor que la mezcla de referencia. En cambio, en este proyecto, ninguno de los tratamientos con plástico logró superar los resultados obtenidos de la mezcla testigo (0%). Lo anterior, posiblemente se debió a que, según Zúñiga Díaz (2015), los reemplazos de PET por

arena solo se realizaron para la arena que pasa por el tamiz N°16, que a su vez fue sustituido por dicho plástico del mismo tamaño; diferente al presente proyecto de investigación, en donde se reemplazó un porcentaje de arena teniendo en cuenta la cantidad total de material pasante por todos los tamices para agregado fino.

## **Conclusiones Y Recomendaciones**

### **5.1 Conclusiones**

Ninguno de los tratamientos realizados con cualquiera de los dos tipos de plásticos se puede presentar como una alternativa directamente viable en términos de resistencia a la compresión, sin embargo, la mezcla que contiene 5% de polipropileno en su composición, tuvo como resultado una caída de resistencia del 11.77% con respecto al testigo (0%), lo que indica que puede considerarse al momento de diseñar una mezcla mortero para fines distintos en resistencia.

Al comparar la relación esfuerzo/peso entre los diferentes tratamientos a los 28 días, la mezcla testigo obtuvo el valor más alto, aportando 0.052 Mpa/g, concluyendo así que la mayor resistencia obtenida por unidad de masa fue del tratamiento sin adición de alguno de los tipos de plástico, seguido por la mezcla con 5% PP con un valor de 0.048Mpa/g.

La mayoría de los tratamientos con plástico tienden a una menor dispersión de los datos, lo que indica que la desviación estándar es menor, dando así un mejor comportamiento de falla. Por consiguiente, es claro que existe una ventaja en términos de homogeneidad de resistencia entre los diferentes especímenes, en otras palabras, dicho parámetro puede significar que en una obra civil se garantiza que la mayoría de preparaciones de mezclas de mortero, aplicadas en distintas etapas de la obra, poseen características más similares entre sí.

Evaluando la viabilidad de la inclusión de los dos tipos de plásticos, se puede decir que los tratamientos que menos comprometen la resistencia al esfuerzo de compresión, son los porcentajes que contienen 5% polipropileno (PP) y el 10% de tereftalato de polietileno (PET) ya que, aunque la prueba HSD Tukey muestra que los dos tratamientos no pertenecen al mismo grupo estadístico que la muestra de referencia, las diferencias pueden reducirse ajustando el diseño de mezcla.

En este tipo de estudios, enfocados en evaluar alternativas para disminuir el impacto ambiental que tienen los diferentes tipos de plásticos en el planeta, se concluye que, para obtener el tereftalato de polietileno y el polipropileno listos para usarse en una mezcla, se requiere de mayores cantidades de energía y capital humano, por ende no existe una retribución económica y tampoco ambiental para el empleo de dichos plásticos como reemplazo parcial del agregado fino en el mortero.

Finalmente, al tener en cuenta la resistencia y peso de los tratamientos a los 28 días, es posible afirmar que las mezclas con polipropileno (PP) presentaron un mejor comportamiento al esfuerzo de compresión que el tereftalato de polietileno (PET), y adicionalmente dió como resultado cubos de mortero más ligeros.

## **5.2 Recomendaciones**

Se sugiere para posteriores investigaciones relacionadas con plásticos de PET o PP usar cantidades que puedan oscilar entre el 1 y el 5% debido a que, como se muestra en la investigación realizada, al emplear mayores cantidades de material plástico la resistencia de esfuerzo a la compresión se ve afectada con respecto a la mezcla testigo. De igual manera, si se tienen en cuenta bajas proporciones de plástico se podrían mitigar considerablemente los costos por metro cúbico de mortero preparado y listo para usar.

En el mercado existen otros tipos de plásticos que también son reciclados, aunque en ocasiones en menor cantidad. No obstante, se recomienda proponer diferentes alternativas de plástico puesto que, al ser ligeramente diferentes en sus características, podrían llegar a aportar cambios positivos en las propiedades mecánicas del mortero.

