



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

INFLUENCIA DE FIBRAS TIPO PET EN LAS CARACTERÍSTICAS DE
RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL MORTERO DE CEMENTO HIDRÁULICO

PRESENTADO POR:

MARÍA ALEJANDRA RIAÑO BOLAÑOS 505544
CRISTIAN CAMILO AYALA GRANADOS 505898

UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTA D.C.
2019



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia


INFLUENCIA DE FIBRAS TIPO PET EN LAS CARACTERÍSTICAS DE
RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL MORTERO DE CEMENTO HIDRÁULICO

PRESENTADO POR:

MARÍA ALEJANDRA RIAÑO BOLAÑOS 505544
CRISTIAN CAMILO AYALA GRANADOS 505898

DIRECTOR:
CAMILO HIGUERA FLÓREZ

UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTA D.C.
2019

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE FIBRAS PLÁSTICAS PET EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL MORTERO DE CEMENTO HIDRÁULICO</p>	<p>FECHA: 2019</p> <p>VERSIÓN 0</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------



La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-ND 2.5)
 Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nd/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
 hacer un uso comercial de esta obra

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



Sin Obras Derivadas — No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE FIBRAS PLÁSTICAS PET EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL MORTERO DE CEMENTO HIDRÁULICO</p>	<p>FECHA: 2019 VERSIÓN 0</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------

NOTA DE ACEPTACIÓN:

FIRMA DEL PRESIDENTE DEL JURADO

FIRMA JURADO

FIRMA JURADO

BOGOTA D.C.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE FIBRAS PLÁSTICAS PET EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL MORTERO DE CEMENTO HIDRÁULICO</p>	<p>FECHA: 2019 VERSIÓN 0</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------

DEDICATORIA

Dedicado a mi padre,
por enseñarme a siempre seguir adelante,
nunca rendirme sin importar la situación
y siempre cumplir mis metas.

A mi madre por su amor, compañía,
dedicación y entera confianza,
para lograr cumplir esta meta
ya que sin ella no hubiera sido posible.


A mi hermana y sobrino
por su entera compañía y apoyo.

Cristian Camilo Ayala

Dedicado a mis hermanos,
por su compañía,
apoyo incondicional
y motivación de salir adelante.

A mis tíos Carlos y Diana,
por enseñarme a luchar por mis sueños
sin importar las circunstancias,
brindarme su apoyo incondicional
a lo largo de mi proceso de formación.

María Alejandra Riaño


 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE FIBRAS PLÁSTICAS PET EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL MORTERO DE CEMENTO HIDRÁULICO</p>	<p>FECHA: 2019 VERSIÓN 0</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecemos al ingeniero Camilo Higuera Flórez por acompañarnos en este proceso tan interesante, transmitirnos su conocimiento, interés y pasión por el área estructural y especialmente el concreto como material de construcción, todo lo anterior hizo posible la elaboración de esta investigación.


Esta investigación no hubiese sido posible de no ser por la Universidad Católica de Colombia, que, junto a su personal de docentes, administrativos y operativos, brindaron desde su campo lo necesario para cumplir con el propósito de ser un profesional integral y competitivo. Gracias a nuestros compañeros no solo por las risas sino también, por el apoyo durante el proceso investigación y elaboración de este documento.

Infinitas gracias a nuestras familias, por el apoyo incondicional, compromiso, cariño y paciencia; de no ser así no estaríamos culminando este proceso de aprendizaje.


 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE FIBRAS PLÁSTICAS PET EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL MORTERO DE CEMENTO HIDRÁULICO</p>	<p>FECHA: 2019</p> <p>VERSIÓN 0</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------

CONTENIDO


RESUMEN	15
INTRODUCCIÓN	16
1 GENERALIDADES.....	19
1.1 ANTECEDENTES	19
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	20
1.2.1 Descripción del problema.....	20
1.3 OBJETIVOS	21
1.3.1 Objetivo general.....	21
1.3.2 Objetivos específicos.....	21
1.4 JUSTIFICACIÓN	22
1.5 DELIMITACIÓN.....	22
1.5.1 Espacio	22
1.5.2 Tiempo.....	23
1.5.3 Alcance	23
2 MARCO REFERENCIAL.....	24
2.1.1 Marco teórico	24
2.1.2 Marco conceptual.....	29
2.1.3 Marco legal.....	30
2.1.4 Estado del arte.....	32
2.2 METODOLOGÍA.....	34
2.2.1 Tipo de Estudio	34
3 CAPITULO 1: CARACTERIZACIÓN DE MATERIAS PRIMAS	35
3.1 AGREGADO FINO	35
3.1.1 Humedad natural.....	35
3.1.2 Densidad y absorción.....	36
3.1.3 Masa unitaria.....	36
3.1.4 Granulometría	36
3.1.4.1 Muestra 1 análisis granulométrico y parámetros hallados a partir de gradación	40

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE FIBRAS PLÁSTICAS PET EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL MORTERO DE CEMENTO HIDRÁULICO</p>	<p>FECHA: 2019</p> <p>VERSIÓN 0</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------

3.1.4.2	Muestra 2 análisis granulométrico y parámetros hallados a partir de gradación	42
3.1.5	<i>Fotografías microscópicas del agregado</i>	44
3.1.6	<i>Caracterización Química (prueba de fluorescencia de rayos X)</i>	45
3.2	CEMENTO	47
3.2.1	<i>Parámetros físicos</i>	47
3.2.2	<i>Parámetros químicos</i>	47
3.2.3	<i>Ensayo de fluorescencia de rayos X</i>	48
3.3	FIBRA	49
4	CAPITULO 2: DISEÑO DE MEZCLA Y ELABORACIÓN DE MUESTRAS...	50
4.1	DISEÑO DE MEZCLA	50
4.2	ELABORACION DE MUESTRAS	51
4.2.1	<i>Cubos de mortero</i>	51
4.2.2	<i>Cilindros de mortero</i>	51
4.2.3	<i>Proceso de curado</i>	52
5	CAPITULO 3: CARACTERIZACIÓN DE MUESTRAS.....	53
5.1	PREPARACIÓN DE MUESTRAS.....	53
5.2	MECÁNICOS	54
5.2.1	<i>Compresión y módulo de elasticidad (NTC 4025)</i>	54
5.2.1.1	Resultados resistencia a la compresión y módulo de elasticidad para las muestras.....	54
5.2.1.2	Graficas de resistencia a la compresión y módulos de elasticidad promedio para las muestras	55
5.3	FÍSICOS.....	56
5.3.1	<i>Densidad, absorción y porosidad (ASTM C 642)</i>	56
5.3.1.1	Resultados de densidad, absorción y porosidad para las muestras	56
5.3.2	<i>Sortividad</i>	56
5.3.2.1	Resultados de sortividad para las muestras.	57
5.3.2.2	Graficas sortividad inicial y final para las muestras.....	57
5.4	DURABILIDAD	57
5.4.1	<i>Penetración de cloruros (NT Build - 492)</i>	58
5.4.1.1	Resultados penetración de cloruros para las muestras.	60
6	CAPITULO 4: ANÁLISIS DE RESULTADOS	61

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE FIBRAS PLÁSTICAS PET EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL MORTERO DE CEMENTO HIDRÁULICO</p>	<p>FECHA: 2019</p> <p>VERSIÓN 0</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------

6.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE LAS MUESTRAS	61
6.1.1 <i>Relación módulo de elasticidad vs adición de fibra</i>	62
6.1.2 <i>Relación densidad aparente vs % adición de fibra</i>	63
6.1.3 <i>Relación absorción vs % adición de fibra</i>	64
6.1.4 <i>Relación entre D_{nssm} vs % adición de fibra</i>	66
6.1.5 <i>Relación porosidad vs densidad aparente</i>	67
6.1.6 <i>Relación resistencia a la compresión vs porosidad</i>	68
6.1.7 <i>Relación D_{nssm} vs resistencia a la compresión</i>	69
6.1.8 <i>Relación D_{nssm} vs volumen de porosidad</i>	70
6.1.9 <i>Relación sortividad vs % de adición</i>	71
CONCLUSIONES	72
RECOMENDACIONES	74
BIBLIOGRAFÍA	75
ANEXO A. CARACTERIZACIÓN DE MATERIA PRIMA	79
ANEXO B. DISEÑO DE MEZCLA Y ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES.	80
ANEXO C. CARACTERIZACIÓN DE ESPECÍMENES.	81

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE FIBRAS PLÁSTICAS PET EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL MORTERO DE CEMENTO HIDRÁULICO</p>	<p>FECHA: 2019</p> <p>VERSIÓN 0</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Esquema de Ensayo de Migración – Tomado de: Simulación multifísica y multifase del ensayo de migración del ión cloruro en el concreto (NT Build 492) teniendo en cuenta los fenómenos de adsorción e interacción iónica.	27
Figura 2 Curva de gradación M1 - Fuente: Los autores.....	41
Figura 3 Curva de gradación M2 - Fuente: Los autores.....	43
Figura 4 Aumento 34 X M1 - Fuente: Los autores	44
Figura 5 Aumento 34 X M2 - Fuente: Los autores	45
Figura 6 Muestras en proceso de curado - Fuente: Los autores.....	53
Figura 7 Relación esfuerzo y adición de fibra - Fuente: Los autores	55
Figura 8 Relación módulo de elasticidad y adición de fibra - Fuente: Los autores	55
Figura 9 – Fuente: Los autores	57
Figura 10 Localización y penetración de cloruros NT Build 492	58
Figura 11 Penetración de cloruros - Fuente: Los autores	59
Figura 12 Relación módulo de elasticidad y adición de fibra - Fuente: Los autores	59
Figura 13 Relación densidad aparente y adición de fibra - Fuente: Los autores ...	62
Figura 14 Relación absorción y adición de fibra - Fuente: Los autores	63
Figura 15 Relación porosidad y adición de fibra - Fuente: Los autores	64
Figura 16 Relación Dnssm y adición de fibra - Fuente: Los autores.....	65
Figura 17 Relación porosidad y densidad aparente - Fuente: Los autores.....	66


 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE FIBRAS PLÁSTICAS PET EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL MORTERO DE CEMENTO HIDRÁULICO</p>	<p>FECHA: 2019</p> <p>VERSIÓN 0</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------


Figura 18 Relación resistencia a la compresión y porosidad - Fuente: Los autores67

Figura 19 Relación Dnssm y resistencia a la compresión - Fuente: Los autores...68

Figura 20 Relación Dnssm y volumen de porosidad - Fuente: Los autores.....69

Figura 21 Relación Dnssm y volumen de porosidad - Fuente: Los autores.....70

Figura 22 Relación sortividad inicial – final y adición de - Fuente: Los autores71


 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE FIBRAS PLÁSTICAS PET EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL MORTERO DE CEMENTO HIDRÁULICO</p>	<p>FECHA: 2019</p> <p>VERSIÓN 0</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Resultados humedad natural.	36
Tabla 2. Resultados densidad y peso específico	38
Tabla 3. Resultados % de absorción	38
Tabla 4. Resultados masa unitaria suelta	39
Tabla 5. Resultados masa unitaria compactada	39
Tabla 6. Resultados análisis granulométrico para muestra 1	40
Tabla 7. Parámetros de granulometría para muestra 1	41
Tabla 8. Análisis granulométrico para muestra 2	42
Tabla 9. Parámetros de granulometría muestra 2.....	43
Tabla 10. Composición química de la arena.....	46
Tabla 11. Parámetros físicos del cemento	47
Tabla 12. Parámetros químicos del cemento.....	47
Tabla 13. Composición química del cemento.	48
Tabla 14. Parámetros de la fibra.....	49
Tabla 15. Diseño de mezcla.....	50
Tabla 16. Resultados resistencia a la compresión y módulo de elasticidad.....	54
Tabla 17. Resultados densidad, absorción y porosidad.....	56
Tabla 18. Resultados de sortividad.....	57
Tabla 19. Resultados ensayo NT Build 492.....	60


 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE FIBRAS PLÁSTICAS PET EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL MORTERO DE CEMENTO HIDRÁULICO</p>	<p>FECHA: 2019</p> <p>VERSIÓN 0</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------

Tabla 20. Resumen de resultados obtenidos.....61

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE FIBRAS PLÁSTICAS PET EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL MORTERO DE CEMENTO HIDRÁULICO</p>	<p>FECHA: 2019</p> <p>VERSIÓN 0</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Caracterización de materia prima	79
ANEXO B. Diseño de mezcla y elaboración de especímenes.	80
ANEXO C. Caracterización de especímenes.....	81

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE FIBRAS PLÁSTICAS PET EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL MORTERO DE CEMENTO HIDRÁULICO</p>	<p>FECHA: 2019</p> <p>VERSIÓN 0</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------

RESUMEN

La presente investigación es de carácter experimental la cual, presenta la funcionalidad existente en muestras de mortero de cemento hidráulico modificado con fibras de plástico tipo PET con diferentes porcentajes respecto al mortero tipo convencional.

Para ello, se procede a caracterizar materia prima, lo cual permitirá realizar un diseño de mezcla y de esta forma llegar a la elaboración de muestras de mortero con diferentes porcentajes de fibra, especímenes a los cuales se realizan ensayos que permitan caracterizar las diferentes propiedades mecánicas y de durabilidad, lo anterior con el fin de realizar las comparaciones necesarias para determinar el comportamiento presente, tanto en muestras modificadas como en aquellas que no poseen modificación alguna, lo cual permitirá analizar e implementar diferentes relaciones las cuales evidenciaran si la funcionalidad del mortero modificado se ve mejorada respecto a la convencional o si por el contrario el uso de fibras deja al mortero en condiciones de funcionalidad por debajo de lo convencional.

Todo lo mencionado anteriormente busca dar uso al plástico tipo PET, reducir las cantidades de cemento empleado, ya que estos dos materiales son de los grandes contaminantes del planeta.

Palabras Clave: Mortero de cemento hidráulico, durabilidad del mortero, resistencia del mortero, módulo de elasticidad, penetración de cloruro, capacidad de absorción.


 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE FIBRAS PLÁSTICAS PET EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL MORTERO DE CEMENTO HIDRÁULICO</p>	<p>FECHA: 2019</p> <p>VERSIÓN 0</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------

INTRODUCCIÓN

En el campo de la construcción el cemento tiene diferentes derivados, los cuales a partir de los compuestos que hagan parte de este tienen determinado nombre y uso. El cemento mezclado con agregado fino y agua genera una mezcla homogénea, maleable en condición plástica, que al fraguar adquiere características propias de una roca, dicha propiedad varía directamente del tipo de agregado usado y la relación agua cemento empleada.

Las características de este compuesto en condición endurecida son determinantes en la construcción ya que definen el esfuerzo máximo que es capaz de soportar el material sometido a cargas de aplastamiento, cuando el esfuerzo al cual es sometido el material supera las fuerzas internas de cohesión existentes el material evidencia fisuración pero, no necesariamente se debe presentar una fractura en el material; en ocasiones simplemente se deforma, cuando este sobrepasa su límite de deformación (límite elástico), este no es capaz de recuperarse quedando así deformado y sus propiedades cambian; por otra parte, también existen diferentes factores capaces de reducir la vida útil de este todo compacto como lo son algunos agentes de carácter químico como lo son el ataque por ácidos, cloruros, sulfatos, dióxido de carbono, entre otros.

Específicamente en esta investigación se evaluará el daño causado por el ión cloruro, este es el más nocivo-agresivo y difícil de controlar, ya que al ingresar en la estructura de este material pétreo reduce todas sus propiedades y no solo eso, además afecta el acero de refuerzo causando en este corrosión, lo cual lo debilita y no permite que el concreto-acero trabajen de manera conjunta; evidenciar este daño de origen químico es complicado ya que se requiere de un tiempo extenso, por ello, en el campo de la construcción y específicamente en la rama de la patología del concreto se han implementado diferentes técnicas de ensayo que permiten evaluar la penetración del ión cloruro en el concreto, como lo son ensayos de difusión (sin corriente eléctrica) y de migración (con corriente eléctrica); actualmente se utilizan dos ensayos de migración los cuales son: RCPT (Norteamericano) y el Nord Test


 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE FIBRAS PLÁSTICAS PET EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL MORTERO DE CEMENTO HIDRÁULICO</p>	<p>FECHA: 2019</p> <p>VERSIÓN 0</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------

(Europeo), de acuerdo a las características de estos se decide utilizar el ensayo Europeo Nord Test ya que este es el más rápido, menos variable, eficiente, confiable y estable a la hora de realizarse y obtener resultados

El ensayo NT Build-492 usa un campo eléctrico que aumenta la velocidad en la que los iones de cloruro penetran la matriz de concreto¹, o en este caso el mortero; obteniendo así valores acertados en tiempos de duración cortos. Sumado a lo anterior otras características en el compuesto endurecido son determinantes para que este cumpla el trabajo para el cual es destinado en la construcción ya que, a pesar del paso del tiempo y las nuevas tecnologías, el cemento y sus derivados continúan siendo el material más práctico y usado en las construcciones.


