

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN
EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DEL CONCRETO
CONVENCIONAL REEMPLAZANDO AGREGADO GRUESO CON POLIETILENO DE
TEREFTALATO EN DISTINTAS PROPORCIONES**



Por:
Madelein Natalia Sanabria Rojas



**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO
2020**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN
EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DEL CONCRETO
CONVENCIONAL REEMPLAZANDO AGREGADO GRUESO CON POLIETILENO DE
TEREFTALATO EN DISTINTAS PROPORCIONES**



Por:
Madelein Natalia Sanabria Rojas

Documento final presentado como opción de grado para optar al título profesional de
ingeniero civil

Aprobado por:
Ing. Jhon Jairo Gil Peláez, Ph.D.
Director

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO
2020**

Evaluación de las propiedades físico – mecánicas del concreto convencional reemplazando agregado grueso con polietileno de tereftalato en distintas proporciones

AUTORIDADES ACADÉMICAS

Fray José Gabriel Mesa Ángulo, O.P.
Rector General

Fray Eduardo González Gil, O.P.
Vicerrector Académico General

Fray José Antonio Balaguera Cepeda, O.P.
Rector Sede Villavicencio

Fray Rodrigo García Jara, O.P.
Vicerrector Académico Sede Villavicencio

Julieth Andrea Sierra Tobón
Secretaria de División Sede Villavicencio

Ing. Jhon Jairo Gil Peláez, Ph.D.
Decano Facultad de Ingeniería Mecánica

Evaluación de las propiedades físico – mecánicas del concreto convencional reemplazando agregado grueso con polietileno de tereftalato en distintas proporciones

Nota de aceptación

ING. JHON JAIRO GIL PELÁEZ
Decano Facultad Ingeniería Mecánica

JHON JAIRO GIL PELÁEZ
Director Trabajo de Grado

Villavicencio, 10 de Febrero de 2020

DEDICATORIA

Esta investigación es dedicada principalmente a mi familia, mi padres Albaney Sanabria y Edna Rojas quienes me han enseñado la importancia de cumplir los objetivos y metas presentes de mi vida, a través de la paciencia, serenidad, tolerancia, eficiencia y responsabilidad llevándome a culminar uno de mis grandes propósitos el cual era finalizar mi tesis de investigación. También dedico mi proyecto a mi hermano Jonnatan Sanabria, quien no ha logrado estar personalmente durante este arduo camino pero ha estado presente con su apoyo y guía incondicional no solo como mi hermano sino como el gran profesional que es actualmente. A ellos, mi más sincero amor y cariño.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente al Ing. Jhon Jairo Gil Peláez Ph.D, por brindarme su tiempo y apoyo a la investigación como mi director de tesis ya que gracias a los conocimientos del ingeniero se ha llevado a cabo la realización de esta Investigación. Agradezco también al Ing. Emiro Andrés Lozano Pérez quien estuvo acompañándome y guiándome voluntariamente durante todo el proceso del proyecto, adicionalmente agradezco a mis respectivos evaluadores del comité de investigación por orientarme y aconsejarme. También, agradezco profundamente a los directivos, ingenieros, personal y estudiantes de la Universidad Santo Tomás sede Villavicencio quienes me abrieron las puertas para ayudarme a crecer personal y profesionalmente durante mi carrera como ingeniería civil.

RESUMEN

Teniendo en cuenta que en muchos países los residuos sólidos como los plásticos son una parte contaminante para el medio ambiente se propuso la búsqueda de un mecanismo que redujera esta contaminación reutilizando de manera práctica estos desechos para mejorar la calidad de vida de las personas.

Es así como este trabajo inicia con la recolección del material ya triturado y de difícil consecución en el departamento del Meta, para producir mezcla que nos permitiera realizar unos especímenes, disminuyendo material pétreo y reemplazándolo por plástico triturado (Polietileno de Tereftalato), en porcentajes controlados que permitieran observar el comportamiento de las diferentes mezclas.

En cilindros que servían de moldes proporcionados por la universidad y en el laboratorio de concretos se procedió a la elaboración de varios modelos los cuales nos permitieron observar que cuando se utilizaba el material PET en mayor porcentaje el resultado de la mezcla no fue homogénea lo cual no permitió su buena manejabilidad, el desperdicio de material triturado fue considerable así como gran cantidad de mezcla, debido a que el volumen aumentaba considerablemente

Con base en los estudios realizados a cada espécimen, la resistencia a compresión, nos proporcionó que con un bajo porcentaje de PET es posible utilizar este material en la construcción de elementos no estructurales tales como andenes, ladrillos, mampostería, entre otros, contribuyendo entonces para que el material sea más ligero y fácil de transportar.

Es así pues que este trabajo nos permite primero reciclar el material plástico, triturarlo y reutilizarlo como elemento contribuyente en la disminución de la contaminación ambiental y proporcionando otra alternativa de mezcla ,que nos permite la elaboración de objetos útiles en la vida practica como ayuda en la construcción de elementos que pueden ser utilizados en adoquines y mampostería disminuyendo el trabajo de las personas que se encargan de su elaboración y así mismo facilitando y aliviando el medio de transportarlo ya que su peso disminuye.

Palabras Clave: *PET, triturado, resistencia a compresión, contaminación.*

ABSTRACT

Taking into account that in many countries, solid waste such as plastics is a polluting part for the environment, the search for a mechanism that reduces this contamination was proposed by reusing these wastes in a practical way to improve people's quality of life.

This is how this work begins with the collection of the material already crushed and difficult to achieve in the department of Meta, to produce the mixture that allows us to make some specimens, reducing stone material and replacing it with crushed plastic (Polyethylene Terephthalate), in percentages controlled that allow us to observe the behavior of the different mixtures.

In cylinders that served as molds provided by the university and in the concrete laboratory, several models were made which allowed us to observe that when the PET material was used in a higher percentage, the result of the mixture was not homogeneous, which did not suitably its good manageability, the waste of crushed material was considerable as well as large amount of mixing, because the volume increased considerably

Based on the studies carried out on each specimen, the resistance to compression, they provide us that with a low percentage of PET it is possible to use this material in the construction of non-structural elements such as platforms, bricks, masonry, among others, contributing then to make the material lighter and easier to transport.

Thus, this work allows us to first recycle the plastic material, crush it and reuse it as a contributing element in the reduction of environmental pollution and another alternative alternative of mixing, which allows us to make useful objects in practical life as an aid in the construction of elements, which can be used in cobblestones and masonry reducing the work of the people who are in charge of its elaboration and also facilitator and relieving the means of transport since its controlled weight.

Key Word: *PET, crushing, compressive strength, contamination.*

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	13
2.	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	14
2.1	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	14
2.2	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	14
3.	JUSTIFICACIÓN.....	15
4.	OBJETIVOS.....	16
4.1.	OBJETIVO GENERAL.....	16
4.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
5.	ALCANCE.....	17
6.	MARCO DE REFERENCIA	18
6.1.	MARCO TEÓRICO	18
6.2.	MARCO CONCEPTUAL.....	18
6.2.1	Agua.....	18
6.2.2	Agregado.....	19
6.2.3	Cemento Portland tipo 1.....	19
6.2.4	Polietileno de Tereftalato en el concreto celular.....	19
6.3.	ESTADO DEL ARTE.....	19
6.4.	MARCO NORMATIVO.....	22
6.5.	MARCO GEOGRÁFICO	22
7.	EQUIPO DE INVESTIGACIÓN Y TRAYECTORIA	24
8.	METODOLOGÍA	25
8.1.	DESCRIPCIÓN DE ETAPAS Y TAREAS	25
8.2.	POBLACIÓN, MUESTRAS, VARIABLES E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	26
8.2.1	Población	26
8.2.2	Muestras	27
8.2.3	Variables	27
8.2.3	Instrumentos	28
9.	ETAPA 1 (CAPÍTULOS DE DESARROLLO).....	29
10.	ETAPA 2 (ELABORACIÓN DE ENSAYOS).....	30
11.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	54
12.	RESULTADOS E IMPACTOS	55
13.	CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	57
13.1.	CONCLUSIONES	57
13.2.	TRABAJOS FUTUROS.....	58
	BIBLIOGRAFÍA	59

LISTA DE TABLAS

Tabla 6-1 Marco normativo	22
Tabla 7-1 Equipo de trayectoria e investigación.....	24
Tabla 8-1 Población	27
Tabla 10-1 Granulometría agregado fino	31
Tabla 10-2 Granulometría agregado grueso	32
Tabla 10-3. Datos iniciales	35
Tabla 10-4. Asentamiento de la mezcla tomado de la tabla 11.20 de la A.C.I.	36
Tabla 10-5. Selección del tamaño máximo del agregado según la norma.....	36
Tabla 10-6. Estimación del contenido de aire.	36
Tabla 10-7. Cantidad de agua de mezclado.....	36
Tabla 10-8. Resistencia de diseño de la mezcla F'cr.	37
Tabla 10-9. Resistencia requerida para el diseño.	37
Tabla 10-10. Determinación de la relación agua cemento en base a la resistencia requerida para el diseño.....	37
Tabla 10-11. Relación agua cemento para 295 kg/cm ²	38
Tabla 10-12. Peso y cantidad de agregados gruesos.	38
Tabla 10-13. Volúmenes de los agregados.....	38
Tabla 10-14. Peso de los agregados corregidos por humedad.....	39
Tabla 10-15. Diseño de mezcla final.	39
Tabla 10-16. Asentamiento	40
Tabla 10-17 Consistencia.....	41
Tabla 10-18 Consistencia y manejabilidad del tipo de concreto.....	42
Tabla 10-19. Resistencia en Psi de los cilindros de concreto convencional y PET fallados a los 7 días.....	44
Tabla 10-20. Resistencia en Psi de los cilindros de concreto convencional y PET fallados a los 14 días.....	45
Tabla 10-21. Resistencia en Psi de los cilindros de concreto convencional y PET fallados a los 28 días.....	46
Tabla 10-22. Costos de los materiales.	51
Tabla 10-23. Proporción de la mezcla para 1 m ³	51
Tabla 10-24. Proporción para los 11 cilindros.	51
Tabla 10-25. Proporción de la mezcla con plástico para los 11 moldes basado en el volumen.....	52
Tabla 10-26. Proporción de la mezcla con el peso corregido.....	52
Tabla 10-27. Costo de 11 cilindros de concreto convencional.	52
Tabla 10-28. costos de 11 cilindros de concreto con 25% PET.	53
Tabla 12-1. Resultados.	55
Tabla 12-2 Impactos.....	56

LISTA DE FIGURAS

Figura 7.1 Metodología	25
------------------------------	----

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 10.1 Moldes cilindricos con su respectiva mezcla de concreto	43
Fotografía 10.2. Falla a compresion del concreto con 25% de PET.....	48
Fotografía 10.3 Falla a compresión concreto con 50% de PET	48
Fotografía 10.4 Esfuerzo a compresión concreto 75% de PET	49
Fotografía 10.5 Esfuerzo a compresión concreto 100% de PET.....	49
Fotografía 11.1. Tamaño de la partícula de plástico en la mezcla del 100% PET.	54

1. INTRODUCCIÓN

Los residuos generados en Colombia no son aprovechados en su totalidad, lo que acarrea que se incremente la cantidad de residuos sólidos en los rellenos del país. De acuerdo con lo señalado en el informe de disposición final de residuos sólidos, se produjeron en Colombia 10.327.551 toneladas de residuos en el año 2017, y para el año 2018 se generaron 12 millones de toneladas, con lo que se obtuvo un incremento del 16,2% aproximadamente, provocando daños ambientales por causa de las emisiones de gases provenientes de los mismos [1].

Una propuesta del Departamento Nacional De Planeación (DNP), cuyo objetivo es la reducción de los residuos generados en el país, establece que solamente el 40% de los 12 millones de toneladas de residuos sólidos producidos anualmente puede ser aprovechado en diversas formas de reciclaje.

Es importante resaltar el reciclaje en materiales como el concreto que debido a su facultad de resistir altos esfuerzos a compresión, ha sido protagonista del desarrollo en infraestructura de las diversas ciudades conllevando con ello un desenvolvimiento social y económico. Razón por la cual el interés por las posibilidades derivadas del reciclaje de otros materiales para su elaboración queda plenamente justificada.