Así mismo, se indica que, si se pretende evaluar completamente el empleo del plástico en el mortero, se deben realizar ensayos para determinar las demás propiedades físico-mecánicas tales como: tracción, flexión, conductividad térmica, absorción, permeabilidad y comportamiento en condiciones de incendio, siendo esta última de gran relevancia ya que el plástico es un material que combustiona con facilidad. En otras palabras, para poder emplear dichos insumos a una escala industrial, se tiene aún que realizar diversas investigaciones y así tener un estudio completo.

## Bibliografía

- Programa de Naciones Unidas para el Medio ambiente. (21 de octubre del 2021). *Informe de la ONU sobre contaminación por plásticos advierte sobre falsas soluciones y confirma la necesidad de una acción mundial urgente*.  
<https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/informe-de-la-onu-sobre-contaminacion-por-plasticos>
- Organización de las Naciones Unidas. (15 de marzo del 2019). *Compromiso mundial para reducir los plásticos de un solo uso*. <https://news.un.org/es/story/2019/03/1452961>
- Greenpeace (2019). *Reciclar no es suficiente*.  
[https://es.greenpeace.org/es/wp-content/uploads/sites/3/2019/03/reciclar\\_no\\_es\\_suficiente.pdf](https://es.greenpeace.org/es/wp-content/uploads/sites/3/2019/03/reciclar_no_es_suficiente.pdf)
- García Galindo, A. A., & Hernández Sánchez, W. A. (2017). *Estudio del efecto en las propiedades mecánicas del concreto simple reforzado con fibras de tereftalato de polietileno (pet) y polipropileno (pp)*. Montería.
- Acevedo Jaramillo, A. B., & Posada Franco, J. E. (2019). *Polietileno tereftalato como reemplazo parcial del agregado fino en mezclas de concreto*. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 18(34), 45–56. doi:10.22395/rium.v18n34a3
- Ojeda, J. P., Mercante, I. T., & Horacio Fajardo, N. (2020). *Ensayos mecánicos sobre morteros con agregados de plástico reciclado dosificados según modelo de conductividad térmica*. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 36(2). doi:10.20937/rica.53452

- Pablo Ojeda, J., Teresa Mercante, I., & Horacio Fajardo, N. (2020). *Diseño y ensayo de fibras plásticas recicladas para refuerzo de mortero*. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 36(1), 55–62. doi:10.20937/rica.2020.36.53423
- Zúñiga Díaz, A. F. (2015). *Evaluación del tereftarato de polietileno (PET) como agregado en la elaboración de mortero para ladrillos y concreto*. [Tesis de Pregrado, Universidad de La Salle]. [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_ambiental\\_sanitaria/533](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/533)
- Arbelaez-Perez, OF, Venites-Mosquera, JF, Córdoba-Palacios, YM, & Mena-Ramírez, KP (2020). *Propiedades mecánicas de concretos modificados con plástico marino reciclado en reemplazo de los agregados finos*. *Revista Politécnica*, 16(31), 77–84. doi:10.33571/rpolitec.v16n31a6
- Casanova-del-Ángel, F., & Vázquez-Ruiz, JL (2012). *Fabricación de Hormigón Ligero con Árido PET*. *ISRN Ingeniería civil*, 2012, 1–10. doi:10.5402/2012/287323
- Greenpeace. (Octubre de 2018). *Colombia, mejor sin plásticos*. [http://greenpeace.co/pdf/reporte\\_plasticos.pdf](http://greenpeace.co/pdf/reporte_plasticos.pdf)
- Arleco producciones. (s.f.). *Definición y características de mortero para construcción*. <https://www.blogicasa.com/definicion-y-caracteristicas-de-mortero-para-construccion/>
- Gutiérrez de López, L. (2003). *El concreto y otros materiales para la construcción*. *Universidad Nacional de Colombia*. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/9302>
- Sánchez de Guzmán, D. (1996). *Tecnología del concreto y del mortero*. Bhandar editores.

Construmatica. (2018). *Características de los morteros*.