Por otra parte se cuenta con el Tereftalato de Polietileno un tipo de plástico que se encuentra de manera significativa en el diario vivir y está ocasionando una serie de problemáticas en las cuales se ve seriamente afectado el medio ambiente de todos los seres que habitan este planeta; su proceso de biodegradación tarda un tiempo considerable y las alternativas de reutilización no son lo suficientemente amplias para equiparar el consumo obsesivo que se tiene de este plástico en la actualidad, por lo mencionado anteriormente se emplea este material dentro del mortero, buscando la obtención de un elemento que al endurecer sea un todo compacto con una funcionalidad similar o que presente mejoras del mortero de cemento hidráulico tradicional. Para determinar si la funcionalidad del mortero es similar o presenta mejoras, es necesario realizar pruebas que permitan determinar las características mecánicas y de durabilidad; lo mencionado anteriormente se hace mediante los ensayos de resistencia a la compresión, el módulo de elasticidad, densidad y absorción y el coeficiente de migración del ión cloruro para la durabilidad del mortero

¹Higuera Flórez, Hector Camilo. 2016. Simulación multifísica y multifase del ensayo de migración del ión cloruro en el concreto (NT Buold 492) teniendo en cuenta los fenómenos de adsorción e interacción iónica. [En línea] 2016. p. 2. [Citado el: 15 de Marzo de 2019.] <http://bdigital.unal.edu.co/57316/1/1016014601.2017.pdf>.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	INFLUENCIA DE FIBRAS PLÁSTICAS PET EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL MORTERO DE CEMENTO HIDRÁULICO	FECHA: 2019 VERSIÓN 0
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------

de acuerdo a los resultados obtenidos se evaluarán las propiedades con las que contará el mortero modificado y comparará, respecto a un mortero convencional.

Para desarrollar esta investigación se realizan diferentes procesos: primero, se hizo una revisión bibliográfica la cual permite obtener información acerca de los últimos avances sobre el mortero con adiciones de plástico. Segundo, se realizan pruebas experimentales que permitan caracterizar materias primas, elaboración de diseño de mezcla y posterior fabricación de probetas además de los ensayos necesarios para caracterizar dichas probetas, y por último realizar cálculos y comparaciones que permiten establecer los cambios en las propiedades del mortero convencional respecto al modificado. Se decide realizar todas las pruebas en mezclas de mortero y no de concreto buscando eliminar posibles variables como lo es el agregado grueso ya que esto generaría otros factores importantes para analizar, de igual manera se mantiene constante la relación agua cemento lo cual permite un adecuado manejo y análisis de esta variable que juega un papel importante en los diseños de mezcla.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE FIBRAS PLÁSTICAS PET EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL MORTERO DE CEMENTO HIDRÁULICO</p>	<p>FECHA: 2019</p> <p>VERSIÓN 0</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------


1 GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

El consumo de material plástico a base de Politereftalato de Etileno (PET) aumenta de manera considerable con el paso del tiempo, generando un problema de contaminación ambiental bastante amplio, debido a las cantidades exageradas de producción, su uso limitado y sobre todo porque no es biodegradable dada su alta cristalinidad y la naturaleza de sus moléculas; este material termina en botaderos clandestinos o en el peor de los casos en cauces en los que la acumulación de este producto está causando pequeñas islas de basura al llegar al mar, donde diferentes ecosistemas presentes en estos lugares se ven afectados directamente al creer que trozos de plástico son alimento, o simplemente quedan atrapados en medio de estos elementos que los lleva a su extinción, como consecuencia se han reducido los ecosistemas ya que varias especies tienden a desaparecer con este problemática presente.

La industria de la construcción genera gran contaminación, por un lado, la producción del cemento presenta un impacto medioambiental extenso, los procesos para obtener este polvillo gris indispensable en la construcción, genera diferentes tipos de emisiones, como lo son las partículas de polvo, gases como el dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, monóxido y dióxido de carbono, además de cloruros, fluoruros y compuestos orgánicos tóxicos².

² Enseñat De Villaloga, Alfonso. 1997. La industria del cemento dentro de la problemática de la contaminación atmosférica. [En línea] 1997. p. 221 [Citado el: 22 de Abril de 2019.] <http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/viewFile/1180/1313>.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE FIBRAS PLÁSTICAS PET EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL MORTERO DE CEMENTO HIDRÁULICO</p>	<p>FECHA: 2019</p> <p>VERSIÓN 0</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------

Por otra parte, la fabricación de materiales (agregado pétreo) afecta la calidad del aire al igual que el cemento, por una gran emisión de gases, lo anterior como consecuencia a la combustión de los motores de la maquinaria y el polvillo fino generado en la trituración de roca para la obtención de materia prima³.

De acuerdo a lo anterior el plástico y la industria constructiva tienen un impacto ambiental muy amplio, la contaminación del aire genera cambio climático por gases de efecto invernadero, esto a su vez deteriora la capa de ozono y genera acidificación terrestre, todo esto afecta las condiciones de vida de los seres vivos⁴.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 Descripción del problema

La rama constructiva, es una de las fuentes de contaminación más grande que existe; esto como consecuencia a los diferentes procesos realizados para la obtención de materia prima, por otra parte, el PET se ha convertido en un material difícil de controlar en cuanto a su reutilización. Con lo anterior, se plantea revisar qué factibilidad tiene el uso de fibras de Tereftalato de polietileno (PET) en mortero de cemento hidráulico.

Por lo tanto, las preguntas de investigación a resolver en la presente investigación son:

¿Cuál es la influencia en las propiedades mecánicas y de durabilidad de adicionar fibras plásticas recicladas en el mortero de cemento hidráulico?

³ Orbes Revelo, Amelucxen. 2017. Auditoría ambiental a las plantas productoras de mezcla asfáltica, trituradora de agregados pétreos y mezcladora de suelos que operan en el aeropuerto san luis del municipio de Aldana - Nariño. [En línea] 2017. p.32. <https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/3009/T.G.%20AMELUCXEN%20ORBES%20REVELO.pdf?sequence=1>.

⁴ Ibid., p.36.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE FIBRAS PLÁSTICAS PET EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL MORTERO DE CEMENTO HIDRÁULICO</p>	<p>FECHA: 2019</p> <p>VERSIÓN 0</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------


1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general.

- Determinar la influencia de fibras plásticas recicladas (PET) en las características de resistencia y durabilidad del mortero de cemento hidráulico.

1.3.2 Objetivos específicos.

- Obtener plástico (PET) en forma de fibra e implementarlo como aditivo en probetas de mortero de cemento hidráulico.
- Hacer el diseño y elaboración de probetas de mortero de cemento hidráulico utilizando fibras PET como aditivo.
- Evaluar las propiedades físicas, mecánicas del mortero de cemento modificado con presencia de fibras de PET.
- Comparar las características del mortero convencional y del mortero modificado con presencia de fibras plásticas PET.
- Evaluar el desempeño del mortero modificado con presencia de fibras de PET plásticas, por medio del ensayo de durabilidad (penetración ión cloruro).

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE FIBRAS PLÁSTICAS PET EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL MORTERO DE CEMENTO HIDRÁULICO</p>	<p>FECHA: 2019</p> <p>VERSIÓN 0</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------

1.4 JUSTIFICACIÓN

La industria de la construcción junto con la del plástico, de manera directa o indirecta son fuente generadora de contaminación atmosférica, crean un impacto negativo al medio ambiente, deteriorando así la vida de todo ser vivo, además de las grandes islas de basura que se encuentran en el mar debido al mal manejo del plástico, que están acabando con toda la vida marina.

Con la siguiente investigación se pretende analizar qué tan viable es emplear el Politereftalato de Etileno (PET) en forma de fibras en el mortero de cemento hidráulico, de esta manera dar una segunda vida a las botellas de plástico, y tal vez reducir los porcentajes de cemento o agregado usado en el concreto hidráulico convencional.

1.5 DELIMITACIÓN

A continuación, se presentan las diferentes limitaciones que restringirán la investigación a realizar:

1.5.1 Espacio

Se cuenta con el laboratorio de caracterización y comportamiento de materiales presente en la Universidad Católica de Colombia.

El laboratorio de la Universidad Católica de Colombia no cuenta con el equipo requerido para realizar el ensayo de migración de acuerdo a la NT Build 492, por ello, dicho ensayo se elabora en las instalaciones de la Universidad Nacional de Colombia.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE FIBRAS PLÁSTICAS PET EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL MORTERO DE CEMENTO HIDRÁULICO</p>	<p>FECHA: 2019</p> <p>VERSIÓN 0</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------

1.5.2 Tiempo

Para la realización de pruebas de laboratorio de caracterización y comportamiento de materiales se cuenta con aproximadamente 4 meses (enero-mayo).

1.5.3 Alcance

Esta investigación se enfoca en la determinación de las propiedades mecánicas, físicas y de durabilidad del mortero modificado (adición de fibras de plástico tipo PET), respecto al mortero de cemento hidráulico convencional, por medio de la evaluación de probetas y cubos de mortero; las muestras realizadas no presentan variación en el tipo de agregado, cemento y se mantendrá la misma relación agua-cemento.

Se emplean quince (15) probetas y quince (15) cubos de mortero, los cuales contarán con diferentes porcentajes de adición de fibras de plástico, estarán dosificadas de la siguiente manera 0% - 0,25%- 0,50%- 0,75% y 1,00% respectivamente en relación con el peso del cemento; para cada porcentaje se realizaron 3 probetas para ejecutar los ensayos necesarios para caracterizar del mortero.

Con las probetas se evalúan propiedades físicas del concreto modificado con presencia de fibras de plástico tipo PET, en las cuales se realizan ensayos de densidad-porosidad, sortividad y migración, ensayos propuestos por las normas ASTM C 642, ASTM C 1585 y NT Build 492 respectivamente.

Para determinar características mecánicas del mortero se opta por el uso de muestras tipo cubo y así hallar resistencia a la compresión y módulo de elasticidad, de acuerdo a la norma NTC 4025.

En el documento se justificará los cambios presentes en las muestras de mortero modificado con relación al mortero de cemento hidráulico convencional.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE FIBRAS PLÁSTICAS PET EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL MORTERO DE CEMENTO HIDRÁULICO</p>	<p>FECHA: 2019</p> <p>VERSIÓN 0</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------


2 MARCO REFERENCIAL

2.1.1 Marco teórico

La producción de PET ha tenido un incremento tecnológico con crecimiento exponencial llevando a que este material sea muy utilizado en las industrias de alimentos y bebidas en altas masas a nivel mundial.

Desde el punto de vista ambiental y en comparación con otros plásticos, el PET es el que presenta las mayores características para el reciclado ya que a pesar de que en la fabricación se consume gran cantidad de energía, su incineración produce mucho calor o electricidad (gracias a su elevado poder calorífico), además de la sencillez de procedimientos y las relativamente bajas temperaturas a las cuales debe someterse para ser transformado en nuevos productos, también reciclables. El proceso de reciclado del PET consiste tradicionalmente en transformar las botellas usadas en monómeros o fibras, a través de métodos físicos, químicos o térmicos. Durante el reciclaje, se puede presentar turbidez o degradación térmica del PET, la cual se evita empleando aditivos, sobre todo estabilizadores al calor.

El PET tiene propiedades mecánicas las cuales son altos valores de dureza y de resistencia a la abrasión; valores medios de resistencia a la propagación de grietas por tensión y baja resistencia al impacto, así como otras propiedades, que incluyen alta capacidad de absorción de agua, elevada impermeabilidad a gases, vapor de agua, aromas y aislamiento eléctrico medio. Su rango de temperatura de uso continuo abarca desde -20°C a 100°C, y hasta 135°C en aire caliente. El A-PET que es el PET transparente tiene una densidad de 1.33 g/cm³ y tiene una buena resistencia al impacto; el rango de temperatura de uso continuo va de -40° C a 60° C, y en ausencia de aire alcanza 100° C. Se cristaliza por encima de los 90° C (con cierta turbidez). Es resistente a hidrocarburos y tiene buenas propiedades de

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE FIBRAS PLÁSTICAS PET EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL MORTERO DE CEMENTO HIDRÁULICO</p>	<p>FECHA: 2019</p> <p>VERSIÓN 0</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------

barrera frente a gases no polares como O₂ y CO₂. El PET es un termoplástico higroscópico que absorbe la humedad con facilidad⁵.


El uso de material reciclado en el concreto se ha buscado ya que el concreto al ser el segundo material más contaminante a nivel mundial hace que se vea la necesidad para mitigar lo más posible su daño hacia el medio ambiente por lo cual se ha considerado reemplazar agregados y compuestos como las fibras reciclables en las adiciones del concreto, por ejemplo la adición de desechos de construcción, ceniza volante, cáscara de arroz, entre otros y el presentado en este trabajo como es el PET ya que estos materiales son desechados en grandes masas tanto por las industrias como por los hogares a nivel mundial⁶.

Lo cual ha llevado tanto a resultados favorables como no favorables en las propiedades del concreto tanto mecánico como de durabilidad con el uso de materiales reciclados.

El uso de fibras en el concreto ha sido un gran avance en la industria del concreto ya que estas ayudan a la disminución de fisuración por asentamiento, reducir la fisuración por contracción plástica, disminuir la permeabilidad, entre otras características y lo que se busca más con este aditivo de fibras es buscar el desempeño mecánico del concreto a comportamiento a tensión.

⁵ Quintero Blandon, Cristian Fernando y Mahecha Rico, Jeisson David. 2016. Propiedades mecánicas de un concreto reforzado con fibras de pet reciclado. [En línea] Noviembre de 2016. p. 16 <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/15477/MahechaRicoJeisson2016%20.pdf;jsessionid=1B58EE60BC7FC962DF02D59AD28DCF1B?sequence=5>

⁶ Ibid., p.18.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE FIBRAS PLÁSTICAS PET EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL MORTERO DE CEMENTO HIDRÁULICO</p>	<p>FECHA: 2019</p> <p>VERSIÓN 0</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------

Por lo cual se han inventado diferentes fibras que son:

- **Microfibras:** Normalmente son fibras de plástico, polipropileno, polietileno nylon, que ayudan a reducir la segregación de la mezcla de concreto y previenen la formación de fisuras durante la construcción. Las longitudes de las fibras de multifilamento oscilan entre los 12 y los 75 mm⁷.
- **Macrofibras:** Generalmente son de materiales como acero, vidrio, materiales sintéticos o naturales, los cuales se utilizan como refuerzo distribuido en todo el espesor del elemento y orientado en cualquier dirección. Las fibras actúan como malla electrosoldada y varillas de refuerzo, incrementando la tenacidad del concreto y agregando al material capacidad de carga posterior al agrietamiento. Entre los beneficios del uso de concreto reforzado con fibras -CRF- se encuentran el incremento de la resistencia al impacto y a la fatiga. Su diámetro oscila entre los 0.25 mm y 1.5 mm con longitudes variables entre 13 mm y 70 mm⁸. En el concreto se han realizado estudios con fibras de plástico llevando a que este aumenta la resistencia a la compresión, flexión, resista fuerzas a tensión y al ser un material tan ligero hace que el concreto resultante también sea muy ligero así evitando considerablemente la fisuración comparándolo con muestras de concreto convencional⁹.
- **Ensayos de migración:** Básicamente consiste en el flujo iónico que se genera debido a una diferencia de potencial eléctrico, a partir de concentración en el tiempo. Existen dos tipos de ensayo: estacionarios y no estacionarios. En este

⁷ Asocreto - Argos. 2013. Argos. [En línea] 11 de Octubre de 2013. p.1. <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/que-es-concreto-reforzado-con-fibras>.

⁸ Ibid., p.1.

