



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**INCIDENCIA DE PLÁSTICO RECICLADO PELETIZADO COMO AGREGADOS  
EN EL CONCRETO.**

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

**Presentado ante la**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO**

**Como parte de los requisitos para optar al título de**

**INGENIERO CIVIL**

**REALIZADO POR**

**RAFAEL GRANADO**

**CAMILA TREJO**

**PROFESOR GUÍA**

**MSc. Ing. GUILLERMO BONILLA**

**FECHA**

**Caracas, Octubre 2022**

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

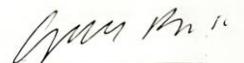
**INCIDENCIA DE PLÁSTICO RECICLADO PELETIZADO COMO  
AGREGADOS EN EL CONCRETO.**

Este jurado; una vez realizado el examen del presente trabajo ha evaluado su contenido con el resultado: **VEINTE (20)** puntos, mención publicación.

**JURADO EXAMINADOR**

Firma: 

Firma: 

Firma: 

Nombre: Yelitza Sirit

Nombre: Wilson González

Nombre: Guillermo Bonilla

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

Presentado ante la

**UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO**

Como parte de los requisitos para optar al título de

**INGENIERO CIVIL**

*“Incidencia de plástico reciclado peletizado como agregados en el concreto”.*

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Católica Andrés Bello, por convertirse en nuestro segundo hogar y todos los conocimientos impartidos durante nuestros años de estudio.

A nuestras familias, quiénes fueron el pilar fundamental durante este trayecto y nuestra principal motivación y apoyo.

Al personal que labora en el Laboratorio de Materiales de Construcción y Tecnología del Concreto de la Universidad Católica Andrés Bello, en especial al Ingeniero Guillermo Bonilla y su equipo de trabajo ya que fueron pieza fundamental en el desarrollo de este Trabajo de Grado.

A Concreklím C.A, por haber prestado sus instalaciones y materiales indispensables para nuestra investigación.

A Corporación Don Domingo, por la donación de todo el plástico reciclado peletizado usado durante la investigación.

A nuestros amigos cercanos y todas aquellas personas que nos apoyaron durante toda la carrera universitaria.

## **SINOPSIS**

El presente trabajo de grado es parte de una línea de investigación desarrollada por el Laboratorio de Tecnología del Concreto de la Universidad Católica Andrés Bello relativa a la búsqueda de soluciones sustentables en la elaboración del concreto, en este caso, enfocada en la sustitución del agregado fino usual por plástico reciclado peletizado.

En la búsqueda de una alternativa sostenible para la elaboración del concreto, se decidió aplicar el polipropileno peletizado como sustituto del agregado fino, y de esta forma, ofrecer una disposición final para dos materiales sumamente contaminantes y peligrosos para el medio ambiente, como lo son los desechos plásticos y el concreto.

Las ventajas de realizar el concreto con plástico como agregado, además de dar una disposición final a dos (2) elementos altamente contaminantes también comprende otros beneficios como la disminución de la masa del concreto.

La caracterización de las propiedades mecánicas fue realizada con base en la variación del porcentaje de plástico agregado y se hizo uso de tres (3) probetas de ensayo las cuales son viguetas, cilindros y losetas. Posteriormente, las mismas se llevaron a ensayo tal como se establece en normas internacionales para conocer su comportamiento a flexión y compresión axial.

Finalmente fueron obtenidas curvas y parámetros que permitieron determinar la incidencia de la sustitución del agregado fino por plástico en el concreto, y la variación en sus características y resistencia.

*“Incidencia de plástico reciclado peletizado como agregados en el concreto”.*

## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	i
SINOPSIS	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	vii
CAPÍTULO I	1
DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	1
I.1 Planteamiento del problema	1
I.2 Antecedentes	2
I.3 Objetivos de la investigación	3
I.3.1 Objetivo General	3
I.3.2 Objetivos Específicos	3
I.4 Alcance y Limitaciones	4
CAPÍTULO II	5
MARCO TEÓRICO	5
II.1 Concreto	5
II.1.2 Flexión	5
II.1.3 Rigidez	6
II.1.4 Módulo de ruptura	7

*“Incidencia de plástico reciclado peletizado como agregados en el concreto”.*

II.1.5 Tenacidad	8
II.1.6 Resistencia a compresión	8
II.2 Polímeros	8
II.2.1 Clasificación de los polímeros	9
II.2.2 Características del polipropileno	10
II.2.3 Proceso de peletización	10
<b>CAPÍTULO III</b>	<b>12</b>
<b>MARCO METODOLÓGICO</b>	<b>12</b>
III.1 Naturaleza de la investigación	12
III.2 Población y muestra	12
III.3 Recolección de datos	14
III.4 Equipos de aplicación de carga	14
III.5 Accesorios empleados	14
III.6 Variables estudiadas	15
III.6.1 Variables independientes	15
III.6.2 Variables dependientes	15
III.6.3 Constantes	15
III.7 Propiedades y características de los agregados	15
III.7.4 Agregado plástico	15
III.7.5 Cemento	15

*“Incidencia de plástico reciclado peletizado como agregados en el concreto”.*

III.8 Dosificaciones aplicadas expresadas en m <sup>3</sup> de concreto	16
III.9 Fases de ejecución	17
III.9.1 Plástico reciclado peletizado	17
III.9.2 Realización de probetas	22
III.9.3 Ensayo a flexión de viguetas de concreto.	23
III.9.4 Ensayo de compresión axial de las probetas cilíndricas	24
CAPÍTULO IV	25
RESULTADOS Y ANÁLISIS	25
IV.1 Ensayo a flexión:	25
IV.2 Resultados de los ensayos a compresión:	31
IV.3. Análisis de la variación de la densidad en las probetas de concreto	35
CAPÍTULO V	38
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	38
V.I Conclusiones	38
BIBLIOGRAFÍA	41

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Fases de ejecución.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 2. Granulometría del agregado fino y del Plástico peletizado .....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 3. Sustitución volumétrica del agregado fino por plástico peletizado .....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 4. Realización de probetas .....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 5. Ensayo a flexión del concreto.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 6. Ensayo a compresión de las probetas .....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 7. Gráfica carga máxima vs. dosificación.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 8. Gráfica de Módulo de ruptura vs. Dosificación de plástico .....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 9. Gráfica de Tenacidad vs. Dosificación de Plástico .....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 10. Gráfica de Tenacidad vs. Dosificación de Plástico modificada .....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 11. Gráfica tensión vs. Deflexión (Referencia) .....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 12. Gráfica tensión vs. Deflexión (2%).....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 13. Gráfica Tensión vs. Deflexión (5%).....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 14. Gráfica Tensión vs. Deflexión (8%).....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 15. Gráfica de resistencia a compresión vs. Dosificación de plástico.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 16. Gráfica de Resistencia a compresión vs. Variación de plástico (corregido).....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 17. Gráfica de Variación de la resistencia vs. Dosificación de plástico .....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 18. Gráfica de Variación de la resistencia vs. Dosificación de plástico (corregido)</i> <i>.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 19. Gráfica de Masa vs. Dosis de plástico .....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 20. Gráfica de Densidad vs. Dosis de plástico.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 21. Gráfica de Variación de la Densidad vs. Dosificación de plástico.....</i>	<i>36</i>

“Incidencia de plástico reciclado peletizado como agregados en el concreto”.

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Características mecánicas del polipropileno</i> .....	9
<i>Tabla 2. Cantidad de probetas cilíndricas realizadas</i> .....	12
<i>Tabla 3. Cantidad de probetas prismáticas realizadas</i> .....	13
<i>Tabla 4. Dosificaciones utilizadas para la elaboración de probetas</i> .....	16
<i>Tabla 5. Dosificación porcentual de plástico añadido</i> .....	16
<i>Tabla 6. Análisis granulométrico del agregado fino</i> .....	18
<i>Tabla 7. Análisis granulométrico del plástico peletizado</i> .....	18

## **CAPÍTULO I**

### **DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **I.1 Planteamiento del problema**

Teniendo en cuenta el contexto global, se puede notar con gran preocupación el estado de contaminación mundial como consecuencia del uso de plástico en forma de desecho, siendo este un material utilizado en su gran mayoría para productos de un solo uso, que carece de procesos eficientes de disposición final. Ocasionando una contaminación desenfrenada a lo largo de la historia, siendo así, un problema que afecta a gran parte de la población mundial, sino a todos.

Por otro lado, se tiene otro material bastante contaminante con mucha demanda y utilizado en todo el mundo para la construcción, el concreto. Por lo que se busca reducir la cantidad de concreto que se utiliza en las construcciones, sustituyendo los agregados que conforman el mismo por plástico, previamente reciclado y procesado, ayudando así a disminuir la incidencia de estos materiales contaminantes.