[https://www.construmatica.com/construpedia/Caracter%C3%ADsticas\\_de\\_los\\_Morteros#Resistencia\\_mec.C3%A1nica](https://www.construmatica.com/construpedia/Caracter%C3%ADsticas_de_los_Morteros#Resistencia_mec.C3%A1nica)

Navas Carro, A., & Arias Barrantes, E. (2015). Propiedades del mortero empacado en seco para pega de bloques de mampostería. *Revista Ingeniería*, 25(2), 45-58.

Sánchez, JA, Barrios, J., Barrios, A., & Arellano Agudo, AR (1997). La retracción en los morteros de cal. *Materiales de Construcción*, 47(245), 17–28.

<https://doi.org/10.3989/mc.1997.v47.i245.511>

Mejía García, M.A., Chinchilla Rivera, V.P., & Mendoza Barrios, C.M. (2012).

*Determinación de la resistencia a la compresión de mortero empleando especímenes cilíndricos y cúbicos, utilizando arena del occidente del país*. [Tesis de Pregrado,

Universidad de El Salvador]. <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/15315/>

Dimezco 2000. (2017). *Diseño de mezclas de mortero*.

<https://dimezco2000.wordpress.com/2017/06/25/dise-no-de-morteros/#:~:text=Es%20e1%20c%C3%A1culo%20de%20las,que%20tenga%20las%20caracter%C3%ADsticas%20especificadas>

American Concrete Institute. (1979). *Curado del Mortero (ACI 308)*.

Vázquez, Alethia & Valdemar, Rosa & Beltrán Villavicencio, Margarita & Velasco Pérez, Maribel. (2016). *Reciclaje de plásticos*. doi:10.13140/RG.2.1.4440.1527.

Materiales Ecológicos. (s.f.). *¿Qué es el PET?*. <https://materialesecologicos.es/que-es-el-pet/>

Envaselia. (s.f.). *Qué es el polipropileno*.

<https://www.ensavelia.com/blog/que-es-el-polipropileno-id13.htm>

Mendoza, CJ, Aire, C. y Dávila, P. (2011). Influencia de las fibras de polipropileno en las propiedades del concreto en estado plástico y endurecido. *Concreto y Cemento.*

*Investigación y Desarrollo*, 2 (2),35-47. ISSN: 2007-3011.

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=361233548003>

Magariños, OE, Alderete, CE, Arias, LE, & Lucca, ME (1998). Estudio de morteros que contienen escamas de plástico procedente de residuos post-industriales. *Materiales de Construcción*, 48(250), 33–52. <https://doi.org/10.3989/mc.1998.v48.i250.477>

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (2018). CONCRETOS. MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS POR TAMIZADO DE LOS AGREGADOS FINOS Y GRUESOS (NTC 77).

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (2019). MÉTODO DE ENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN DE DENSIDAD VOLUMÉTRICA (MASA UNITARIA) Y VACÍOS EN AGREGADOS (NTC 92).

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (2020). INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA. MÉTODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD Y LA ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO (NTC 237).

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (2021). INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA. MÉTODO PARA DETERMINAR LA FLUIDEZ DE MORTEROS DE CEMENTO HIDRÁULICO (NTC 111).

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (2017). DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DE MORTEROS DE CEMENTO HIDRÁULICO USANDO CUBOS DE 50 mm ó 50,8 mm DE LADO (NTC 220).

## **Anexos**

### **Anexo A. Caracterización de los agregados**

#### ***A.1 Ensayo de Granulometría De Los Agregados***

Teniendo en cuenta las indicaciones de la NTC 77 por el ICONTEC (2018), para el desarrollo del ensayo se toma una muestra de cada uno de los materiales, el cual se esparce en una superficie plana y se cuartea, en la que se toma dos partes de cada una, para posteriormente depositarlos en una serie de tamices ordenados de mayor a menor abertura, y someterlos a una vibración por medio de tamizadoras por un tiempo suficiente para que las partículas de los materiales logren atravesar cada tamiz de manera adecuada. Luego, se procede a pesar el material retenido en cada tamiz para obtener finalmente así el módulo de finura de los materiales por medio de los porcentajes retenidos en cada uno de los tamices. De las cuales se obtuvieron los resultados consignados en las tablas A.1.1, A.1.2, y A.1.3 para cada uno de los materiales.

