

**Viabilidad técnica para la empresa AC Ingeniería Virtual en la transformación de plástico posconsumo como refuerzo para la elaboración de concreto en vías terciarias**

Catalina Camelo Santos y Jessica Paola Morales Castellanos

Trabajo de Grado para obtener el título de Ingeniero Químico  
Modalidad práctica empresarial

Director

Hernando Guerrero Amaya

PhD. en Electroquímica, Ciencia y Tecnología

Tutor

Helver Crispiniano Álvarez Castro

PhD. en Ingeniería Química

Universidad Industrial de Santander  
Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas  
Escuela de Ingeniería Química  
Bucaramanga

2024

### **Dedicatoria**

Dedico este trabajo a Dios, quien ha sido mi fuente de inspiración y guía constante en cada paso de mi vida. A mis padres, por su amor incondicional, apoyo y sacrificio a lo largo de este camino. A mi hermano, cuyo apoyo inquebrantable ha sido fundamental en todo este proceso. A mi abuela, ejemplo de resiliencia, gracias por ser mi inspiración continua. A Dani por su apoyo, paciencia, amor y ánimo constante. A mis amigos, por su aliento y compañía en cada etapa de esta travesía, en especial a Lu, Cristian y Félix, cuyo apoyo inquebrantable y amistad sincera hicieron de esta etapa una experiencia verdaderamente memorable y agradable. A todas las personas que han contribuido de alguna manera a mi formación, tanto en mi desarrollo personal como académico. Su influencia ha dejado una marca indeleble en mi camino.

Catalina Camelo Santos.

A Dios, quien me acompañó durante todo este viaje académico brindándome fortaleza, sabiduría y llenando mi camino de bendiciones. A mi mamá por su amor incondicional, apoyo constante y sacrificio para brindarme la oportunidad de perseguir mis sueños. A mi papi, que desde el cielo continúa guiándome con su amor, ejemplo y comprensión. A Patch por hacer de mis días universitarios una aventura diaria, acompañada de amor, risas, apoyo, paciencia y constante ánimo. A mi familia y amigos, por estar en los momentos más difíciles dándome su apoyo y en aquellos donde me hicieron inmensamente feliz. A todas las personas que me brindaron su ayuda, orientación y bienestar durante este proceso, su generosidad y amabilidad fueron fundamentales para alcanzar esta meta.

Jessica Paola Morales Castellanos

### **Agradecimientos**

Queremos expresar nuestro sincero agradecimiento al Ph.D Hernando Guerrero Amaya, por su orientación experta, paciencia y valiosos consejos que han enriquecido este trabajo, a la empresa A.C Ingeniería Virtual en cabeza de Ph.D Helver Crispiniano Álvarez, por brindarnos la oportunidad de realizar este proyecto, por su apoyo logístico y a todos los participantes de nuestro estudio por su colaboración y disposición. Así mismo a la empresa Ingeniería de Vías S.A.S en cabeza del ingeniero Julián Alberto Contecha por apoyarnos al prestar sus instalaciones de su laboratorio para poder culminar todos los ensayos correspondientes. Finalmente agradecemos al laboratorista Yeison Gómez Bautista y a todas aquellas personas que, de una u otra manera, contribuyeron a la realización de este trabajo. Este logro no habría sido posible sin su generosidad y apoyo.

**Tabla de contenido**

Introducción ..... 11

1. Objetivos..... 13

1.1 Objetivo general ..... 13

1.2 Objetivos específicos ..... 13

2. Marco conceptual ..... 14

3. Descripción metodológica ..... 17

3.1 Etapa 1: Obtención de fibras de plástico posconsumo ..... 17

3.2 Etapa 2: Preparación del concreto ..... 17

3.2.1 Seleccionar una mezcla de concreto estándar según normas NTC como base para la adición de microfibras de plástico ..... 18

3.2.2 Calcular las proporciones adecuadas de microfibras de plástico en la mezcla de concreto en función de las normas NTC ..... 18

3.3 Etapa 3: Elaboración de las probetas de concreto ..... 21

3.3.1 Equipos y herramientas..... 21

3.3.2 Elaboración de especímenes de concreto..... 22

3.4 Etapa 4: Evaluación de las propiedades del concreto y creación de herramienta de cálculo dosificadora ..... 24

4. Resultados y discusión..... 27

4.1 Ensayo de compresión a probetas sin aditivos plásticos ..... 27

4.2 Ensayo de compresión a probetas con aditivos plásticos en un 25% con relación a la cantidad de cemento .....	28
4.3 Ensayo de compresión a probetas con aditivos plásticos en un 50% con relación a la cantidad de cemento .....	29
4.4 Ensayo de compresión a probetas con aditivos plásticos en un 50% con relación a la cantidad de cemento .....	30
4.5 Tipo de fallas .....	31
4.6 Herramienta de cálculo para dosificar la mezcla de concreto .....	32
5. Conclusiones.....	33
Referencias bibliográficas.....	35

**Lista de tablas**

<b>Tabla 1.</b> <i>Proporciones recomendadas por Metainplast de acuerdo con el tipo de proyecto</i> .....	19
<b>Tabla 2.</b> <i>Factores de dosificación para concreto con resistencia de 3000psi (Asocreto)</i> .....	20
<b>Tabla 3.</b> <i>Configuración de cada mezcla que componen las probetas de concreto</i> .....	20
<b>Tabla 4.</b> <i>Resultados del ensayo de compresión de probetas sin aditivos</i> .....	27
<b>Tabla 5.</b> <i>Resultados del ensayo de compresión de probetas con un 25% de aditivo (monofilamentos) en relación con la cantidad de cemento</i> .....	28
<b>Tabla 6.</b> <i>Resultados del ensayo de compresión de probetas con un 50% de aditivo (monofilamentos) en relación con la cantidad de cemento</i> .....	29
<b>Tabla 7.</b> <i>Resultados del ensayo de compresión de probetas con un 100% de aditivo (monofilamentos) en relación con la cantidad de cemento</i> .....	30

**Lista de figuras**

<b>Ilustración 1.</b> <i>Descripción metodológica experimental del proyecto</i> .....	17
<b>Ilustración 2.</b> <i>Materiales usados para la composición de las probetas de concreto</i> .....	21
<b>Ilustración 3.</b> <i>Preparación del Molde: Aplicación de una capa de petróleo para facilitar el desmolde</i> .....	23
<b>Ilustración 4.</b> <i>Mezcla de agregados con fibra sintética Mallapet 3D</i> .....	24
<b>Ilustración 5.</b> <i>Proceso de fraguado de los especímenes de concreto</i> .....	25
<b>Ilustración 6.</b> <i>Desencofrado de los especímenes de concreto y curado en tanque</i> .....	25
<b>Ilustración 7.</b> <i>Ensayos de cilindros en el laboratorio de diseño de mezclas de Ingeniería de Vías - Planta La Libertad</i> .....	26
<b>Ilustración 8.</b> <i>Ensayo de compresión de probetas con un 25% de aditivo (monofilamentos) en relación con la cantidad de cemento vs probetas sin aditivo</i> .....	29
<b>Ilustración 9.</b> <i>Ensayo de compresión de probetas con un 50% de aditivo (monofilamentos) en relación con la cantidad de cemento vs probetas sin aditivo</i> .....	30
<b>Ilustración 10.</b> <i>Ensayo de compresión de probetas con un 100% de aditivo (monofilamentos) en relación con la cantidad de cemento vs probetas sin aditivo</i> .....	31
<b>Ilustración 11.</b> <i>Esquema de los modelos de fractura típicos</i> .....	31
<b>Ilustración 12.</b> <i>Calculadora dosificadora de plástico como aditivo a matriz de concreto en Excel</i> .....	32

**Lista de apéndices**

<b>Apéndice A.</b> <i>Características físicas de cemento Holcim tipo ART</i> .....	38
<b>Apéndice .</b> <i>Características físicas de agregado grueso (grava)</i> .....	38
<b>Apéndice C.</b> <i>Características físicas de agregado fino (arena)</i> .....	39
<b>Apéndice D.</b> <i>Características físicas de plástico posconsumo (monofilamentos)</i> .....	39
<b>Apéndice E.</b> <i>Registros fotográficos complementarios</i> .....	39

## Resumen

**Título:** Viabilidad técnica para la empresa AC Ingeniería Virtual en la transformación de plástico posconsumo como refuerzo para la elaboración de concreto en vías terciarias. \*

**Autor:** Catalina Camelo Santos y Jessica Paola Morales Castellanos. \*\*

**Palabras Clave:** Concreto reforzado, fibras plásticas recicladas PET, vías terciarias, resistencia a la compresión.

**Descripción:** El concreto reforzado con fibras plásticas recicladas permite el mejoramiento de sus propiedades mecánicas, con relación a la resistencia de compresión, esfuerzos y deformación. Esta aplicación no solo aporta beneficios en el material, pues influye directamente en el desarrollo de comunidades socialmente apartadas en las que se encuentra la población rural e incentiva una cultura de aprovechamiento de los residuos plásticos como lo son las botellas PET.