La propuesta a realizar, es crear alternativas sostenibles de construcción, dándole una adecuada disposición final al plástico, sustituyéndolo como agregado en el concreto, ofreciendo así una solución eficiente que busca reducir las consecuencias contaminantes de estos materiales en el medio ambiente, acercándonos un poco más a cumplir los objetivos 9 y 11 de los Objetivos 20-30 de Desarrollo Sostenible de la Organización de las Naciones Unidas (ONU).

*“Incidencia de plástico reciclado peletizado como agregados en el concreto”.*

## I.2 Antecedentes

Para el desarrollo de la presente investigación, se tomaron como antecedentes trabajos de grado relacionados con nuestra área de estudio, los mismos fueron realizados tanto en la Universidad Católica Andrés Bello, como en otras universidades de Latinoamérica.

- FERNANDEZ JESÚS, ROSCIANO LUIS. (2017). *Evaluación de las características físicas de mezclas de concreto que incorporen plásticos desechados no contaminantes*. T.E.G. Universidad Católica Andrés Bello.

El trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar el comportamiento de mezclas de concreto que incorporen plásticos desechados no contaminantes, específicamente sustituyendo el agregado fino de las mezclas por elementos periféricos de dichos plásticos de forma triturada, que pudiera ser adaptado a la industria de construcción nacional. Los autores concluyen que, ante la presencia de plástico, a mayor dosificación, menor fue la resistencia a compresión. Sin embargo, los resultados obtenidos para ciertas dosificaciones se alcanzaron valores dentro del rango para uso estructural del concreto estudiado.

- ANGUMBA PEDRO. (2016). *“Ladrillos elaborados con plástico reciclado (pet), para mampostería no portante.”* T.E.G. Universidad de Cuenca.

El trabajo de grado tuvo como objetivo investigar el uso de plástico reciclado PET para la fabricación de ladrillos para construcción de mampostería no portante. El autor a través de su investigación pudo elaborar bloques de ladrillos con adición de PET en diversos porcentajes y obtener resultados a través de ensayos para ser comparados con ladrillos de

*“Incidencia de plástico reciclado peletizado como agregados en el concreto”.*

arcilla cocida. Llegando a la conclusión de proponer un ladrillo óptimo para la construcción de viviendas con 25% de adición de PET.

- PIÑEROS MILLER, HERRERA RAFAEL. (2018). *“Proyecto de factibilidad económica para la fabricación de bloques con agregados de plástico reciclado (pet), aplicados en la construcción de vivienda.”* T.E.G. Universidad Católica de Colombia.

El trabajo de grado basó su investigación en estudiar los bloques de plástico como un material de construcción, donde se utiliza el plástico reciclado como materia prima principal para su elaboración. En este trabajo los autores realizaron distintos ensayos con variaciones de pet de 10% hasta 80%, sin embargo, consideran viable hasta un 25% de agregado del material para cumplir con la resistencia requerida.

### **I.3 Objetivos de la investigación**

#### **I.3.1 Objetivo General**

Estudiar la incidencia del uso de plástico reciclado peletizado como agregados en el comportamiento mecánico del concreto.

#### **I.3.2 Objetivos Específicos**

- Determinar la variabilidad de la capacidad mecánica a flexión en el concreto, producto de la sustitución de agregado con plástico reciclado peletizado.
- Determinar la variabilidad de la capacidad mecánica a compresión en el concreto, producto de la sustitución de agregado con plástico reciclado peletizado.

*“Incidencia de plástico reciclado peletizado como agregados en el concreto”.*

- Evaluar la incidencia de la cuantía de plástico en la variación de la densidad del concreto.

#### **I.4 Alcance y Limitaciones**

Se trata de concreto elaborado con agregados naturales, cemento tipo I y plástico reciclado peletizado. Su alcance está relacionado en estudiar la incidencia del plástico reciclado peletizado en el comportamiento mecánico a flexión y compresión del concreto.

Entre las limitaciones se encuentra que no fue posible obtener el módulo de elasticidad, ya que los ensayos a compresión se realizaron en la planta Concreklim dónde no se encontraban los equipos necesarios para determinarlo.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### II.1 Concreto

“El concreto u hormigón es un material que se puede considerar constituido por dos partes: una es un producto pastoso y moldeable, que tiene la propiedad de endurecer con el tiempo, y la otra son trozos pétreos que quedan englobados en esa pasta. A su vez, la pasta está constituida por agua y un producto aglomerante o conglomerante, que es el cemento. El agua cumple la doble misión de dar fluidez a la mezcla y de reaccionar químicamente con el cemento dando lugar, con ello, a su endurecimiento” (Porrero S., J., Ramos R., C., Grases G., J., & Velazco, G. J. 2003).

Como consecuencia del párrafo anterior, se puede definir el concreto como una mezcla de cemento, elementos pétreos conocidos como agregados, los cuales pueden ser finos (arena) o gruesos (piedra) y agua, componentes que se unen con el objetivo de crear una masa heterogénea y trabajable, la cual al endurecerse permitirá obtener un material resistente utilizado para la construcción.

#### II.1.2 Flexión

“El estudio de las tensiones en vigas sometidas a flexión se comienza suponiendo que una viga recta está sometida a flexión pura, es decir, constante a lo largo de su directriz. En este caso, y por un razonamiento puramente geométrico, la viga se curva y adquiere la forma de un arco de circunferencia, de curvatura constante.” (Romero I. 2017)

*“Incidencia de plástico reciclado peletizado como agregados en el concreto”.*

Del párrafo anterior se puede inferir que al someter una viga recta a tensiones flexionantes, la sección transversal se mantendrá plana, pero esto desemboca en que una porción de la sección transversal experimente tensión a tracción mientras que en la sección restante se presenten tensiones a compresión. En el medio de ambas porciones se encuentra lo que se denomina eje neutro de la viga, y en el mismo la tensión es cero.

Producto de la carga aplicada sobre la viga, y teniendo en cuenta que se supone un material homogéneo que se comporta en forma elástica lineal, se presenta sobre la misma una deformación longitudinal que tendrá una variación lineal desde cero en el eje neutro, hasta una deformación máxima que se presenta en las fibras exteriores de la viga directamente proporcional a la variación lineal en el esfuerzo normal aplicado.

Dentro de lo referido al estudio del comportamiento mecánico a flexión se hace uso de la norma ASTM C78-94.

### **II.1.3 Rigidez**

Con base en la hipótesis de que el material a estudiar es homogéneo y se comporta de forma elástico lineal, al mismo se le puede aplicar tanto la ley de Hooke como la fórmula de flexión y al sustituirse ambas en la ecuación de deformación del arco se obtiene una ecuación que involucra el producto “EI”, este se conoce como rigidez a la flexión y siempre es una cantidad positiva.

Ley de Hooke:

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E} \quad (1)$$

*“Incidencia de plástico reciclado peletizado como agregados en el concreto”.*

Ecuación de la flexión:

$$\sigma = \frac{-My}{I} \quad (2)$$

Ecuación de deformación de un arco:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI} \quad (3)$$

Donde:

- $\epsilon$ : deformación normal longitudinal
- $\sigma$ : esfuerzo normal en un elemento recto
- E: módulo de elasticidad del material
- I: momento de inercia de la viga con respecto al eje neutro

### II.1.4 Módulo de ruptura

“Es el valor aparente del esfuerzo[*sic*] de tracción de una viga de concreto, debido a una carga que produce la rotura en flexión, suponiendo condiciones de elasticidad y homogeneidad del material.” (COVENIN 342, 2004)

Haciendo referencia a la ecuación de la flexión, “Puede emplearse la ecuación de la flexión para determinar el esfuerzo[*sic*] de flexión en una viga cargada hasta su ruptura en una máquina de ensayos. Puesto que en este caso se excede el límite de proporcionalidad, el esfuerzo[*sic*] determinado de esta forma no es el verdadero esfuerzo[*sic*] en el material cuando se produce la ruptura de la viga. Sin embargo, el esfuerzo[*sic*] ficticio así obtenido se llama módulo de ruptura del material y se utiliza para comparar las resistencias últimas de vigas de distintos tamaños y materiales.” (Pytel A., Singer F. 1994).

*“Incidencia de plástico reciclado peletizado como agregados en el concreto”.*

Ecuación módulo de ruptura:

$$\sigma = \frac{3 M y}{2 b d^2} \quad (4)$$

### II.1.5 Tenacidad

Propiedad de cualquier material, determinada como el área bajo el diagrama de tensión-deformación y hace referencia a la energía almacenada por unidad de volumen hasta la ruptura.

### II.1.6 Resistencia a compresión

Se trata de la carga máxima soportada por unidad de área en una muestra, antes de fallar por las fuerzas internas que se generan por compresión, se pueden apreciar como un agrietamiento o rotura en el espécimen de concreto.

Ya que no es posible realizar un ensayo para representar cada tipo de tensión, la práctica comúnmente usada consiste en realizar ensayos a compresión simple sobre probetas tipificadas, entiéndase cilindros de concreto de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura; y a través de su resultado poder obtener otras propiedades físicas.