**Figura A.1.1**

*Organización de los tamices para realizar el ensayo de granulometría de agregados*

**Figura A.1.2**

*Vaciado del material en la serie de tamices*



**Figura A.1.3**

*Tamizaje de los agregados en máquina eléctrica*

**Tabla A.1.1**

*Ensayo de granulometría según NTC 77 para agregado fino (Arena)*

(in)	(mm)	Peso retenido (g)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)
3/4	19,05	0	0,00	0,00	100,00
1/2	12,70	0	0,00	0,00	100,00
3/8	9,53	0	0,00	0,00	100,00
No.4	4,75	0	0,00	0,00	100,00
No.8	2,38	2,41	0,07	0,07	99,93
No.16	1,19	136,3	3,83	3,90	96,10
No.30	0,59	669,81	18,81	22,71	77,29
No.50	0,30	2278,09	63,99	86,70	13,30
No.100	0,15	317,28	8,91	95,61	4,39
Fondo		156,25	4,39	100,00	0,00
<b>Total</b>		<b>3560,14</b>	<b>100,00</b>		
Módulo de finura		2,09			
Peso inicial (g)		3562,61			

**Tabla A.1.2***Ensayo de granulometría según NTC 77 para agregado fino (PET)*

(in)	(mm)	Peso retenido (g)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)
3/4	19,05	0	0,00	0,00	100,00
1/2	12,70	0	0,00	0,00	100,00
3/8	9,53	0	0,00	0,00	100,00
No.4	4,75	0,98	0,08	0,08	99,92
No.8	2,38	551,08	44,30	44,38	55,62
No.16	1,19	669,8	53,85	98,23	1,77
No.30	0,59	18,29	1,47	99,70	0,30
No.50	0,30	2,04	0,16	99,87	0,13
No.100	0,15	0,88	0,07	99,94	0,06
Fondo		0,77	0,06	100,00	0,00
<b>Total</b>		<b>1243,84</b>	<b>100,00</b>		
Módulo de finura		4,42			
Peso inicial (g)		1244,02			

**Tabla A.1.3**

*Ensayo de granulometría según NTC 77 para agregado fino (PP)*

(in)	(mm)	Peso retenido (g)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)
3/4	19,05	0	0,00	0,00	100,00
1/2	12,70	0	0,00	0,00	100,00
3/8	9,53	0	0,00	0,00	100,00
No.4	4,75	2,05	0,31	0,31	99,69
No.8	2,38	182,2	27,88	28,20	71,80
No.16	1,19	399,35	61,11	89,31	10,69
No.30	0,59	60,24	9,22	98,53	1,47
No.50	0,30	8,59	1,31	99,84	0,16
No.100	0,15	0,96	0,15	99,99	0,01
Fondo		0,08	0,01	100,00	0,00
<b>Total</b>		<b>653,47</b>	<b>100,00</b>		
Módulo de finura		4,16			
Peso inicial (g)		653,51			

### ***A.2 Peso Unitario De Los agregados***

Con el fin de determinar el peso unitario de los agregados, tanto de la arena como del PET y el PP, se llevaron a cabo los métodos que se describen a continuación, que a su vez obedecen lo establecido en la NTC 92. (ICONTEC, 2019)

Inicialmente, se toma una muestra de material suficiente para llenar un molde de acero, que para el peso unitario compactado, se llena en tres capas las cuales deben ser compactadas con 25 golpes por medio de una varilla de acero. Luego, se enrasa el material con la varilla usada para apisonar, y finalmente, se procede a quitar los residuos del molde para así pesar el recipiente junto con el material. El proceso para determinar el peso unitario suelto es similar, con la salvedad de que no se debe apisonar la muestra ni tampoco dividirla en diferentes capas. A continuación, se describe por medio de imágenes el proceso llevado a

cabo en el laboratorio. De igual manera, en las tablas A.2.1 a la A.2.6 se presentan los resultados de los pesos unitarios sueltos y compactados de cada material usado como agregado fino.