Adicionalmente, los procesos de mezcla para la producción de concreto evolucionan porque las industrias buscan innovar en concretos que mejoren sus propiedades físicas y mecánicas presentando un mejor desempeño en el ámbito de la construcción

En 1927 surge el concreto celular u hormigón ligero denominado así por su creador, el arquitecto suizo Erikson, J.A. Se trata de un concreto con mayor contenido de vacíos logrados por la sustitución de reemplazar el agregado grueso de la mezcla por productos como el polietileno de Tereftalato, agregado en forma de partículas pequeñas de aproximadamente 20 a 40 mm y que se obtiene de las botellas plásticas, con el fin de minimizar la cantidad de residuos sólidos generadores de estragos en el medio ambiente aumentando las cifras de reciclaje en Colombia [2].

2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Hoy en día en el mundo se producen anualmente 2010 millones de toneladas de desechos sólidos, lo cual, según el informe publicado por parte del banco mundial titulado *What a Waste 2.0?* (2016) afirma que día a día se incrementa la contaminación del medio ambiente debido a las emisiones de gases provenientes de los desechos sólidos, lo cual va en detrimento de la salud de las personas. Además, algunos países como Colombia no cuentan con un alto porcentaje de procesos de reciclaje que mitiguen la problemática de contaminación, debido a que de los “12 millones de toneladas de basura que se generan por año, solo se recicla el 17%” [3].

Por esta razón, es necesario generar soluciones que reduzcan el volumen de residuos disponibles para la reutilización de estos materiales. Concretamente en el Meta, se producen diariamente 558 toneladas de residuos y en general el departamento no presenta un plan de gestión de residuos sólidos [4].

En la actualidad, se están implementando materiales reciclables en los procesos constructivos para mitigar los impactos ambientales en virtud de los escasos recursos naturales generados por el exceso de explotación de la materia prima de la naturaleza y además, porque se desea reducir los altos costos de materiales de construcción, entre otros factores. Esta técnica implementada hoy en día, ha generado que las industrias innoven en materiales que tengan un componente aprovechable y puedan ser reutilizados en la realización de obras civiles.

Uno de los materiales que más ha ido evolucionando en la industria de la construcción es el concreto, ya que es utilizado en la mayor parte de las construcciones por su alta resistencia. Sin embargo, una elevada resistencia puede conllevar a altos volúmenes de concreto, con lo cual se eleven las cargas muertas en las estructuras. Por esta razón se implementan concretos que a pesar de livianos tengan una mayor calidad, fácil uso y que aceleren el proceso constructivo. Concretos con cierto componente de residuos parece ser una respuesta a dicha búsqueda.

2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo se afectan las propiedades físico-mecánicas del concreto debido a la sustitución de material pétreo con Polietileno de Tereftalato?

3. JUSTIFICACIÓN

Es importante que los materiales utilizados en las construcciones de ingeniería civil evolucionen al generar propiedades y características que los optimice. Adicionalmente, se debe propender por reducir los impactos ambientales reduciendo la producción de residuos sólidos que para 2017 fueron de 10'327551 toneladas de desechos [1]. Lo anterior motiva a implementar material reciclable como plástico en la elaboración de un nuevo concreto pues el plástico representa el 20% de los desechos producidos en Colombia según datos suministrados por el departamento nacional de planeación [5].

Otra razón que motiva el empleo de material reciclado en la producción de concreto es de tipo económico, ya que un concreto innovador puede optimizar los procesos constructivos, reduciendo los tiempos de implementación de material en obra y adicionalmente minimizar costos asociados al transporte y mano de obra.

La investigación busca adquirir un concreto de alta calidad que a futuro se utilice en diversos tipos de estructuras y que a partir de la investigación de una dosificación adecuada del material logre soportar altas resistencias ante las cargas impuestas, también, es necesario que sea resistente ante ataques químicos agresivos y del medio ambiente.

Con el desarrollo de este proyecto se contribuirá al crecimiento científico, tecnológico y económico en el sector de la construcción, impactando de manera positiva a la sociedad y al medio ambiente.

Evaluación de las propiedades físico – mecánicas del concreto convencional reemplazando agregado grueso con polietileno de tereftalato en distintas proporciones

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar las propiedades físico-mecánicas del concreto celular reemplazando el 25%, 50%, 75% y 100% del agregado grueso con Polietileno de Tereftalato frente al concreto de uso común con una resistencia de 3000 psi mediante ensayos a compresión.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Plantear un diseño de mezcla sustituyendo en porcentajes de volumen el material pétreo a partir de la determinación de las propiedades de los materiales granulares mediante ensayos en el laboratorio.
- Comparar la resistencia a compresión de cilindros de concreto de mezclas con distintas proporciones de sustitución del agregado grueso con PET frente al concreto convencional.
- Determinar la variación del peso específico de las muestras realizadas con relación a los porcentajes de sustitución del material pétreo (25%, 50%, 75% y 100%) con Polietileno de Tereftalato mediante cálculos con base a datos obtenidos en el laboratorio.
- Valorar el costo del concreto ligero y concreto convencional de los cilindros de 30 x15cm, mediante la implementación de una tabla de presupuesto con el fin de establecer cual es más económico.

5. ALCANCE

Se harán pruebas de resistencia a la compresión a un concreto convencional y uno celular en el laboratorio de concretos de la Universidad Santo Tomás sede Villavicencio con el fin de determinar y evaluar sus propiedades mecánicas. El concreto celular será elaborado reemplazando material pétreo con Polietileno de Tereftalato, en proporciones que van desde 25 hasta el 100% teniendo en cuenta los requerimientos contemplados en la Norma Técnico Colombiana (NTC 673). Así mismo se determinarán las propiedades físicas, tales como: consistencia, manejabilidad, densidad y absorción de los agregados para los dos tipos de concreto.

Se realizarán 9 probetas por cada porcentaje de PET sustituido por material grueso y 9 para concreto tradicional, determinando la resistencia a compresión de 3 probetas por cada edad. Tal como lo indica la norma NTC-673, estos ensayos se deben desarrollar a los 7, 14 y 28 días de haber culminado el proceso de curado, obteniendo un total de 55 muestras para la realización de los dos tipos de concreto.

Una vez realizados los ensayos de resistencia a compresión, se llevará a cabo la cuantificación del proceso constructivo mediante moldes cilíndricos de 30x15 cm, teniendo en cuenta los porcentajes establecidos de Polietileno de Tereftalato, para así determinar el valor producido para los dos tipos de concreto (ligero y convencional) y establecer cuál genera menos costos.

6. MARCO DE REFERENCIA

6.1. MARCO TEÓRICO

El PET surge en el año de 1941 como material base para la elaboración de botellas plásticas”. Se elabora a partir de petróleo crudo, gas y aire, donde cada kg de material está compuesto por 64% de petróleo, 23% de derivados líquidos del gas natural y 13% de aire. Dentro de sus cualidades pueden mencionarse su liviandad y su resistencia a compresión. Hoy en día se sabe que dicho material es altamente resistente y su descomposición tarda siglos en ser completada. Razón por la cual ha sido incluido entre los principales materiales reciclables [6].

Para llevarlo a cabo, su reciclaje, debe contarse con una fuente de residuos sólidos, se retiran las etiquetas y tapas de cada recipiente y se lleva a cabo una clasificación por colores para ser llevadas a un molino picador en donde se forman hojuelas que son posteriormente transportadas a un proceso de lavado y secado [6].

Actualmente las hojuelas producidas de PET son utilizadas en materiales como el concreto ya sea como agregado o como sustitución de materiales granulares para desarrollar materiales ligeros [7].

Al concreto ligero o también conocido como concreto celular, se le deben aplicar pruebas a compresión que permitan definir su capacidad resistente; según la NTC 673, el ensayo se basa en generar una carga de compresión sobre un material que se ubica en moldes cilíndricos. Para realizar el ensayo se deben tener en cuenta los parámetros de resistencia como son: la relación agua- cemento, el tamaño del material granular, las condiciones de humedad que presenta el material durante el proceso de curado y la edad del concreto.

En Argentina, Gaggino (2008) implementó una opción para reducir los costos de construcción de viviendas a través de la incorporación en la mezcla de cemento portland de materiales producto del reciclaje de plástico que sería triturado. Se produjeron ladrillos que fueron usados en cerramientos no estructurales de viviendas y se logró concluir que el material plástico incorporado es una alternativa eficiente para la construcción de viviendas ecológicas dado que generan un mejor aislamiento térmico, resulta ser un material más ligero y con alta resistencia mecánica [8]

6.2. MARCO CONCEPTUAL

6.2.1 Agua

El agua es la sustancia que da inicio a una reacción química en la mezcla de concreto y tiene por objeto incrementar la fluidez de la pasta con lo cual se consigue una manejabilidad adecuada del material. El cemento por su parte es el ligante que

Evaluación de las propiedades físico – mecánicas del concreto convencional reemplazando agregado grueso con polietileno de tereftalato en distintas proporciones

permite que los elementos permanezcan unidos. El agua es la principal sustancia que se le debe implementar a la realización de mezclas de concreto, este componente genera que el material desenvuelva la capacidad de mantener unidos los elementos por lo tanto es una sustancia ligante. El agua agregada depende de la cantidad de cemento que contenga la mezcla, debe ser libre de impurezas, de sustancias tóxicas y también apta para el consumo humano.

6.2.2 Agregado

Los agregados son materiales geológicos tales como arena y grava que tienen como objetivo entrar en los espacios vacíos que aparecen en la mezcla de mortero y que se vuelven un solo material a partir de la incorporación del cemento y agua. Se persigue conseguir la mayor cantidad de contactos entre agregados a fin de garantizar un mejor comportamiento resistente del concreto y para conseguirlo, la clave reside en una buena distribución granulométrica pues con esta condición se atiende el principio de los mínimos espacios vacíos.

6.2.3 Cemento Portland tipo 1

Es un material empleado principalmente en obras de construcción. Se fabrica a través de la combinación de yeso y clinker, conteniendo una capacidad elevada de aglomerar diferentes materiales como arena y grava.

6.2.4 Polietileno de Tereftalato en el concreto celular

El Polietileno de Tereftalato, es un polímero que se genera a través de una reacción química entre el ácido tereftálico y el etilenglicol, pertenece a la línea de poliésteres designados como materiales simulados. En el concreto celular contribuyen a disminuir las contracciones ocasionadas por un diseño deficiente de mezcla filuda con la cual se trae una deshidratación y un secado rápido.

6.3. ESTADO DEL ARTE

En el año 2007, estudiantes de la Universidad de la Salle, determinaron las propiedades físicas y mecánicas de ladrillos reforzados con plástico reciclado. Los ensayos de laboratorio fueron realizados con base a una mezcla diseñada con 70% de PET y se obtuvo que este tipo de ladrillos son ligeramente livianos debido a las bajas densidades que presentan. Adicionalmente, presenta una gran resistencia a la compresión horizontal con una resistencia de $212,6\text{kgf/cm}^2$ y resistencia a la compresión vertical de $212,6\text{kgf/cm}^2$, en donde a partir de estos resultados el material se cataloga como un concreto frágil.

Este tipo de concreto produce un bajo costo frente al concreto tradicional debido a que se sustituyó el 70% de material pétreo por PET en la elaboración de ladrillo, y también, reduce los costos ya que no requiere mano de obra calificada en su confección [9].

Evaluación de las propiedades físico – mecánicas del concreto convencional reemplazando agregado grueso con polietileno de tereftalato en distintas proporciones

Este tipo de concreto es fabricado para los usos más diversos en Ingeniería Civil. Principalmente, es producido en bloques para muros y es empleado como reforzamiento para muros y losas de concreto. Además se utiliza en superficies grandes como pisos industriales y pavimentos, de acuerdo con Cervantes (2008) [10].

Seguidamente, se realizó un estudio elaborando bloques de concreto celular, producido con fibras sintéticas de polipropileno las cuales fueron cortadas con una longitud aproximada de 20 a 40 mm con el fin de controlar los despieces, grietas por golpes y así mismo evitar que se produzca agrietamiento por contracción plástica del concreto celular.

Según una investigación realizada por López (2015) en referencia a las contracciones producidas en el concreto se obtiene que el polipropileno en el concreto celular es más eficaz para el control de grietas por contracción plástica que el concreto tradicional [11].