La investigación experimental está fundamentada en las viabilidades del uso de monofilamentos plásticos reciclados, provenientes de la empresa colombiana Metainplast S.A.S (Ecología para el concreto), regida bajo las normas NTC y ASTM que permiten la aplicación de estas fibras en la mezcla del concreto. Una vez se establece según la literatura y las regulaciones nacionales e internacionales los porcentajes con los cuales es posible realizar un diseño de experimentos, acordando así 4 ensayos por triplicado para cada distribución de las fibras de plástico (0%, 25%, 50% y 100%) en relación con la cantidad de cemento requerido (en masa).

Una vez transcurrido el tiempo de fraguado de las mezclas (7, 14 y 28 días), la resistencia a la compresión presentada para cada muestra en las probetas con aditivos plásticos presentó un valor superior al determinado en la norma para vías terciarias (3000 psi) oscilando entre los 3.400 y 4.400 psi entre las mezclas de concreto a las cuales se les añadió las fibras. Lo que permite concluir su viabilidad en el uso de los monofilamentos de posconsumo, así determinar la superioridad ante las probetas a las cuales no se les agregó aditivos y establecer que el porcentaje de menor valor obtuvo resultados de mayor distinción con respecto a los demás. Generando cultura ambiental y de mejoras positivas para la implementación de los concretos reforzados con plásticos reciclado aplicado a vías terciarias.

\*Trabajo de Grado

\*\*Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: Hernando Guerrero Amaya. Ph.D Ingeniero Químico. Codirector: Helver Crispiniano Alvarez Castro. Ph.D Ingeniero Químico.

### Abstract

**Title:** Technical Feasibility for AC Virtual Engineering Company in the Transformation of Post-Consumer Plastic as Reinforcement for the Production of Concrete in Tertiary Roads. \*

**Authors:** Catalina Camelo Santos and Jessica Paola Morales Castellanos. \*\*

**Keywords:** Reinforced concrete, recycled PET plastic fibers, tertiary roads, compression strength.

**Description:** Concrete reinforced with recycled plastic fibers allows the improvement of its mechanical properties, in relation to compression resistance, stress and deformation. This application not only provides benefits in terms of material, it directly influences the development of socially isolated communities in which the rural population is located and encourages a culture of use of plastic waste such as PET bottles.

The experimental research is based on the feasibility of using recycled plastic monofilaments, coming from the Colombian company Metainplast S.A.S (Ecology for concrete), governed by NTC and ASTM standards that allow the application of these fibers in the concrete mix. Once the percentages with which it is possible to carry out an experimental design are established according to the literature and national and international regulations, thus agreeing on 4 tests in triplicate for each distribution of plastic fibers (0%, 25%, 50% and 100%) in relation to the amount of cement required (by mass).

Once the setting time of the mixtures had elapsed (7, 14 and 28 days), the compressive strength presented for each sample in the specimens with plastic additives presented a value higher than that determined in the standard for tertiary routes (3000 psi). ranging between 3,400 and 4,400 psi between the concrete mixtures to which the fibers were added. This allows us to conclude its viability in the use of post-consumer monofilaments, thus determining the superiority over the test tubes to which additives were not added and establishing that the percentage with the lowest value obtained results of greater distinction with respect to the others. Generating environmental culture and positive improvements for the implementation of concrete reinforced with recycled plastics applied to tertiary roads.

\*Degree work

\*\*Faculty of Physicochemical Engineering. School of Chemical Engineering. Director: Hernando Guerrero Amaya. Ph.D Chemical Engineer. Co-director: Helver Crispiniano Alvarez Castro. Ph.D Chemical Engineer.

## Introducción

AC Ingeniería Virtual SAS es una empresa basada en la tecnología de la Industria 4.0, dedicada a la simulación computacional, robótica, automatización, modelamiento, virtualización de procesos industriales, utilizando técnicas de última generación en análisis numérico, prototipado, automatización e inteligencia artificial. Se caracteriza por posibilitar la conexión entre el conocimiento desarrollado en las instituciones de I+D y la aplicación práctica de este en el sector industrial, proporcionando las mejores soluciones computacionales en ingeniería. Entre las áreas de trabajo abordado se encuentra la ingeniería y automatización de procesos, inteligencia y visión artificial, ingeniería computacional y el desarrollo de productos tecnológicos (AC Ingeniería Virtual, 2012). En los desarrollos abordados por la empresa, destaca su participación en proyectos sociales, agroindustriales y de innovación, aspectos de gran interés para trabajos que posean componentes con estas características.

Según las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras de INVIAS, el concreto establece su diseño bajo una mezcla homogénea de cemento la cual contiene agregados finos o gruesos, entre otros aditivos como el agua. Sin embargo, estos deben cumplir con los requisitos básicos que establece la norma (Vias, 2012). En el artículo 500-13 se encuentran reglamentados los pavimentos de concreto hidráulico, característicos por ser rígidos en comparación del convencional, capaces de resistir radiación solar y de difícil fisuración, teniendo un sistema de drenaje superior el cual requiere mínimo mantenimiento. No obstante, presenta ineficiencias para soportar grandes esfuerzos de tracción al ser de naturaleza cerámica (Mehta, 2014). Debido a esto el concreto hidráulico es reforzado permitiendo mejorar sus propiedades, se realiza mediante barras aplicadas a la construcción de estructuras o fibras implementadas en pavimentos y losas. Adicional a lo anterior, se debe considerar el uso de materiales no tradicionales

en la fabricación de concreto, incluso aquellos que impacten de forma socioambiental y permitan optar por soluciones amigables con el medio ambiente, entre los que se pueden encontrar el uso de fibras plásticas de manera técnica y sostenible (Jhon Alexander Saucedo Rodriguez, 2021).

El DANE presenta para Colombia cifras alarmantes en cuanto a la contaminación generada por plásticos, pues cada persona consume 24 kilos de plástico al año y solo recicla el 20 % del más de 1,4 millones de toneladas que terminan como desechos (Semana, 2021). Según Greenpeace, el 74% de los envases termina en rellenos sanitarios generando una problemática mundial. En base a lo anterior, la propuesta de acondicionar el concreto hidráulico transformando fibras de plástico reciclado favorecerían las propiedades del pavimento creando soportes en los esfuerzos de tracción y mitigando la problemática de la contaminación ambiental, empleando una diferencia positiva a la disposición final de los plásticos en la actualidad (Clínica jurídica de medio Ambiente, Salud Pública (MASP) de la facultad de Derecho de la Universidad de los Andes Y Greenpeace Colombia, 2019).

De esta manera se mejora la intercomunicación terrestre de la población rural con la implementación del concreto reforzado de fibras plásticas posconsumo en placa huellas, debido a que se trata de vías con bajos volúmenes de tránsito según lo reglamentado por INVIAS (públicas, 2016), lo que permite aprovechar las características que este pavimento proporciona.