### **Figura A.2.1**

*Compactación de la arena por capas*



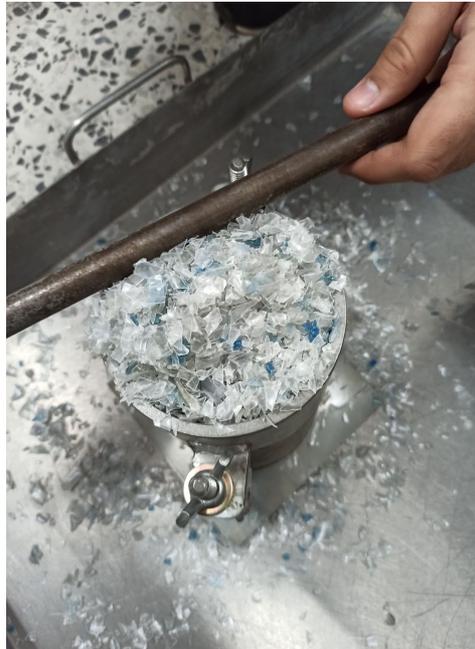
### **Figura A.2.2**

*Compactación del Polipropileno (PP) por capas*



**Figura A.2.3**

*Compactación y enrase del tereftalato de polietileno (PET)*

**Figura A.2.4**

*Peso del recipiente + peso de la arena sin compactar*



**Figura A.2.5**

*Peso del recipiente + peso del polipropileno compactado*

**Figura A.2.6**

*Peso del recipiente + peso del tereftalato de polietileno compactado*



**Tabla A.2.1***Peso unitario suelto del agregado fino*

<b>Ensayo</b>	<b>(Peso agregado + peso recipiente) (Kg)</b>	<b>Peso recipiente (Kg)</b>	<b>Peso del agregado (Kg)</b>
Peso 1	6,100	4,116	1,984
Peso 2	6,103	4,116	1,987
Peso 3	6,102	4,116	1,986
Promedio	6,102	4,116	1,986
Volumen del recipiente			0,00131161
<b>Peso unitario suelto (kg/m3)</b>			<b>1513,92</b>

**Tabla A.2.2***Peso unitario compactado agregado fino*

<b>Ensayo</b>	<b>(Peso agregado + peso recipiente) (Kg)</b>	<b>Peso recipiente (Kg)</b>	<b>Peso del agregado (Kg)</b>
Peso 1	6,322	4,116	2,206
Peso 2	6,326	4,116	2,210
Peso 3	6,327	4,116	2,211
Promedio	6,325	4,116	2,209
Volumen del recipiente			0,00131161
<b>Peso unitario compactado (kg/m3)</b>			<b>1684,19</b>

**Tabla A.2.3***Peso unitario suelto tereftalato de polietileno PET*

<b>Ensayo</b>	<b>(Peso agregado + peso recipiente) (Kg)</b>	<b>Peso recipiente (Kg)</b>	<b>Peso del agregado (Kg)</b>
Peso 1	4,576	4,033	0,543
Peso 2	4,572	4,033	0,539
Peso 3	4,574	4,033	0,541
Promedio	4,574	4,033	0,541
Volumen del recipiente			0,00131161
<b>Peso unitario suelto (kg/m3)</b>			<b>412,47</b>

**Tabla A.2.4***Peso unitario compactado tereftalato de polietileno PET*

<b>Ensayo</b>	<b>(Peso agregado + peso recipiente) (Kg)</b>	<b>Peso recipiente (Kg)</b>	<b>Peso del agregado (Kg)</b>
Peso 1	4,702	4,033	0,669
Peso 2	4,702	4,033	0,669
Peso 3	4,705	4,033	0,672
Promedio	4,703	4,033	0,670
Volumen del recipiente			0,00131161
<b>Peso unitario compactado (kg/m3)</b>			<b>510,82</b>