Ya para el 2009, Wang Kejin afirmaba que implementar PET en la mezcla de concreto tiene dos ventajas. La primera de ellas es que se reduce la utilización de recursos naturales a la vez que los residuos son eliminados de manera eficaz [12].

En 2014, Flores estableció que el concreto celular puede ser utilizado para la producción de viviendas ecológicas empleando polipropileno triturado para ser incorporado en la mezcla de cemento con un aditivo químico con miras a mejorar las propiedades físicas y químicas del concreto, así como su resistencia. De esta mezcla se fabricaron ladrillos y tejas con un menor peso unitario, absorción aceptable y con una resistencia mínima acorde con lo establecido por las normas [13].

Kearsley y Wainwright en el año 2014, evaluaron el esfuerzo a la compresión argumentando que la resistencia es una función de la densidad seca y reduce altamente cuando se presenta una densidad menor [14]. En el año 2016, Jigoro E. Arapa C realiza una investigación con base a la implementación de material plástico como agregado al concreto, obteniendo así un concreto llamado, concreto celular, el cual es un compuesto de cemento, agua, arena, agregados (no contiene agregado grueso). Para lograr realizar la mezcla indica que debe hacerse a partir del método gravimétrico basándose principalmente en el peso específico inicial del mortero pero no debe en la cuantificación de cada componente [15].

El material reemplazado no necesariamente debe ser material grueso, ya que también pueden llegar a ser sustituidos por el polipropileno, el cemento y arena, como se muestran en estudios los cuales se van a mencionar a continuación, pero, hay que tener en cuenta que la escogencia del material que va a ser reemplazado depende del diseñador el cual esté realizando este tipo de concretos.

Evaluación de las propiedades físico – mecánicas del concreto convencional reemplazando agregado grueso con polietileno de tereftalato en distintas proporciones

En el año 2017 Michael Anthony Léctor Lafitte realizó un estudio en concreto celular. Así como Jigoro, obtuvo la misma conclusión, en donde el concreto celular, como material de construcción es capaz de soportar esfuerzos a compresión que garanticen la utilidad por el cual es requerido este concreto, para ello se estudiaron las propiedades mecánicas demostrando que el concreto aumenta su resistencia al principio de la utilización, pero disminuye su resistencia a través de la edad del material.

La resistencia del material depende considerablemente de la cantidad de los materiales implementados, es decir, a mayor cantidad de materiales es mayor su densidad y aumenta la resistencia [16]. Adicionalmente, Zainab Z Imsial en una investigación realizada en la universidad de Baghdad concluye que la disminución en la resistencia puede deberse a la pobre adhesión entre la superficie del plástico y la pasta de cemento [17].

En el 2017 Caballero realizó una tesis de investigación desarrollada versando sobre la fabricación de bloques de concreto con la sustitución de agregados tuvo como resultado que a la muestra con menor porcentaje de sustitución de polipropileno (12.5%) obtuvo una resistencia equivalente a 3.5MPa que resultó ser la mayor de todos los especímenes con sustitución y que fueron objeto de ensayo. Efectos adicionales e importantes como la reducción del costo al sustituir la porción fina de agregado en la mezcla. [18].

Apuntando a ese objetivo de reducir el uso de agregado fino, en Canadá en 2017 se reemplazó principalmente una cantidad de arena fina en la mezcla de concreto tradicional para la realización de bloques de concreto, sustituidos por residuos de plástico. De sus resultados se pudo colegir que el valor del esfuerzo a compresión se incrementa en 2MPa Pero que es factible llevar una sustitución hasta del 20% en dichos bloques para aplicación de un muro sin carga. Y para concreto puede sustituirse hasta 25 – 30%.

La elección de dicho material es de corte meramente ecológico y tuvo que ver con el objeto de reducir la cantidad de residuos de plástico que terminan en los rellenos o incluso en los cuerpos de agua. Los resultados de este estudio realizado muestran que se incrementa un valor mínimo estándar en el esfuerzo a la compresión de 2 Mpa, sin embargo, se obtiene que es factible la utilización de bloques con un 20% de este material en la sustitución de la arena y puede ser utilizado en las construcciones de un muro sin carga. Además, la adición del plástico en el concreto puede ser alrededor del 25 – 30% [19].

Por otra parte, se elaboró un estudio en la Universidad de Bath, India reemplazando el polipropileno por arena ya que este país aborda la escasez de arena, buscando sustituir un 10% de la arena usada en el concreto por plástico reciclado molido y disminuyendo unos 820 millones de toneladas de arena anualmente [20]

6.4. MARCO NORMATIVO

Para la realización de este trabajo se tendrá en cuenta norma técnica colombiana (NTC) para las especificaciones y propiedades que deben de tener los materiales que la componen, así como para la realización de ensayos a compresión de cilindros de concreto. Las normas a utilizar en la ejecución de este proyecto serán definidas en la (Tabla 6.1).

Tabla 6-1 Marco normativo

NORMATIVA	DESCRIPCIÓN
NTC-30	Cemento Portland, Clasificación, propiedades y nomenclatura
NTC- 127	Método para determinar las impurezas inorgánicas de los agregados de la mezcla
NTC- 454	Toma de muestras para determinar el asentamiento del concreto
NTC- 673	Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto
NTC- 3459	Agua para la elaboración del concreto
NTC-3357	Método para determinar las características de la arena en concreto
NTC- 174	Concretos. Especificaciones de los agregados para concreto
NTC- 4045	Agregados livianos para concreto estructural.
NTC- 112	Mezcla mecánica de pastas de cemento hidráulico y morteros de consistencia plástica
NTC- 396	Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto
NTC- 176	Método de ensayo para determinar la densidad y la absorción del agregado grueso
NTC-237	Método de ensayo para determinar la densidad y la absorción del agregado fino
NTC-77	Método para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos
NTC- 673	Ensayo de resistencia a la compresión de cilindros normales de concreto

Fuente: Autor

6.5. MARCO GEOGRÁFICO

La investigación se lleva a cabo en el laboratorio de concretos de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Santo Tomás campus Aguas Claras ubicado en la ciudad de Villavicencio. A continuación, se presenta la ubicación exacta donde se realiza el proyecto (Figura 6.1)

Evaluación de las propiedades físico – mecánicas del concreto convencional reemplazando agregado grueso con polietileno de tereftalato en distintas proporciones

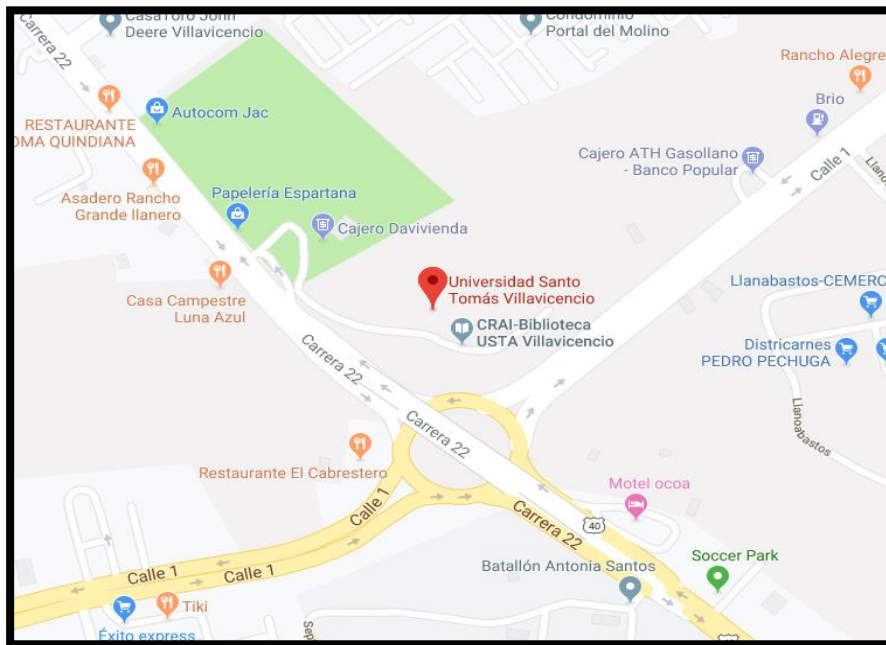


Figura 6.1 Ubicación Universidad Santo Tomás
Fuente: Google maps

7. EQUIPO DE INVESTIGACIÓN Y TRAYECTORIA

Tabla 7-1 Equipo de trayectoria e investigación

Personal	Nombre	Perfil	Experiencia
Estudiante	Madelein Natalia Sanabria Rojas	Estudiante Facultad de Ingeniería Civil	Se ha incrementado su desarrollo a partir de proyectos integradores que se realizaron en tres semestres de la facultad (sexto, séptimo y octavo) de los cuales se obtiene conocimiento para la radicación de la tesis de investigación.
Director	Jhon Jairo Gil Peláez	Ingeniero mecánico, Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica con énfasis en mecánica de sólidos, Maestría en Ingeniería Civil con énfasis en Estructuras, Especialista en Gerencia de Instituciones de Educación Superior, Doctorado en Ingeniería civil con énfasis en estructuras	Más de 20 años de experiencia en docencia e investigación.

Fuente: Autor

8. METODOLOGÍA

A partir del diagrama expuesto a continuación se muestra la metodología experimental que sigue los pasos del método científico para para alcanzar los objetivos propuestos en esta investigación.

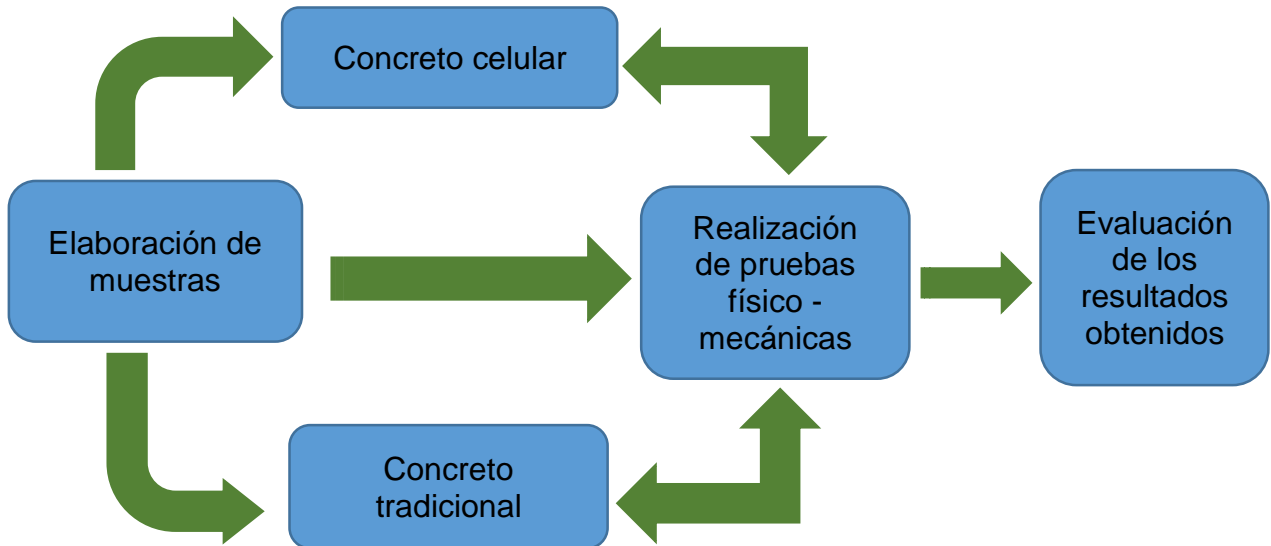


Figura 8.1 Metodología
Fuente: Autor

8.1. DESCRIPCIÓN DE ETAPAS Y TAREAS

A continuación, se presentan las etapas y tareas asignadas:

1. Realización de muestras de concreto celular y concreto convencional.

Se deben desarrollar las mezclas de materiales teniendo en cuenta los diferentes porcentajes de Polietileno de Tereftalato (25%, 50%, 75% y 100%), los cuales van a sustituir el material grueso en la elaboración de muestras. Luego, las mezclas son ubicadas en cada molde cilíndrico para después de endurecido el material, se llevan a un proceso de curado. Se realiza la mezcla para un total de 55 muestras de concreto (tradicional y celular).