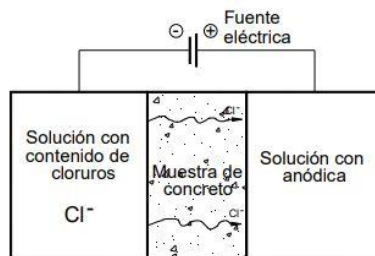
⁹ Cerezo Benavides, Wilfredo y Gonzalez Salcedo, Luis Octavio. 2012. Fibras de polipropileno para reforzamiento de matrices cementicias. (Una recopilacion sobre fibras comercialmente disponibles). [En línea] 2012. p. 3. [Citado el: 22 de Septiembre de 2018.] http://www.bdigital.unal.edu.co/7971/4/luisoctaviogonzalezsalcedo.2012.2_Parte1.pdf.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE FIBRAS PLÁSTICAS PET EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL MORTERO DE CEMENTO HIDRÁULICO</p>	<p>FECHA: 2019</p> <p>VERSIÓN 0</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------

tipo de ensayos la muestra es saturada y sometida a un diferencial de potencial constante.

El montaje más recurrente con el fin de determinar modelos de penetración de ión cloruro consiste en colocar una probeta de concreto o mortero con una sección circular de 100 mm de diámetro y 50 mm de espesor, entre dos celdas; la primera con una solución de cloruros y en otra una solución con elementos (Potasio, hidróxidos y sodio)¹⁰.

Figura 1. Esquema de ensayo de migración.




Fuente. Simulación multifísica y multifase del ensayo de migración del ión cloruro en el concreto (NT Build 492) teniendo en cuenta los fenómenos de adsorción e interacción iónica¹¹.

Se evidencia [Figura 1], el montaje de diferencia potencial donde una celda tiene una solución de cloruros y la otra de elementos, por medio de esta se presenta un flujo iónico celda a celda. Se tiene que el tiempo de ensayo depende del espesor de la muestra a ensayar al igual que el diferencial de potencial aplicado¹².

¹⁰ Higuera Flórez, Hector Camilo. 2016. Simulación multifísica y multifase del ensayo de migración del ión cloruro en el concreto (NT Buold 492) teniendo en cuenta los fenomenos de adsorcion e interaccion ionica. [En línea] 2016. p.131. [Citado el: 15 de Marzo de 2019.] <http://bdigital.unal.edu.co/57316/1/1016014601.2017.pdf>.

¹¹ Gonzalez Dias, Javier Ernesto. 2014. Modelos de penetración del ión cloruro orientados a la predicción de la vida útil de las estructuras de concreto. [En línea] Junio de 2014. p.34. [Citado el: 22 de Septiembre de 2018.] <http://bdigital.unal.edu.co/46257/1/300358.2014.pdf>.


¹² Ibid, .p.132.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE FIBRAS PLÁSTICAS PET EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL MORTERO DE CEMENTO HIDRÁULICO</p>	<p>FECHA: 2019</p> <p>VERSIÓN 0</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------

- **Sortividad:** este método de prueba se utiliza para determinar la tasa de Absorción (sortividad) de agua por cemento hidráulico de hormigón. Midiendo el aumento en la masa de un espécimen resultante de la absorción de agua en función del tiempo cuando solo uno la superficie de la muestra está expuesta al agua. El espécimen es acondicionado en un ambiente a una humedad relativa estándar. Para inducir una condición de humedad consistente en el poro capilar sistema. La superficie expuesta del espécimen se sumerge en el agua y la entrada de agua de concreto insaturado está dominada por aspiración capilar durante el contacto inicial con agua¹³.
- **Resistencia a la compresión y módulo de elasticidad:** este procedimiento busca determinar la resistencia máxima a la compresión de una muestra frente a una carga de tipo axial, además del módulo de elasticidad, este último se halla a partir de una curva de esfuerzo y deformación, la cual se obtiene a partir de los datos que arroja la maquina universal. Es importante determinar el módulo de elasticidad ya que este influye directamente en deflexiones, derivas y rigidez de una estructura¹⁴.
- **Densidad, absorción y porosidad:** determinar estas características permite evaluar el desempeño del concreto cuando este se encuentre en funcionamiento, lo cual permitirá tener información acerca de durabilidad, resistencia, posibles patologías y determinar su vida útil.

¹³ ASTM International. 2013. *Standard test method for measurement of rate of absorption of water by hydraulic- Cement concretes*. 2013

¹⁴ Osorio, Jesus David. 2011. ARGOS. [En línea] 19 de Enero de 2011. [Citado el: 2 de Mayo de 2019.] <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/elasticidad-del-concreto>.


 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE FIBRAS PLÁSTICAS PET EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL MORTERO DE CEMENTO HIDRÁULICO</p>	<p>FECHA: 2019</p> <p>VERSIÓN 0</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------

2.1.2 Marco conceptual

- **Concreto:** Se denomina así a la mezcla de diferentes elementos (cemento, arena, grava, agua, aditivos-adiciones y aire), que al endurecerse se convierte en una piedra artificial, que con el paso de cierto tiempo tiene la capacidad de soportar grandes esfuerzos de compresión y algunos a tensión¹⁵.
- **Concreto modificado:** Es aquel que rompe los esquemas comunes de cemento, agua, agregados (arena y grava) y adiciones para igualar o mejorar las condiciones del concreto convencional.
- **Agregado grueso y fino:** Materiales que cuentan con resistencia propia y además suficiente, que al mezclarse con el cemento y otros componentes garantice cohesión. La gran mayoría de materiales se adaptan muy bien con el cemento lo cual hace que no haya ningún tipo de afectación a la hora de hacer la mezcla de concreto; sin embargo, hay algunos elementos, por lo general materiales que contienen un porcentaje de sílice, que presentan resistencia a las características mecánicas del concreto debido a que su fracción fina presenta actividades en virtud de sus propiedades hidráulicas. También se encuentran materiales nocivos o que presentan inconvenientes con la estructura del concreto y su durabilidad, como por ejemplo los que presentan compuestos sulfurados¹⁶.
- **Fibras:** son utilizadas con el fin de mejorar las propiedades y comportamiento en general del concreto o mortero.

¹⁵ Quintana Cruz Cristian Dario, Valencia Castro Plinio Andres. 2016. Analisis comparativo entre el concreto simple y el concreto con adición de fibra de acero al 12% y 14%. [En línea] 2016. p.12. [Citado el: 12 de Marzo de 2019.] <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/6378/5/Trabajo%20de%20grado%20Fibra%20de%20Acero.pdf>.

¹⁶ Ibid, p.13.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE FIBRAS PLÁSTICAS PET EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL MORTERO DE CEMENTO HIDRÁULICO</p>	<p>FECHA: 2019</p> <p>VERSIÓN 0</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------

- **Durabilidad del concreto:** habilidad para resistir diferentes situaciones, como lo es el intemperismo, ataque químico, abrasión, y cualquier otro proceso o condición de servicio de las estructuras, que produzcan deterioro del concreto¹⁷.
- **Tereftalato de polietileno:** El PET es un polímero, pertenece al grupo de materiales sintéticos denominados poliésteres. Este tipo de plástico es muy usado en envases de bebidas y textiles.

2.1.3 Marco legal


A continuación, se lista de manera general un marco normativo para la realización de ensayos para la caracterización de materiales y pruebas aplicables a las probetas de concreto hidráulico:

- NTC 118 - Ingeniería Civil y Arquitectura. Cementos. Método De Ensayo para Determinar el Tiempo de Fraguado del Cemento Hidráulico Mediante el Aparato de Vicat.
- NTC 127 - Concretos. Método de Ensayo para Determinar las Impurezas Orgánicas en Agregado Fino.
- NTC 1377 - Ingeniería Civil y Arquitectura. Elaboración y Curado de Especímenes de Concreto para Ensayos en el Laboratorio.
- NTC 176 - Ingeniería Civil y Arquitectura. Método de Ensayo para Determinar la Densidad y la Absorción del Agregado Grueso.
- NTC 221 - Ingeniería Civil y Arquitectura. Cementos. Método de Ensayo para Determinar la Densidad del Cemento Hidráulico

¹⁷ Bolognini, Humberto. 2004. SCRIBD. [En línea] Junio de 2004. p.2. [Citado el: 22 de Septiembre de 2018.] <https://es.scribd.com/document/298091060/TRABAJO-DE-ASCENSO-HBG-aprobado-pdf>.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE FIBRAS PLÁSTICAS PET EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL MORTERO DE CEMENTO HIDRÁULICO</p>	<p>FECHA: 2019</p> <p>VERSIÓN 0</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------

- NTC 237 - Ingeniería Civil y Arquitectura. Método para Determinar la Densidad y la Absorción del Agregado Fino.
- NTC 33 - Ingeniería Civil y Arquitectura. Método para Determinar la Finura del Cemento Hidráulico por Medio del Aparato Blaine de Permeabilidad al Aire.
- NTC 396 - Ingeniería Civil y Arquitectura. Método de Ensayo para Determinar el Asentamiento del Concreto.
- NTC 4025 - Concretos. Método de Ensayo para Determinar el Módulo de Elasticidad Estático y la Relación de Poisson en Concreto a Compresión.
- NTC 4325 - Ingeniería Civil y Arquitectura. Método de Ensayo para la Determinación de la Velocidad del Pulso Ultrasónico a Través del Concreto.
- NTC 454 - Ingeniería Civil y Arquitectura. Concreto fresco. Toma de Muestras.
- NTC 673 - Concretos. Ensayo de Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto.
- NTC 77 - Concretos. Método de Ensayo para el Análisis por Tamizado de los Agregados Finos y Gruesos
- NTC 92 - Ingeniería Civil y Arquitectura. Determinación de la Masa Unitaria y los Vacíos entre Partículas de Agregados.
- NT BUILD 492 - Non-Steady State Chloride Migration (Diffusion Coefficient).
- ASTM C 1585 – Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic – Cement Concretos.
- ASTM C 642 - Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE FIBRAS PLÁSTICAS PET EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL MORTERO DE CEMENTO HIDRÁULICO</p>	<p>FECHA: 2019</p> <p>VERSIÓN 0</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------

2.1.4 Estado del arte

Por medio de la búsqueda de estudios realizados de manera previa acerca del concreto con plástico tipo PET, se tiene información que muestra los avances y resultados en los últimos tiempos; a continuación, se hace un breve resumen de algunos documentos consultados.


Inicialmente una investigación muestra que el concreto obtenido es más ligero; para ello realizaron pruebas con diferentes tamaños de agregado tipo PET al cual le realizaron granulometrías con el fin de clasificarlo, se realizaron probetas y evaluaron resistencia a la compresión, para determinar si cumplía con los estándares requeridos. Llegan a la conclusión de que la resistencia a compresión máxima es de 16.72 MPa con una relación del 7% de agregado PET ligero¹⁸.

En el siguiente año se emplea el PET como reemplazo a la ceniza volante, dicho material se añade picado a la mezcla de concreto, se emplean las siguientes dosificaciones en porcentaje (25 - 50 - 75 y 100) en orden de 0.4mm de PET. De lo anterior, se llega la siguiente conclusión, las probetas analizadas con un 50% de plástico picado cuenta con un comportamiento que permite el uso de este concreto, además de lo ligero que llega a ser¹⁹.

En el último año se han adelantado varias investigaciones, de las cuales las más llamativas son un estudio de fibras sintéticas de PET con forma anular en una matriz de concreto, donde se evalúa la resistencia a la compresión, la tracción, la fractura y pruebas de flexión. Los resultados muestran que un aumento en el contenido de fibra mejora la resistencia a la tracción de la matriz de hormigón de ello se llega a la

¹⁸ Berkat Zebua, Winner Syukur y Nursyamsi. 2017. The influence of PET plastic waste gradations as coarse aggregate towards compressive strength of light concrete. [En línea] 2017. p.2.

¹⁹ Sosoi, Gavril, y otros. 2018. Wastes as aggregate substitution in polymer concrete. [En línea] 2018. p.2 <https://www.sciencedirect.com/journal/procedia-manufacturing/vol/13/suppl/C>.


 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE FIBRAS PLÁSTICAS PET EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL MORTERO DE CEMENTO HIDRÁULICO</p>	<p>FECHA: 2019</p> <p>VERSIÓN 0</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------

conclusión que los residuos de PET en forma de anillo producen hormigón fibroso con un rendimiento comparable al de las fibras sintéticas comerciales²⁰.

Para culminar, el método de revisión del plástico tipo PET en el comportamiento del concreto en los últimos años, se opta por la realización de mezclas de concreto con 0.9 y 1.8 kg/m³ de material reciclado, se elaboraron probetas y realizaron ensayos de capilaridad, permeabilidad, resistencia a tensión y compresión, de lo cual se determinó que estas fibras hacen que el concreto resista esfuerzos a tensión, disminuyendo la fisuración con 0.9 kg/m³, pero estas fibras causan mayor porosidad en el concreto alterando otras propiedades de este como por ejemplo la permeabilidad²¹.

²⁰ Irwama, J.M, Wan, Ibrahim y Othmanb, Shahidan. Performance of plastic wastes in fiber-reinforced concrete beams. [En línea]. p.1.

²¹ Baricevic, Ana, y otros. 2018. Effect of polymer fibers recycled from waste tires on properties of wet-sprayed concrete. [En línea] 9 de mayo de 2018. p.2. [Citado el: 27 de septiembre de 2018.]

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE FIBRAS PLÁSTICAS PET EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL MORTERO DE CEMENTO HIDRÁULICO</p>	<p>FECHA: 2019</p> <p>VERSIÓN 0</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------

2.2 METODOLOGÍA

- Búsqueda de materia prima (fibras de plástico tipo PET), debido al alcance del proyecto en cuanto a tiempo, se opta por adquirir las fibras de una fábrica especializada en transformar las botellas PET recicladas en macrofibras.
- Realizar caracterización de agregado fino, fibra y cemento.
- Realizar diseño de mezcla de mortero de cemento hidráulico para determinados porcentajes de inclusión de fibras, se opta por realizar muestras de mortero ya que este es considerado representativo al concreto, además de que cuenta con una variable menos que el concreto hidráulico (agregado grueso).
- Elaboración de probetas y cubos de mortero de cemento hidráulico convencional y modificado.
- Realización de pruebas de laboratorio a probetas y cubos de mortero hidráulico con fibras de Tereftalato de polietileno como lo son: resistencia a la compresión y módulo de elasticidad, sortividad, penetración de cloruros, densidad, absorción y porosidad; los cuales permiten determinar características mecánicas y de durabilidad.
- Evaluación del desempeño de mortero de cemento hidráulico modificado frente al mortero de cemento hidráulico convencional, por medio de los resultados obtenidos de los ensayos realizados.

2.2.1 Tipo de Estudio

Investigación experimental.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE FIBRAS PLÁSTICAS PET EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL MORTERO DE CEMENTO HIDRÁULICO</p>	<p>FECHA: 2019</p> <p>VERSIÓN 0</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------

3 CAPITULO 1: CARACTERIZACIÓN DE MATERIAS PRIMAS

Para la elaboración de especímenes de mortero se emplea arena normalizada, cemento Samper tipo I, y macrofibras de la empresa ACEBRI, materiales transportados y acopiados en la Universidad Católica de Colombia, para posterior realización de caracterización, la cual es fundamental para la elaboración del diseño de mezcla y elaboración de especímenes de acuerdo a la normativa colombiana.

A continuación, se presentan los diferentes ensayos y resultados realizados a los materiales que se usaron en la elaboración de los diferentes especímenes y una breve explicación de los métodos y técnicas usadas para el desarrollo de esta investigación, además se presenta evidencia fotográfica de los ensayos realizados [Anexo A]. Para determinar las características de los componentes del mortero se tiene lo siguiente:

Para cada tipo de material se toman tres (3) muestras las cuales son analizadas de acuerdo a la normativa nombrada en el marco legal y necesarias para elaborar un diseño de mezcla.

3.1 AGREGADO FINO


3.1.1 Humedad natural

La determinación de este ensayo permite tener el dato de la cantidad de agua que contiene el agregado estando en su estado natural, para ello, se toma una muestra de 500gr., de agregado en su estado natural, el cual es pesado y posteriormente llevado al horno a una temperatura de 110 ± 5 °C durante 24 horas, al finalizar este periodo se procede a pesar nuevamente el material, lo anterior permitirá hallar la humedad natural del agregado; se emplea la siguiente ecuación para determinar el porcentaje de humedad natural:

$$w(\%) = \frac{W_n - W_s}{W_n} \text{ ec. 2-1}$$

Donde:

W_n : Peso natural de la muestra.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE FIBRAS PLÁSTICAS PET EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL MORTERO DE CEMENTO HIDRÁULICO</p>	<p>FECHA: 2019</p> <p>VERSIÓN 0</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------

W_s : Peso seco de la muestra.