Por consiguiente, surge la pregunta de investigación: ¿Cuál es la proporción adecuada que permite la implementación de plásticos posconsumo en el concreto hidráulico como fibras de refuerzo para ser aplicado en vías terciarias?

## **1. Objetivos**

### **1.1 Objetivo general**

Analizar la viabilidad técnica en la transformación de plástico posconsumo como refuerzo para la elaboración de concreto en vías terciarias.

### **1.2 Objetivos específicos**

- Identificar las normas y formatos técnicos asociados al uso de aditivos como refuerzo en concreto hidráulico.
- Caracterizar el concreto hidráulico con adición de plástico posconsumo a través de la realización de ensayos mecánicos y la obtención de las concentraciones necesarias que proporcionen mejoras significativas respecto al concreto convencional.
- Crear una herramienta de cálculo para la dosificación de los plásticos posconsumo evaluados.

## 2. Marco conceptual

El concreto hidráulico es uno de los materiales de construcción más utilizados en la actualidad debido a su durabilidad, resistencia y versatilidad. Sin embargo, presenta algunas limitaciones en términos de fisuración y capacidad de controlar la propagación de grietas, especialmente en aplicaciones sometidas a cargas cíclicas o dinámicas. En respuesta a este desafío, se ha explorado el uso de fibras plásticas recicladas como aditivo para mejorar las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto hidráulico.

(López et al, 2022) estudiaron el comportamiento mecánico del concreto hidráulico con fibras PET para implementarlas en la construcción de losas de pavimento rígido, donde determinaron la resistencia a la compresión, flexión y el módulo de elasticidad mediante la comparación de especímenes elaborados con y sin adición de fibras PET en valores de 0, 1, 2, y 3 kg/m<sup>3</sup> en mezcla de concreto. Concluyeron que el reforzamiento de concreto con pequeñas cantidades de fibras PET recicladas, incrementa la resistencia a compresión del material junto con la flexión en el módulo de rotura y una reducción en el módulo de elasticidad.

El objetivo de estudio realizado por (Macias, 2020) en la evaluación de la resistencia a la flexión y compresión de un concreto estructural ecológico con fibras PET basado en la norma NRS-10, plantea la viabilidad de utilizar tereftalato de polietileno como fibras en mezclas de concreto para construcción. Basados en la norma ACI211.1 y el método de Fuller, adicionaron fibras comerciales Toxement para comparar con fibras recicladas de plástico PET de bebidas. Los cuales fueron sometidos a pruebas de compresión y flexión obteniendo resultados para concretos con 0.2% en volumen de fibras PET presentando una reducción de 9.89% de resistencia a la compresión respecto al concreto comercial, siendo este un valor favorable. Sin embargo, al aumentar el porcentaje de fibras PET a 0.35%, la reducción a la resistencia de compresión

disminuye a 6.5% comparado con el concreto de control, disminuyendo la resistencia del material. También, se concluyeron que las fibras mejoran la resistencia a la flexión, la ductilidad y tenacidad del concreto, recomendando su uso en el control de la fisuración por retracción plástica.

Por otro lado, (Olarde Buritica, 2022) realizó el estudio del comportamiento mecánico del concreto hidráulico con adición de fibras de nylon y micropartículas de botellas plásticas PET donde pretende mitigar los impactos ambientales y potenciar las propiedades mecánicas del hormigón. Estas propiedades incluyeron características físicas del concreto antes y después del fraguado, y se realizaron pruebas para medir la resistencia a la compresión y la tracción por flexión. El estudio contempló seis combinaciones diferentes de dosificaciones: una correspondiente a una mezcla de control y las restantes con inclusiones específicas de fibras diseñadas en cuanto a la forma extraída del PET. Los resultados revelaron mejoras significativas en la resistencia a la flexión de las muestras modificadas. Se observaron aumentos de resistencia a la flexión en un 75%, 80% y 95% a los 28 días de curado; todas las muestras con adiciones exhibieron un incremento del 80% en la resistencia a la compresión en comparación con la probeta de control. Como conclusión, el estudio destacó que el desempeño del concreto hidráulico enriquecido con fibras PET superó al del concreto convencional.

Así mismo, (Aguilar, 2016) investigó los efectos de la adición de fibra de polipropileno en las propiedades plásticas y mecánicas del concreto hidráulico en la región de Lambayeque. Se utilizaron diferentes dosis de fibra (0, 200, 300 y 400 g/m<sup>3</sup>) en concreto con resistencias a la compresión de 175, 210 y 280 kg/cm<sup>2</sup>. Se emplearon agregados finos y gruesos de canteras específicas, cemento Portland Tipo MS, fibra de polipropileno, aditivo curador y aditivo superplastificante en las mezclas. En términos de propiedades plásticas, evaluaron el asentamiento, el peso unitario, el contenido de aire, la temperatura y el potencial de fisuración del concreto. Se

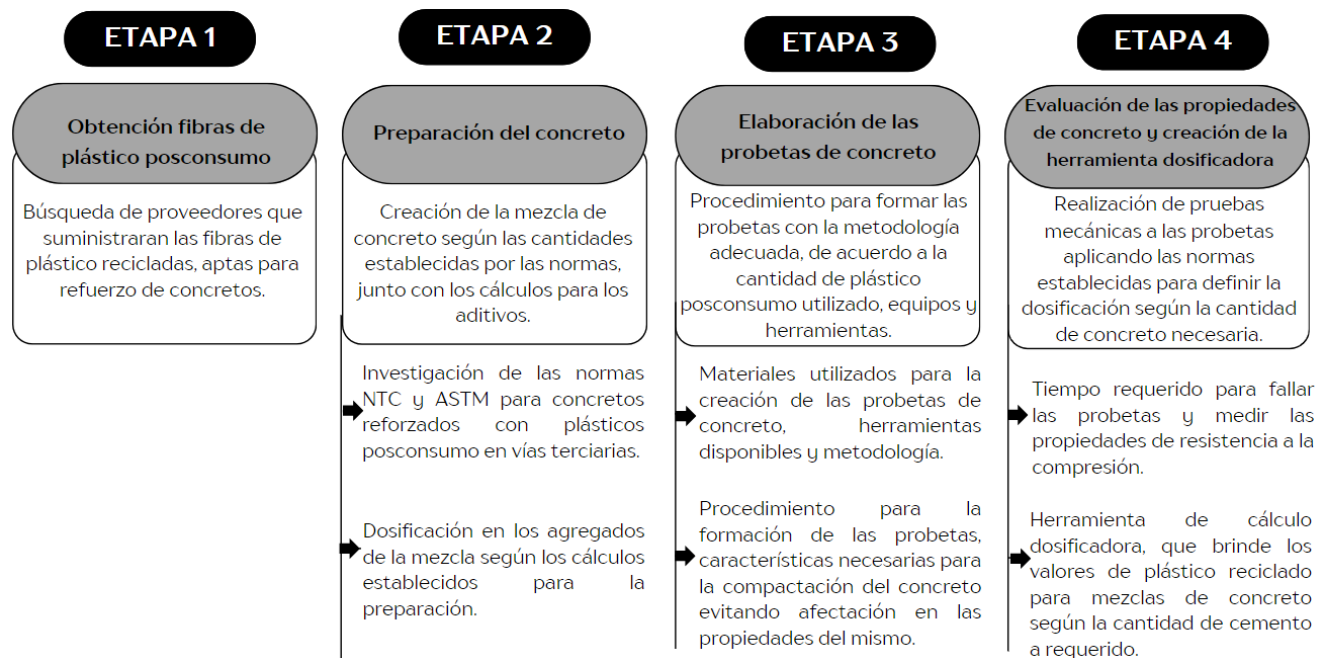
observó que una dosis de fibra de polipropileno de  $400 \text{ gr/m}^3$  redujo significativamente el potencial de fisuración en condiciones reales hasta en un 90%. Además, esta dosis tuvo los siguientes efectos: disminuyó el asentamiento en un 50%, redujo el contenido de aire en un 25%, y no alteró la temperatura ni el peso unitario del concreto fresco. En términos de propiedades mecánicas, se evaluó la resistencia a la compresión y a la flexión del concreto. Se encontró que la adición de fibra de polipropileno en la dosis de  $400 \text{ g/m}^3$  incrementó la resistencia a la compresión en aproximadamente un 3% y la resistencia a la flexión en un 14% a los 28 días de edad del concreto.