## II.2 Polímeros

“Las moléculas de los polímeros son gigantescas en comparación con las moléculas de los hidrocarburos. Debido a su tamaño, a menudo se las denomina macromoléculas. Dentro de cada molécula, los átomos están unidos por enlaces interatómicos covalentes. Para polímeros de cadena de carbono, la columna vertebral de cada cadena es una cadena de átomos de carbono.”(Callister W., Rethwisth D., 2013)

*“Incidencia de plástico reciclado peletizado como agregados en el concreto”.*

Del párrafo anterior se puede entender que el producto de una cadena de unidades de repetición de monómeros que se unen y repiten, forma una macro-molécula conocida como polímero.

El término monómero, se refiere a una molécula pequeña desde la cual los polímeros son sintetizados.

### II.2.1 Clasificación de los polímeros

Los polímeros se pueden clasificar en termoplásticos y termoestables, para el presente trabajo de grado el interés principal se encuentra en los polímeros termoplásticos.

“Los termoplásticos se ablandan cuando se calientan (y eventualmente pasan a estado líquido) y se endurecen cuando se enfría, procesos que son totalmente reversibles y pueden repetirse. A nivel molecular, a medida que la temperatura aumenta, las fuerzas de unión secundarias disminuyen (por el aumento de movimiento) de modo que el movimiento relativo de las cadenas adyacentes se facilita cuando se aplica un esfuerzo (...) Los ejemplos de polímeros termoplásticos comunes incluyen polietileno, poliestireno, poli (tereftalato de etileno) y poli (cloruro de vinilo)”. (Callister W., Rethwisth D., 2013)

A continuación, se presenta una tabla con las características mecánicas del polipropileno a temperatura ambiente:

*Tabla 1. Características mecánicas del polipropileno*

Material	polipropileno
Gravedad específica	0,90-0,91
Módulo a tracción (GPa)	1,14-1,55

*“Incidencia de plástico reciclado peletizado como agregados en el concreto”.*

Resistencia a la tracción (MPa)	31-41,4
Límite elástico (Mpa)	31-37,2
Elongación a la rotura (%)	100-600

Fuente: (Callister W., Rethwisth D., 2013)

“Para los polímeros termoplásticos, es posible tanto el comportamiento dúctil como el frágil, y muchos de estos materiales son capaces de experimentar una transición de dúctil a frágil. Alguno de los factores que afectan la ductilidad del material puede ser la reducción de la temperatura, aumento en la velocidad de deformación, la presencia de una muesca aguda, un aumento en el espesor del espécimen, y cualquier modificación de la estructura polimérica que eleve la temperatura de transición vítrea.” (Callister W., Rethwisth D., 2013)

### II.2.2 Características del polipropileno

El polipropileno es resistente a la deformación por temperatura; tiene excelentes propiedades eléctricas y resistencia a la fatiga, químicamente inerte, relativamente no costoso y poca resistencia a la luz ultravioleta. Se puede encontrar en botellas esterilizables, papel de embalaje, paneles de protección para automóviles, fibras y equipaje.

### II.2.3 Proceso de peletización

Una vez que el plástico es reciclado y separado de otros desechos, se traslada hasta la planta de procesamiento, se debe separar según el tipo de plástico, para este trabajo de grado, la Corporación Don Domingo agrupa el polietileno y polipropileno por separado y también lo clasifica según el color.

*“Incidencia de plástico reciclado peletizado como agregados en el concreto”.*

Se realiza un primer proceso de triturado para moler el plástico y obtener hojuelas de menor tamaño.

La segunda parte del proceso implica una segunda etapa de triturado, para obtener hojuelas de tamaño aún más pequeñas y se realiza un lavado de las mismas a altas temperaturas con soda cáustica o hipoclorito de sodio, para desprender correctamente todo el sucio adherido al plástico.

Se procede a introducir las hojuelas de plástico en una máquina centrífuga para poder retirar la humedad de las mismas.

Finalmente, el plástico una vez en estado seco se introduce en una máquina extrusora, la que presuriza a alta temperatura el material hasta alcanzar un estado semilíquido, que permite que sea moldeable.

La extrusión tiene lugar cuando esta masa fundida es forzada a través de un orificio de matriz que cuenta con un filtro, posteriormente la solidificación del material extruido en forma longitudinal se acelera mediante sopladores, rociadores de agua o un baño. La técnica está especialmente adaptada para producir longitudes continuas de sección transversal geométrica constante como, por ejemplo, varillas, tubos, canales de manguera, láminas y filamentos. Es de aquí donde finalmente se obtiene el polipropileno peletizado listo para ser utilizado nuevamente, o en este caso para servir como agregado en probetas de concreto.

*“Incidencia de plástico reciclado peletizado como agregados en el concreto”.*

## CAPÍTULO III

### MARCO METODOLÓGICO

#### III.1 Naturaleza de la investigación

Se trata de una investigación experimental de campo, descriptiva y exploratoria.

#### III.2 Población y muestra

La población estuvo conformada por 72 probetas cilíndricas estandarizadas, de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, de los cuales por cada dosificación se realizaron 3 cilindros de concreto para realizar el ensayo a compresión a 7 días y 3 para el tiempo de 28 días. Además, se hicieron 36 probetas prismáticas (viguetas) de 15x15x54 cm.

A continuación, se anexa la tabla 2 y 3 donde se muestra con mayor detalle las características de cada grupo de población utilizado para este trabajo.

*Tabla 2. Cantidad de probetas cilíndricas realizadas*

Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Cuantía de plástico (gr)	Cantidad 7 días	Cantidad 28 días	Total
210	Referencia	3	3	6
	200	3	3	6
	500	3	3	6
	800	3	3	6
280	Referencia	3	3	6
	200	3	3	6

*“Incidencia de plástico reciclado peletizado como agregados en el concreto”.*

	500	3	3	6
	800	3	3	6
320	Referencia	3	3	6
	200	3	3	6
	500	3	3	6
	800	3	3	6
				72

Fuente: elaboración propia

*Tabla 3. Cantidad de probetas prismáticas realizadas*

Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Cuantía de plástico (gr)	Cantidad 28 días
210	Referencia	3
	200	3
	500	3
	800	3
280	Referencia	3
	200	3
	500	3
	800	3
320	Referencia	3
	200	3
	500	3

*“Incidencia de plástico reciclado peletizado como agregados en el concreto”.*

	800	3
		36

Fuente: elaboración propia

### III.3 Recolección de datos

La recolección de datos se realizó una vez el concreto en las muestras ya estaba endurecido y curado, todo el proceso previo de mezclado y vaciado fue documentado con material multimedia.

En el caso de las probetas cilíndricas, fueron ensayadas a compresión axial, los resultados de la carga soportada se extrajeron del equipo de medición digital.

Las probetas prismáticas, fueron ensayadas a flexión y los datos de carga soportada y deflexión vertical obtenidos del equipo de medición.

### III.4 Equipos de aplicación de carga

- Prensa Universal Baldwin (capacidad 100 toneladas) del Laboratorio de Tecnología del Concreto de la Universidad Católica Andrés Bello.
- Prensa Forney F-250 (capacidad de 250000 libras) de la empresa Concreklím Caracas II, C.A.

### III.5 Accesorios empleados

- Unidad de manejo de datos Dewesoft
- Cámaras digitales

*“Incidencia de plástico reciclado peletizado como agregados en el concreto”.*

### **III.6 Variables estudiadas**

#### **III.6.1 Variables independientes**

- Dosificación de plástico agregado (%)
- Dosificación de agregado fino (kg)

#### **III.6.2 Variables dependientes**

- Tensión a flexión (MPa)
- Deflexión vertical (mm)
- Tensión a compresión (kgf/cm<sup>2</sup>)

#### **III.6.3 Constantes**

- Dosis de cemento (kg/m<sup>3</sup>)
- Velocidad de aplicación de carga (kgf/ m<sup>2</sup>/seg)

### **III.7 Propiedades y características de los agregados**

El tamaño máximo del agregado grueso utilizado fue de ¾". Mientras que el tamiz de mayor tamaño para el agregado fino fue de ¼".

#### **III.7.4 Agregado plástico**

- Polipropileno, peletizado.
- Tamaño máximo ¼"
- Densidad 900 kg/m<sup>3</sup>

#### **III.7.5 Cemento**

Cemento Portland tipo 1

*“Incidencia de plástico reciclado peletizado como agregados en el concreto”.*

### III.8 Dosificaciones aplicadas expresadas en m<sup>3</sup> de concreto

*Tabla 4. Dosificaciones utilizadas para la elaboración de probetas*

F'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Cemento (kg)	Agua (l)	Piedra (kg)	Arena (kg)	Plástico (kg)
210	329	192	733	1102	0
					37,73
					94,33
					150,94
280	470	223	648	975	0
					37,73
					94,33
					150,94
320	550	231	609	917	0
					37,73
					94,33
					150,94

Fuente: elaboración propia

A fines de tener un valor porcentual de la dosificación de plástico a sustituir según el tipo de probeta a realizar (vigüeta o cilindro), se presenta en la tabla 7 los valores equivalentes de la dosificación que se tiene en kg por m<sup>3</sup> de concreto representados porcentualmente.