Siguiendo la formula se obtienen los siguientes datos de las muestras [Tabla 1]:

Tabla 1. Resultados humedad natural.

Humedad Natural del Agregado			
Material	W natural	W seco	W
-	gr	gr	%
M1	500	499,8	0,04
M2	500	499,6	0,08

Fuente. Los autores.

3.1.2 Densidad y absorción

Por medio de este ensayo se halla la el aumento en la masa del agregado, debido al agua que se acumula en los poros del material y la relación que se da entre la masa y volumen del agregado; el procedimiento de este ensayo consiste en tomar una muestra representativa del material 500 ± 5 gr., el cual es llevado al horno a temperatura de 110 ± 5 °C durante 24 horas, pasado este periodo de tiempo; la muestra es sumergida en agua durante 24 horas, posteriormente se decanta el agua evitando perder agregado y se extiende el material sobre una superficie plana no absorbente y al aire libre; esto con el fin de que la muestra llegue a estado saturado superficialmente seco (SSS); para asegurarse de que la muestra se encuentre en dicho estado se utiliza un cono el proceso consiste, en llenar el cono con tres capas de material por cada capa se dan 25 golpes de caída libre con un pisón especial, al completar lo anterior se retiran excesos y se enrasa, con mucho cuidado es levantado el cono; si el material mantiene la forma del cono está demasiado húmedo, si pierde totalmente la forma la muestra perdió demasiada humedad pero, si la muestra levemente se asienta pero aún mantiene forma de cono quiere decir que se encuentra en estado saturado superficialmente seco (SSS).

Teniendo la muestra en estado SSS se procede a tomar 500 ± 5 gr. de material el cual se introduce en un picnómetro, este es llenado con agua hasta la marca de calibración, se deben sacar vacíos del picnómetro y luego tomar peso de muestra

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE FIBRAS PLÁSTICAS PET EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL MORTERO DE CEMENTO HIDRÁULICO</p>	<p>FECHA: 2019</p> <p>VERSIÓN 0</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------

con picnómetro y agua luego, se vacía la muestra en un recipiente y es llevado al horno a 110 ± 5 °C durante 24 horas, pasado este tiempo se toma el peso seco del material y con esto concluye el ensayo; teniendo los datos requeridos se emplean las siguientes formulas:

$$\delta = \frac{W_s}{V} \text{ ec. 2-2}$$

Donde:

W_s = Peso de la muestra seca

V = Volumen que ocupa la muestra

$$\gamma = \delta * g \text{ ec. 2-3}$$

Donde:

δ = Densidad de la muestra.

g = Gravedad (Asumida como 9.81 m/s^2)

Empleando dichas formulas se obtiene la siguiente información de caracterización para las muestras [Tabla 2] – [Tabla 3].

Tabla 2. Resultados densidad y peso específico

Densidad y Peso Especifico del Agregado					
Material	W muestra	V total	V muestra	δ	γ
-	gr	ml	ml	(gr/cm ³)	(KN/m ³)
M1	499,8	440	190	2,63	26,31
M2	420,8	410	160	2,63	26,3

Fuente. Los autores.

Tabla 3. Resultados % de absorción


% de Absorción de los Agregados			
Material	W natural	W seco	Absorción
-	gr	gr	%
M1	500	486,3	2,74
M2	500	485,7	2,86

Fuente. Los autores.

3.1.3 Masa unitaria

Permite hallar la relación existente entre la masa de un agregado y el volumen que ocupa, lo cual es fundamental al momento de realizar diseños de mezcla para determinar las proporciones necesarias.

El procedimiento a realizar esta descrito por la norma NTC 092, se debe determinar masa unitaria suelta y compacta; la masa unitaria suelta básicamente consiste en llenar un molde hasta que este se encuentre totalmente lleno luego, se enrasa y procede a ser pesado, lo anterior se realiza tres (3) veces; para la masa unitaria compacta se debe llenar el molde en tres (3) capas homogéneas, por cada capa se apisona el material con 25 golpes, al finalizar se enrasa y se pesa, de igual manera este procedimiento se realiza tres (3) veces. Realizando todo este procedimiento se emplean las fórmulas que se presentan a continuación para determinar masa unitaria suelta y apisonada:

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	INFLUENCIA DE FIBRAS PLÁSTICAS PET EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL MORTERO DE CEMENTO HIDRÁULICO	FECHA: 2019 VERSIÓN 0
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------

$$M = \frac{W_{mm} - W_m}{V} \text{ ec. 2-4}$$

Donde:

W_{mm} = Peso del material y el molde

W_m = Peso del molde.

V = Volumen del molde, en este caso 2500 ml o 2500 cm³.

De acuerdo a lo anterior, los valores para masa unitaria suelta [Tabla 4] y compacta [Tabla 5], es la siguiente:

Tabla 4. Resultados masa unitaria suelta

Masa Unitaria Suelta del Agregado				
Material	W mate + molde	W molde	V molde	MUS
-	gr	gr	ml	(gr/cm ³)
M1	6854	2715	2500	1,66
M2	6826	2715	2500	1,64

Fuente. Los autores.


Tabla 5. Resultados masa unitaria compactada

Masa Unitaria Compactada del Agregado				
Material	W mate + molde	W molde	V molde	MUC
-	gr	gr	ml	(gr/cm ³)
M1	7154	2715	2500	1,78
M2	7198	2715	2500	1,79

Fuente. Los autores.

3.1.4 Granulometría

El análisis granulométrico permite determinar las cantidades y los tamaños de las partículas que conforman el material. Este ensayo se realiza según la norma ASTM C 33, a continuación, se presenta la serie de tamices usada para dicho ensayo:

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	INFLUENCIA DE FIBRAS PLÁSTICAS PET EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL MORTERO DE CEMENTO HIDRÁULICO	FECHA: 2019 VERSIÓN 0
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------

Serie de tamices: 4, 10, 12, 16, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100 y 200.

A continuación, se presenta el ensayo de granulometría para muestra 1 [Tabla 6], y muestra 2 [Tabla 8] de agregado utilizado en esta investigación:

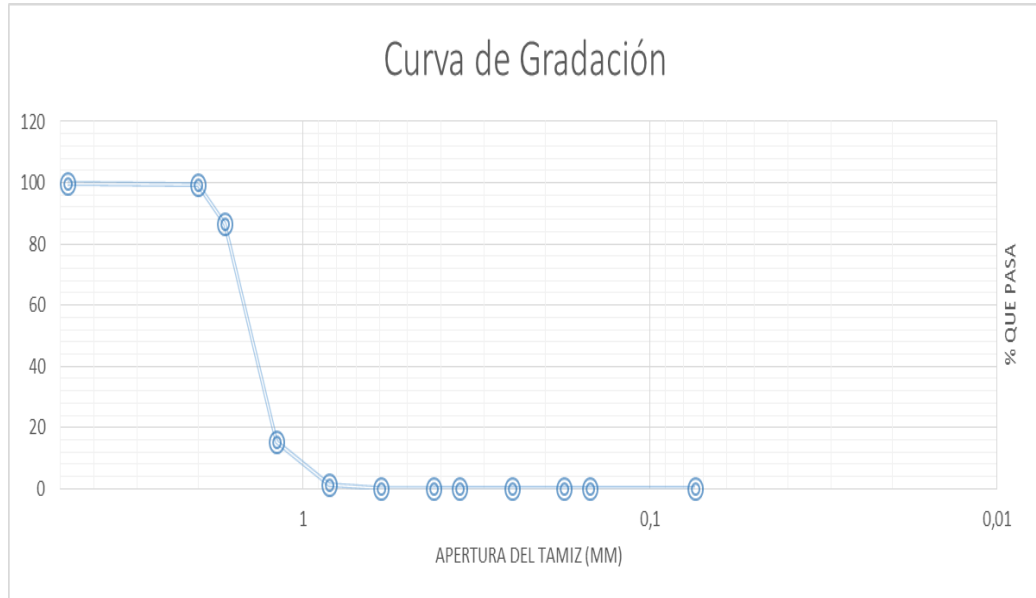
3.1.4.1 Muestra 1 análisis granulométrico y parámetros hallados a partir de gradación

Tabla 6. Resultados análisis granulométrico para muestra 1

ANALISIS GRANULOMETRICO M1				
Tamiz	W Retenido	Pasa	Retenido	Retenido Acumulado
#	(gr)	(%)	(%)	(%)
4	0	100	0	0
10	0,6	99,4	0,6	0,6
12	12,6	86,8	12,6	13,2
16	71,5	15,4	71,5	84,6
20	14,1	1,3	14,1	98,7
30	1,3	0	1,3	100
40	0	0	0	100
50	0	0	0	100
60	0	0	0	100
80	0	0	0	100
100	0	0	0	100
200	0	0	0	100
Fondo	0	0	0	-
Total	100,1			

Fuente. Los autores.

Figura 2. Curva de gradación muestra 1



Fuente. Los autores.

Tabla 7. Parámetros de granulometría para muestra 1

Parámetros	
Grava (%)	13,2
Arena (%)	86,8
Finos (%)	0
Clasificada	SP
Coef. Curvatura Cc	1,05
Coef. Uniformidad Cu	1,43
Diámetro efectivo D10	1,05
Modulo de finura	8,97

Fuente. Los autores.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE FIBRAS PLÁSTICAS PET EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL MORTERO DE CEMENTO HIDRÁULICO</p>	<p>FECHA: 2019</p> <p>VERSIÓN 0</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------

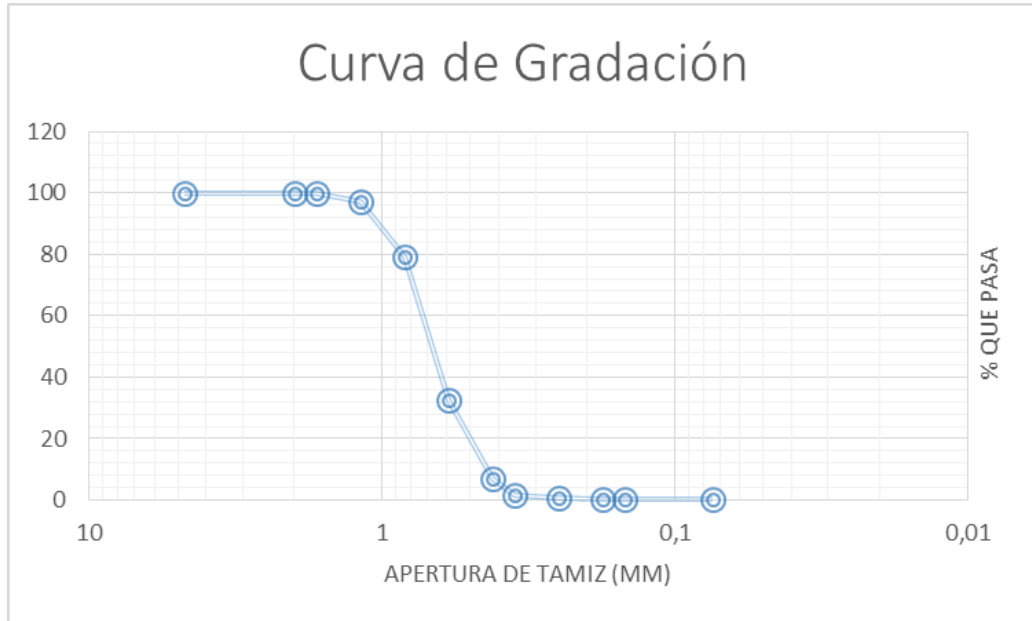
3.1.4.2 Muestra 2 análisis granulométrico y parámetros hallados a partir de gradación

Tabla 8. Análisis granulométrico para muestra 2

ANALISIS GRANULOMETRICO M2				
Tamiz	W Retenido	Pasa	Retenido	Retenido Acumulado
#	(gr)	(%)	(%)	(%)
4	0	100	0	0
10	0	100	0	0
12	0	100	0	0
16	2,9	97,1	2,9	2,9
20	18,1	79	18,1	21
30	46,2	32,7	46,3	67,3
40	25,6	7	25,7	93
50	5,4	1,6	5,4	98,4
60	0,7	0,9	0,7	99,1
80	0,5	0,4	0,5	99,6
100	0	0,4	0	99,6
200	0	0,4	0	99,6
Fondo	0,4	0	0,4	
Total	99,8			

Fuente. Los autores.

Figura 3. Curva de gradación muestra 2



Fuente. Los autores.

Tabla 9. Parámetros de granulometría muestra 2

Parámetros	
Grava (%)	0
Arena (%)	99,6
Finos (%)	0,4
Clasificada	SP
Coef. Curvatura Cc	1,02
Coef. Uniformidad Cu	1,67
Diametro efectivo D10	0,45
Modulo de finura	6,81

Fuente. Los autores.

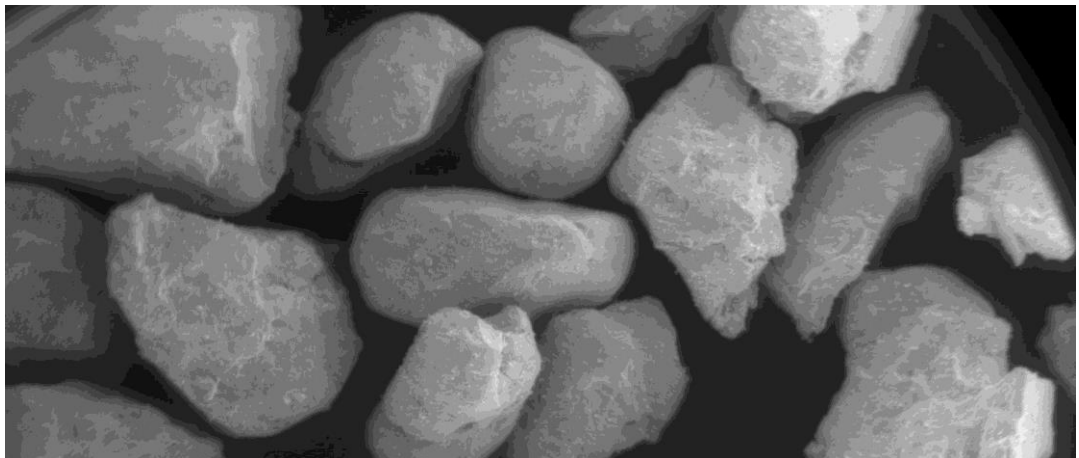
 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE FIBRAS PLÁSTICAS PET EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL MORTERO DE CEMENTO HIDRÁULICO</p>	<p>FECHA: 2019 VERSIÓN 0</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------

Con el fin de obtener mayor información sobre el material analizado se toman fotografías especializadas con el fin de diferenciarlos.

3.1.5 Fotografías microscópicas del agregado

Permiten ver de manera detallada la forma del grano que conforma el material a usar, esto permite saber cuál es la microestructura que posee el agregado (geometría y superficie) [Figura 4], [Figura 5]. (Ensayo realizado en la Universidad Nacional de Colombia).

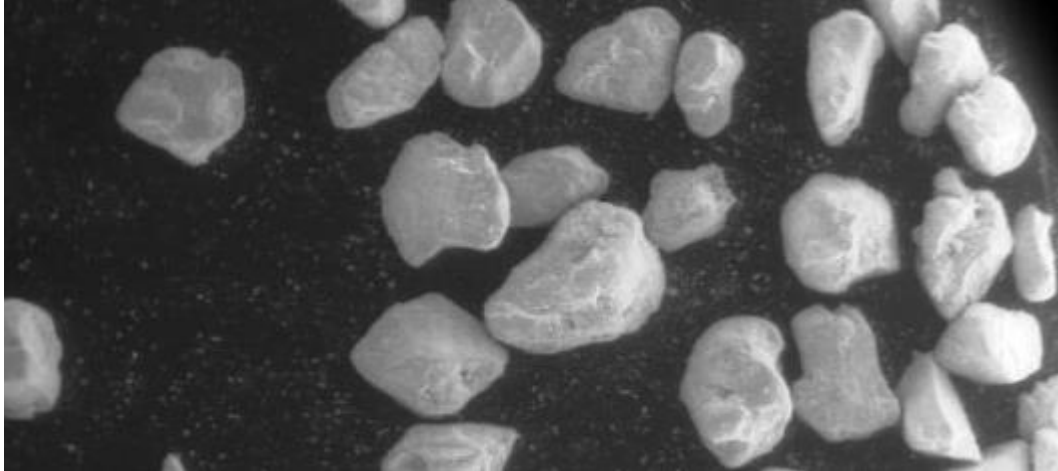
Figura 4. Aumento 34 X para muestra 1



Fuente. Los autores.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE FIBRAS PLÁSTICAS PET EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL MORTERO DE CEMENTO HIDRÁULICO</p>	<p>FECHA: 2019 VERSIÓN 0</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------

Figura 5. Aumento 34 X para muestra 2



Fuente. Los autores.