2. Elaboración de ensayos

Los ensayos para determinar las propiedades físico - mecánicas son los siguientes:

- Ensayo de asentamiento

Evaluación de las propiedades físico – mecánicas del concreto convencional reemplazando agregado grueso con polietileno de tereftalato en distintas proporciones

- Ensayo de densidad y absorción de agregados
- Ensayo de granulometría
- Ensayo de manejabilidad y consistencia del concreto
- Ensayos de contenido de humedad de los agregados
- Ensayos a compresión

3. Evaluación de los resultados obtenidos.

Se determina y evalúan las propiedades físicas del concreto celular y del concreto convencional (consistencia, manejabilidad, densidad y absorción de agua), Asimismo, se evalúa la resistencia a compresión para los tipos de concretos basado en la norma NTC-673, en la cual se determina que las muestras elaboradas se deben valorar una vez hayan transcurrido 7 días con su respectivo curado y cuando hayan cumplido los 28 días. Adicionalmente, se evalúan a los 14 días para obtener un punto medio entre días de ensayos y así generar mejores resultados en la investigación.

8.2. POBLACIÓN, MUESTRAS, VARIABLES E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

8.2.1 Población

La población se estima con base a lo establecido en la norma NTC-673, teniendo en cuenta que se deben elaborar tres o más especímenes para cada edad en las que se va a realizar las pruebas a compresión. Se llevan a cabo 9 tipos de muestras para la fabricación de concreto convencional y otros 9 por cada porcentaje para la elaboración de concreto celular, considerando que se va a implementar el (25%, 50%, 75% y 100%) de Polietileno de Tereftalato. Además, se dejarán dos muestras testigo durante la realización del concreto convencional y dos por cada porcentaje de Polietileno de Tereftalato establecido.

Se desarrollará un total de 55 muestras para los dos tipos de concreto con el fin de poder obtener varios resultados en los ensayos de compresión que permitan demostrar una buena comparación para elaborar la evaluación correspondiente.

Es importante resaltar que se generan las 55 muestras con respecto al precio que puede llegar a ser favorable para el autor, debido a que los familiares del autor son los encargados de financiar el desarrollo de la investigación.

A continuación, se detallan las cantidades de especímenes según las edades de falla para ensayos a compresión y las muestras testigo.

Evaluación de las propiedades físico – mecánicas del concreto convencional reemplazando agregado grueso con polietileno de tereftalato en distintas proporciones

Tabla 8-1 Población

MUESTRA DE CONCRETO	CANTIDAD DE ESPÉCIMEN SEGÚN EDADES DE FALLA			CANTIDAD DE TESTIGOS	CANTIDAD TOTAL DE ESPECÍMENES POR MUESTRA
	7 DÍAS	14 DÍAS	28 DÍAS		
Tradicional	3	3	3	2	11
25% de PET	3	3	3	2	11
50% de PET	3	3	3	2	11
75% de PET	3	3	3	2	11
100% de PET	3	3	3	2	11

Fuente: Autor

8.2.2 Muestras

Está constituida por probetas cilíndricas de 15x30cm (altura y diámetro) para implementar los materiales referidos a continuación de acuerdo con el tipo de concreto a desarrollar, teniendo en cuenta que se va a realizar un concreto con una resistencia de 3000 psi.

Para la realización de la muestra del concreto convencional se deben agregar los siguientes materiales:

- Arena
- Agua
- Grava
- Cemento portland

Se realiza la muestra para el concreto celular con los siguientes materiales:

- Arena de río
- Grava
- Cemento portland tipo 1
- Polietileno de Tereftalato triturado
- Agua

7.3.2 Variables

- Dependiente: Propiedades físico- mecánicas

Propiedades físicas:

1. Consistencia
2. Manejabilidad
3. Densidad y absorción de agregados

Evaluación de las propiedades físico – mecánicas del concreto convencional reemplazando agregado grueso con polietileno de tereftalato en distintas proporciones

Propiedades mecánicas:

1. Resistencia a compresión

- Independiente: Porcentaje sustituido de Polietileno de Tereftalato

8.2.3 Instrumentos

Instrumentos directos: Son los necesarios para llevar a cabo los ensayos determinados en la elaboración de etapas y tareas, se deben tener en cuenta las siguientes herramientas.

- Cono de Abrahms
- Tamices
- Brocha
- Probetas
- Termómetro
- Palustre
- Balanza analítica
- Martillo de hule
- Moldes cilíndricos de 15 cm de diámetro por 30 cm de longitud
- Varilla lisa de 3/8” de acero estructural con punta redondeada

9. ETAPA 1 (CAPÍTULOS DE DESARROLLO)

A continuación, se presentan las etapas y tareas asignadas:

1. Realización de muestras de concreto celular y concreto convencional.

Son elaboradas las mezclas de materiales teniendo en cuenta los diferentes porcentajes de Polietileno de Tereftalato (25%, 50%, 75% y 100%), los cuales van a sustituir el material grueso en la elaboración de muestras. Luego, las mezclas son ubicadas en cada molde cilíndrico para después de endurecido el material ser llevadas a un proceso de curado. Se realiza la mezcla para un total de 55 muestras de concreto (tradicional y celular).

2. Elaboración de ensayos

Los ensayos para determinar las propiedades físico - mecánicas son los siguientes:

- Ensayo de asentamiento
- Ensayo de densidad y absorción de agregados
- Ensayo de granulometría
- Ensayo de manejabilidad y consistencia del concreto
- Ensayos de contenido de humedad de los agregados
- Ensayos a compresión

3. Evaluación de los resultados obtenidos.

Se determinan las propiedades físicas del concreto celular y del concreto convencional (consistencia, manejabilidad, densidad y absorción de agua), Asimismo, se evalúa la resistencia a compresión para los tipos de concretos con base en la norma NTC-673, en la cual se determina que las muestras elaboradas se deben ensayar una vez hayan transcurrido 7 días con su respectivo curado y cuando hayan cumplido los 28 días. Adicionalmente, se evalúan a los 14 días para obtener un punto medio entre días de ensayos y así generar mejores resultados en la investigación.

10. ETAPA 2 (ELABORACIÓN DE ENSAYOS)

- Ensayo de asentamiento
- Ensayo de densidad y absorción de agregados
- Ensayo de granulometría
- Ensayo de manejabilidad y consistencia del concreto
- Ensayos de contenido de humedad de los agregados
- Ensayos a compresión

GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS

Para llevar a cabo el procedimiento de granulometría se debe tener en cuenta la Norma Técnica Colombiana #77 (NTC-77), la cual indica que se deben utilizar de 300 a 500 gramos de agregado fino y 1000 a 2000 gramos de agregado grueso, luego se colocan los agregados en un horno a temperatura 110°C hasta obtener completamente seco el material. Posteriormente, las muestras se deben pasar por una serie de tamices dependiendo el tipo de agregado.

Para agregado grueso se pasa el material por la siguiente serie de tamices en orden descendente (3", 2", 1½", 1", ¾", ½", 3/8," # 4 y Fondo) y para agregado fino se pasa por los siguientes tamices (# 4, # 8, # 16, # 30 #60, #100, #200 y Fondo). El manejo de los tamices se realiza manualmente de forma circular con una mano mientras se golpea con la otra durante un minuto. Después se pesa la muestra retenida en cada tamiz con aproximación a 0.1gr y se toman los datos obtenidos en forma tabular.

En la columna 1 se muestran los tamices utilizados en orden descendente, en la columna 2 se presenta la abertura de cada tamiz en milímetros, en la columna 3 se observan los pesos de cada material retenido en los diferentes tamices, para la columna 4, cada uno de los pesos se expresa como porcentaje retenido del peso total de la muestra.

$$\%RETENIDO = \frac{\text{Peso del material retenido en tamiz}}{\text{Peso total de la muestra}} * 100$$

En la columna 5, se indica el % retenido acumulado y finalmente para la columna 6 se registra el porcentaje acumulado que pasa, el cual se expresa de la siguiente forma:

$$\%PASA = 100 - \%Retenido\ acumulado$$

Adicionalmente se establece el criterio de Módulo de Finura (MF) para agregado fino, y se indica el Tamaño Máximo (TM) y el Tamaño Máximo Nominal (TMN) para agregado grueso.

Evaluación de las propiedades físico – mecánicas del concreto convencional reemplazando agregado grueso con polietileno de tereftalato en distintas proporciones

A continuación, se presentan los datos obtenidos de la granulometría para agregado fino:

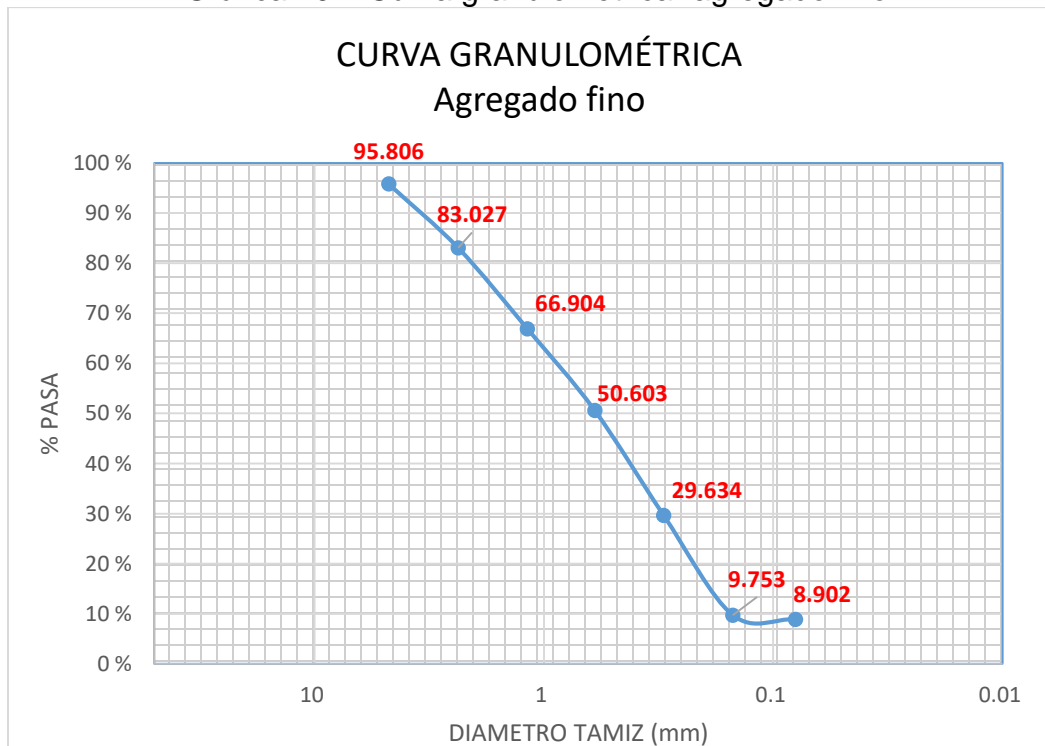
Tabla 10-1 Granulometría agregado fino

GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO					
TAMIZ	ABERTURA (mm)	RETENIDO (gr)	%RETENIDO	%RETENIDO ACUMULADO	%PASA
#4	4,75	21,2	4,194	4,194	95,806
#8	2,36	64,6	12,779	16,973	83,027
#16	1,18	81,5	16,123	33,096	66,904
#30	0,6	82,4	16,301	49,397	50,603
#60	0,3	106	20,969	70,366	29,634
#100	0,15	100,5	19,881	90,247	9,753
#200	0,08	4,3	0,851	91,098	8,902
FONDO		45	8,902	100,000	-
TOTAL		505,5	100,000	-	-

Fuente: Autor

Adicionalmente, se muestra mediante la siguiente gráfica el comportamiento de la granulometría realizada.