**Tabla A.2.5***Peso unitario suelto polipropileno PP*

<b>Ensayo</b>	<b>(Peso agregado + peso recipiente) (Kg)</b>	<b>Peso recipiente (Kg)</b>	<b>Peso del agregado (Kg)</b>
Peso 1	4,436	4,030	0,406
Peso 2	4,430	4,030	0,400
Peso 3	4,434	4,030	0,404
Promedio	4,433	4,030	0,403
Volumen del recipiente			0,00131161
<b>Peso unitario suelto (kg/m3)</b>			<b>307,51</b>

**Tabla A.2.6***Peso unitario compactado polipropileno PP*

<b>Ensayo</b>	<b>(Peso agregado + peso recipiente) (Kg)</b>	<b>Peso recipiente (Kg)</b>	<b>Peso del agregado (Kg)</b>
Peso 1	4,580	4,030	0,550
Peso 2	4,586	4,030	0,556
Peso 3	4,583	4,030	0,553
Promedio	4,583	4,030	0,553
Volumen del recipiente			0,00131161
<b>Peso unitario compactado (kg/m3)</b>			<b>421,62</b>

### ***A.3 Densidad Aparente***

De acuerdo a lo especificado en la NTC 237 del ICONTEC (2020), inicialmente se toma una muestra representativa del agregado fino (Arena), el cual se sumerge durante 24 horas. Una vez pasado dicho tiempo, se expande la muestra sobre una superficie no absorbente, para luego proceder a secar la muestra homogéneamente. Posteriormente, se introduce la muestra en un molde cónico en dos capas las cuales se apisonan 25 veces cada una, para finalmente proceder a nivelar y retirar el cono, buscando que la muestra se deje caer de manera que no exista humedad libre; de suceder lo contrario se realiza nuevamente el proceso de secado hasta cumplir con la condición dada. En la tabla A.3.1 se presentan los resultados obtenidos en el laboratorio.

#### **Figura A.3.1**

*Inmersión de la muestra del material*



**Figura A.3.2**

*Secado de la muestra del material*

**Figura A.3.3**

*Lleno del material en el molde cónico*



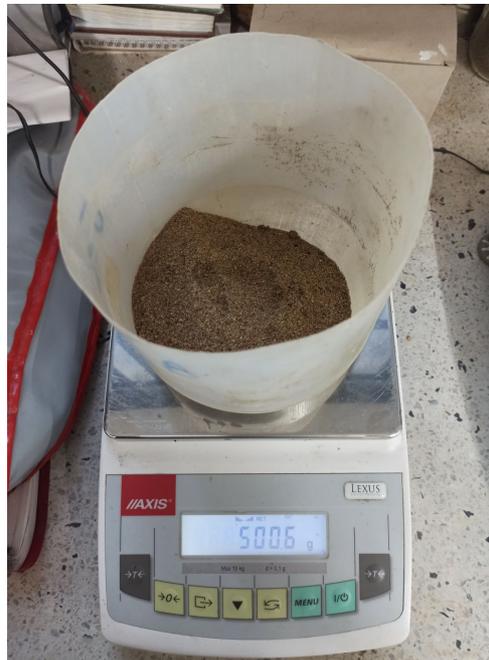
Una vez se haya cumplido la condición, se pesan 500 gramos del agregado para envasarla posteriormente en el picnómetro (S); luego se llena el picnómetro hasta 250 cm<sup>3</sup> para determinar el peso del agua + picnómetro (B). Seguidamente, se vacía el picnómetro, se introduce los 500 gramos de la muestra y se incluye agua hasta 500 cm<sup>3</sup>, el cual se agita con

el objetivo de eliminar todas las burbujas de aire posibles y así tomar su respectivo peso (C).

Ya realizado dicho proceso, se pone la muestra en un recipiente, el cual se deja secar por un espacio de 24 horas, para que finalmente, al día siguiente se tome su respectivo peso (A).