*Tabla 5. Dosificación porcentual de plástico añadido*

Dosificación de plástico (kg/m <sup>3</sup> )	Dosificación porcentual (%)
---	-----------------------------

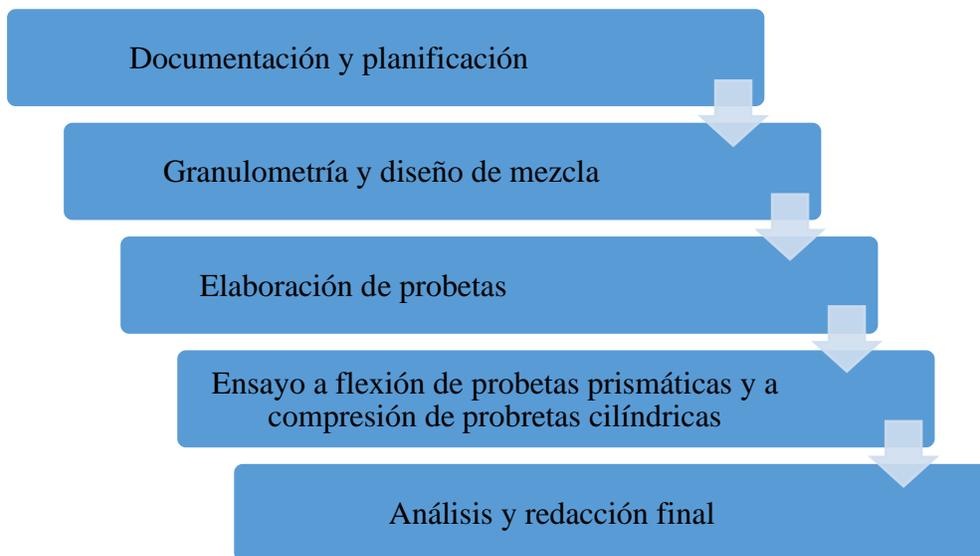
*“Incidencia de plástico reciclado peletizado como agregados en el concreto”.*

0	0%
37,73	2%
94,33	5%
150,94	8%

Fuente: elaboración propia

### III.9 Fases de ejecución

*Figura 1. Fases de ejecución*



Fuente: elaboración propia

#### III.9.1 Plástico reciclado peletizado

El plástico utilizado fue una donación realizada por la Corporación Don Domingo ubicada en Barquisimeto, estado Lara, quienes brindaron 70 kg de polipropileno peletizado para llevar a cabo este trabajo de grado.

*“Incidencia de plástico reciclado peletizado como agregados en el concreto”.*

Del mismo se realizó una granulometría, la cual sirvió para comparar el tamaño predominante del polipropileno con los agregados que serían utilizados y poder realizar una sustitución volumétrica de los mismos. De este estudio se tomó la decisión de sustituir una proporción del agregado fino por el polipropileno peletizado.

A continuación, se presentan los resultados de la granulometría realizada en comparación con la granulometría del agregado fino.

*Tabla 6. Análisis granulométrico del agregado fino*

Análisis Granulométrico - COVENIN 255		Cantidad	Retenido	Retenido	Pasante
Tamices (Abertura de malla)		Retenida (g)	(%)	Acumulado (%)	Acumulado (%)
1 1/2"	37.5mm		0,00	0,00	
1"	25mm		0,00	0,00	
3/4"	19mm		0,00	0,00	
1/2"	12.5mm		0,00	0,00	100,00
3/8"	9.5mm		0,00	0,00	100,00
1/4"	6.35mm	130,0	4,33	4,33	95,67
No. 4	4.75mm	297,0	9,90	14,23	85,77
No. 8	2.38mm	536,0	17,87	32,10	67,90
No. 16	1.19mm	485,0	16,17	48,27	51,73
No. 30	0.6mm	640,0	21,33	69,60	30,40
No. 50	0.3mm	530,0	17,67	87,27	12,73
No. 100	0.15mm	255,0	8,50	95,77	4,23
No. 200	0.1mm	72,0	2,40	98,17	1,83
Fondo		55,0	1,83	100,00	0,00
Totales:		<b>3000</b>			
% #200		<b>2</b>			
<b>Modulo de Finura</b>				3,47	

Fuente elaboración propia

*Tabla 7. Análisis granulométrico del plástico peletizado*

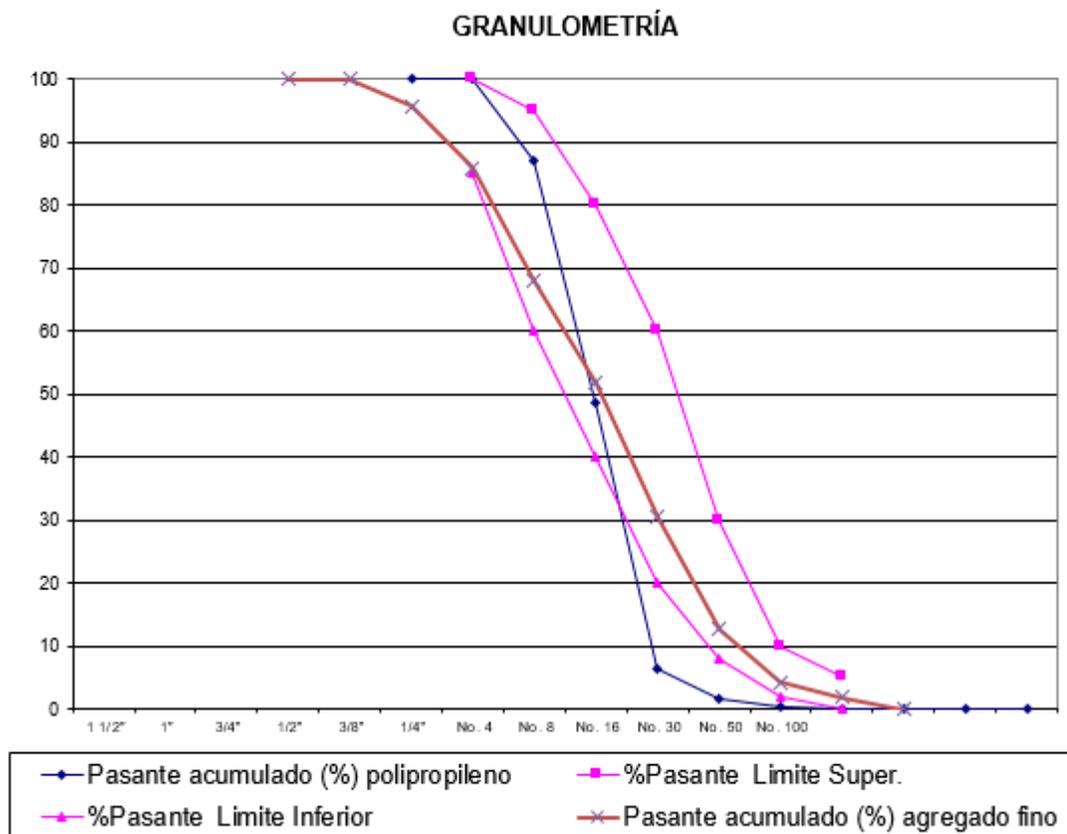
*“Incidencia de plástico reciclado peletizado como agregados en el concreto”.*

<b>Análisis Granulométrico - COVENIN 255</b>		<b>Cantidad</b>	<b>Retenido</b>	<b>Retenido</b>	<b>Pasante</b>
<b>Tamices (Abertura de malla)</b>		<b>Retenida (g)</b>	<b>(%)</b>	<b>Acumulado (%)</b>	<b>Acumulado (%)</b>
1 1/2"	37.5mm		0,00	0,00	
1"	25mm		0,00	0,00	
3/4"	19mm		0,00	0,00	
1/2"	12.5mm		0,00	0,00	100,00
3/8"	9.5mm		0,00	0,00	100,00
1/4"	6.35mm	701,2	12,81	12,81	87,19
No. 4	4.75mm	2.115,1	38,65	51,46	48,54
No. 8	2.38mm	2.301,2	42,05	93,52	6,48
No. 16	1.19mm	261,9	4,79	98,30	1,70
No. 30	0.6mm	64,9	1,19	99,49	0,51
No. 50	0.3mm	20,7	0,38	99,87	0,13
No. 100	0.15mm	-	0,00	99,87	0,13
No. 200	0.1mm	-	0,00	99,87	0,13
Fondo		7,3	0,13	100,00	0,00
<b>Totales:</b>		<b>5472,3</b>			
<b>% #200</b>		<b>0</b>			
<b>Modulo de Finura</b>				<b>5,43</b>	