3.1.6 Caracterización Química (prueba de fluorescencia de rayos X)

Se realiza para conocer la composición que tiene el agregado; por ello, se emplea el ensayo de fluorescencia de rayos X sobre una muestra de agregado, lo cual determina la mayoría de elementos y compuestos químicos que hacen parte de este. (Ensayo realizado en la Universidad Nacional de Colombia).

A partir de ello, se presenta datos obtenidos [Tabla 10]:

Tabla 10. Composición química de la arena.

Composición Química de la Arena para la Fabricación de las Muestras	
<i>Elemento y/o Compuesto</i>	<i>% en Peso</i>
SiO ₂	97.821
Al ₂ O ₃	0.981
Fe ₂ O ₃	0.693
TiO ₂	0.169
P ₂ O ₅	0.097
MgO	0.095
CaO	0.064
K ₂ O	0.027
Cr	0.018
Zr	0.013
MnO	0.011
SiO ₂	0.005
Sr	0.004
Zn	0.002

Fuente. Los autores.

3.2 CEMENTO

Las características del cemento son un poco más sencillas de hallar, esto como resultado a la caracterización que este debe tener para ser comercializado [Tabla 11]. Por lo anterior se toma la información suministrada por el fabricante, sumado a ello se realiza ensayo químico para tener presente la composición química del cemento [Tabla 12].

3.2.1 Parámetros físicos

Tabla 11. Parámetros físicos del cemento

Parámetros	
Densidad (gr/cm ³)	2.95
Fraguado inicial mínimo (min)	90
Fraguado final máximo (min)	320
Expansión autoclave máximo (%)	0.80
Expansión en agua máximo (%)	0.02
Resistencia a 3 días (MPa)	9.0
Resistencia a 7 días (MPa)	16.0
Resistencia a 28 días (MPa)	26.0

Fuente. Los autores.

3.2.2 Parámetros químicos

Tabla 12. Parámetros químicos del cemento

Parámetros	
MgO (%)	6.00
SO (%)	3.50

Fuente. Los autores.

3.2.3 Ensayo de fluorescencia de rayos X

Al igual que el agregado fino se realiza este ensayo, para conocer la composición química presente en el cemento. (Ensayo realizado en la Universidad Nacional de Colombia).

A continuación, se presenta [Tabla 13], la información recopilada:

Tabla 13. Composición química del cemento.

Composición Química del Cemento para la Fabricación de las Probetas	
<i>Elemento y/o Compuesto</i>	<i>% en Peso</i>
CaO	60.416
SiO ₂	21.465
Al ₂ O ₃	5.578
SO ₃	4.653
Fe ₂ O ₃	3.835
MgO	1.415
K ₂ O	0.719
Na ₂ O	0.625
Cl	0.430
TiO ₂	0.359
Sr	0.249
P ₂ O ₅	0.179
MnO	0.051
Zn	0.019
Rb	0.008

Fuente. Los autores.

3.3 FIBRA

Para la realización de especímenes se opta por usar fibras elaboradas por la empresa ACEBRI las cuales cumplen con las características requeridas para la elaboración de esta investigación (fibras de plástico reciclado tipo PET).


La fibra presenta diferentes propiedades físicas que son importantes e influyentes en el comportamiento del mortero. Ya que la universidad no cuenta con el equipo necesario estos ensayos son realizados en la Universidad Nacional de Colombia.

En dichos ensayos se determina longitud, diámetro, densidad y resistencia a la tensión. A continuación, se presentan características encontradas en una muestra tomada [Tabla 14].

Tabla 14. Parámetros de la fibra.

Parámetros	
Diametro (mm)	0,68
Longitud (mm)	26±2
Densidad (g/cm ³)	1,26
Resistencia a tensión (Mpa)	387

Fuente. Los autores.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE FIBRAS PLÁSTICAS PET EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL MORTERO DE CEMENTO HIDRÁULICO</p>	<p>FECHA: 2019</p> <p>VERSIÓN 0</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------

4 CAPITULO 2: DISEÑO DE MEZCLA Y ELABORACIÓN DE MUESTRAS

El diseño de mezcla y la elaboración de probetas se realizan de acuerdo a las normas expuestas en el marco legal y que garantizan que los resultados obtenidos serán acertados, se realiza evidencia fotográfica, la cual muestra los ensayos realizados en laboratorio [Anexo B].

4.1 DISEÑO DE MEZCLA

El diseño de mezcla se realiza teniendo en cuenta la norma NTC 220 elaboración de cubos de mortero de cemento hidráulico y NTC 3937 arena normalizada para ensayos de cemento hidráulico. Para la dosificación de la mezcla de mortero se debe tener en cuenta las propiedades de los materiales que harán parte de esta; las caracterizaciones realizadas a cada material permiten tener datos necesarios para ello.

Según la NTC 220 las proporciones en masa para formar un mortero convencional deben ser de una parte de cemento por 2,75 partes de arena normalizada seca según NTC 3937, la relación agua cemento debe ser de 0,48; para la adición de fibras se tomaron proporciones de 0,25 – 0,50 – 0,75 y 1,0 % respectivamente, dicho porcentaje es respecto a la masa total del cemento a usar.

De acuerdo a lo anterior el diseño de mezcla obtenido es el siguiente [Tabla 15].

Tabla 15. Diseño de mezcla.

Adición Fibra		Agregado	Cemento	Agua
%	Kg	Kg	Kg	Kg
0,00	0,0000	7,94	2,89	1,32
0,25	0,0072	7,94	2,89	1,32
0,50	0,0144	7,94	2,89	1,32
0,75	0,0216	7,94	2,89	1,32
1,00	0,0289	7,94	2,89	1,32

Fuente. Los autores.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE FIBRAS PLÁSTICAS PET EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL MORTERO DE CEMENTO HIDRÁULICO</p>	<p>FECHA: 2019</p> <p>VERSIÓN 0</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------

4.2 ELABORACION DE MUESTRAS


Para la elaboración de muestras se tiene en cuenta la norma NTC 220 la cual trata sobre la elaboración de cubos de mortero de cemento hidráulico y para los cilindros de mortero se emplea la norma NTC 1377 elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos en laboratorio.

4.2.1 Cubos de mortero

Se prepara el mortero de acuerdo a las proporciones especificadas por la norma, se realiza la mezcla del mortero de manera mecánica de acuerdo al procedimiento descrito en la norma, se debe garantizar que la mezcla tenga un flujo de 110 ± 5 en 25 golpes con la mesa de flujo, una vez obtenida la mezcla se procede a elaborar los cubos; se hace llenado en dos capas, cada una con una altura de 25 mm aproximadamente, se dan 32 golpes por capa con el compactador de acuerdo a como lo establece la norma en el ítem (10.3.3), al finalizar dicha ejecución se enrasa y eliminan excesos. Luego, se colocan los moldes a cámara húmeda durante un periodo de 24 horas asegurando que las caras descubiertas estén protegidas y no les pueda caer agua.

4.2.2 Cilindros de mortero

Teniendo la información correspondiente al diseño de mezcla, se procede a tomar las cantidades necesarias para la elaboración de dichas muestras teniendo en cuenta la dosificación de adición (fibras), inicialmente se mezclan las dos arenas normalizadas hasta obtener una mezcla homogénea posterior a ello se agrega el cemento y se continua con la mezcla, cuando se presenta homogeneidad se agregan las fibras de acuerdo al porcentaje de adición requerido, se debe tener especial cuidado y agregarlas de manera paulatina ya que agregarlas de manera rápida genera aglomeración de estas y no permite una unión entre todos los elementos; al finalizar dicho proceso se acomoda la mezcla de tal manera que tome el aspecto de un cono, se hace un pequeño hoyo y se empieza a agregar el agua. Para las mezclas que contienen adición de fibra se agregó plastificante en una proporción 0,076 % con respecto al peso total de agua para la mezcla, se emplea

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE FIBRAS PLÁSTICAS PET EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL MORTERO DE CEMENTO HIDRÁULICO</p>	<p>FECHA: 2019</p> <p>VERSIÓN 0</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------

plastificante para tener una manejabilidad adecuada y realizar los cilindros con mayor facilidad.

Para el llenado de los moldes, se debe asegurar el correcto armado de la estructura y engrasado de esta; se procede a verter el mortero en los moldes en 3 capas que tengan la misma altura, para cada capa se debe apisonar con 25 golpes con el extremo redondeado de la varilla. Finalizado lo anterior se retiran excesos y engrasa.

Al culminar los procedimientos descritos anteriormente, las muestras se dejan fraguar durante 24 horas a una temperatura de 20°C, pasado este tiempo se procede a desencofrar especímenes y ser sumergidos para iniciar proceso de curado.

4.2.3 Proceso de curado

Este proceso permite que el mortero obtenga su resistencia, consiste en mantener el mortero o concreto saturado hasta que los espacios de cemento fresco que en un inicio están llenos de agua sean reemplazados por los productos de hidratación del cemento²²

Para esta investigación se emplea el método estándar, el cual consiste en mantener las muestras en una alberca con agua durante 28 días. Pasado este tiempo, las muestras se sacan y se dejan secar al aire libre para proceder con los ensayos requeridos.

²² HIGUERA FLÓREZ, Hector Camilo, 2016. *Simulación multifísica y multifase del ensayo de migración del ión cloruro en el concreto (NT Build 492) teniendo en cuenta los fenómenos de adsorción e interacción iónica*. S.l.: s.n.p.146.

5 CAPITULO 3: CARACTERIZACIÓN DE MUESTRAS

5.1 PREPARACIÓN DE MUESTRAS

Figura 6. Muestras en proceso de curado.



Fuente. Los autores.

Para la preparación de las muestras, se cortan los cilindros de la siguiente manera, se hace un corte inicial a una de las caras del cilindro de 2 cm (evitando segregación del material), luego, se hacen 3 cortes de 5 cm cada uno los cuales serán usados para realizar ensayo de densidad y absorción, sortividad y NT Build 492, la parte sobrante es desechada por precaución a segregación del material. Se realiza evidencia fotográfica de los ensayos realizados en laboratorio [Anexo C].

5.2 MECÁNICOS

5.2.1 Compresión y módulo de elasticidad (NTC 4025)

Este procedimiento tiene como objetivo determinar la resistencia máxima a la compresión de una muestra frente a una carga de tipo axial, además del módulo de elasticidad presente, el cual se halla a partir de la curva de esfuerzo y deformación la cual se obtiene de los datos arrojados por la maquina (carga- desplazamiento).

A continuación, se presenta recopilación de graficas de resultados con módulos de elasticidad y la resistencia máxima a compresión de las diferentes muestras.

5.2.1.1 Resultados resistencia a la compresión y módulo de elasticidad para las muestras

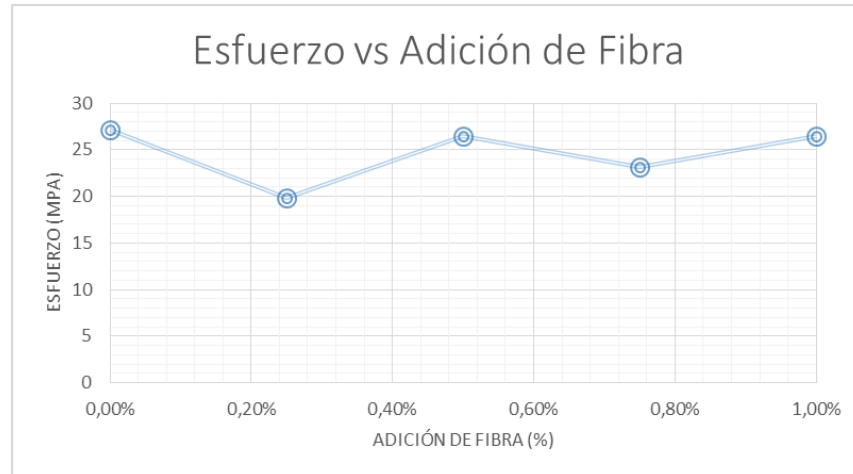
Tabla 16. Resultados resistencia a la compresión y módulo de elasticidad.

Resultados Resistencia a la Compresión y Módulo de Elasticidad					
Adición (%)	0,00	0,25	0,50	0,75	1,00
Esfuerzo (MPa)	27,107	19,820	26,490	23,212	26,486
Modulo de Elasticidad (MPa)	24787,087	21969,057	29937,619	19608,874	25131,893

Fuente. Los autores.

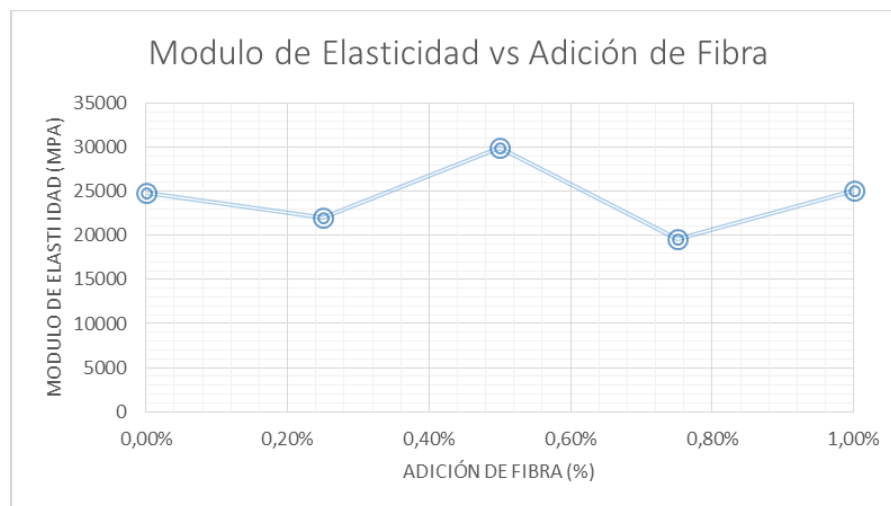
5.2.1.2 Graficas de resistencia a la compresión y módulos de elasticidad promedio para las muestras

Figura 7. Relación esfuerzo y adición de fibra.




Fuente. Los autores.

Figura 8. Relación módulo de elasticidad y adición de fibra.



Fuente. Los autores.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE FIBRAS PLÁSTICAS PET EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL MORTERO DE CEMENTO HIDRÁULICO</p>	<p>FECHA: 2019</p> <p>VERSIÓN 0</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------

5.3 FÍSICOS

5.3.1 Densidad, absorción y porosidad (ASTM C 642)

Este ensayo permite obtener la variación de masa de la muestra de mortero debido a la acumulación de agua en los poros de esta, además de la relación entre masa y volumen de la probeta. Consiste en llevar el espécimen a estado saturado superficialmente seco (SSS) y tomar este peso después, la muestra se sumerge y nuevamente se toma un peso, para finalizar la muestra se lleva al horno durante 24 horas a una temperatura de 110 ± 5 °C y se toma un último peso. De acuerdo a lo anterior se realizan los cálculos necesarios para determinar dichas características.

5.3.1.1 Resultados de densidad, absorción y porosidad para las muestras

Tabla 17. Resultados densidad, absorción y porosidad.

Resultados Densidad, Absorción y Porosidad					
Adición (%)	0,00	0,25	0,50	0,75	1,0
Absorción Después de Inmersión (%)	8,355	5,816	6,251	6,225	6,226
Densidad Bulk Seca (gr/cm ³)	2,036	2,089	2,058	2,058	2,036
Densidad Aparente (gr/cm ³)	2,454	2,378	2,362	2,360	2,331
Volumen de Permeabilidad (%)	17,012	12,148	12,866	12,809	12,675

Fuente. Los autores.