### Figura A.3.4

*Peso de la muestra del material a utilizar (S)*

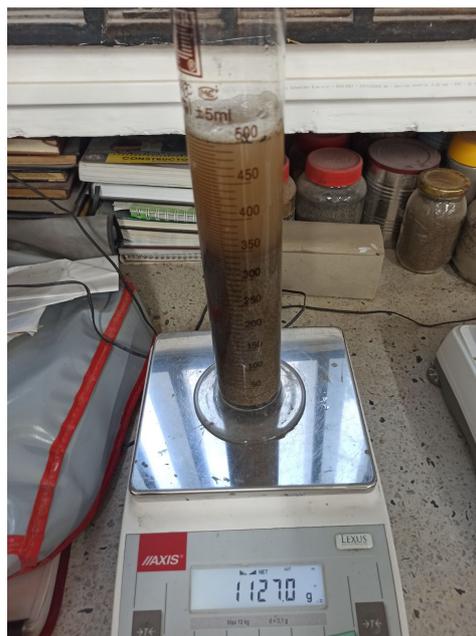


**Figura A.3.5**

*Peso del agua + picnómetro (B)*

**Figura A.3.6**

*Peso de la muestra + agua + picnómetro (C)*



Ya obteniendo dichos datos, se reemplazan para calcular el valor de densidad aparente mediante la siguiente ecuación:

$$D \text{ aparente} = A/(B+S-C)$$

Con los que se obtuvo el resultado evidenciado en la Tabla A.3.1:

**Tabla A.3.1**

*Densidad aparente seca de la arena*

<b>Datos</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
A	492,5	g
B	812,6	g
S	500,6	g
C	1127	g
<b>Densidad aparente</b>	<b>2,65</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>

## **Anexo B. Diseño De La Mezcla De Mortero**

El diseño de mezcla se realizó siguiendo las recomendaciones del autor Sánchez de Guzmán (1996) en su libro “Tecnología del concreto y del mortero”, en donde se explica detalladamente los cálculos necesarios para obtener un diseño de mezcla de mortero. De acuerdo a lo anteriormente mencionado, primero se debe partir de algunos parámetros iniciales, los cuales son calculados a partir de ensayos de laboratorio, o también, pueden ser asumidos dentro de la investigación, en los que se obtuvieron los siguientes:

- Resistencia requerida = 210 kg/m<sup>3</sup>
- Módulo de finura de la arena = 2,09
- Densidad aparente seca de la arena = 2,645 g/cm<sup>3</sup>
- Densidad específica del cemento = 3,15 g/cm<sup>3</sup>

Una vez se tienen los datos iniciales, se procede a determinar la relación agua-cemento con ayuda de la “Figura 14.1 Correspondencia entre los valores de relación agua-cemento y resistencia a la compresión para morteros hechos con cemento portland tipo I y arena de forma redondeada y textura lisa” de Sánchez De Guzmán (1996, p.312), que para el caso del presente estudio, teniendo en cuenta la resistencia requerida y el módulo de finura, se establece una relación agua cemento de (0,6).

Con relación al parámetro de consistencia de la mezcla de mortero, se establece en un valor del 90% ya que es una consistencia idónea para tratar de evitar que ocurra el fenómeno de exudación en la mezcla. Dicho valor es extraído de la “Tabla 14.7 Diferentes consistencias del mortero”. (Sánchez De Guzmán, 1996, p.312)

En lo referente al factor K, con apoyo de la “Figura 14.3 Relación entre % de fluidez y relación agua cemento” de Sánchez De Guzmán (1996, p.314), se calcula un factor de 0.27, siendo este el valor de la relación agua-cemento para la consistencia requerida en términos de fluidez de la pasta de cemento.

Además de los anteriores factores, el valor que relaciona la consistencia requerida con el módulo de finura de la arena (factor b), es un dato determinante en el cálculo de las proporciones de agregados para la mezcla. De acuerdo con Sánchez De Guzmán (1996, p.315) con la “Tabla 14.8 Valores de b para distintas consistencias y módulos de finura de la arena” se interpola para un módulo de finura de 2.09 y una consistencia seca (90%), obteniendo como resultado un valor “b” igual a 0.315026.