Gracias a las investigaciones realizadas previamente es posible inferir que el uso de plásticos reciclados como fibras para reforzar el concreto hidráulico, permiten un mayor desarrollo en cuanto a las propiedades mecánicas y de durabilidad en la implementación para vías terciarias, con especial cuidado en la caracterización del material utilizado para la mezcla.

### 3. Descripción metodológica

A continuación, se presenta la metodología experimental usada para el desarrollo del trabajo de grado. Se buscó implementar el uso de plástico posconsumo como un aditivo en la mezcla de concreto, para evaluar su viabilidad técnica y reforzar la construcción de carreteras terciarias. La investigación se dividió en cuatro etapas (Ilustración 1).

*Ilustración 1. Descripción metodológica experimental del proyecto*



#### 3.1 Etapa 1: Obtención de fibras de plástico posconsumo

Las fibras de plástico posconsumo fueron obtenidas de Metainplast S.A.S, una compañía colombiana especializada en la transformación de PET reciclado para la fabricación de fibras sintéticas destinadas al refuerzo del concreto.

#### 3.2 Etapa 2: Preparación del concreto

Se emplearon 12 moldes para cilindros de concreto de 20 cm de altura y 10,22 cm de diámetro. Los materiales que se implementaron fueron los siguientes: Cemento Holcim 42,5kg

tipo ART (Apéndice A); agregado grueso (grava), proveniente de Planta La Libertad – Ingeniería de Vías S.A.S (Apéndice B); agregado fino (arena), suministrado por Planta La Libertad – Ingeniería de Vías S.A.S proveniente de El Moral S.A.S (Apéndice C); monofilamentos de plástico posconsumo proveniente de Metainplast S.A.S (Apéndice D).

Estos materiales se pueden observar en la Figura 2. La mezcla 1 se compone concreto sin ningún tipo de aditivo, la mezcla 2, 3 y 4 contienen concreto + aditivo (monofilamentos de plástico posconsumo).

Las mezclas se realizaron por triplicado según las condiciones experimentales especificadas en la Tabla 3.

La adición de plástico posconsumo a cada uno de los tratamientos busca mejorar la resistencia, durabilidad y permeabilidad de este.

### ***3.2.1 Seleccionar una mezcla de concreto estándar según normas NTC como base para la adición de microfibras de plástico***






Los parámetros usados para las dosificaciones de las diversas mezclas de concreto fueron las empleadas por Ingeniería de Vías S.A.S establecidas mediante el uso de dos métodos específicos: el método Fuller y el método de la Road Note Laboratory (RNL).

### ***3.2.2 Calcular las proporciones adecuadas de microfibras de plástico en la mezcla de concreto en función de las normas NTC***

En este estudio se utilizaron las macro fibras sintéticas Mallapet 3D de la empresa Metainplast S.A.S; estas cumplen con normas internacionales como ASTM C1116, ASTM C1399, ASTM C1436, ASTM 1609, ASTM C1550; y nacionales como NTC 3696, NTC 5541, NTC 5721

y NTC 5981. Sus diferentes usos se pueden ejecutar en concretos para: Pisos y placas de concretos, andenes, sobre placas y sistemas placa fácil.

*Tabla 1. Proporciones recomendadas por Metainplast de acuerdo con el tipo de proyecto*

<b>TABLA DE DOSIFICACIÓN</b>		
<b>Tipo de obra</b>	<b>Tacos Mallapet 3D/Bulto de cemento (42kg)</b>	<b>kg/Bulto de cemento</b>
Pisos residenciales		0,125
Pisos comerciales, placas, canchas deportivas.		0,25
Elementos prefabricados, estacionamiento de vehículos ligeros, entresijos comerciales.		0,375
Tuneles, placa huellas, concreto proyectado, estacionamiento.		0,500
Vías secundarias, estacionamiento de camiones, tráfico semi-pesado y vialidad.		0,750

Para cada mezcla se utilizó cemento tipo ART Holcim, con una dosificación estándar de 42,5 kg por bulto. En cada mezcla se emplearon 9,33 kg de cemento. Cabe destacar que se consideró por separado la cantidad de cemento utilizada en las mezclas con y sin aditivos, con el propósito de calcular con precisión la cantidad de plástico posconsumo añadido en función de la proporción definida de cemento.

Para calcular la cantidad de agregado fino (arena), agregado grueso (triturado) y agua, se utilizaron los factores especificados en la Tabla 2 tomados del libro de Asocreto sobre dosificación de mezclas de concreto.

**Tabla 2.** Factores de dosificación para concreto con resistencia de 3000psi (Asocreto)

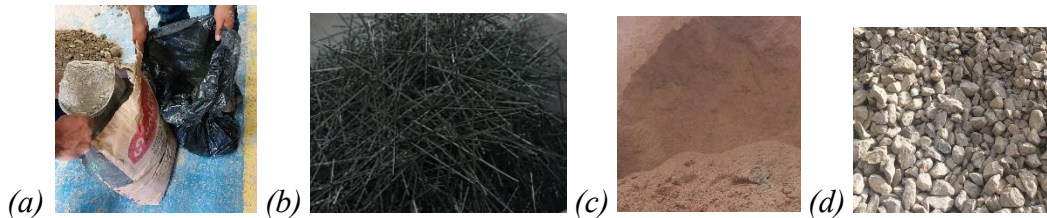
	ASOCRETO (Resistencia: 3000 psi)			
	CEMENTO [Bulto]	ARENA [Baldes]	TRITURADO [Baldes]	AGUA [L]
Dosificación por volumen	1	1,82	2,7	0,48
Baldes de construcción negros (10 L)	1	7	10,5	22

Para calcular la cantidad de plástico para cada mezcla, se aplica una regla de tres simple tomando como referencia la cantidad de cemento y una dosificación de 4 kg de plástico por metro cúbico de mezcla. Considerando que para un metro cúbico de mezcla se requieren 7,3 bultos de cemento, se determina que se necesitan 0,5479 kg de plástico por cada bulto de cemento de 42,5 kg.

Luego, se calcula la cantidad de plástico según la dosificación propuesta en la Tabla 3 (100%, 50%, 25%, 0% en masa). Se utiliza una regla de tres simples basadas en la relación previamente establecida de 0,5479 kg de plástico por bulto de cemento. Para las mezclas, que contiene en total 28 kg de cemento, se asignan 0,3610 kg de plástico para una dosificación del 100% en masa. A partir de este cálculo, se determinan las cantidades correspondientes para las demás proporciones, obteniendo 0,1203 kg de plástico para 9,33 kg de cemento en una dosificación del 100%; 0,0612 kg de plástico para 9,33 kg de cemento en una dosificación del 50% y 0,0301 kg de plástico para 9,33 kg de cemento en una dosificación del 25%.

**Tabla 3.** Configuración de cada mezcla que componen las probetas de concreto

MEZCLA	PORCENTAJE DE PLÁSTICO	CEMENTO [kg]	PLÁSTICO [kg]	ARENA [Baldes]	TRITURADO [Baldes]	AGUA [L]
Mezcla 1	0%	9,33	0	1,5367	2,3051	4,8296
Mezcla 2	25%	9,33	0,030075	1,5367	2,3051	4,8296
Mezcla 3	50%	9,33	0,06015	1,5367	2,3051	4,8296
Mezcla 4	100%	9,33	0,1203	1,5367	2,3051	4,8296

**Ilustración 2.** *Materiales usados para la composición de las probetas de concreto*

*Nota.* (a) Cemento, (b) Monofilamentos de plástico posconsumo, (c) Arena, (d) Triturado.