5.3.2 Sortividad

Este método se utiliza para determinar el tiempo de absorción de agua del mortero y evidenciar el cambio de masa. Para realizarlo se requiere una bandeja la cual contendrá en su interior una rejilla (soporte de muestras), se debe garantizar una lámina de agua de 1 cm aproximadamente, se colocan las muestras en la bandeja y en determinados tiempos se realiza toma de peso, lo cual permite obtener una gráfica de tiempo vs absorción.

5.3.2.1 Resultados de sortividad para las muestras.

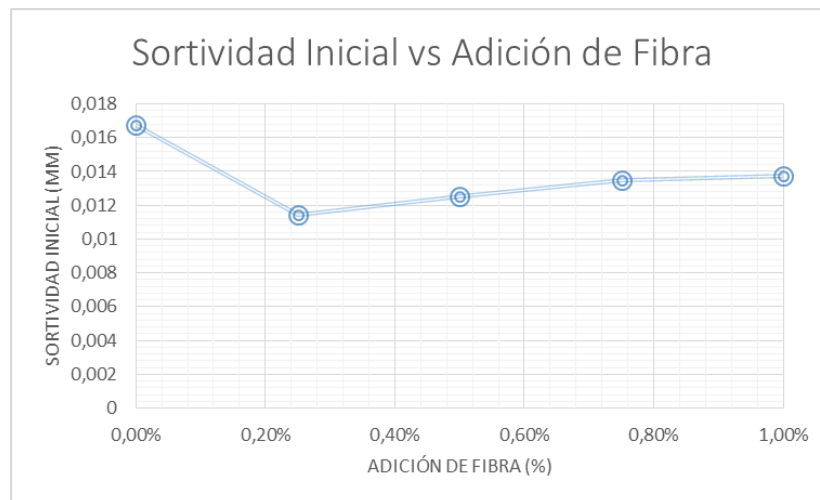
Tabla 18. Resultados de sortividad.

Resultados Sortividad					
Adición (%)	0,00	0,25	0,50	0,75	1,00
Sortividad Inicial (mm)	0,0164	0,1368	0,1498	0,1614	0,1522
Sortividad Final (mm)	0,0015	0,0114	0,0127	0,0149	0,0134

Fuente. Los autores.

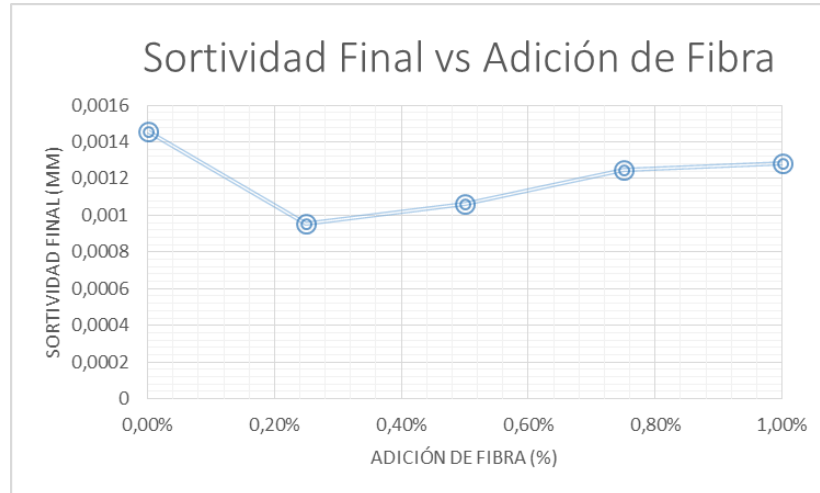
5.3.2.2 Graficas sortividad inicial y final para las muestras.

Figura 9. Relación sortividad inicial y adición de fibra.



Fuente. Los autores.

Figura 10. Relación sortividad final.



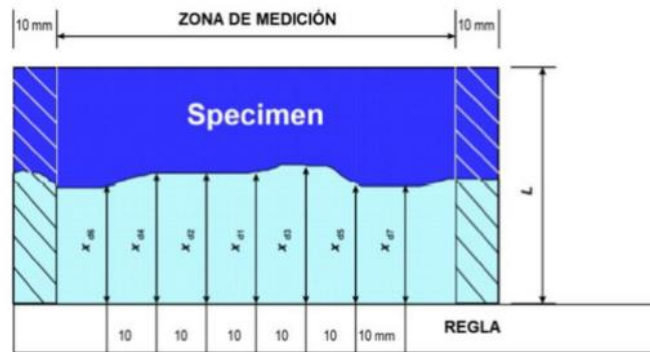
Fuente. Los autores.

5.4 DURABILIDAD

5.4.1 Penetración de cloruros (NT Build - 492)

Este ensayo determina la resistencia del material a compuestos químicos (Ión Cloruro Cl⁻). Consiste en aplicar un potencial eléctrico externo de manera axial a través de la muestra, lo cual hace que los iones de cloruro Cl⁻ migren al espécimen; después de cierto tiempo de prueba la muestra se corta de manera axial, luego se aplica una solución de nitrato de plata sobre una de las caras, luego se puede observar la penetración de ión, luego se debe determinar la profundidad de penetración; para ello se hace un corte a la mitad de la muestra de tal manera que se pueda observar la penetración del cloruro, para determinar la profundidad se toman lecturas de alturas cada 10 mm, con estos datos se realiza un promedio y así se halla la profundidad de penetración, se presenta la manera de cómo debe ser la toma de datos de penetración de cloruros [Figura 11], además de una fotografía que muestra la penetración de cloruro en una de las muestras analizadas [Figura 12].

Figura 11. Localización y penetración de cloruros NT Build 492.



Fuente. GARZÓN, RICARDO ANDRÉS BERMÚDEZ, 2016. Informe de implementación y determinación de la migración de cloruros, resistividad y sortividad en concreto reciclado con diferentes porcentajes de reemplazo de AGREGADO FINO. S.I.: Universidad de La Salle.p.40.

.Figura 12. Penetración de cloruros en muestra analizada.



Fuente. Los autores.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE FIBRAS PLÁSTICAS PET EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL MORTERO DE CEMENTO HIDRÁULICO</p>	<p>FECHA: 2019</p> <p>VERSIÓN 0</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------

5.4.1.1 Resultados penetración de cloruros para las muestras.

Tabla 19. Resultados ensayo NT Build 492.

Resultados Difusión y Penetración (Ión Cloruro)					
Promedio muestras	0,00%	0,25	0,5	0,75	1
T (°C)	21	21	21	21	21
L (mm)	50	50	50	50	50
U (V)	30	30	30	30	30
t (hr)	24	24	24	24	24
x_d (mm)	32,5	31,48	30,35	30,27	29,48
$D_{nssm} \times 10^{-12}$ (m ² /s)	15,46	14,86	14,30	14,34	13,87

Fuente. Los autores.

6 CAPITULO 4: ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo, se presenta el análisis de resultados obtenidos en el capítulo anterior, además se presenta una explicación de acuerdo a los resultados obtenidos.

6.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE LAS MUESTRAS

A continuación, se presenta resumen de resultados utilizados para realizar las relaciones pertinentes, [Tabla 20].

Tabla 20. Resumen de resultados obtenidos.

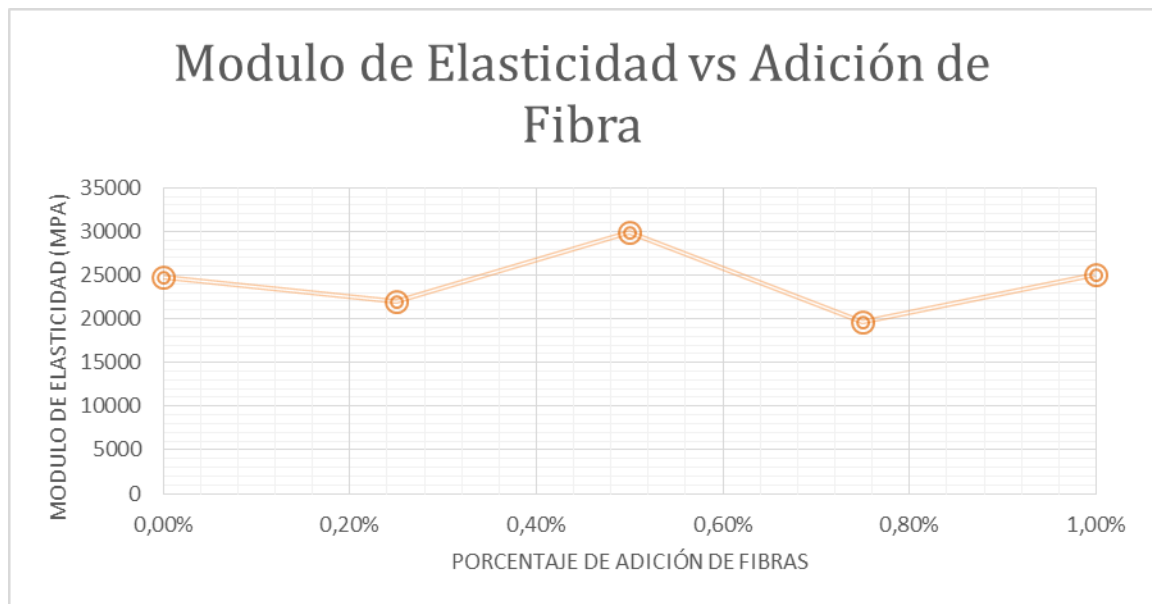
Ensayos	Unidad	0%	0,25%	0,50%	0,75%	1%
Absorción	%	8,355	5,816	6,251	6,225	6,226
Densidad Aparente	g/cm ³	2,454	2,378	2,362	2,360	2,331
Modulo de Elasticidad	MPa	24787,087	21969,057	29937,619	19608,874	25131,893
Fc	MPa	27,107	19,820	26,490	23,212	26,486
NT-build 492	m ² /s(x10 ⁻¹²)	15,46	14,860	14,300	14,340	13,870
Sortividad	mm	0,0125	0,0114	0,0127	0,0149	0,0133
Volumen de Porosidad	%	17,012	12,148	12,886	12,809	12,675

Fuente. Los autores.

6.1.1 Relación módulo de elasticidad vs adición de fibra

La relación entre el módulo de elasticidad de las muestras de mortero y la adición de fibra se puede analizar en la siguiente figura:

Figura 13. Relación módulo de elasticidad y adición de fibra.



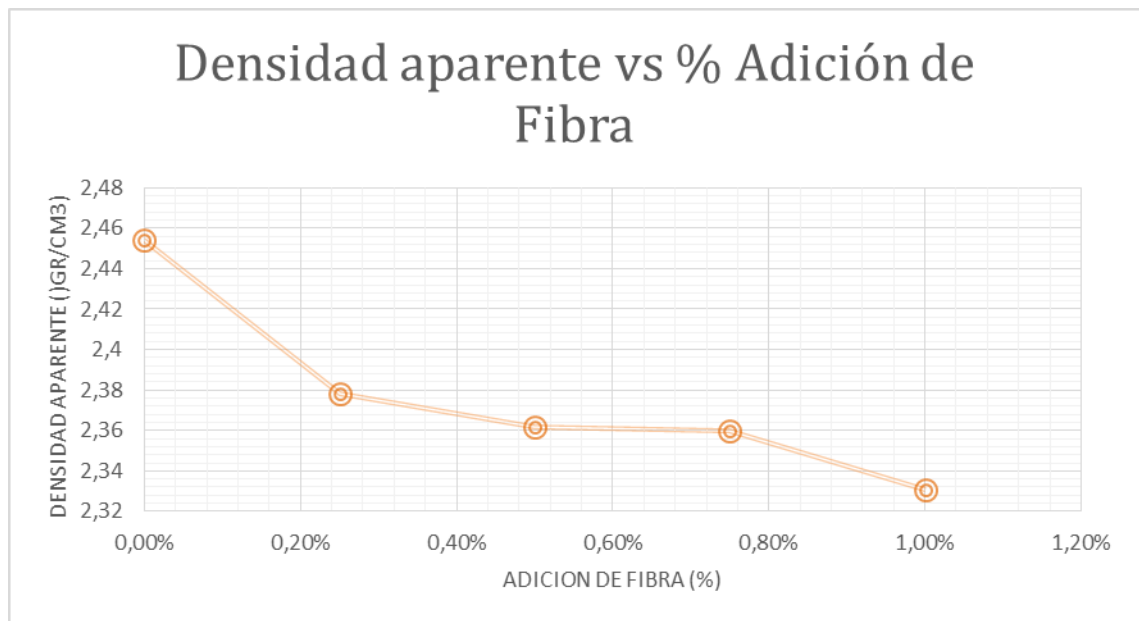
Fuente. Los autores.

Se puede observar [Figura 13], que los módulos de elasticidad presentan un comportamiento que tiende a ser lineal, por lo cual se analiza que el módulo de elasticidad presenta un comportamiento similar al del mortero sin adición, lo anterior se evidencia en la muestra con adición del 0,50% la cual presenta un módulo de elasticidad por encima del mortero convencional, esta característica del mortero modificado indica para este porcentaje de adición se obtendrá un mortero con una rigidez mayor.

6.1.2 Relación densidad aparente vs % adición de fibra

La relación entre la densidad aparente de las muestras de mortero y la adición de fibra se puede analizar en la siguiente figura:

Figura 14. Relación densidad aparente y adición de fibra.



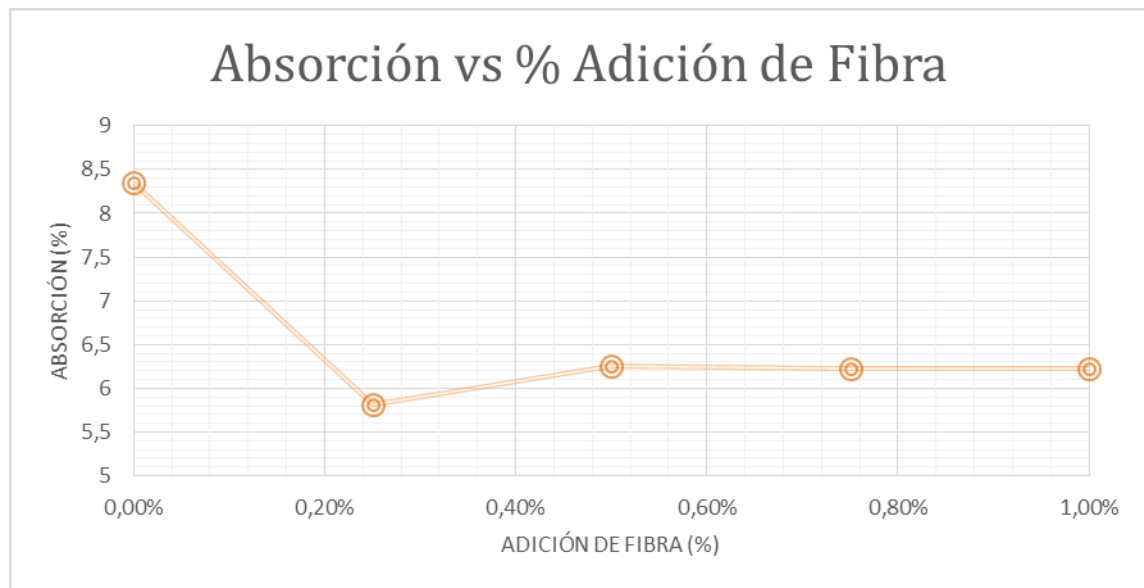
Fuente. Los autores.

Se puede analizar [Figura 14], que la densidad del mortero es inversamente proporcional al porcentaje de adición de fibra, lo cual evidencia que entre mayor sea la adición de fibra menor va ser la densidad de la muestra, lo anterior se debe a que la densidad de la fibra es menor que la del cemento.

6.1.3 Relación absorción vs % adición de fibra

La relación entre la absorción de las muestras de mortero y la adición de fibra se puede analizar en la siguiente figura:

Figura 15. Relación absorción y adición de fibra.