Fuente: elaboración propia

*Figura 2. Granulometría del agregado fino y del Plástico peletizado*

*“Incidencia de plástico reciclado peletizado como agregados en el concreto”.*



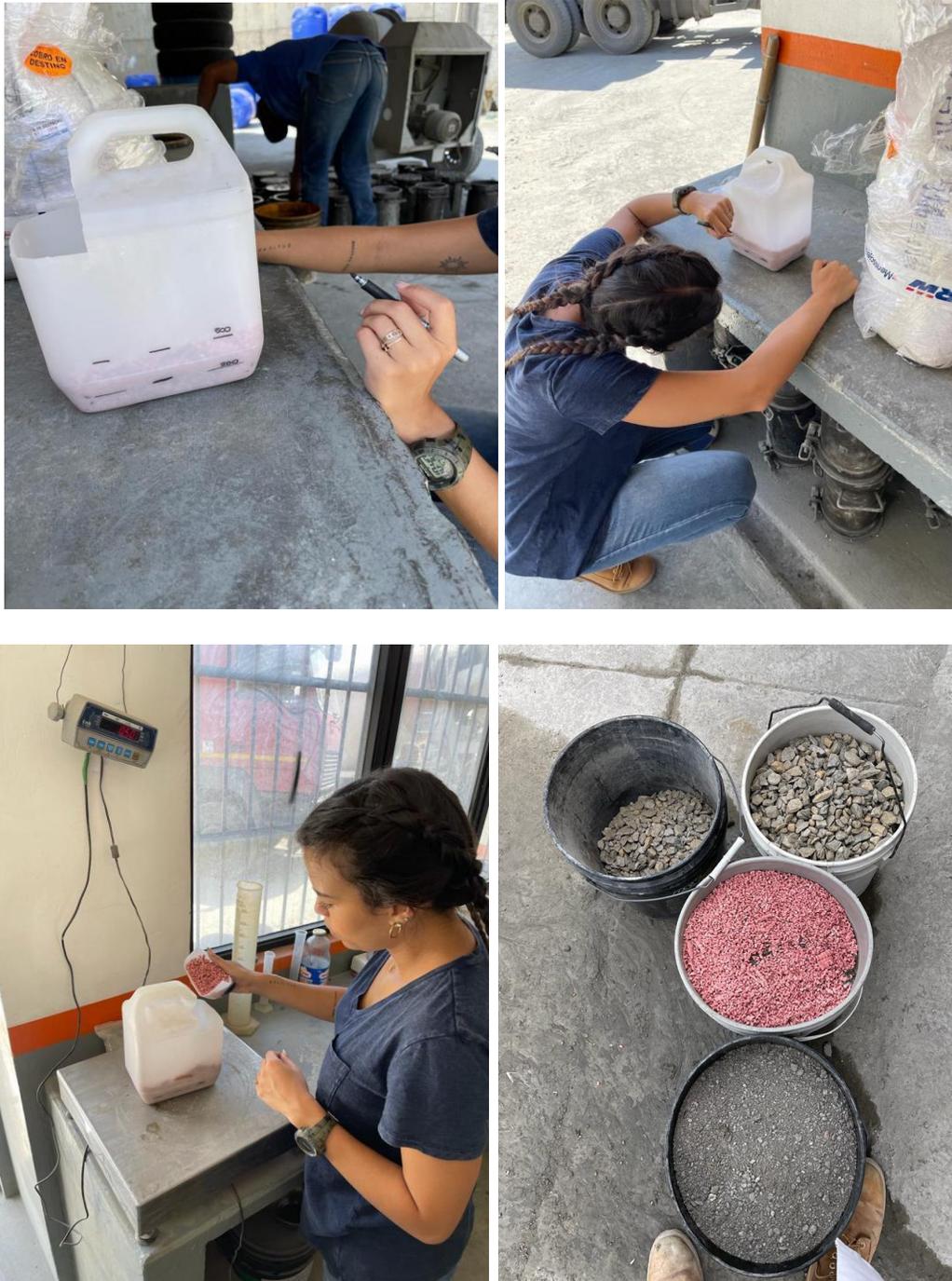
Fuente: elaboración propia

El proceso de sustitución del agregado fino (arena) por el polipropileno peletizado se hizo de la siguiente forma:

1. Determinando la masa de plástico requerido según la cantidad de probetas a realizar.
2. Una vez medida la cantidad requerida de plástico, se establecía su volumen mediante un recipiente plástico.
3. Se procedió a sustituir el plástico peletizado por la arena ya medida según la dosificación a realizar, una vez la arena ocupó el volumen establecido, este se extrajo.
4. Finalmente se realizaron las probetas.

Figura 3. Sustitución volumétrica del agregado fino por plástico peletizado

*“Incidencia de plástico reciclado peletizado como agregados en el concreto”.*



Fuente: elaboración propia

*“Incidencia de plástico reciclado peletizado como agregados en el concreto”.*

### III.9.2 Realización de probetas

Una vez realizado el diseño de mezcla, se procedió a realizar las probetas cilíndricas y prismáticas, en las instalaciones de la empresa Concreklim Caracas II, C.A. quienes además realizaron la donación de todo el cemento, arena y piedra requerido para el desarrollo del trabajo de grado y también permitieron el almacenamiento de las probetas en sus espacios mientras se llevaba a cabo el proceso de curado.

*Figura 4. Realización de probetas*



*“Incidencia de plástico reciclado peletizado como agregados en el concreto”.*



Fuente: elaboración propia

### III.9.3 Ensayo a flexión de viguetas de concreto.

Para la realización del ensayo a flexión se verificó preliminarmente que todas nuestras probetas cumplieran con los requerimientos de la norma COVENIN 342(R)-04 tales como asegurar que las superficies fuesen lisas, planas, paralelas y libres de escalones, protuberancias y hendiduras.

*“Incidencia de plástico reciclado peletizado como agregados en el concreto”.*

*Figura 5. Ensayo a flexión del concreto*



Fuente: elaboración propia

### III.9.4 Ensayo de compresión axial de las probetas cilíndricas

El ensayo de resistencia a compresión se realizó siguiendo lo dispuesto en la norma COVENIN 338-2002 sobre probetas cilíndricas tipificadas, curadas durante 28 días y en las condiciones adecuadas.

*Figura 6. Ensayo a compresión de las probetas*



Fuente: elaboración propia

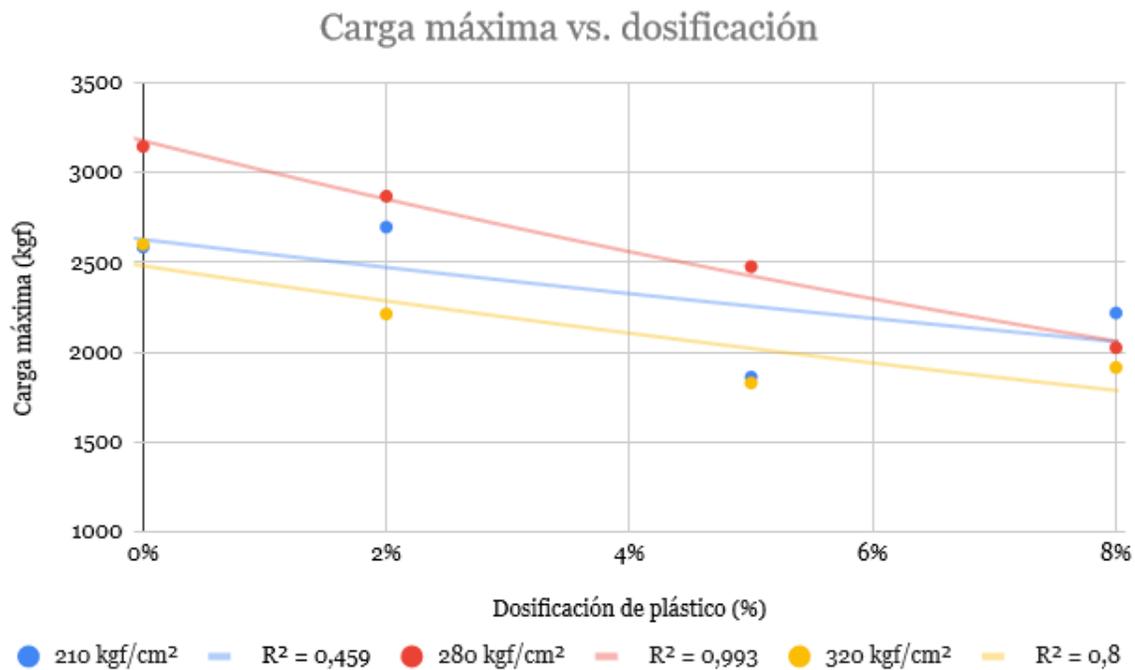
*“Incidencia de plástico reciclado peletizado como agregados en el concreto”.*

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y ANÁLISIS

#### IV.1 Ensayo a flexión:

Figura 7. Gráfica carga máxima vs. dosificación



Fuente: elaboración propia

En la figura 7 se muestra el gráfico del promedio de la carga máxima soportada por cada grupo de viguetas ensayadas vs. la dosificación de plástico, donde se aprecia el comportamiento a flexión para las distintas resistencias con las cuales se trabajó al variar la dosificación de plástico añadido. Para la realización de esta gráfica se utilizaron líneas de tendencia exponenciales, siendo la ecuación  $y = 3179e^{-541x}$  con un  $R^2 = 0,993$  para una resistencia de 280 kgf/cm<sup>2</sup> la que mejor se ajustó a dicha tendencia.