**3.3 Etapa 3: Elaboración de las probetas de concreto**

Luego se inició la preparación de los diferentes concretos y la fabricación de los especímenes de ensayo para los cuatro tipos de mezclas que se desarrollarán, planteados en la Tabla 2. Los concretos fueron desarrollados en las instalaciones de la empresa Ingeniería de Vías - Planta La Libertad, donde se habilitó el laboratorio de diseño de mezclas.

**3.3.1 Equipos y herramientas**

Los cuatro tipos de concreto fueron elaborados conforme se detalló en el ítem anterior, utilizando las herramientas y equipos proporcionados por Ingeniería de Vías S.A.S.

Los equipos y herramientas utilizados, así como sus respectivas especificaciones para la preparación de los concretos y especímenes fueron:

- Máquina mezcladora (Trompo): Con capacidad de 210 L.
- Moldes cilíndricos: Metálicos, con dimensiones de 10,22 cm de diámetro por 20 cm de altura.
- Recipientes de plástico y palas: Para vaciado del concreto.
- Maso de goma: Para compactación del concreto en los moldes según los especificado por la norma ASTM C1231.

- Varilla de acero: Con las especificaciones de la NTC 1377.
- Balanza para pesado de material.
- Herramientas menores: Todo tipo de herramientas necesarias a lo largo de la fabricación como pinzas, llaves, etc.

### 3.3.2 *Elaboración de especímenes de concreto*

- Se comienza aplicando una fina capa de aceite mineral o petróleo en la superficie interior del molde para facilitar su desmolde posterior (Figura 3).
- Se toma la muestra de concreto en el recipiente metálico (probeta) destinado para ese fin.
- El moldeado de la probeta se lleva a cabo en tres capas, cada una con una altura de 6,66 cm, siguiendo el siguiente procedimiento:

#### *Primera capa.*

1. Coloca la mezcla en el molde y distribúyela uniformemente utilizando un cucharón.
2. Compacta la primera capa en su totalidad con 25 inserciones uniformes utilizando una varilla lisa. Asegúrate de que el extremo redondeado de la varilla esté hacia abajo.
3. Después de compactar la capa, golpea suavemente alrededor del molde unas 10 veces con el martillo para liberar cualquier burbuja de aire atrapada en la mezcla.

#### *Segunda capa.*

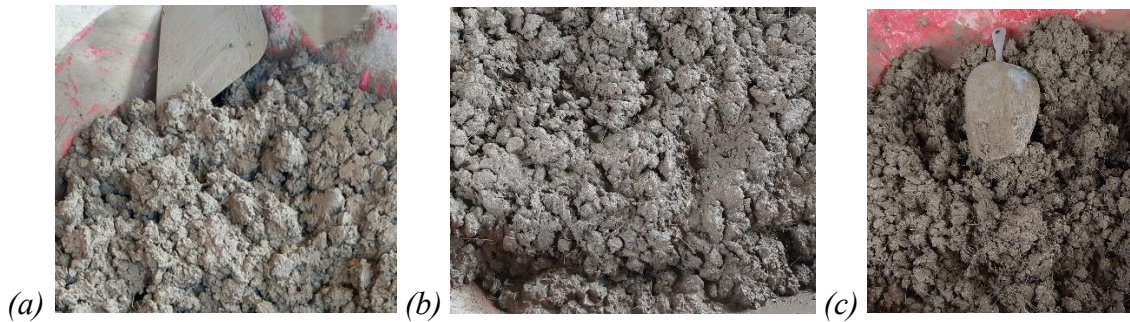
1. Vierte la mezcla en el molde y distribúyela uniformemente utilizando un cucharón.
2. Compacta la capa con 25 golpes uniformes utilizando una varilla lisa. Asegúrate de que la varilla penetre 1 pulgada en la primera capa.
3. Para eliminar las burbujas de aire, golpea suavemente alrededor del molde aproximadamente 10 veces con el martillo.

*Tercera capa.*

1. En esta última capa, agrega suficiente mezcla para llenar completamente el molde.
  2. Compacta esta tercera capa con 25 golpes uniformes utilizando una varilla lisa.  
Asegúrate de distribuir los golpes de manera uniforme en toda la mezcla recién colocada y que la varilla penetre 1 pulgada en la segunda capa en cada inserción.
  3. Para eliminar las burbujas de aire de la mezcla, golpea suavemente alrededor del molde aproximadamente 10 veces con un martillo.
- Utiliza la varilla lisa de compactación para nivelar cualquier exceso de mezcla.
  - Emplea una plancha triangular (también conocida como palustre) para conseguir una superficie lisa y nivelada.
  - Tras su elaboración, lleva las probetas con cuidado al área de almacenamiento.

**Ilustración 3.** *Preparación del Molde: Aplicación de una capa de petróleo para facilitar el desmolde*



**Ilustración 4. Mezcla de agregados con fibra sintética Mallapet 3D**

Nota. (a) Mezcla 4, (b) Mezcla 3, (c) Mezcla 2

**3.4 Etapa 4: Evaluación de las propiedades del concreto y creación de herramienta de cálculo dosificadora**

Con precaución, se retiraron del molde las probetas 24 horas después de su elaboración. Una vez desmoldadas, se cura las probetas sumergiéndolas en recipientes con agua potable, asegurando que el agua cubra completamente todas las caras de las probetas.

Tras completar el proceso de curado, se retiran los especímenes cilíndricos de concreto endurecido y se procede a realizar el ensayo de resistencia a compresión según lo indicado en la norma NTC 673, INV E-402, INV E-403, INV E-418 e INV E-420.

Durante la realización de estos ensayos, las muestras se transportaban con precaución para garantizar que se ensayaran inmediatamente y sin pérdida de humedad.

*Ilustración 5. Proceso de fraguado de los especímenes de concreto*



*Ilustración 6. Desencofrado de los especímenes de concreto y curado en tanque*



**Ilustración 7.** Ensayos de cilindros en el laboratorio de diseño de mezclas de Ingeniería de Vías - Planta La Libertad



*Nota. (a) Prensa de compresión, (b) Cilindros fallados con aditivo (fractura tipo 5)*

#### 4. Resultados y discusión

En el estudio se llevaron a cabo distintos porcentajes de plástico reciclado para la mezcla en el refuerzo del concreto aplicado a vías terciarias, se trabajó desde el 0%, 25%, 50% hasta un 100% respecto a la cantidad de cemento utilizada. Valores que permiten desarrollar el análisis en la viabilidad del uso de plástico posconsumo aplicado al concreto utilizado en placa huella.

Los resultados obtenidos se generaron mediante pruebas en las propiedades mecánicas de cada probeta según las especificaciones de la norma, para medir la resistencia a la compresión y poder evaluar su funcionalidad a través de los días necesarios del curado del concreto y el aumento de las fibras en la mezcla.

##### 4.1 Ensayo de compresión a probetas sin aditivos plásticos

Se realizaron los ensayos en 3 probetas de concreto las cuales no poseían fibras plásticas posconsumo, con el fin de comparar las que si tenían presentes los monofilamentos en la mezcla de concreto permitiendo un análisis comparativo para cada una de estas.

Entre los resultados se evidencia el cumplimiento de la resistencia permitida por la Norma Técnica Colombiana establecida para vías terciarias, donde regula una resistencia de 3000 psi. Este valor lo alcanza una vez finaliza el curado del concreto pasados los 28 días reglamentados.