Gráfica 10.1 Curva granulométrica- agregado fino



Fuente: Autor

Evaluación de las propiedades físico – mecánicas del concreto convencional reemplazando agregado grueso con polietileno de tereftalato en distintas proporciones

A continuación, se presentan los datos obtenidos de la granulometría para agregado grueso:

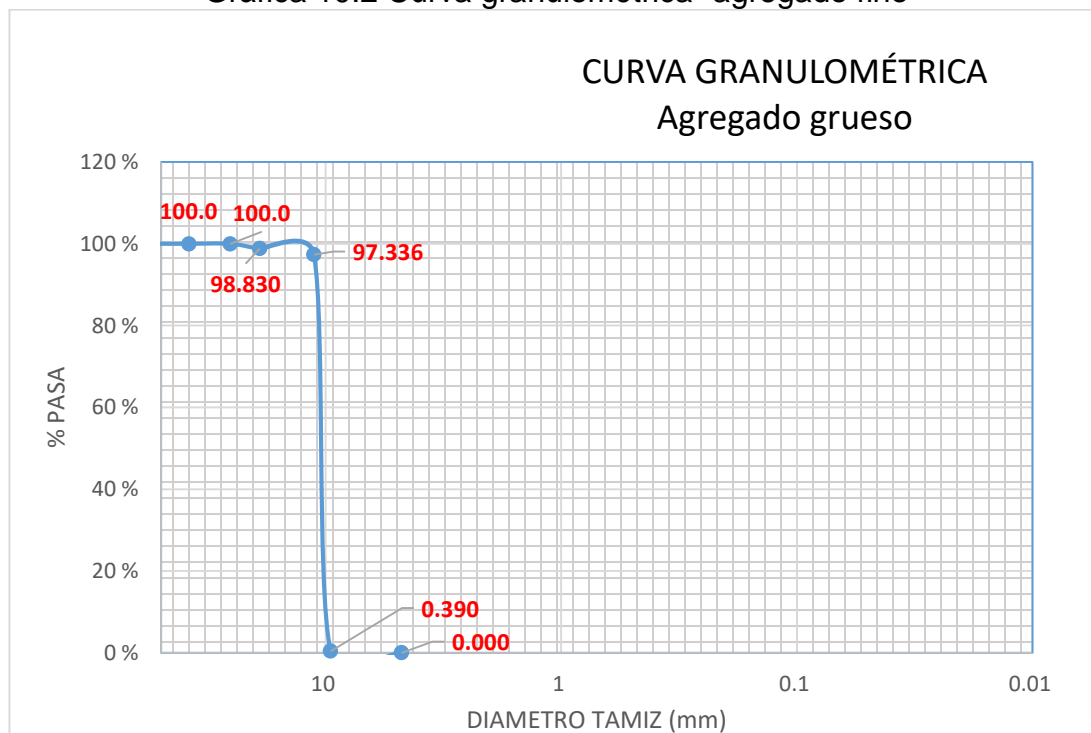
Tabla 10-2 Granulometría agregado grueso

Granulometría agregado grueso					
TAMIZ	ABERTURA (mm)	RETENIDO (gr)	%RETENIDO	%RETENIDO ACUMULADO	%PASA
3"	76.12	0	0.000	0.000	100.0
2"	50.8	0	0.000	0.000	100.0
1 1/2"	38.1	0	0.000	0.000	100.0
1"	25.4	0	0.000	0.000	100.0
3/4"	19.05	18	1.170	1.170	98.830
1/2"	11.2	23	1.494	2.664	97.336
3/8"	9.52	1492	96.946	99.610	0.390
#4	4.76	6	0.390	100.000	0.000
FONDO		0	0.000	100.000	-
TOTAL		1539	100.000	-	-

Fuente: Autor

Adicionalmente, se muestra mediante la siguiente gráfica el comportamiento de la granulometría realizada.

Gráfica 10.2 Curva granulométrica- agregado fino



Fuente: Autor

CONTENIDO TOTAL DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

El contenido de humedad de los agregados se determina a partir de un ensayo por secado mediante una fuente de calor (horno) a temperatura aproximadamente de 110 °C, se debe pesar la masa inicial del material para luego dejar secar totalmente la muestra de agregado fino y grueso mediante la fuente de calor. Luego de tener completamente seco el material se deja enfriar para poder pesar la muestra en una balanza analítica. Todo lo descrito anteriormente se realiza con base a la norma NTC #1776.

El contenido de humedad se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$W = 100 (H - S)/S$$

Donde:

- S: Masa de la muestra seca
- H: Masa inicial de la muestra

Agregados finos

- H= 505,5 gr
- S= 494,4 gr
- W= 2,25%

Agregados gruesos

- H= 1539 gr
- S= 1520,7 gr
- W= 1,20%

DENSIDAD Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO

Para determinar los valores de densidad y absorción del agregado grueso y material fino se debe secar la muestra en un horno a una temperatura de 110 °C, luego se deja enfriar el agregado durante 1 a 3 horas aproximadamente, después se sumerge el material en agua 24 horas a través de una canasta de alambre con abertura de 3.35 mm. Después de culminar el tiempo se remueve totalmente el agua y se ubica el material en una toalla para remover todas las partículas de agua presentes. Se vuelve a dejar secar el material y se determina la masa de la muestra en la condición superficialmente seca.

Inmediatamente después de establecer la masa, se ubica la muestra saturada y superficialmente seca en el recipiente de la muestra y se indica su masa en el agua. Después se deja secar la muestra en el horno a una temperatura de 110°C, luego de estar totalmente seca, es necesario dejar que se enfríe para luego obtener su masa.

Evaluación de las propiedades físico – mecánicas del concreto convencional reemplazando agregado grueso con polietileno de tereftalato en distintas proporciones

Posteriormente se calcula la absorción total del material pétreo y agregado fino teniendo los valores de las masas calculadas anteriormente. Para ello, se debe aplicar la siguiente ecuación:

Teniendo en cuenta que:

- A: Masa de la muestra secada al horno (gramos)
- B: Masa de la muestra saturada y superficialmente seca (gramos)
- C: Masa de la muestra saturada (gramos)

$$ABSORCIÓN, \% = \frac{(B - A)}{A} * 100$$

Seguidamente se calcula la densidad aparente, densidad aparente (saturada y superficialmente seca) y la densidad nominal aplicando las siguientes ecuaciones:

$$DENSIDAD APARENTE = \frac{(0,9975 * A)}{(B - C)}$$

$$DENSIDAD APARENTE (Saturada - superficialmente seca) = \frac{(0,9975 * B)}{(B - C)}$$

$$DENSIDAD NOMINAL = \frac{(0,9975 * A)}{(A - C)}$$

Es de vital importancia resaltar que el ensayo de absorción y densidad del agregado grueso no se pudo llevar a cabo debido a que el laboratorio no contaba con la canasta de alambre la cual es necesaria para la realización de este.

ENSAYO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO

Es importante primero preparar la muestra para realizar el ensayo obteniendo un kilogramo (1 kg) de material fino y se deja secar el material en un horno a temperatura de $110^{\circ}C \pm 5^{\circ}C$, después de que el material se seque completamente se deja enfriar para lograr manipularlo adecuadamente y se sumerge en agua alrededor de 24 horas. Posteriormente, se vierte el material para eliminar el exceso de agua y se expande sobre una superficie para revolverse constantemente y lograr secar el material.

Posteriormente se utiliza un picnómetro con 500 gramos de material saturado y superficialmente seco implementando agua hasta aproximadamente el 90% de la capacidad de este. Después, se agita el picnómetro y se indica el valor de la masa total del picnómetro con la muestra y el agua.

Evaluación de las propiedades físico – mecánicas del concreto convencional reemplazando agregado grueso con polietileno de tereftalato en distintas proporciones

Luego se extrae el material fino del picnómetro para nuevamente dejar secar la muestra, esperar su enfriamiento y determinar la masa resultante. Seguidamente, se toma el valor de la masa del picnómetro lleno con agua.

Finalmente, con los valores de las masas obtenidas se determina el porcentaje de absorción del agregado fino y las densidades (densidad aparente, densidad aparente (saturada y superficialmente seca) y densidad nominal). Teniendo en cuenta que:

- A: Masa de la muestra seca al horno (gramos)
- B: Masa del picnómetro lleno con agua (gramos)
- C: Masa del picnómetro con la muestra y el agua (gramos)
- S: Masa de la muestra saturada y superficialmente seca (gramos)

$$ABSORCIÓN, \% = \frac{(S - A)}{A} * 100$$

DISEÑO DE MEZCLA

Para el diseño de mezcla se utilizará la metodología seguida por el comité A.C.I. 211 con las modificaciones de A.C.I. 211.1, adecuado a las condiciones y materiales del medio colombiano.

Tabla 10-3. Datos iniciales

DATOS INICIALES		
F'c	3000	Psi
F'c	210	Kg/cm ²
Peso específico A. finos	2680	kg/cm ³
Peso específico A. gruesos	2550	kg/cm ³
Humedad fino	2,25	%
Humedad grueso	1,2	%
MF finos	2,64	

Fuente: Autor

Los datos de la tabla 10.3, son extraídos de laboratorios hechos anteriormente y a partir de estos y con base a la norma se realizará la mezcla para 3000 Psi.

Evaluación de las propiedades físico – mecánicas del concreto convencional reemplazando agregado grueso con polietileno de tereftalato en distintas proporciones

Tabla 10-4. Asentamiento de la mezcla tomado de la tabla 11.20 de la A.C.I.

SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO			
Tabla 11.20	SECA	20-35	mm

Fuente: Autor

Tabla 10-5. Selección del tamaño máximo del agregado según la norma.

SELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO		
	DIMENSIÓN MÍNIMA DE LA SECCIÓN	MUROS REFORZADOS, VIGAS Y COLUMNAS
Tabla 11.6	19-29 cm	3/4 " - 1 1/2"

Fuente: Autor

Para la tabla 10.5 se seleccionó una exposición ligera ya que dicho material se estará sometido a condiciones de intemperie, en base al T.M.A que fue calculado anteriormente.

Tabla 10-6. Estimación del contenido de aire.

ESTIMACIÓN DE CONTENIDO DE AIRE				
Tabla #3	3/4"	Exposición ligera	3,5	%

Fuente: Autor

Para la selección del agua mezclada, existen 4 tablas en las que se utiliza dependiendo de la textura del material y si contiene aire o no, para este caso se utilizó la tabla 11.8 de la norma A.C.I. 211, que se expresará en la tabla 10.7.

Tabla 10-7. Cantidad de agua de mezclado.

ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA DE MEZCLADO				
		Asentamiento (mm)	Tamaño máximo del agregado	
Textura angular y rugosa (Con aire)	Tabla 11.8	25	174	
		50	179	
		30	175	Kg/m ³

Fuente: Autor

Dado que el asentamiento de la mezcla fue 30 mm se realizó una interpolación con la finalidad de establecer la cantidad de agua para la mezcla.

Para la tabla 10.9 al no poseer datos de desviación estándar se utiliza una tabla presentada en la tabla 10.8.

Evaluación de las propiedades físico – mecánicas del concreto convencional reemplazando agregado grueso con polietileno de tereftalato en distintas proporciones

Tabla 10-8. Resistencia de diseño de la mezcla F'cr.

Resistencia especificada f'c (kg/cm ²)	Resistencia de diseño de la mezcla f'cr (kg/cm ²)
Menos de 210 kg/cm ²	f'c + 70 kg/cm ²
De 210 kg/cm ² a 350 kg/cm ²	f'c + 85 kg/cm ²
Más de 350 kg/cm ²	f'c + 100 kg/cm ²

Fuente: Sánchez. TECNOLOGÍA DEL CONCRETO Y DEL MORTERO (Pág. 228-345).

Tabla 10-9. Resistencia requerida para el diseño.

COEFICIENTE DE RESISTENCIA DE DISEÑO		
F'cr		Kg/cm ²
	295	

Fuente: Autor

Para la tabla 10.10 se usará la tabla 10.9, ya que se estima presencia de aire en la mezcla, ya que dicha mezcla se verá afectada por el reemplazo de sus agregados gruesos por plástico, lo cual permitirá vacíos.

Tabla 10-10. Determinación de la relación agua cemento en base a la resistencia requerida para el diseño.

Resistencia a la compresión kg/cm ²	Relación agua-cemento en peso		
	Límite superior	Línea media	Límite inferior
140	-	0,65	0,58
175	-	0,59	0,52
210	0,65	0,54	0,49
245	0,61	0,5	0,46
280	0,55	0,44	0,41
315	0,51	0,41	0,39
350	0,46	0,37	0,36

Fuente: Sánchez. TECNOLOGÍA DEL CONCRETO Y DEL MORTERO (Pág. 228-345).