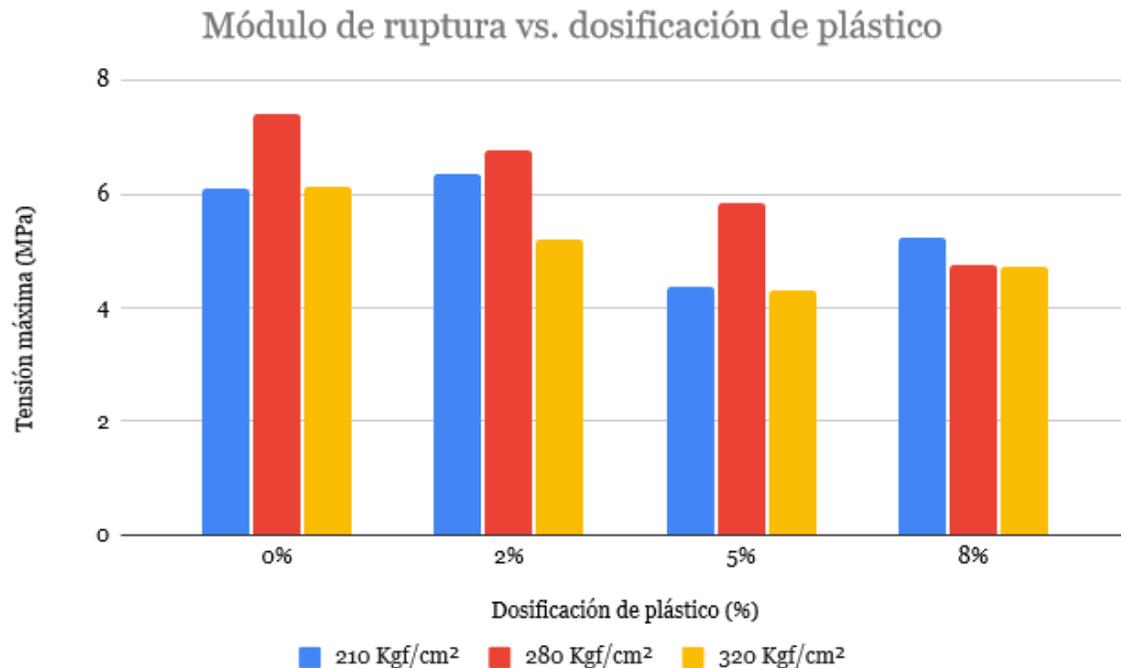
*“Incidencia de plástico reciclado peletizado como agregados en el concreto”.*

En el diseño de mezcla a 210 kgf/cm<sup>2</sup>, los resultados obtenidos no se corresponden a una curva exponencial, y su ecuación  $y=2628e^{-3,05x}$  con valor de  $R^2=0,459$  no se ajusta a los puntos como se observa en los otros diseños. Se observa que la variación de la carga soportada a flexión para una dosificación de plástico añadido del 2% es prácticamente nula en comparación al valor obtenido por la referencia, lo que permite indicar que a una baja dosificación de plástico peletizado no se observa una variación relevante en su comportamiento, sin embargo, al aumentar la dosificación de polipropileno a 5% y 8% se puede identificar una disminución importante en la carga soportada a flexión de los elementos ensayados.

Se puede apreciar que el comportamiento para la resistencia de 280 kgf/cm<sup>2</sup> muestra un decrecimiento de la carga aplicada de forma exponencial ( $y=3179e^{-5,41x}$   $R^2=0,993$ ), observando claramente que ante una mayor dosificación de plástico la carga soportada disminuye proporcionalmente.

Igualmente, se puede observar el comportamiento en el caso del diseño de 320 kgf/cm<sup>2</sup>, que decrece exponencialmente ( $y=2481e^{-4,11x}$   $R^2=0,8$ ) aunque para mayores dosificaciones de plástico (5%-8%) la variación de carga máxima soportada tiende a cero (0).

Figura 8. Gráfica de Módulo de ruptura vs. Dosificación de plástico



Fuente: elaboración propia

Como se puede observar en la figura 8, el módulo de ruptura varía con tendencia decreciente a medida que aumenta la dosis de plástico añadida, la tensión resistida al ser dependiente de la carga aplicada tiene el mismo comportamiento que la figura 7, ya que estos resultados son obtenidos a partir de la ecuación 4 mencionada en el capítulo II, donde todos los términos de esta ecuación son constantes, a excepción de la carga aplicada (P).

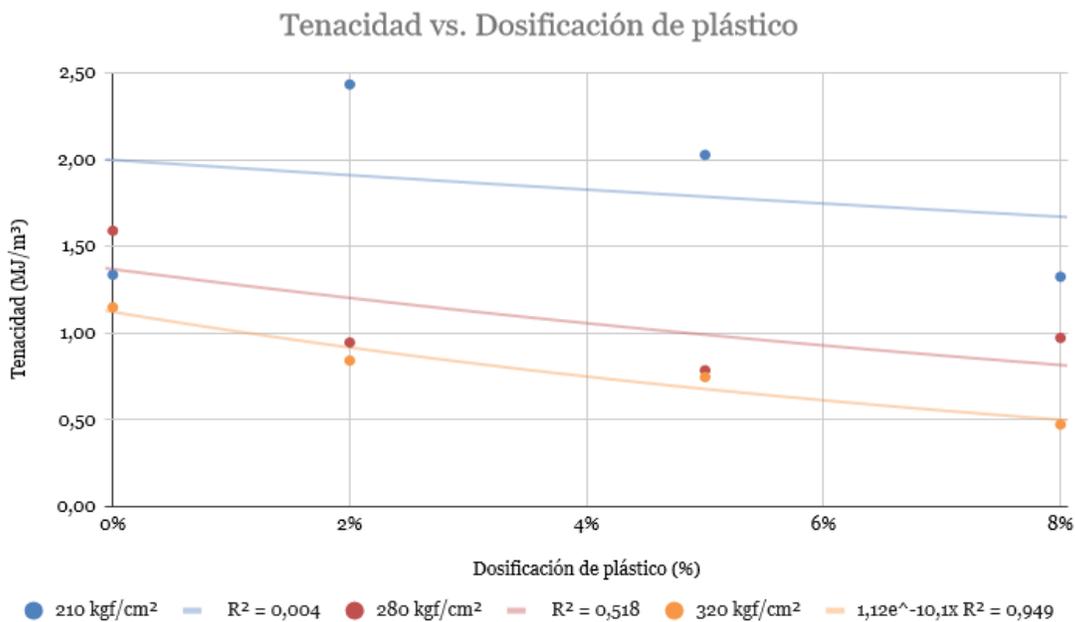
Se puede observar que la muestra de referencia y la que cuenta con 2% de plástico agregado para el diseño 210 kg/cm<sup>2</sup> presentan una discrepancia a la tendencia, donde la de referencia resistió menos carga. Igual sucede en los resultados obtenidos entre 5% y 8%

*“Incidencia de plástico reciclado peletizado como agregados en el concreto”.*

donde el último tiene un mayor módulo de ruptura que el anterior, comportamiento que no se ve reflejado en los otros dos (2) diseños evaluados.

El comportamiento esperado se ve reflejado en las muestras con diseño de 280 kgf/cm<sup>2</sup> y 320 kgf/cm<sup>2</sup> donde a medida que se incrementa la dosis de plástico la resistencia disminuye.