**Tabla 4.** Resultados del ensayo de compresión de probetas sin aditivos

Cilindro No.	Fecha de Toma	Fecha de Rotura	Edad [días]	Diám. [mm]	Altura [mm]	Area sección [mm <sup>2</sup> ]	Resistencia nominal psi	Carga Máxima [kN]	Resistencia			Tipo de falla
									[kg/cm <sup>2</sup> ]	psi [lb/in <sup>2</sup> ]	%	
0%	12-ene.-24	19-ene.-24	7	102,2	200,0	8203,4	3000	140	174	2479	83	5
0%	12-ene.-24	26-ene.-24	14	102,2	200,0	8203,4	3000	144	179	2539	85	5
0%	12-ene.-24	9-feb.-24	28	102,2	200,0	8203,4	3000	199	247	3510	117	5

#### 4.2 Ensayo de compresión a probetas con aditivos plásticos en un 25% con relación a la cantidad de cemento

Para la siguiente mezcla de concreto fue necesario calcular los kg de plástico utilizado con respecto a la cantidad de cemento necesario en cada probeta (Tabla 8). Una vez se cumple el tiempo para fallar los ensayos realizados, se procede a realizar la prueba que mide las propiedades de la resistencia a la compresión según los días establecidos, obteniendo así, para cada fase de tiempo una resistencia superior a la requerida por la norma. Indicativo de mejora para el concreto con la adición de plástico posconsumo, incluso sin cumplir los días necesarios.

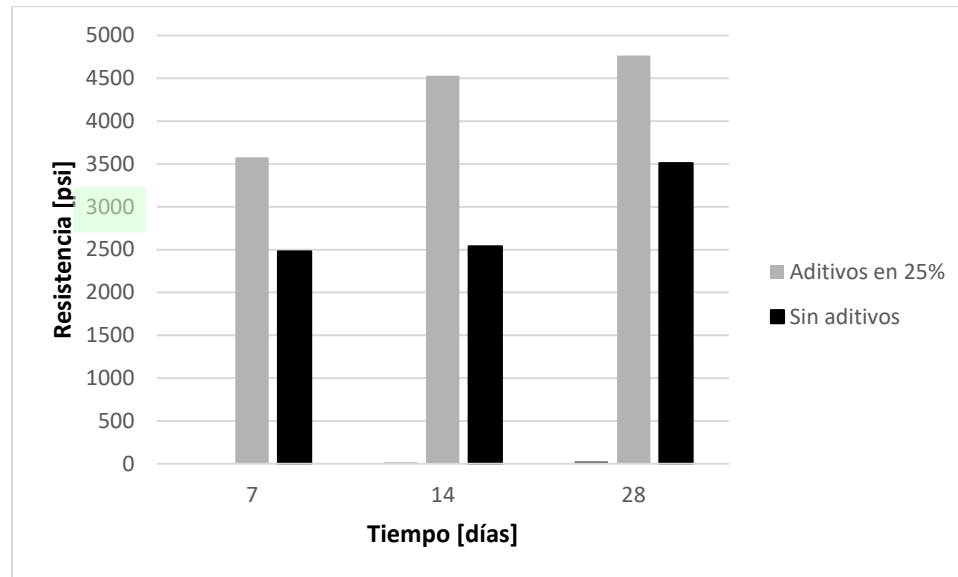
**Tabla 5.** Resultados del ensayo de compresión de probetas con un 25% de aditivo (monofilamentos) en relación con la cantidad de cemento

Cilindro No.	Fecha de Toma	Fecha de Rotura	Edad [días]	Diám. [mm]	Altura [mm]	Area sección [mm <sup>2</sup> ]	Resistencia nominal psi	Carga Máxima [kN]	Resistencia			Tipo de falla
									[kg/cm <sup>2</sup> ]	psi [lb/in <sup>2</sup> ]	%	
25%	12-ene.-24	19-ene.-24	7	102,2	200,0	8203,4	3000	202,4	251,59	3.578,41	119,28	5
25%	12-ene.-24	26-ene.-24	14	102,2	200,0	8203,4	3000	256,3	318,59	4.531,35	151,05	5
25%	12-ene.-24	9-feb.-24	28	102,2	200,0	8203,4	3000	269,5	335,00	4.764,73	158,82	5

En comparación a las probetas que no contenían los aditivos plásticos en relación con el tiempo de curado, presenta mejoras en cuanto a resistencia a la compresión, por lo tanto, aumenta la carga máxima soportada.

Según la gráfica presentada es posible analizar el incremento con la aplicación de aditivos para cada uno de los días en los que se fallaron las probetas. Para el porcentaje de aplicación del 25% con relación a la cantidad de cemento requerida, indica viabilidad en el uso de este y aceptación en la mezcla.

**Ilustración 8.** Ensayo de compresión de probetas con un 25% de aditivo (monofilamentos) en relación con la cantidad de cemento vs probetas sin aditivo



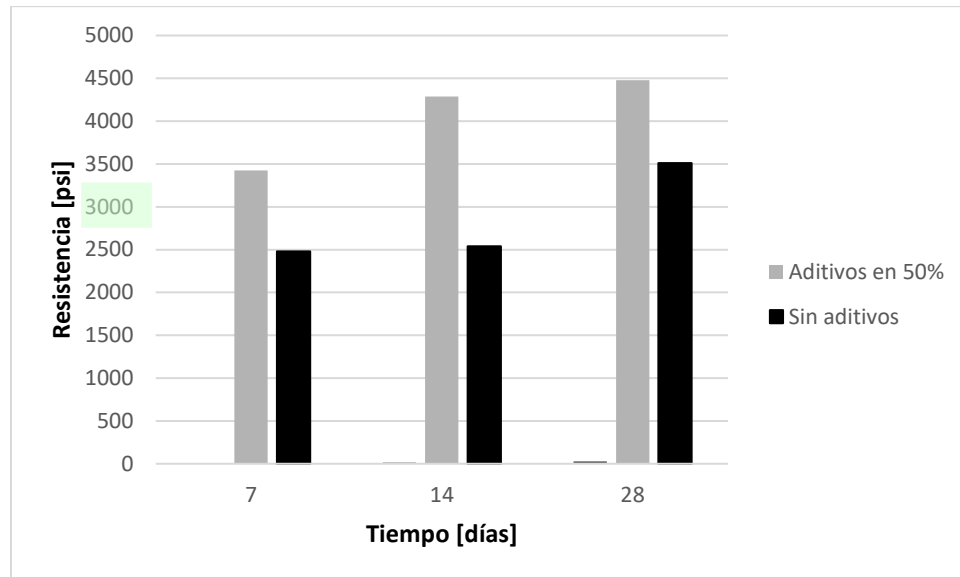
#### 4.3 Ensayo de compresión a probetas con aditivos plásticos en un 50% con relación a la cantidad de cemento

El análisis de la resistencia a la compresión presenta cambios relativamente cercanos en comparación con los aditivos al 25% en relación con la cantidad de cemento; con relación a los días evaluados evidenció una disminución poco considerable para las losas de concreto, sin embargo, esto da a conocer que una menor proporción de plástico en la muestra puede generar valores de una carga máxima alta en relación con la resistencia del concreto.