Después de tener la resistencia de diseño y al observar la tabla 10.10, no se encuentra una relación para 295 kg/cm² por lo que se procede a realizar una interpolación.

Evaluación de las propiedades físico – mecánicas del concreto convencional reemplazando agregado grueso con polietileno de tereftalato en distintas proporciones

Tabla 10-11. Relación agua cemento para 295 kg/cm².

SELECCIÓN AGUA/CEMENTO			
Resistencia a la compresión a los 28 días, cementos colombianos de tipo 1	A/C	280	0,44
		315	0,41
		295	0,43
	Cemento	409,70	Kg
	Factor cemento	8,19	Bultos

Fuente: Autor

Obtenida la relación agua-cemento, se calcula el peso del cemento y factor cemento que en pocas palabras son los bultos necesarios para una mezcla de 1 m³.

Tabla 10-12. Peso y cantidad de agregados gruesos.

ESTIMACIÓN DE LAS PROPORCIONES DE AGREGADOS			
3/4"		2,6	0,64
		2,8	0,62
		2,64	0,64
Agregados gruesos	1021,61	Kg	

Fuente: Autor

Una vez obtenido los pesos se procede a determinar los volúmenes, asimismo, se calcula el volumen y el peso de los agregados finos en la tabla 10.13.

Tabla 10-13. Volúmenes de los agregados.

VOLUMEN ABSOLUTO		
AIRE	0,035	m3
AGUA	0,175	m3
CEMENTO	0,130	m3
AGREGADOS GRUESOS	0,401	m3
AGREGADOS FINOS	0,259	m3
PESO AGREGADOS FINOS	694,94	Kg

Fuente: Autor

Evaluación de las propiedades físico – mecánicas del concreto convencional reemplazando agregado grueso con polietileno de tereftalato en distintas proporciones

Sin embargo, este es el peso y volumen de los agregados secos, es decir, que requieren una corrección por humedad.

Tabla 10-14. Peso de los agregados corregidos por humedad.

CORRECCIÓN POR HUMEDAD DE LOS AGREGADOS		
AGREGADOS GRUESOS	1033,867	kg
AGREGADOS FINOS	710,577	kg

Fuente: Autor

Finalmente se debe hacer la corrección del agua mezclada, que se expresará en la siguiente tabla 10.14.

Una vez hechas las correcciones, queda el proporcionamiento de la mezcla con la que se realizarán los ensayos.

Tabla 10-15. Diseño de mezcla final.

PROPORCIONAMIENTO DE DISEÑO		
CEMENTO	409,7	1,0
A. FINO	710,6	1,7
A. GRUESO	1033,9	2,5
AGUA	175,0	21,4

Fuente: Autor

Normalmente se hace una corrección por agua, sin embargo, la carencia de materiales para realizar los ensayos en laboratorio, no se puede realizar esta última corrección, pero se resalta que la cantidad de agua es mayor a 21,4 lts.

ENSAYO DE ASENTAMIENTO

Para realizar el ensayo de asentamiento, inicialmente se debe humedecer el molde o cono de Abramhs con aceite para evitar que quede material dentro de él. Luego se debe ubicar sobre una superficie plana y limpia para incorporar la mezcla de concreto seleccionada mientras se apisona con los pies el molde para no provocar movimientos que puedan alterar los resultados.

El cono debe llenarse en 3 capas, en cada una de ellas se debe ejercer una serie de 25 golpes distribuidos uniformemente y en diferentes puntos sobre la sección transversal con una varilla lisa con punta redonda de 16 mm de diámetro. Al terminar de implementar la tercera capa se debe enrasar la superficie con la varilla.

Finalmente, se levanta cuidadosamente en forma vertical el cono de Abramhs sin tocar la mezcla ni generando movimiento torsor. El material inmediatamente produce un asentamiento equivalente a la diferencia entre la altura inicial y la superficie superior del concreto, desplazada. Se toma la medida correspondiente a cada tipo de concreto y el asentamiento resultante detallando la información en la siguiente tabla (Tabla 10-16. Asentamiento).

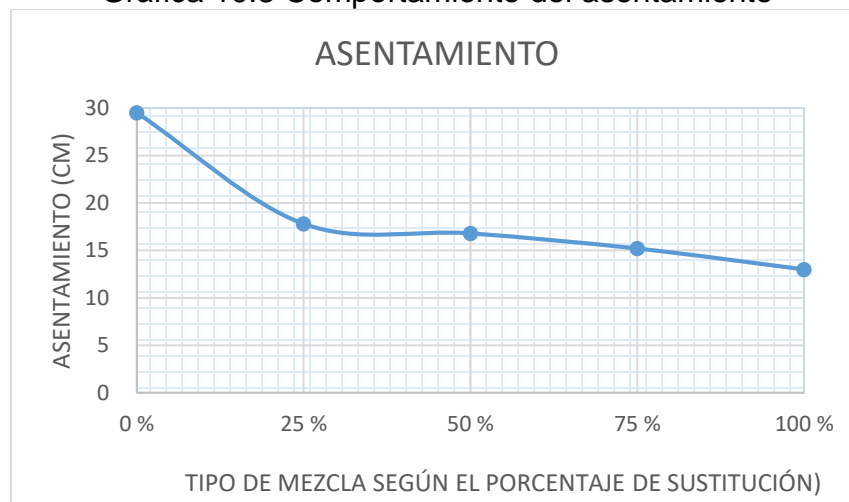
Tabla 10-16. Asentamiento

TIPO DE CONCRETO	ASENTAMIENTO (mm)
Convencional	30
Concreto con 25% de PET	17,8
Concreto con 50% de PET	16,8
Concreto con 75% de PET	15,2
Concreto con 100% de PET	13

Fuente: Autor

Adicionalmente, se representa gráficamente el comportamiento del asentamiento para los diferentes tipos de concreto.

Gráfica 10.3 Comportamiento del asentamiento



Fuente: Propia

MANEJABILIDAD Y CONSISTENCIA

La manejabilidad del concreto se determina según la plasticidad del material, ya que una mezcla plástica al generar asentamiento no cambia su forma, pero una mezcla con poca plasticidad se desmenuza rápidamente [21]. Con base a lo anterior, se determina si la mezcla es manejable, poco manejable o no manejable.

Para identificar la consistencia es necesario determinar el asentamiento de cada una de las mezclas de concreto elaboradas (convencional, con 25, 50, 75 y 100% de sustitución de material granular por PET) y a raíz del asentamiento obtenido se puede observar el tipo de consistencia en la siguiente tabla:

Tabla 10-17 Consistencia

Consistencia	Asentamiento (mm)	Ejemplo de tipo de construcción	Sistema de colocación	Sistema de compactación
Muy seca	0-20	Prefabricados de alta resistencia, revestimiento de pantallas de cimentación	Con vibradores de formaleta; concretos de proyección neumática (lanzados)	Secciones sujetas a vibración extrema, puede requerirse presión
Seca	20-35	Pavimentos	Pavimentadoras con termidadora vibratoria	Secciones sujetas a vibración intensa
Semi-seca	35-50	Pavimentos, fundaciones de concreto simple	Colocación con máquinas operadas manualmente	Secciones simplemente reforzadas con vibración
Media	50-100	Pavimentos compactados a mano, losas, muros y vigas	Colocación manual	Secciones medianamente reforzadas sin vibración
Húmeda	100-150	Elementos estructurales esbeltos	Bombeo	Secciones bastante reforzadas sin vibración
Muy húmeda	150 o más	Elementos muy esbeltos, pilotes fundidos "in situ"	Tubo-embudo tremie	Secciones altamente reforzadas, sin vibración (Normalmente no adecuados para vibrarse)

Fuente: Sánchez. TECNOLOGÍA DEL CONCRETO Y DEL MORTERO (Pág. 228-345).

En la tabla continuación se describe el tipo de consistencia y manejabilidad para cada concreto elaborado.

Evaluación de las propiedades físico – mecánicas del concreto convencional reemplazando agregado grueso con polietileno de tereftalato en distintas proporciones

Tabla 10-18 Consistencia y manejabilidad del tipo de concreto

TIPO DE CONCRETO	ASENTAMIENTO (mm)	CONSISTENCIA DEL CONCRETO	ASPECTO	MANEJABILIDAD
Convencional	29,5	SECA	Con cohesión	Manejable
Concreto con 25% de PET	17,8	MUY SECA	Sin cohesión y suelto	Poco manejable
Concreto con 50% de PET	16,8	MUY SECA	Sin cohesión y suelto	Poco manejable
Concreto con 75% de PET	15,2	MUY SECA	Sin cohesión y suelto	Poco manejable
Concreto con 100% de PET	13	MUY SECA	Sin cohesión y suelto	No manejable

Fuente: Autor

ENSAYO A COMPRESIÓN

Para llevar a cabo el ensayo a compresión es importante haber realizado el diseño de mezcla correspondiente a cada porcentaje de sustitución de material pétreo por PET (25, 50, 75 y 100%), y la mezcla de concreto convencional. Se adiciona la respectiva mezcla en tres capas diferentes en 9 cilindros metálicos con dimensiones de (30x15 cm). La primera capa debe cubrir 10 cm de la altura del cilindro, la segunda 20 cm y la última debe llenar completamente el molde. Cada capa debe ser apasionada con una varilla lisa de (5/8") de diámetro proporcionando una serie de 25 golpes en diferentes partes de la superficie del material.

Después de tener el molde completamente lleno, se generan golpes con un martillo de hule en las paredes del mismo hasta que la parte visible del material cambie de mate a brillante para mitigar las burbujas de aire embebidas en el concreto. Finalmente se pasa la varilla por la superficie del espécimen para que quede totalmente lisa.

Fotografía 10.1 Moldes cilindricos con su respectiva mezcla de concreto



Fuente: Autor

Luego de completar el proceso de llenado de los 9 cilindros, se ubican en una zona completamente cubierta para evitar el ataque de agentes contaminantes. Los especímenes se retiran de los moldes después de haber transcurrido 24 horas de su elaboración. Luego deben ser llevados a un proceso de curado hasta el día en que se vaya a ensayar la muestra, teniendo en cuenta que se ensayan 3 especímenes a los 7 días de transcurrido su curado, 3 a los 14 y los 3 últimos a los 28 días.


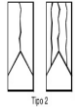




Para obtener las resistencias a compresión se deben ubicar y alinear los especímenes sobre un plano de apoyo en la máquina universal de ensayos a compresión hasta que la máquina genere la carga que lleve a la rotura del material.

A continuación, se presenta la información de los ensayos a compresión elaborados para cada tipo de concreto, teniendo en cuenta el respectivo porcentaje de sustitución de material pétreo por PET. Además, se especifican las respectivas fechas de elaboración, rotura y edad de curado de cada uno de los tres especímenes elaborados por cada porcentaje de sustitución. Adicionalmente, se detallan las dimensiones de cada cilindro fabricado con la respectiva resistencia a compresión determinada mediante los ensayos realizados. Seguidamente se detalla el tipo de falla que obtuvo cada material.

Posteriormente se muestra una gráfica representativa de cada uno de los tres especímenes elaborados teniendo en cuenta la edad de curado y el tipo de concreto, con respecto a la resistencia a compresión para determinar cuál de las tres muestras obtuvo una mayor resistencia.

Evaluación de las propiedades físico – mecánicas del concreto convencional reemplazando agregado grueso con polietileno de tereftalato en distintas proporciones

Tabla 10-19. Resistencia en Psi de los cilindros de concreto convencional y PET fallados a los 7 días.

Tipo de concreto	Edad de curado (días)	Diámetro (cm)	Carga Aplicada (KN)	Resistencia PSI del cilindro	TIPO DE FALLA							
												
Concreto convencional	7	15,1	283	2.301							x	
		15,2	273,5	2.195								x
		15,1	231,5	1.883								x
Concreto con 25% de PET	7	15,1	64,1	521								x
		15,2	74,1	595								x
		15,2	55,6	446								x
Concreto con 50% de PET	7	15	68	558								x
		15	68	438								x
		15	59	484								x
Concreto con 75% de PET	7	15,1	66,5	531								x
		15,2	58	476								x
		15	58	480								x

Evaluación de las propiedades físico – mecánicas del concreto convencional reemplazando agregado grueso con polietileno de tereftalato en distintas proporciones

Concreto con 100% de PET	7	15,1	33	271	x
		15,2	33	285	x
		15	32	256	x


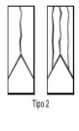


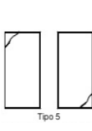

Tabla 10-20. Resistencia en Psi de los cilindros de concreto convencional y PET fallados a los 14 días.