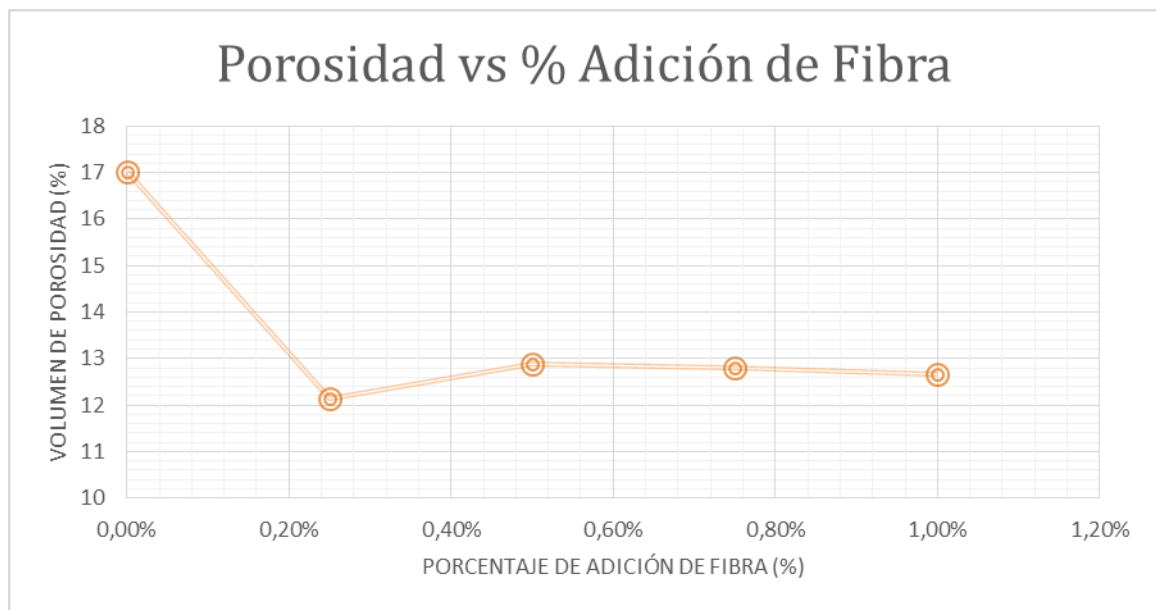


Fuente. Los autores.

Según la gráfica [Figura 15], la absorción disminuye considerablemente con los porcentajes de fibras añadidos a las muestras respecto a la muestra patrón, la adición de 0,25% de fibra es la que evidencia menor absorción y las demás adiciones tienden a mantenerse de manera constante, lo cual es importante ya que una vez finalizado el proceso de curado del mortero, si este no presenta altos porcentajes de absorción podría evitarse posibles patologías debido a agentes químicos y/o biológicos.

A continuación, se presenta grafico de porosidad comparado con el % de adición de fibra [Figura 16], el cual evidencia un comportamiento similar al grafico anterior, mostrando así, la relación directa que existe entre la porosidad y absorción del material, evidenciando una mejora al mortero por la disminución de poros.

Figura 16. Relación porosidad y adición de fibra.

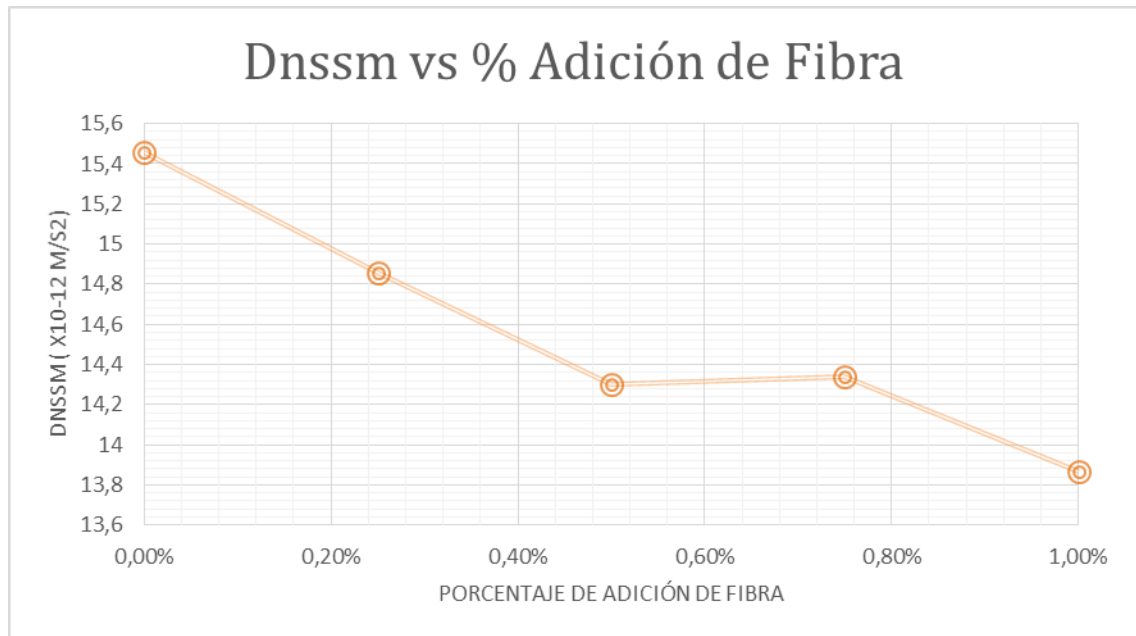


Fuente. Los autores.

6.1.4 Relación entre D_{nssm} vs % adición de fibra

La relación entre el coeficiente de difusión a partir del ensayo NT Build-492 y la adición de fibra se puede analizar en la siguiente figura:

Figura 17. Relación D_{nssm} y adición de fibra.



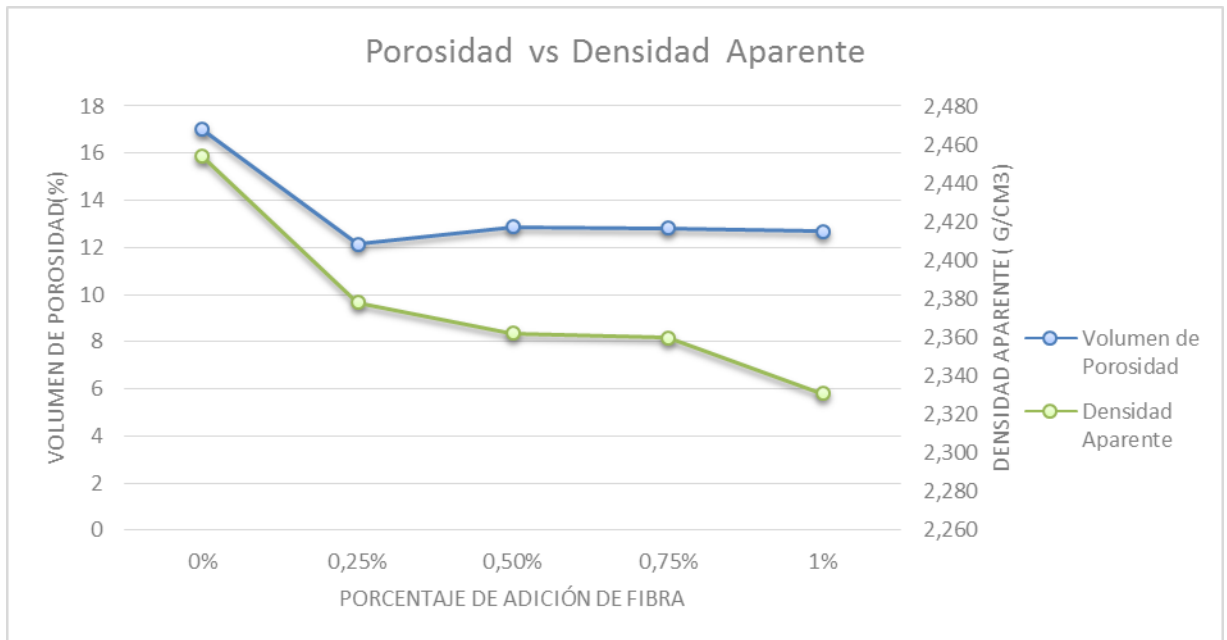
Fuente. Los autores.

A partir de la gráfica [Figura 17], se puede evidenciar que el coeficiente de difusión disminuye a medida que se aumenta el porcentaje de adición, aunque para la muestra con adición del 0,75% presenta una pequeña variación con respecto a la muestra con adición al 0,50%. De igual manera el mortero con adición presenta una mejora a la penetración de cloruros, dando así el mejor comportamiento para el mortero con adición al 1,00%.

6.1.5 Relación porosidad vs densidad aparente

La relación entre la porosidad de las muestras de mortero y la adición de fibra se puede analizar en la siguiente figura:

Figura 18. Relación porosidad y densidad aparente.



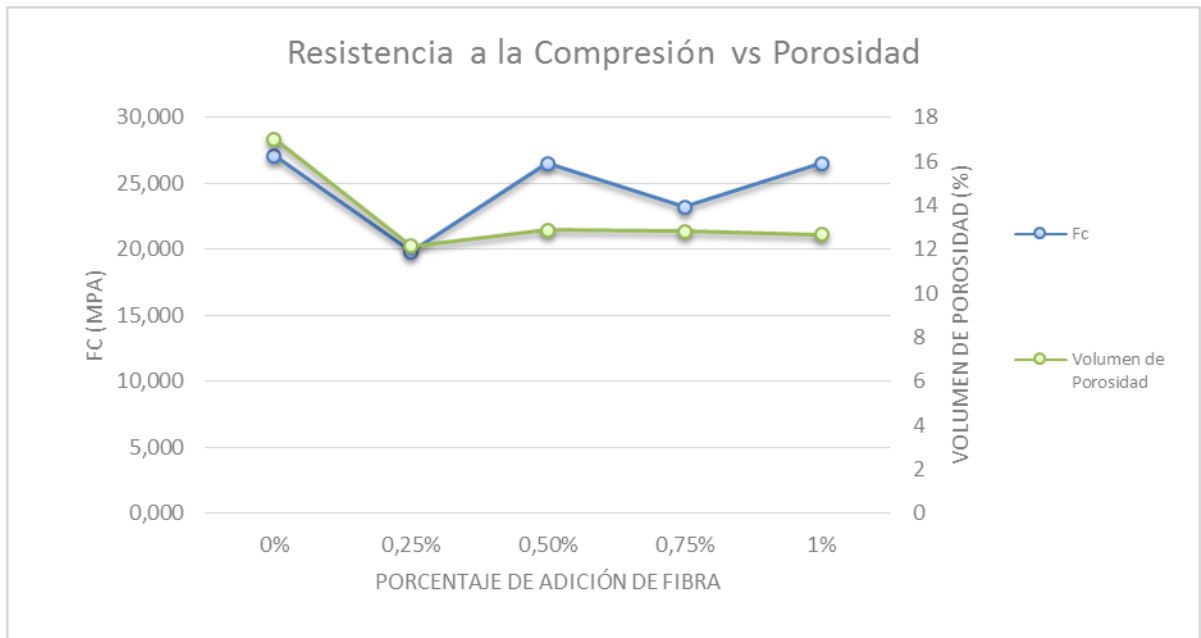
Fuente. Los autores.

De la figura [Figura 18], se observa que los comportamientos de estas dos propiedades se ven influenciadas de manera positiva debido a la adición de fibra y su comportamiento es similar en el momento de adicionar los respectivos porcentajes de fibra.

6.1.6 Relación resistencia a la compresión vs porosidad

La relación entre la resistencia a la compresión de las muestras de mortero y la porosidad se puede analizar en la siguiente figura:

Figura 19. Relación resistencia a la compresión y porosidad.



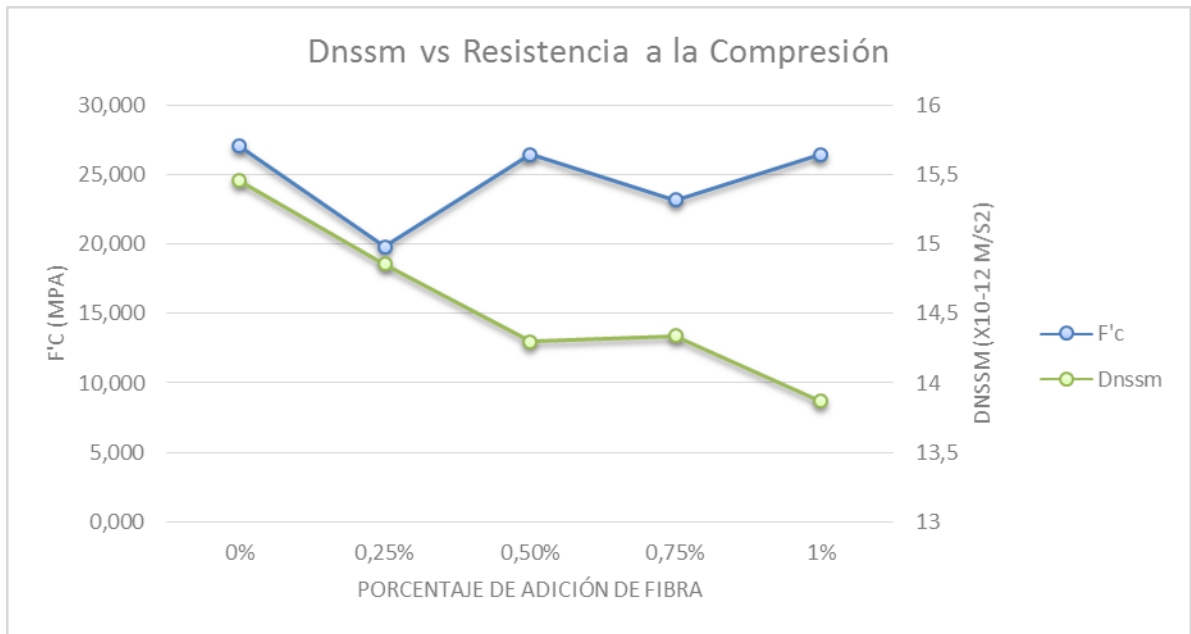
Fuente. Los autores.

De lo anterior se analiza [Figura 19], que el mejor comportamiento se da para la adición de fibra a 0,50% esto se debe a que la resistencia a la compresión aumenta manteniendo un porcentaje de porosidad bajo, lo anterior mejora las condiciones del mortero.

6.1.7 Relación D_{nssm} vs resistencia a la compresión

La relación entre el coeficiente de difusión a partir del ensayo NT Build-492 y la resistencia a la compresión se puede analizar en la siguiente figura:

Figura 20. Relación D_{nssm} y resistencia a la compresión.



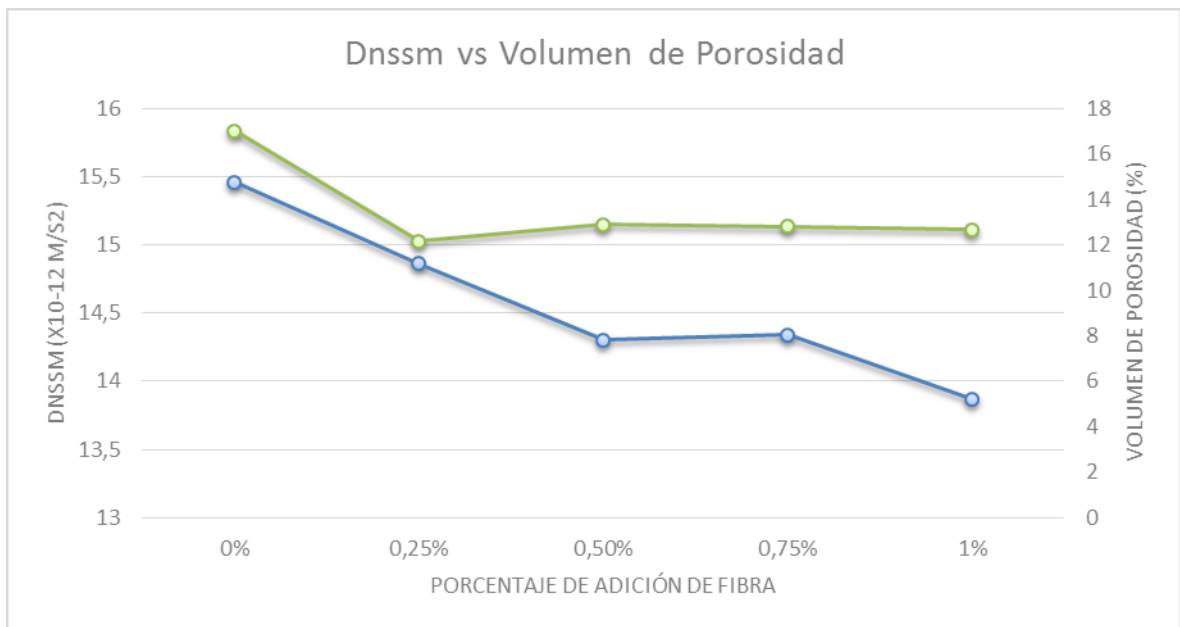
Fuente. Los autores.