**Tabla 6.** Resultados del ensayo de compresión de probetas con un 50% de aditivo (monofilamentos) en relación con la cantidad de cemento

Cilindro No.	Fecha de Toma	Fecha de Rotura	Edad [días]	Diám. [mm]	Altura [mm]	Área sección [mm <sup>2</sup> ]	Resistencia nominal psi	Carga Máxima [kN]	Resistencia			Tipo de falla
									[kg/cm <sup>2</sup> ]	psi [lb/in <sup>2</sup> ]	%	
50%	12-ene.-25	19-ene.-25	7	102,2	200,0	8203,4	3000	193,8	240,90	3.426,36	114,21	5
50%	12-ene.-25	26-ene.-25	14	102,2	200,0	8203,4	3000	242,5	301,44	4.287,37	142,91	5
50%	12-ene.-25	9-feb.-25	28	102,2	200,0	8203,4	3000	253,4	314,99	4.480,08	149,34	5

**Ilustración 9.** Ensayo de compresión de probetas con un 50% de aditivo (monofilamentos) en relación con la cantidad de cemento vs probetas sin aditivo



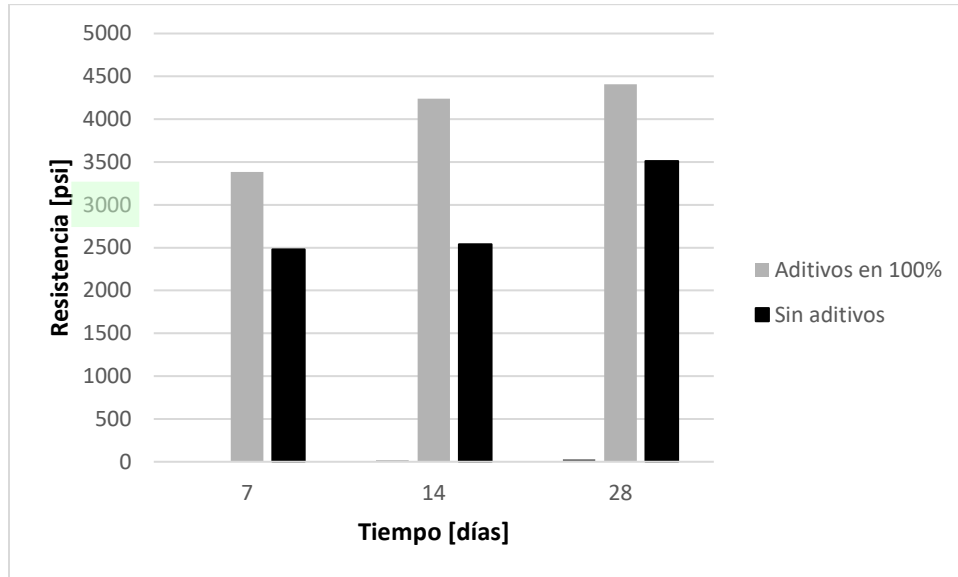
#### 4.4 Ensayo de compresión a probetas con aditivos plásticos en un 50% con relación a la cantidad de cemento

Una vez se agrega la cantidad final de monofilamentos la variabilidad en cuanto a la resistencia en la compresión es proporcional a la anterior, pues los valores oscilan entre los 3.300 y 4.400 psi para la adición del 50 y el 100%. Dando a conocer un incremento en la mezcla que contiene el 25% de fibras como refuerzo para el concreto, pues superó la carga máxima soportada en el concreto. Indicativo de una relación inversamente proporcional, en la que a menos cantidad de fibras en el cemento mayor será su resistencia a la compresión. Teniendo en cuenta que el límite inferior de no debe sobrepasar lo requerido para reforzar la mezcla.

**Tabla 7.** Resultados del ensayo de compresión de probetas con un 100% de aditivo (monofilamentos) en relación con la cantidad de cemento

Cilindro No.	Fecha de Toma	Fecha de Rotura	Edad [días]	Diám. [mm]	Altura [mm]	Area sección [mm <sup>2</sup> ]	Resistencia nominal psi	Carga Máxima [kN]	Resistencia			Tipo de falla
									[kg/cm <sup>2</sup> ]	psi [lb/in <sup>2</sup> ]	%	
100%	12-ene.-24	19-ene.-24	7	102,2	200,0	8203,4	3000	191,4	237,92	3.383,93	112,80	5
100%	12-ene.-24	26-ene.-24	14	102,2	200,0	8203,4	3000	239,8	298,08	4.239,64	141,32	5
100%	12-ene.-24	9-feb.-24	28	102,2	200,0	8203,4	3000	249,3	309,89	4.407,60	146,92	5

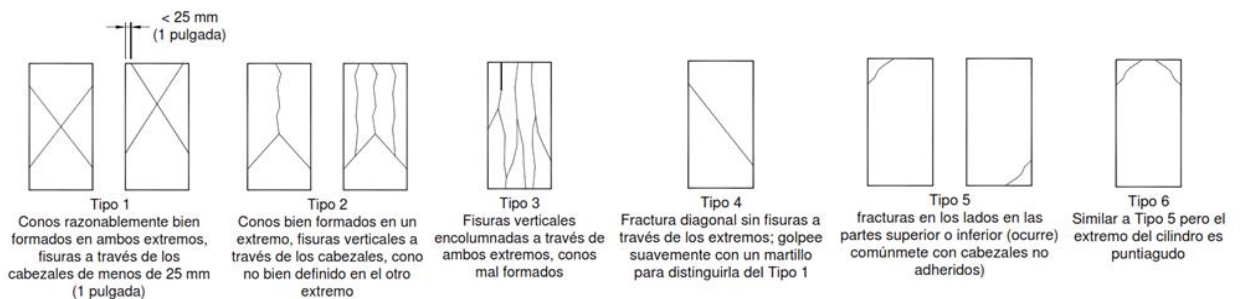
**Ilustración 10.** Ensayo de compresión de probetas con un 100% de aditivo (monofilamentos) en relación con la cantidad de cemento vs probetas sin aditivo



**4.5 Tipo de fallas**

En los tipos de fallas presentadas para ensayos de compresión se evidencian los modelos típicos, entre los que se encuentran 6. Las probetas evaluadas para cada tipo de ensayo presentaron en conjunto falla tipo 5, indicando tensiones y deformaciones en el material. Este tipo de características de fracturas en las esquinas de la probeta pueden ser usuales en cilindros sin

**Ilustración 11.** Esquema de los modelos de fractura típicos



*Nota. Extraído de Icontec NTC 673.*

**4.6 Herramienta de cálculo para dosificar la mezcla de concreto**

Esta herramienta permite al usuario de manera calcular las cantidades requeridas para la composición del concreto, obteniendo los valores de cada componente de la mezcla, sin importar las cantidades solicitadas, pues no posee un límite numérico en su desarrollo. Por tanto, su facilidad de uso brinda que con solo un dato (kg de cemento) pueda obtener los demás valores de los elementos de la mezcla incluyendo los aditivos plásticos posconsumo.

*Ilustración 12. Calculadora dosificadora de plástico como aditivo a matriz de concreto en Excel*

**CALCULADORA DOSIFICADORA DE PLÁSTICO COMO ADITIVO A MATRIZ DE CONCRETO.**

Resistencia: 3000 psi						
		CEMENTO [Bulto]	ARENA [Balde]	TRITURADO [Balde]	AGUA [L]	
Dosificación por volumen		1	1,82	2,7	0,48	
Balde de construcción negros (10 L)		1	7	10,5	22	
Para 1 m <sup>3</sup> de concreto	7,3	[Bultos de cemento]		CEMENTO [kg]	Tipo ART	42,5
	4	[kg plástico]		Plástico [kg]	Monofilamentos	0,5479
Dosificación de matriz de concreto			Ingrese sus cantidades en los espacios resaltados			
Cemento [Bultos]	0,2195	Cemento [kg]	9,33	Cemento [Bultos]	0,2195	
Plástico [kg]	0,1203	Fibra [kg]	0,1203			
Arena [Balde]	1,5367					
Triturado [Balde]	2,3051					
Agua [L]	4,8296					

## 5. Conclusiones

- La experimentación reveló que una menor dosificación de aditivo (monofilamentos de plástico posconsumo) incrementa la resistencia del concreto. Esto subraya la crucial importancia de una dosificación precisa. En nuestro estudio, 4 kg de plástico por metro cúbico de mezcla sirvió como referencia. La dosificación precisa es esencial, ya que una cantidad insuficiente no mejora las características del concreto, mientras que un exceso puede impedir una adhesión adecuada del aditivo a la matriz de concreto. Estos hallazgos destacan la necesidad de un equilibrio cuidadoso en la dosificación de aditivos para optimizar las propiedades del concreto.
- Es crucial seguir el orden de adición de materiales en el trompo: arena, grava, cemento, monofilamentos de PET y, por último, el agua. De lo contrario, si el grano de cemento se hidrata antes de mezclarlo con las fibras, es probable que los materiales se aglomeren y los monofilamentos de plástico no se incorporen correctamente a la matriz de concreto.
- Gracias a la correcta dosificación con respecto a la cantidad de plástico añadido, fue posible establecer una herramienta de cálculo que permite a partir del dato de los kg de cemento requeridos, obtener todos los valores de los demás componentes de la mezcla de concreto reforzado con fibras plásticas posconsumo. Así mismo, dar a conocer que puede presentar fallas de fractura típica tipo 5 generada en la parte superior o inferior lateral de la probeta. Falla que no formaría un daño mayor en cuanto a las propiedades mecánicas del concreto.
- El uso de fibras plásticas recicladas como refuerzo en las mezclas de concreto aplicadas a construcción de vías terciarias, promueve la inclusión y el desarrollo de comunidades socialmente apartadas que residen en áreas rurales, donde las mejoras de las placa huellas puede tener un impacto transformador en su calidad de vida. Al fomentar una cultura de

aprovechamiento de los residuos plásticos, como las botellas PET, se promueve la conciencia ambiental y se involucra a la comunidad en prácticas sostenibles. Incluyendo que aborda desafíos simultáneos entre los sociales, económicos y medio ambientales.