Tipo de concreto	Edad de curado (días)	Diámetro (cm)	Carga Aplicada (KN)	Resistencia PSI del cilindro	TIPO DE FALLA					
					Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4	Tipo 5	Tipo 6
Concreto convencional	14	15,1	380	3.097						x
		15,2	384	3.082						x
Concreto con 25% de PET	14	15,2	200,7	1611			x			
		15	201,6	1611						x
		15	195,8	1614			x			
Concreto con 50% de PET	14	15	114,4	943			x			
		15,1	111,4	871		x				
		15,1	110,7	900		x				

Evaluación de las propiedades físico – mecánicas del concreto convencional reemplazando agregado grueso con polietileno de tereftalato en distintas proporciones

Concreto con 75% de PET	14	15,1	84,6	688		x	
		15,6	74,6	568			x
		15,2	80,6	647		x	
Concreto con 100% de PET	14	15,1	59	480		x	
		15,2	58	462		x	
		15	54	446		x	

Tabla 10-21. Resistencia en Psi de los cilindros de concreto convencional y PET fallados a los 28 días.

Tipo de concreto	Edad de curado (días)	Diámetro (cm)	Carga Aplicada (KN)	Resistencia PSI del cilindro	TIPO DE FALLA							
												
Concreto convencional	28	15,1	385	3.120							x	
		15,2	392	3.129							x	
		15,1	384	3.109								
Concreto con 25% de PET	28	15,2	238	1900								x
		15	230	1887								x
		15	228	1875				x				

Evaluación de las propiedades físico – mecánicas del concreto convencional reemplazando agregado grueso con polietileno de tereftalato en distintas proporciones

	28	15	137	1124		x	
Concreto con 50% de PET		15,1	138	1115			x
		15,1	138,2	1119		x	
Concreto con 75% de PET		15,1	105	860			x
	28	15,2	104	842		x	
		15,2	107	865			x
Concreto con 100% de PET		15,1	82	670		x	
	28	15,2	79	642		x	
		15	81	658		x	

Evaluación de las propiedades físico – mecánicas del concreto convencional reemplazando agregado grueso con polietileno de tereftalato en distintas proporciones

Como se puede observar en la tabla 10.5 la resistencia a la compresión de los cilindros con PET es similar entre sí mismos en los primeros 7 días, sin embargo, es muy inferior a la resistencia de los cilindros de concreto convencional. Pero a los 14 días en adelante los cilindros con el 25% de PET, tienen un mejor comportamiento, pero con una resistencia a la compresión reducida casi en un 50% a comparación del concreto convencional.

Fotografía 10.2. Falla a compresion del concreto con 25% de PET.



Fuente: Autor

El tipo de fallas que se presentan en estos tienden a diferenciarse bastante como se muestra en las fotografías 10.3, 10.4 y 10.5.

Fotografía 10.3 Falla a compresión concreto con 50% de PET



Fuente: Autor

Evaluación de las propiedades físico – mecánicas del concreto convencional reemplazando agregado grueso con polietileno de tereftalato en distintas proporciones

Si se reemplaza menos del 50% de los agregados gruesos de la mezcla de concreto convencional, en términos de observación se puede apreciar mejor el tipo de falla de estos, sin embargo, aunque su peso se reduce considerablemente la resistencia a la compresión se ve comprometida.

También es resaltable la cohesión de los materiales entre sí, ya que no tienden a desmoronarse con facilidad como se puede observar en las fotografías 10.4 y 10.5.

Fotografía 10.4 Esfuerzo a compresión concreto 75% de PET



Fuente: Autor

Fotografía 10.5 Esfuerzo a compresión concreto 100% de PET



Fuente: Autor

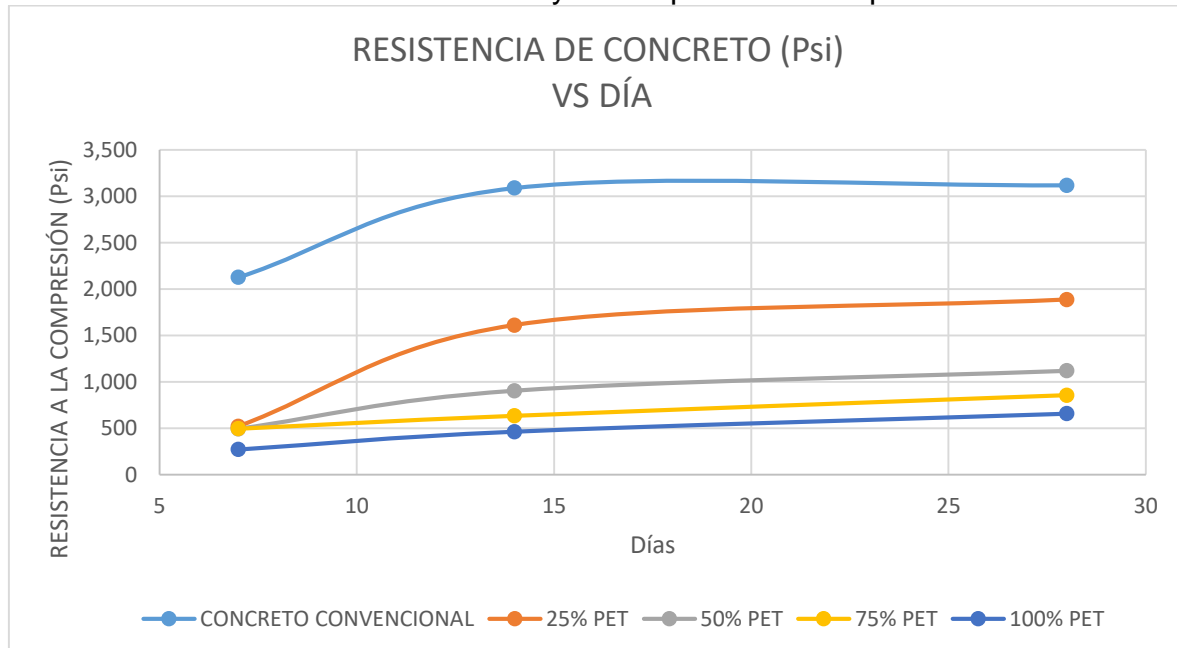
A partir de más de 50% de reemplazo de los agregados gruesos, la resistencia se reduce drásticamente y así mismo el material se comporta como la arena, es decir, que al someterlo a la compresión no resiste mucho y además de esto la cohesión

Evaluación de las propiedades físico – mecánicas del concreto convencional reemplazando agregado grueso con polietileno de tereftalato en distintas proporciones

del material es muy bajo por lo que el cemento y los agregados como arena no se unen adecuadamente, por lo que estos simplemente se separan con facilidad.

Estos cilindros tienden a ser porosos y no tienen ninguna utilidad al momento de aportar resistencia a la estructura, como se muestra en la gráfica 10.3.

gráfica 10.4. Comparación de la resistencia a la compresión de los cilindros de concreto convencional y los respectivos reemplazos.



Fuente: Autor

Como se puede observar en la anterior gráfica, La resistencia se reduce significativamente siendo está del 50% para el 25% de reemplazo de los agregados gruesos por PET, sin embargo, este comportamiento se debe a que el material usado para el reemplazo tiene a ser grande, por lo que, en vez de comportarse como el agregado grueso, impide o dificulta la cohesión de los materiales, lo cual desfavorece la resistencia.

COSTOS

En este caso se usó grava mixta, por comodidad de precios se procedió a hacer la separación de estos materiales y por consiguiente de 8 bultos de grava de $\frac{3}{4}$ " salía 6 de grava pura y 2 de material fino, dato que salió a partir de la granulometría; con esta premisa se realizó los siguientes cálculos.

Evaluación de las propiedades físico – mecánicas del concreto convencional reemplazando agregado grueso con polietileno de tereftalato en distintas proporciones

Tabla 10-22. Costos de los materiales.

MATERIAL	CANTIDAD	PRECIO
CEMENTO 50Kg	3	\$ 23.000
Grava Mixta 3/4" 40 Kg	8	\$ 6.900
Plástico triturado 75 Kg	1	\$ 16.700

Fuente: Autor

Teniendo la proporción de la mezcla para un metro cúbico se realiza una conversión a 55593 cm³ que son en total 11 moldes para los cilindros.

Tabla 10-23. Proporción de la mezcla para 1 m³.

PROPORCIÓN MEZCLA 1 m3 (PESO)			
CEMENTO	1	409,7	Kg
AGREGADO GRUESO	1,7	1033,9	Kg
AGREGADO FINO	2,5	710,6	Kg
AGUA	21,4	175,0	lts

Fuente: Autor

Tabla 10-24. Proporción para los 11 cilindros.

PROPORCIÓN MEZCLA 55593 cm3 (PESO)			
CEMENTO	1	22,8	Kg
AGREGADO GRUESO	1,7	57,5	Kg
AGREGADO FINO	2,5	39,5	Kg
AGUA	21,4	9,7	lts

Fuente: Autor

Obtenida la proporción para los cilindros de concreto convencional, se procede a extraer el porcentaje para los cilindros con 25%, 50% y 75% de PET. Dado que el peso específico del plástico triturado es diferente al de los agregados gruesos y finos, se debe considerar no tener en cuenta únicamente el peso de cada uno para realizar la cubicación en volumen de material para los cilindros, por lo que se debe tener en cuenta el peso específico del plástico triturado es de 400 kg/cm³, se calculó.

Evaluación de las propiedades físico – mecánicas del concreto convencional reemplazando agregado grueso con polietileno de tereftalato en distintas proporciones

Tabla 10-25. Proporción de la mezcla con plástico para los 11 moldes basado en el volumen.

PROPORCIÓN MEZCLA CON PLÁSTICO 55593 cm ³ (VOLUMEN)			
CEMENTO	1	0,007	m ³
AGREGADO GRUESO	1,7	0,017	m ³
PLÁSTICO		0,006	m ³
AGREGADO FINO	2,5	0,015	m ³
AGUA	21,4	0,010	lts

Fuente: Autor

En la tabla 10.25, se tiene en cuenta el peso específico del plástico ya que obviar este dato, generaría un aumento en el volumen de la mezcla y por consiguiente los desperdicios de los materiales sería evidente, una vez obtenido esto, se procede a realizar los cálculos de los costos.

Tabla 10-26. Proporción de la mezcla con el peso corregido.

PROPORCIÓN MEZCLA CON PLÁSTICO 55593 cm ³ (PESO)			
CEMENTO	1	22,8	Kg
AGREGADO GRUESO	1,7	43,1	Kg
PLÁSTICO		2,3	Kg
AGREGADO FINO	2,5	39,5	Kg
AGUA	21,4	9,7	lts

Fuente: Autor

Costos de los cilindros de concreto convencional y concreto con 25% de PET:

Tabla 10-27. Costo de 11 cilindros de concreto convencional.

COSTO MEZCLA CONVENCIONAL 3000 Psi (PESO)	
CEMENTO	\$ 10.477
AGREGADO GRUESO	\$ 9.915
AGREGADO FINO	\$ 6.814
AGUA	\$ 1.000
TOTAL	\$ 28.206

Fuente: Autor

Evaluación de las propiedades físico – mecánicas del concreto convencional reemplazando agregado grueso con polietileno de tereftalato en distintas proporciones

Tabla 10-28. Costos de 11 cilindros de concreto con 25% PET.

COSTO MEZCLA CONVENCIONAL 3000 Psi (25% PET) (PESO)		
CEMENTO	\$	10.477
PLÁSTICO	\$	502
AGREGADO GRUESO	\$	7.436
AGREGADO FINO	\$	6.814
AGUA	\$	1.000
TOTAL	\$	26.229

Fuente: Autor

Se puede observar que al comparar las tablas resulta que es un 7% más económico realizar los cilindros con agregados PET, sin embargo, se está sacrificando resistencia por disminución del peso y precio.