Una vez calculados los valores correspondientes, se procede a determinar la proporción de cemento y arena, que para la presente investigación y con las condiciones previamente establecidas arrojó un valor de 2.53, lo cual indica que por una parte de cemento se adiciona 2.53 partes de arena, por lo que las cantidades estimadas para un metro cúbico de mortero fueron de: 533 kg de cemento, 322.22 L de agua y 1351.3 kg de arena.

Finalmente, al realizar las correcciones en la cantidad de agua para que cumpla con la fluidez requerida (90%) y con lo estipulado en el Anexo C, la cantidad correcta para un metro cúbico de mortero fue de 350 L; a su vez, las cantidades de cemento y arena no se modificaron.

### **Anexo C. Ensayo De Fluidez Del Mortero**

Una vez realizado el diseño de mezcla, se deberá tener en cuenta el ensayo de fluidez del mortero para así conocer cuál es la cantidad correcta de agua con la cual se obtiene una consistencia seca, es decir, con aproximadamente un 90% de fluidez.

Inicialmente, se requiere de las herramientas y equipos descritos en la NTC 111 del ICONTEC (2021), de los cuales resaltan el molde de bronce, la mesa de flujo y el calibrador para medir el diámetro del mortero. Una vez se tienen preparados los insumos, se procede a preparar una cantidad de mezcla de mortero para posteriormente verterlo sobre el molde en donde se apisona 20 veces por cada una de las dos capas. Luego, se procede a dejar caer la mesa de flujo desde una altura de 13 mm, 25 veces en un tiempo de 15 segundos. Finalmente, se procede a medir el diámetro del mortero para así realizar los cálculos respectivos y obtener el porcentaje de fluidez del mortero. El ensayo se debe realizar 3 veces con cada pasta de mortero con el fin de obtener un promedio y disminuir la probabilidad de error. En caso de no obtener la fluidez requerida se debe ajustar la cantidad de agua y así repetir el proceso. En la Tabla C.1 y C.2 se muestran los resultados de los ensayos realizados.

**Tabla C.1***Porcentaje de fluidez inicial del mortero*

<b>ítem</b>	<b>Magnitud</b>	<b>Unidad</b>
Diámetro final 1	17	cm
Diámetro final 2	16,2	cm
Diámetro final 3	15,8	cm
Diámetro final 4	15,3	cm
Diámetro promedio final	16,1	cm
Diámetro inicial	10,16	cm
<b>% de fluidez</b>	<b>58,22</b>	<b>%</b>

*Nota: La tabla C.1 representa el porcentaje de fluidez que se obtuvo con el diseño de mezcla propuesto inicialmente.*

**Tabla C.2***Porcentaje de fluidez del mortero*

<b>ítem</b>	<b>Magnitud</b>	<b>Unidad</b>
Diámetro final 1	19,8	cm
Diámetro final 2	19,7	cm
Diámetro final 3	19,9	cm
Diámetro final 4	19,4	cm
Diámetro promedio final	19,7	cm
Diámetro inicial	10,16	cm
<b>fluidez</b>	<b>93,90</b>	<b>%</b>

*Nota. La tabla C.2 muestra la fluidez obtenida para una mezcla que contiene 350 L/m<sup>3</sup> de agua.*

Luego de realizar varios ensayos, se determinó que la cantidad de agua por metro cúbico inicialmente calculada no fue suficiente para llegar a la condición de 90% de fluidez, por lo que se pasó de tener una dosificación de 322.22 L/m<sup>3</sup> a una de 350 L/m<sup>3</sup>, que a su vez

fue suficiente para dar como resultado una fluidez del 93.9%. En las figuras C.1 a C.4 se evidencia el desarrollo experimental del laboratorio.

### **Figura C.1**

*Preparación de mezclas para el ensayo de fluidez*



### **Figura C.2**

*Compactación del mortero en el molde de bronce*



**Figura C.3**

*Diámetro inicial del mortero*

**Figura C.4**

*Diámetro final del mortero*