Figura 9. Gráfica de Tenacidad vs. Dosificación de Plástico



Fuente: elaboración propia

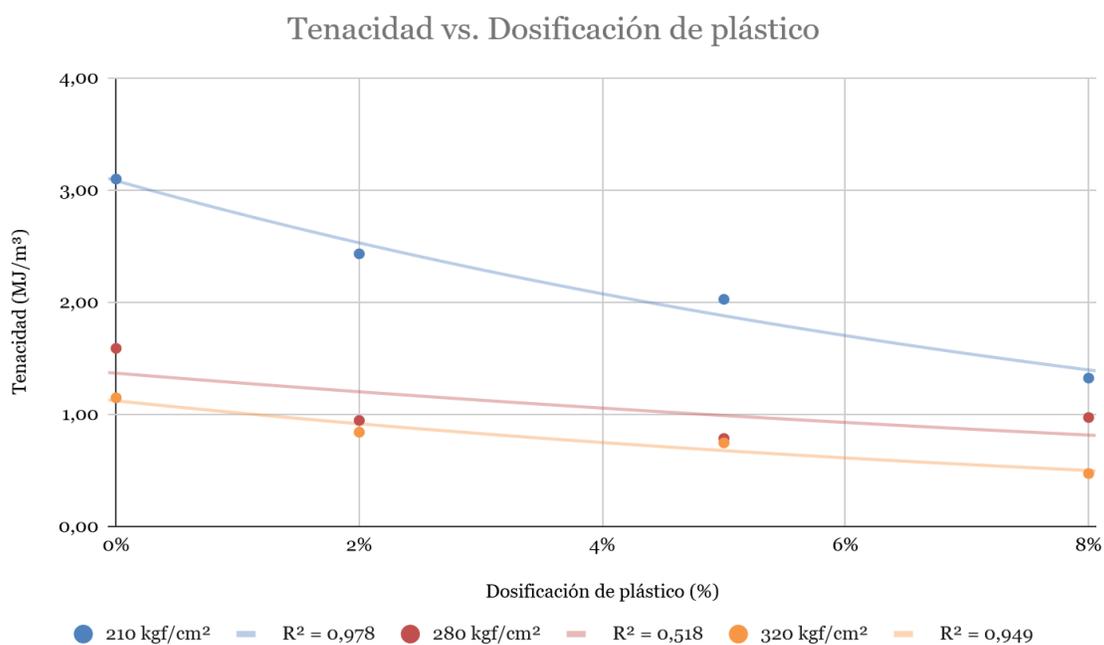
La figura 9 relaciona la energía absorbida del material con la dosis de polipropileno, se observa que a medida que la dosis del material plástico aumenta, la energía absorbida por las probetas disminuye.

Para la muestra de referencia con diseño de 210 kgf/cm<sup>2</sup> se presentó marcada desviación en los resultados obtenidos, donde se decidió realizar una corrección del mismo

*“Incidencia de plástico reciclado peletizado como agregados en el concreto”.*

con base en la tendencia, de los datos resultantes (para 2%, 5% y 8%) y su línea de tendencia se extrapola el valor para 0% de dosis de polipropileno obteniéndose un resultado de 3,1 MJ/m<sup>3</sup> para la tenacidad de la muestra de referencia con diseño de 210 kgf/cm<sup>2</sup>. Dicho cambio se presenta en la figura 10.

Figura 10. Gráfica de Tenacidad vs. Dosificación de Plástico modificada



Fuente: elaboración propia

En la figura 10, se puede notar que al aumentar la dosificación de polipropileno, ocurre una disminución de la energía absorbida, por lo que los elementos absorben menor cantidad de energía, lo que lleva a pensar que en la medida que aumenta el material plástico, el concreto va perdiendo la capacidad de absorber deformaciones, por lo que la tenacidad disminuye.

*“Incidencia de plástico reciclado peletizado como agregados en el concreto”.*

Figura 11. Gráfica tensión vs. Deflexión (Referencia)

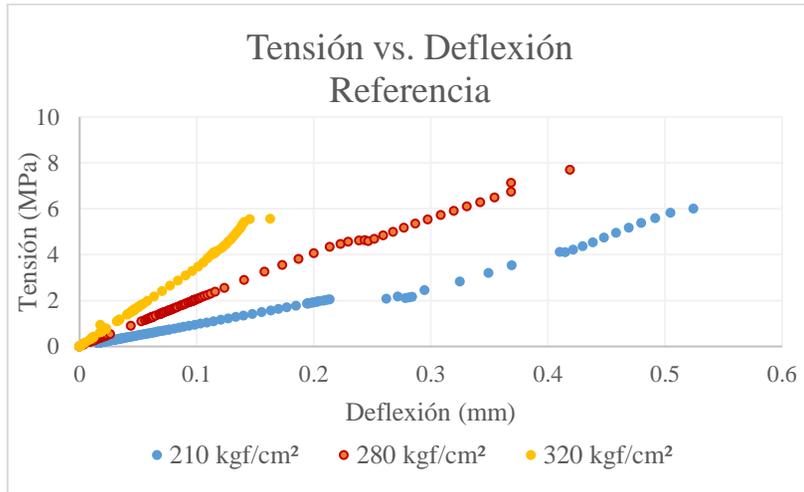


Figura 12. Gráfica tensión vs. Deflexión (2%)

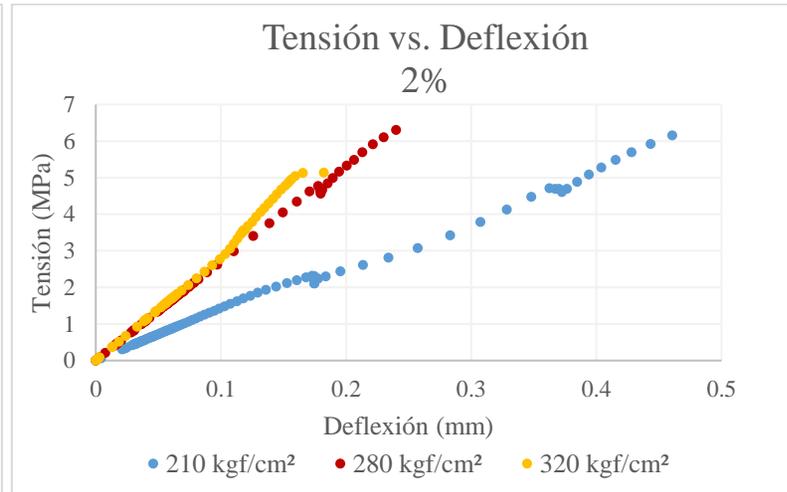


Figura 13. Gráfica Tensión vs. Deflexión (5%)

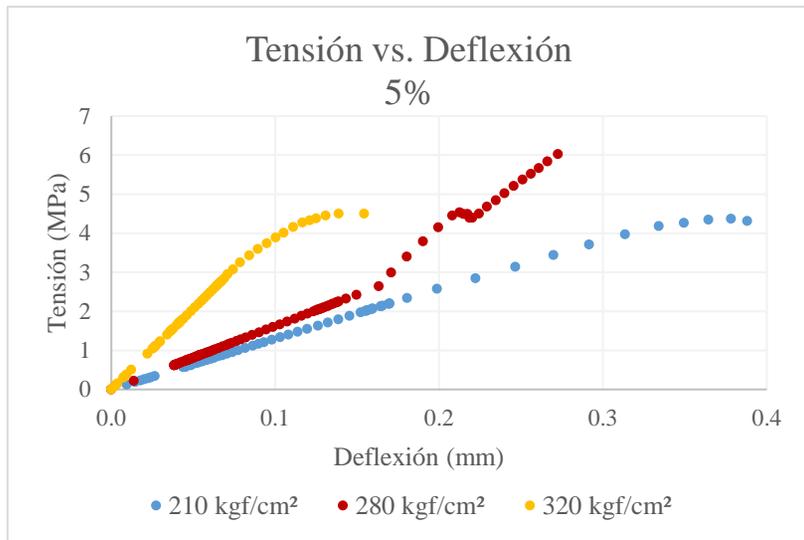
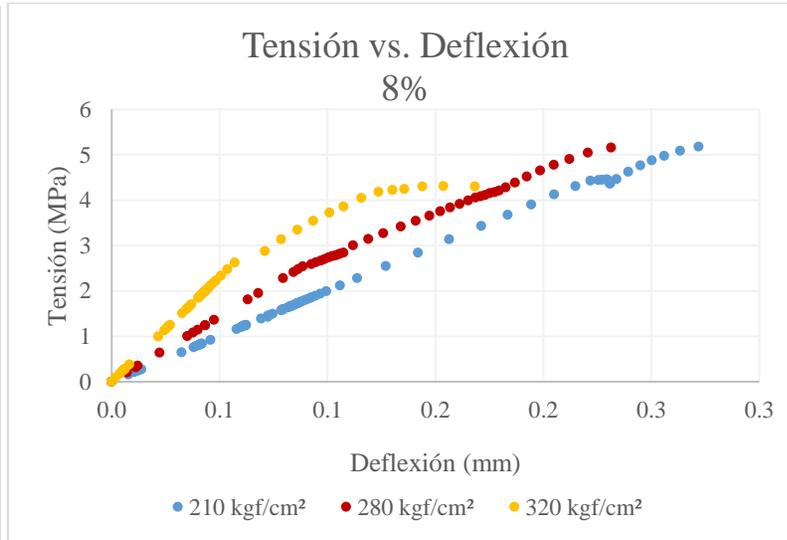


Figura 14. Gráfica Tensión vs. Deflexión (8%)