11. ANÁLISIS DE RESULTADOS

- Teniendo en cuenta que la resistencia mínima del concreto convencional o tradicional es de 2465 Psi, se observó que ninguno de los porcentajes de reemplazo funcionó, siendo la resistencia a la compresión de la mezcla 25% PET de un total de 1887 Psi, siendo la más alta a diferencia de 50%, 75% y 100%, debido a que el plástico no permitía la cohesión de los materiales de una forma adecuada, dado que su tamaño era considerable como se aprecia en la fotografía 11.1 notándose que en el cilindro se presentan vacíos que afectan a la resistencia, por lo que no es recomendable usar el plástico por lo menos mayor al 25%.

Fotografía 11.1. Tamaño de la partícula de plástico en la mezcla del 100% PET.



Fuente: Autor

- Al incrementar el polipropileno y disminuir en determinados porcentajes el material pétreo, se observó que el volumen aumentó considerablemente presentándose un sobrante de mezcla, asimismo, esto aumentaba los vacíos en las muestras por lo que las probetas con mayor porcentaje de reemplazo, tendían a ser livianas, pero desfavoreciendo drásticamente la resistencia a la compresión y por último aumentando los desperdicios de forma considerable.
- Con base a los siguientes resultados de pesos específicos de cada muestra elaborada, se puede observar que entre más PET se agregue, más liviano se hace el espécimen.

Evaluación de las propiedades físico – mecánicas del concreto convencional reemplazando agregado grueso con polietileno de tereftalato en distintas proporciones

- ✓ 25% de sustitución: 10,7 kg
- ✓ 50% de sustitución: 9,6 kg
- ✓ 75% de sustitución: 8,5 kg
- ✓ 100% de sustitución: 7,4 kg
- ✓ Convencional: 12,13 kg

Dado que las resistencias de los cilindros con PET (50%, 75% y 100%) resultan ser muy bajas en la mayoría de los casos, se tomará en cuenta sólo la del 25% que es el caso menos afectado, por lo que comparando los pesos de los cilindros convencionales y del PET 25% se puede notar una reducción del peso en un 13%, lo que en términos de aligerar el peso de la estructura es favorable.

- De los ensayos a compresión, teniendo en cuenta solamente los cilindros convencionales y los PET se puede notar una reducción de los costos de los materiales del 7% es decir que realizar 11 cilindros de concreto convencional saldría por \$28.206 COP y 11 de concreto con 25% PET por \$26.229 COP, a pesar de que se reduzca el peso y los costos, la reducción de la resistencia es del 39,5%, por lo que es mejor reemplazar menos del 25% de los agregados gruesos.

12. RESULTADOS E IMPACTOS

Tabla 12-1. Resultados.

Resultado	Indicador	Objetivo Relacionado
Diseño de mezcla de 3000 Psi	Diseño de Mezcla	Objetivo específico 1
Cilindros de concreto convencional, y PET (25%, 50%, 75% y 100%) de reemplazo por agregados gruesos	Ensayo de compresión	Objetivo específico 2 y 3
Costos de los ensayos y materiales de obra	Tabla de costos y comparación	Objetivo específico 4

Fuente: Autor

Evaluación de las propiedades físico – mecánicas del concreto convencional reemplazando agregado grueso con polietileno de tereftalato en distintas proporciones

Los impactos esperados para la tesis de investigación son de aspecto económico, académico, técnico, científico y ambiental los cuales se muestran a continuación:

Tabla 12-2 Impactos

Aspecto	Impacto	Supuesto	Plazo
Académico	Aportar a la investigación para la realización de estudios futuros sobre esta temática, empleándose como orientación para proyectos investigativos.	Se emplean nuevos estudios acerca de la temática realizada en la investigación para ampliar el conocimiento de los que estén realizando la investigación.	Corto
Social	Contribuir a mejorar el desarrollo de la sociedad a través de la implementación del concreto celular reforzado con polipropileno.	Se implementan estrategias de desarrollo a la sociedad para incorporar este tipo de concreto.	Largo
Económico	Reducir los costos en el sector de la construcción por medio de concretos livianos.	Se reducen los costos en las obras civiles a raíz de la implementación de concretos livianos.	Mediano
Técnico	Implementar una nueva alternativa para lograr concretos livianos.	Se cumplen con las normas y manuales.	Corto
Científico	Contribuir al enriquecimiento científico y tecnológico mediante artículo o ponencia, donde se presenten los resultados de la investigación.	Se realiza un artículo en donde se plasme la realización de la investigación.	Corto
Ambiental	Reducir en gran parte la contaminación ambiental por medio del uso de Polietileno de Tereftalato contribuyendo a obtener una mejoría de los ecosistemas.	Se reducen los desechos de polipropileno al ser aprovechados en la industria de la construcción para contribuir al medio ambiente.	Largo

Fuente: Autor

13. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

13.1. CONCLUSIONES

Después de realizar los ensayos de compresión se puede evidenciar que el plástico es un material complicado de manejar, debido a que este tiende a comportarse como un aislante, evitando que los agregados se unan correctamente, por lo que, al usar plástico triturado en hojuelas en mayor proporción, aumenta los vacíos en los cilindros, dándoles una apariencia porosa y asimismo un comportamiento mecánico deficiente.

Adicionalmente, el plástico posee características de repeler el agua, y en el trompo o mezcladora mecánica se evidenciaba en su fondo dicha cantidad repelida por este material. Y, a partir del asentamiento se observa que el material al no absorber el agua nos proporciona una mezcla seca, generando un problema que redundaba en la manejabilidad de la misma.

Se logra determinar que cuando se prepara una mezcla sustituyendo el material pétreo por PET, el conglomerado deja de ser uniforme y se convierte en una mezcla donde el plástico es visible notoriamente, dado que esta situación se presenta en porcentajes de 50%, 75% y 100%, si este material fuera usado para una columna, el acero de esta, se encontraría totalmente expuesto a la intemperie, por lo que, es recomendable reemplazar menos del 25% de los agregados por PET, debido a los problemas que presenta manejar este material.

Se pudo observar que el peso de cada cilindro varió dependiendo del porcentaje de PET utilizado, entre un convencional y un cilindro con el 100% fue significativo, mientras que con el 25% la variación de peso fue mínima, es notable que se redujo el peso entre estos, sin embargo, el menospreciar el peso específico del plástico genera un aumento en el volumen al momento de mezclar, por lo que al ser un material que varía su comportamiento dependiendo de cómo se encuentre, es recomendable usar plástico triturado siempre y cuando el tamaño de su partícula sea menor al que se usó en los ensayos, para facilitar la cohesión de los materiales y también aumentar el peso específico de este.

13.2. TRABAJOS FUTUROS

La evaluación realizada sirve como orientación para que futuras investigaciones logren desarrollar un concreto con adición de Polipropileno de Tereftalato triturado que sirva para el diseño de sistemas estructurales y que obtengan una mayor resistencia. Para ello, es importante buscar una forma adecuada de implementar el PET en la mezcla de concreto, para que el material logre ser más denso y obtenga mejores propiedades físicas y mecánicas. Adicionalmente, es necesario estudiar posibles maneras de adicionar el plástico en otros materiales como el cemento o arena fina y ver cómo actúa la mezcla frente a la implementación de este.

Es importante que al momento de realizar el estudio el laboratorio tenga todos los instrumentos, herramienta y equipos para generar mejores resultados de la investigación y poder cumplir a cabalidad con todos los ensayos determinados.

Para utilizar el plástico en la mezcla de concreto tradicional, es recomendable, reducir el tamaño de la partícula para mejorar la cohesión de los materiales, también se hace evidente que es necesario implementar laboratorios que faciliten el cálculo del peso específico de diferentes materiales, ya que, existen diferentes materiales plásticos que poseen diferentes propiedades y que pueden modificar drásticamente el comportamiento físico mecánico del concreto si se usara en una.

Es recomendable no usar el plástico triturado para reemplazar más del 15% de los agregados naturales, ya que, su resistencia a la compresión se ve seriamente comprometida, además de que entre mayor sea la proporción, más expuesto estaría el acero y también más baja es la cohesión de los agregados, debido al tamaño y cantidad de partículas plásticas.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] «Informe de disposición final de residuos sólidos,» 2017.
- [2] I. G. V. A. Contreras, «Concreto celular para uso estructural,» Cuenca, 2016.
- [3] Dinero, «Colombia genera 12 millones de toneladas de basura y solo recicla el 17%,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.dinero.com/edicion-impresa/pais/articulo/cuanta-basura-genera-colombia-y-cuanta-recicla/249270>. [Último acceso: 2019].
- [4] A. d. Villavicencio, «Actividad de reciclaje ya tiene plan de trabajo para el 2018 en Villavicencio,» Villavicencio, 2018.
- [5] D. n. d. planeación, «Informe de disposición final de residuos sólidos,» 2017.
- [6] A. S. Gutierrez, «Análisis del concreto con tereftalato de polietileno (PET) como aditivo para aligerar elementos estructurales,» 2015.
- [7] «Plásticos Mecanizables,» IMC, 2010.
- [8] G. Rosana, «Componentes constructivos elaborados con una mezcla Cementicia y agregados de plásticos reciclados,» Córdoba, 2008.
- [9] S. V. A. y. R. F. Molina, «Estudio de las características físico-mecánicas de ladrillos elaborados con plástico reciclado en el Municipio de Acacías (Meta),» Bogotá, 2007.
- [10] A. C. Abarca, «NUEVAS TECNOLOGIAS EN CONCRETOS- CONCRETO CELULAR-CONCRETO REFORZADO CON FIBRA- CONCRETO LIGERO ESTRUCTURAL,» CYAD, 2008.
- [11] J. L. Román, «Análisis de las propiedades del concreto reforzado con fibras cortas de acero y macrofibras de polipropileno: influencia del tipo y consumo de fibra adicionado.,» México D.F, 2015.
- [12] W. Kejin, «Diseño y control de mezclas de concreto,» 2009.
- [13] J. R. R. T. R. V. P. F. y. M. F. Victor Flores, «Mezclas de cemento y agregados de plástico para la construcción de viviendas ecológicas,» Bolivia, 2014.
- [14] S. P. Y. L. Diana Lorena Medina Piza, «Análisis de viabilidad para el uso del mortero celular en Colombia a partir de revisión del estado del arte,» Bogotá D.C, 2014.
- [15] J. E. Para Cruz, «Análisis y diseño comparativo de concreto celular usando espuma de poliestireno y agente espumante,» 2016.
- [16] M. A. L. Lafitte, «Utilización de materiales plásticos de reciclaje como acción en la elaboración de concreto en la ciudad de Nuevo Chimbote,» Nuevo Chimbote, 2017.
- [17] Z. Z. Ismail, «Use of waste plastic in concrete mixture as aggregate replacement,» *Waste Management*, vol. 1, 2007.
- [18] e. a. Brayan Caballero Meza, «Revisión bibliográfica sobre el uso del plástico como un nuevo material en fabricación de bloques de concreto para la industria de la construcción,» Arequipa, 2018.

Evaluación de las propiedades físico – mecánicas del concreto convencional reemplazando agregado grueso con polietileno de tereftalato en distintas proporciones

- [19] T. P. & Y. T. Tanut Waroonkun, «The Development of a Concrete Block Containing PET Plastic Bottle,» 2017.
- [20] «sustitución de la arena del hormigón por plástico residual para la construcción sostenible en India,» *Construible*, 19 09 2018.
- [21] I. G. A. Rivera, «Manejabilidad del concreto,» 2009.
- [22] E. P. Wigner, «Theory of traveling wave optical laser,» *Phys. Rev.*, vol. 134, pp. A635-A646, 2005.
- [23] A. C. Sole, Instrumentación Industrial, Mexico: Alfaomega, 2006.
- [24] L. L. a. H. Miao, «A specification based approach to testing polymorphic attributes,» de *Formal Methods and Software Engineering: Proceedings of the 6th International Conference on Formal Engineering Methods, ICFEM 2004*, Seattle, WA, USA,, November 8-12.
- [25] A. Rezi and M. Allam,, «Techniques in array processing by means of transformations,» de *Control and Dynamic Systems Vol. 69*, San Diego, Academic Press, 1995, pp. 133-180.