Se evidencia [Figura 20], que el mejor comportamiento se presenta en las muestras con adición del 0,50% de fibra debido a que presenta una buena resistencia a la compresión y una baja penetración de cloruros, generando una relación favorable para el mortero dosificado al 0,50% de fibra.

6.1.8 Relación Dnssm vs volumen de porosidad

La relación entre el coeficiente de difusión a partir del ensayo NT Build-492 y el volumen de porosidad se puede analizar en la siguiente figura:

Figura 21. Relación Dnssm y volumen de porosidad.



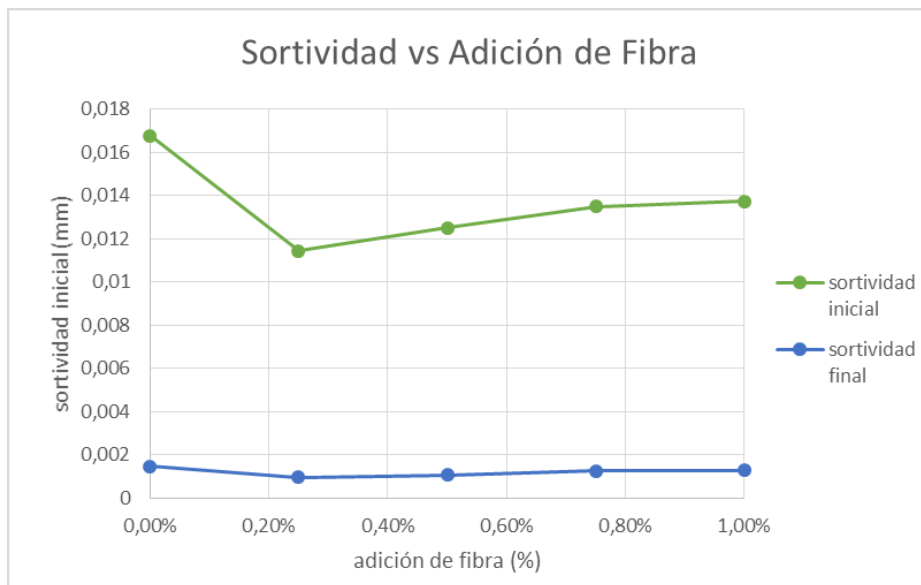
Fuente. Los autores.

Se puede evidenciar [Figura 21], que el comportamiento de ambas propiedades tanto la de difusión y volumen de porosidad tienen un comportamiento similar y favorable los cuales presentan un comportamiento inversamente proporcional a la adición de fibra.

6.1.9 Relación sortividad vs % de adición

La relación entre el sortividad inicial y final respecto al porcentaje de adición se puede analizar en la siguiente figura:

Figura 22. Relación sortividad inicial - final y adición de fibra.



Fuente. Los autores.

Se evidencia [Figura 22], que la absorción de agua en las muestras con adición es menor respecto a la muestra convencional para la sortividad inicial y final, sumado a esto se presenta un comportamiento lineal para las muestras que tienen porcentaje de adición.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE FIBRAS PLÁSTICAS PET EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL MORTERO DE CEMENTO HIDRÁULICO</p>	<p>FECHA: 2019</p> <p>VERSIÓN 0</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------

CONCLUSIONES

- De acuerdo a los resultados obtenidos, si es posible emplear el plástico tipo PET reciclado en forma de fibra, ya que las características del mortero no se ven afectadas con los porcentajes de adición analizados; debido a lo anterior, se puede considerar que es un método óptimo el cual podría ayudar a reducir la contaminación debida al uso de PET. Según la caracterización realizada se evidencia que el mejor comportamiento se presenta en las muestras analizadas que poseen adición de fibra al 0,50%, aunque la resistencia a la compresión disminuye un 6% aproximadamente para esta adición, en relación con el mortero convencional; los demás parámetros como porosidad, absorción, módulo de elasticidad y penetración de cloruros analizados presentan mejoras comparándolos con el mortero sin adición.
- Se evidencio que el coeficiente de difusión a la penetración de cloruros disminuye considerablemente con la adición de fibras, esto indica que este mortero modificado puede tener un mejor comportamiento respecto a la durabilidad con un mortero convencional.
- El uso de fibras garantiza una disminución en la porosidad y absorción del mortero con adición, lo cual es un punto a favor ya que el ingreso de agentes patógenos será limitado, de esta forma la durabilidad del mortero aumentaría.
- De acuerdo al objetivo principal en el cual se plantea analizar la resistencia y durabilidad del mortero modificado con fibras, se puede concluir que a nivel general la resistencia a la compresión tiende a ser muy similar al comportamiento del mortero convencional, en el caso de durabilidad esta propiedad tiende a aumentar con el uso de fibras.
- Teniendo en cuenta que el mejor comportamiento se presenta en las muestras con adición al 0,50%, en un futuro cercano podría hacerse estudios con este porcentaje de fibra y utilizando agregado grueso, teniendo así un concreto modificado que tal vez presente características similares o mejores al analizado en esta investigación, siendo así usado en algunos elementos de tipo estructural.
- Debido al alcance del proyecto en cuanto al tiempo no fue posible evaluar las características de durabilidad y resistencia en una mezcla que incorpore el agregado grueso junto con las materias primas usadas en esta investigación, lo cual permitiría determinar de manera puntual si el concreto hidráulico modificado con PET podría ser usado para la elaboración de elementos estructurales.


 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE FIBRAS PLÁSTICAS PET EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL MORTERO DE CEMENTO HIDRÁULICO</p>	<p>FECHA: 2019</p> <p>VERSIÓN 0</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------

- El concreto se ve afectado de manera significativa por diversos agentes químicos, dentro de los cuales está el ataque por ácidos, cloruros, sulfatos, dióxido de carbono, entre otros. En esta investigación se analiza el ataque por cloruros ya que este es quizá el más nocivo, ya que no solo afecta el concreto sino también el acero de refuerzo generando corrosión, además de no ser sencillo de controlar. Existen diferentes ensayos que permiten evaluar la penetración del ión cloruro; se decide utilizar el ensayo europeo Nord Test ya que este es eficiente, confiable, menos variable, rápido y estable. Lo cual permite tener resultados acertados

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE FIBRAS PLÁSTICAS PET EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL MORTERO DE CEMENTO HIDRÁULICO</p>	<p>FECHA: 2019 VERSIÓN 0</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------

RECOMENDACIONES

- Se debe tener conocimiento acerca de los procedimientos para realizar cada ensayo de acuerdo a la norma establecida, de igual manera el funcionamiento de los equipos, lo cual permitirá tener resultados acertados.
- La trabajabilidad del mortero con adición de fibras no es sencilla ya que las fibras tienden a conglomerarse al momento de hacer la mezcla, por lo anterior la adición de fibra a la mezcla se debe hacer de manera paulatina garantizando que las fibras queden separadas unas de otras y usar un plastificante que permita una manejabilidad ideal.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE FIBRAS PLÁSTICAS PET EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL MORTERO DE CEMENTO HIDRÁULICO</p>	<p>FECHA: 2019</p> <p>VERSIÓN 0</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------

BIBLIOGRAFÍA

Asocreto - Argos. 2013. Argos. [En línea] 11 de Octubre de 2013. <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/que-es-concreto-reforzado-con-fibras>.

ASTM International. 2013. *Standard test method for measurement of rate of absorption of water by hydraulic- Cement concretes*. 2013.

Baldenebro, Javier y Lopez, Francisco. 2015. Estudio numerico experimental de fibras de PET y su comportamiento en una matriz de concreto. [En línea] Febrero de 2015. [Citado el: 22 de Octubre de 2018.] <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/34/1/Tesis%20Francisco%20Javier%20Baldenebro%20López.pdf>.


Baricevic, Ana, y otros. 2018. Effect of polymer fibers recycled from waste tires on properties of wet-sprayed concrete. [En línea] 9 de Mayo de 2018. [Citado el: 27 de Septiembre de 2018.]

Berkat Zebua, Winner Syukur y Nursyamsi. 2017. The influence of PET plastic waste gradations as coarse aggregate towards compressive strength of light concrete. [En línea] 2017.

Bermudez Garzon, Ricardo Andres. 2016. Informe de implementación y determinación de la migración. [En línea] 2016. [Citado el: 22 de Septiembre de 2018.] <http://repository.lasalle.edu.co/handle/10185/20533?locale-attribute=en>.

Bolognini, Humberto. 2004. SCRIBD. [En línea] Junio de 2004. [Citado el: 22 de Septiembre de 2018.] <https://es.scribd.com/document/298091060/TRABAJO-DE-ASCENSO-HBG-aprobado-pdf>.

Cerezo Benavides, Wilfredo y Gonzalez Salcedo, Luis Octavio. 2012. Fibras de polipropileno para reforzamiento de matrices cementicias. (Una recopilacion sobre fibras comercialmente disponibles). [En línea] 2012. [Citado el: 22 de Septiembre de 2018.] http://www.bdigital.unal.edu.co/7971/4/luisoctaviogonzalezsalcedo.2012.2_Parte1.pdf.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE FIBRAS PLÁSTICAS PET EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL MORTERO DE CEMENTO HIDRÁULICO</p>	<p>FECHA: 2019</p> <p>VERSIÓN 0</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------

Enseñat De Villaloga, Alfonso. 1997. La industria del cemento dentro de la problemática de la contaminación atmosférica. [En línea] 1997. [Citado el: 22 de Abril de 2019.] <http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/viewFile/1180/1313..>

Gonzalez Dias, Javier Ernesto. 2014. Modelos de penetración del ión cloruro orientados a la predicción de la vida útil de las estructuras de concreto. [En línea] Junio de 2014. [Citado el: 22 de Septiembre de 2018.] <http://bdigital.unal.edu.co/46257/1/300358.2014.pdf>.

Gutierrez, Adan Silvestre, Muñoz Giraldo, Andres Felipe y Castaño Campo, Mariana. 2015. [En línea] 2015. [Citado el: 22 de Septiembre de 2018.] <http://repositorio.unilibrepereira.edu.co:8080/pereira/bitstream/handle/123456789/974/AN%C3%81LISIS%20DEL%20CONCRETO.pdf?sequence=1>.

Higuera Flórez, Hector Camilo. 2016. Simulación multifísica y multifase del ensayo de migración del ión cloruro en el concreto (NT Buold 492) teniendo en cuenta los fenómenos de adsorción e interacción iónica. [En línea] 2016. [Citado el: 15 de Marzo de 2019.] <http://bdigital.unal.edu.co/57316/1/1016014601.2017.pdf>.


Irwama, J.M, Wan, Ibrahim y Othmanb, Shahidan. Performance of plastic wastes in fiber-reinforced concrete beams. [En línea]

Martinez Lopez, Miguel, y otros. 2018. Polymer waste materials as fillers in polymer mortars: experimental and finite elements simulation. [En línea] Diciembre de 2018. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509518300421>.

Mestanza Guamancuri, Jose Luis. 2018. “Análisis de las propiedades físico-mecánicas de un hormigón elaborado con fibras recicladas de envases PET utilizando agregados de la cantera de San Antonio y cemento Holcim tipo GU. [En línea] 2018. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/14262/1/T-UC-0011-IC329-2018.pdf>.

NordTest. 1999. [En línea] 1999. <http://210.42.35.80/G2S/eWebEditor/uploadfile/20110819235419966.pdf>.

Orbes Revelo, Amelucxen. 2017. Auditoría ambiental a las plantas productoras de mezcla asfáltica, trituradora de agregados pétreos y mezcladora de suelos que

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE FIBRAS PLÁSTICAS PET EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL MORTERO DE CEMENTO HIDRÁULICO</p>	<p>FECHA: 2019 VERSIÓN 0</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------

operan en el aeropuerto san luis del municipio de aldana - nariño. [En línea] 2017. <https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/3009/T.G.%20AMELUCXEN%20ORBES%20REVELO.pdf?sequence=1>.

Osorio, Jesus David. 2011. ARGOS. [En línea] 19 de Enero de 2011. [Citado el: 2 de Mayo de 2019.] <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/elasticidad-del-concreto>.


Palacios Santillan, Armando. 2014. Elaboración de pet-concreto, buscando mejorar sus propiedades mecanicas de tensión y flexión. [En línea] Octubre de 2014. <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/7000/TESIS.pdf?sequence=1>.

Quintana Cruz Cristian Dario, Valencia Castro Plinio Andres. 2016. Analisis comparativo entre el concreto simple y el concreto con adicion de fibra de acero al 12% y 14%. [En línea] 2016. [Citado el: 12 de Marzo de 2019.] <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/6378/5/Trabajo%20de%20grado%20Fibra%20de%20Acero.pdf>.

Quintero Blandon, Cristian Fernando y Mahecha Rico, Jeisson David. 2016. Propiedades mecánicas de un concreto reforzado con fibras de pet reciclado. [En línea] Noviembre de 2016. <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/15477/MahechaRicoJeisson2016%20.pdf;jsessionid=1B58EE60BC7FC962DF02D59AD28DCF1B?sequence=5>.

Roa Rodriguez, Guillermo, Aperador Chaparro, William y Delgado Tobon, Emilio. 2014. Diseño de sistema de monitoreo remoto para evaluación de la corrosión en estructuras de concreto reforzado sometidas a ion cloruro. [En línea] Octubre de 2014. [Citado el: 22 de Septiembre de 2018.] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1405774315000414>.

Rumšys, Deividas, y otros. 2017. Comparison of material properties of lightweight concrete with recycled polyethylene and expanded clay aggregates. [En línea] 2017. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817306112>.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE FIBRAS PLÁSTICAS PET EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL MORTERO DE CEMENTO HIDRÁULICO</p>	<p>FECHA: 2019</p> <p>VERSIÓN 0</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------







Sosoi, Gavril, y otros. 2018. Wastes as aggregate substitution in polymer concrete. [En línea] 2018. <https://www.sciencedirect.com/journal/procedia-manufacturing/vol/13/suppl/C>.

Wan Wendner, Lin, Wan Wendner, Roman y Cusatis, Gianluca. 2017. Age-dependent size effect and fracture characteristics of ultra-high performance concrete. [En línea] 2017. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958946516305297>.

Zuñiga Diaz, Andres Felipe. 2015. Evaluación del tereftarato de polietileno (pet) como agregado en la elaboración de mortero para ladrillos y concreto. [En línea] 2015. <http://repository.lasalle.edu.co/handle/10185/18684>.





 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE FIBRAS PLÁSTICAS PET EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL MORTERO DE CEMENTO HIDRÁULICO</p>	<p>FECHA: 2019</p> <p>VERSIÓN 0</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------

ANEXO A. Caracterización de materia prima

	
<p>Fotografía 1: Muestra</p>	<p>Fotografía 2: Serie de Tamices</p>
	
<p>Fotografía 3: Tamizado</p>	<p>Fotografía 4: Densidad y Absorción (Muestra Saturada)</p>
	
<p>Fotografía 5: Densidad y Absorción (Muestra SSS)</p>	<p>Fotografía 5: Densidad y Absorción (Eliminación de vacíos)</p>

Fuente. Los autores.

ANEXO B. Diseño de mezcla y elaboración de especímenes.

	
<p>Fotografía 7: Materia Prima Dosificada</p>	<p>Fotografía 8: Homogenización de materiales</p>
	
<p>Fotografía 9: Mezcla de Mortero</p>	<p>Fotografía 10: Elaboración de Probetas</p>
	
<p>Fotografía 11: Probetas en Estado Fresco</p>	<p>Fotografía 12: Mortero Endurecido</p>
	
<p>Fotografía 13: Curado de Muestras</p>	

Fuente. Los autores.

ANEXO C. Caracterización de especímenes.

	
<p>Fotografía 14: Corte de Probetas</p>	<p>Fotografía 15: Ensayo de Densidad y Absorción</p>
	
<p>Fotografía 16: Muestras para Sortividad</p>	<p>Fotografía 17: Ensayo de Sortividad</p>
	
<p>Fotografía 18: Cubos de Mortero</p>	<p>Fotografía 19: Ensayo de Resistencia a la Compresión</p>
	
<p>Fotografía 20: Ensayo NT Build 492</p>	<p>Fotografía 21: Penetración Ión Cloruro</p>

Fuente. Los autores.