### Referencias bibliográficas

- AC Ingeniería Virtual. (2012). *Hoja de vida AC Ingeniería Virtual Empresa de base tecnológica especializada en industria 4.0* (Vol. 4). Bucaramanga, Santander, Colombia. Obtenido de [https://www.canva.com/design/DAECPZ2QpwE/rWtas36H-\\_pOHKcl8QN7Ww/view?utm\\_content=DAECPZ2QpwE&utm\\_campaign=designshare&utm\\_medium=link&utm\\_source=publishpresent#1](https://www.canva.com/design/DAECPZ2QpwE/rWtas36H-_pOHKcl8QN7Ww/view?utm_content=DAECPZ2QpwE&utm_campaign=designshare&utm_medium=link&utm_source=publishpresent#1)
- Aguilar, C. H. (2016). *Effects Of The Addition Of Ppilypropulene Fiber In Plastics And Mechanical Properties Of Concrete Hidraulic*. Chiclayo, Perú: Rev. Ingeniería: Ciencia, Tecnología e Innovación VOL 3. Obtenido de <https://revistas.uss.edu.pe/index.php/ING/article/view/436/425>
- Clínica jurídica de medio Ambiente, Salud Pública (MASP) de la facultad de Derecho de la Universidad de los Andes Y Greenpeace Colombia. (2019). *Situación actual de los plásticos en Colombia y su impacto en el medio ambiente*. Bogotá, D.C. Obtenido de [http://greenpeace.co/pdf/2019/gp\\_informe\\_plasticos\\_colombia\\_02.pdf](http://greenpeace.co/pdf/2019/gp_informe_plasticos_colombia_02.pdf)
- Jhon Alexander Saucedo Rodriguez, J. J. (12 de 8 de 2021). Uso de los agregados PET en la elaboración del concreto: Revisión de la literatura. *Avances Investigación en Ingeniería*, 18(2), 12. Obtenido de <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.2.6942>
- López, G. M. (2022). *Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras PET recilcadas y su implementación en la construcción de losas de pavimento rígido*. Bogotá, D.C, Colombia. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/48519/2022gloriamongua-victorsuarez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Macias, L. M. (2020). *Evaluación de la resistencia a la flexión y compresión de un concreto estructural ecológico con fibras PET propuesto con forme a la norma NSR-10*. Barranquilla, Colombia. Obtenido de <https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/7835/EVALUACI%C3%93N%20DE%20LA%20RESISTENCIA%20A%20LA%20FLEXI%C3%93N%20Y%20COMPRESI%C3%93N.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mehta, P. K. (2014). *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials, 4th Edition* (4th ed., Vol. Chap. 6). New York, USA: McGraw-Hill Education. Obtenido de <https://www-accessengineeringlibrary-com.bibliotecavirtual.uis.edu.co/content/book/9780071797870/chapter/chapter6>
- Olarte Buritica, S. (2022). *Study of the mechanical behavior of hydraulic concrete: Addition of fibers and microparticles from plastic bottles*. Bogotá, D.C, Colombia: Revista Ingeniería de Construcción. Obtenido de <https://www.scielo.cl/pdf/ric/v37n3/0718-5073-ric-37-03-435.pdf>
- públicas, D. N. (2016). *Mejoramiento de vías terciarias mediante el uso de placa huella*. Bogotá, D.C: Departamento Nacional de Planeación. Obtenido de <https://proyectostipo.dnp.gov.co/images/pdf/placahuella/ptplacahuella.pdf>
- Semana. (17 de 3 de 2021). Se requieren acciones urgentes para frenar la contaminación por plásticos, advierte la ONU. (Semana, Ed.) *Semana*, 1. Obtenido de <https://www.semana.com/sostenibilidad/articulo/se-requieren-acciones-urgentes-para-frenar-la-contaminacion-por-plasticos-advierte-la-onu/202136/>
- Vias, I. N. (2012). Especificaciones generales de construcción de carretras. En I. N. Vias, *Pavimento de concreto hidráulico* (pág. 122). Bogotá, D.C, Colombia. Obtenido de

[https://www.findeter.gov.co/system/files/convocatorias/PAF-ATJAMUNDI-O-021-2022/capitulo\\_5\\_1.pdf](https://www.findeter.gov.co/system/files/convocatorias/PAF-ATJAMUNDI-O-021-2022/capitulo_5_1.pdf)

### Apéndices

#### *Apéndice A. Características físicas de cemento Holcim tipo ART*

<b>CEMENTO</b>		
Peso Unitario del Cemento Suelto:	<b>1071</b>	Kg/m <sup>3</sup>
Densidad del cemento:	<b>2980</b>	Kg/m <sup>3</sup>

#### *Apéndice B. Características físicas de agregado grueso (grava)*

<b>AGREGADO GRUESO (GRAVA)</b>		
Tamaño Máximo	<b>1</b>	in
Peso Especifico Aparente	<b>2646</b>	Kg/m <sup>3</sup>
Absorción	<b>0,73</b>	%
Peso Unitario Suelto	<b>1445</b>	Kg/m <sup>3</sup>
Peso Unitario Compacto	<b>1500</b>	Kg/m <sup>3</sup>
Sanidad	<b>2,89</b>	%
Desgaste	<b>4,16</b>	%
Humedad Natural	<b>0,9</b>	%
Aplanamiento	<b>23,16</b>	%
Alargamiento	<b>21,80</b>	%

*Apéndice C. Características físicas de agregado fino (arena).*

<b>AGREGADO FINO (ARENA)</b>		
Modulo de finura	<b>2,16</b>	-
Peso Especifico Aparente	<b>2606</b>	Kg/m3
Absorción	<b>0,70</b>	%
Peso Unitario Suelto	<b>1556</b>	Kg/m3
Peso Unitario Compacto	<b>1669</b>	Kg/m3
Materia orgánica	<b>1</b>	-
Equivalente Arena	<b>59</b>	%
Sanidad	<b>4,60</b>	%
Humedad Natural	<b>9</b>	%

*Apéndice D. Características físicas de plástico posconsumo (monofilamentos)*

<b>MALLAPET 3D</b>		
Color	<b>Gris</b>	-
Composición	<b>PET</b>	-
Longitud	<b>45-50</b>	mm
Diámetro	<b>0,5</b>	mm
Resistencia	<b>690</b>	Mpa
Módulo de elasticidad	<b>9,5</b>	Mpa
Punto de ignición	<b>260</b>	°C
Absorción de agua	<b>0</b>	%
Denier	<b>4500</b>	-

*Nota. La tabla presenta todas las especificaciones técnicas de apariencia y resistencia de las macrofibras marca Metainplast que se utilizaron en las mezclas de concreto.*

*Apéndice E. Registros fotográficos complementarios**Apéndice E.1 Preparación de concreto y elaboración de probetas*





*Apéndice E.2 Curado y ensayos de compresión*