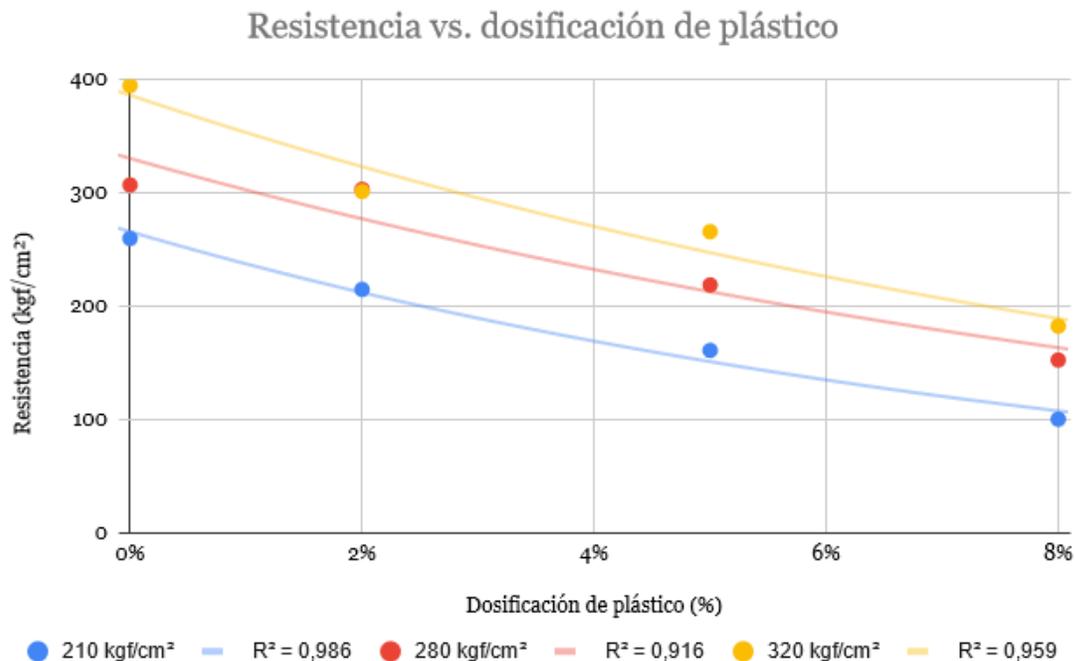
“Incidencia de plástico reciclado peletizado como agregados en el concreto”.

En las figuras 11, 12, 13 y 14 se puede observar el comportamiento de los elementos prismáticos ensayados a flexión, comparando con la tensión resistida para las diferentes dosificaciones de polipropileno, con diseño de 210 kgf/cm<sup>2</sup>, 280 kgf/cm<sup>2</sup> y 320 kgf/cm<sup>2</sup>. A medida que se aumentan las dosificaciones de polipropileno (0%, 2%, 5% y 8%), la máxima deflexión resultante para todos los diseños disminuyó.

Para una misma dosificación de polipropileno la deflexión disminuye a medida que aumenta la dosificación de cemento.

#### IV.2 Resultados de los ensayos a compresión:

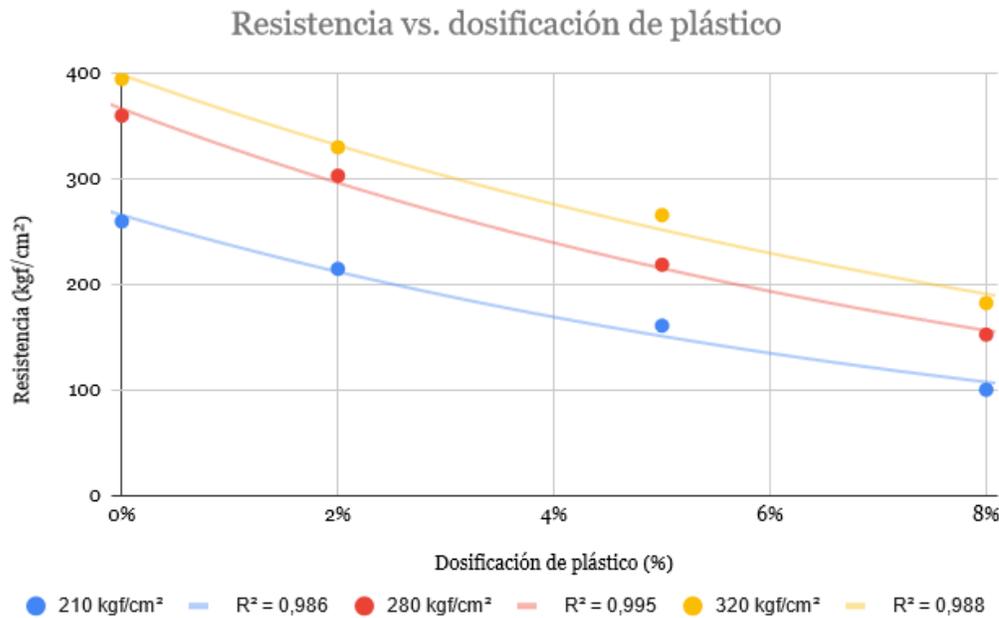
Figura 15. Gráfica de resistencia a compresión vs. Dosificación de plástico



Fuente: elaboración propia

*“Incidencia de plástico reciclado peletizado como agregados en el concreto”.*

Figura 16. Gráfica de Resistencia a compresión vs. Variación de plástico (corregido)



Fuente: elaboración propia

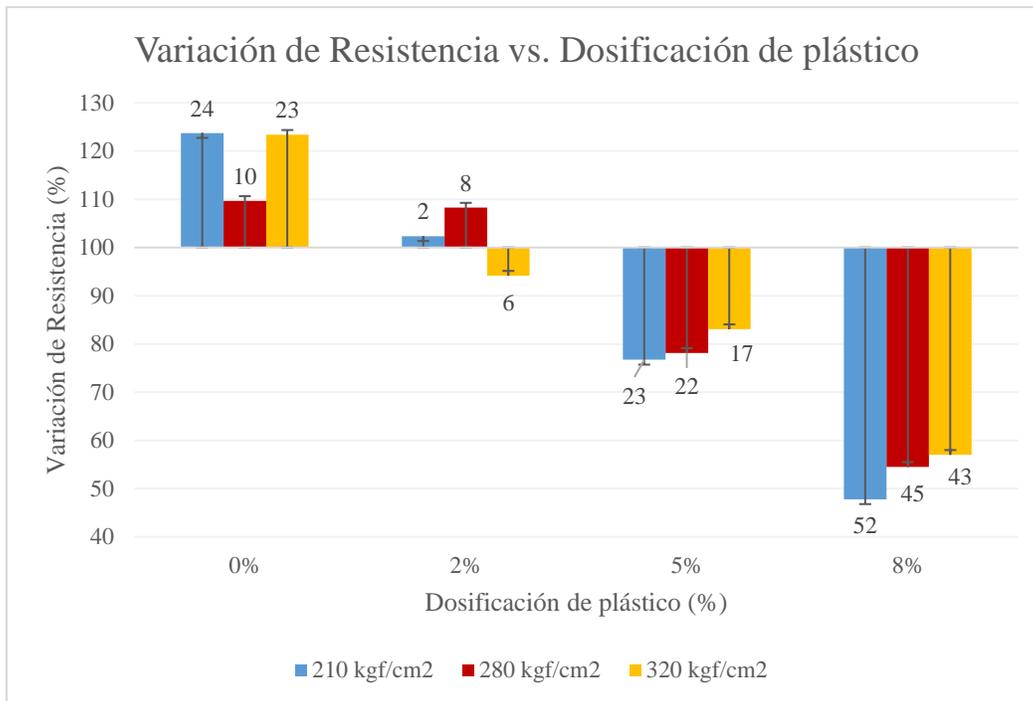
En la figura 15 se muestra el comportamiento mecánico a compresión de las probetas cilíndricas de concreto con diferentes dosificaciones de polipropileno para 28 días de curado, en las mismas se puede apreciar una tendencia decrecimiento proporcional en la resistencia a compresión a medida que se va aumentando la dosis de plástico utilizada. Así mismo, se aprecia aumento de la resistencia a compresión a medida que aumenta la dosificación de cemento en las muestras.

Se presenta un valor atípico en la muestra de referencia del diseño para 280 kgf/cm<sup>2</sup> la tendencia muestra que este valor debió resultar en una resistencia mayor, cercana a 360 kgf/cm<sup>2</sup>, valor con el cual se establece una tendencia representativa mostrándose en la figura

*“Incidencia de plástico reciclado peletizado como agregados en el concreto”.*

16. De igual forma se realizó la corrección similar para el diseño de 320 kgf/cm<sup>2</sup> con dosificación de 2% de polipropileno, valor que se estima a 330 kgf/cm<sup>2</sup>.

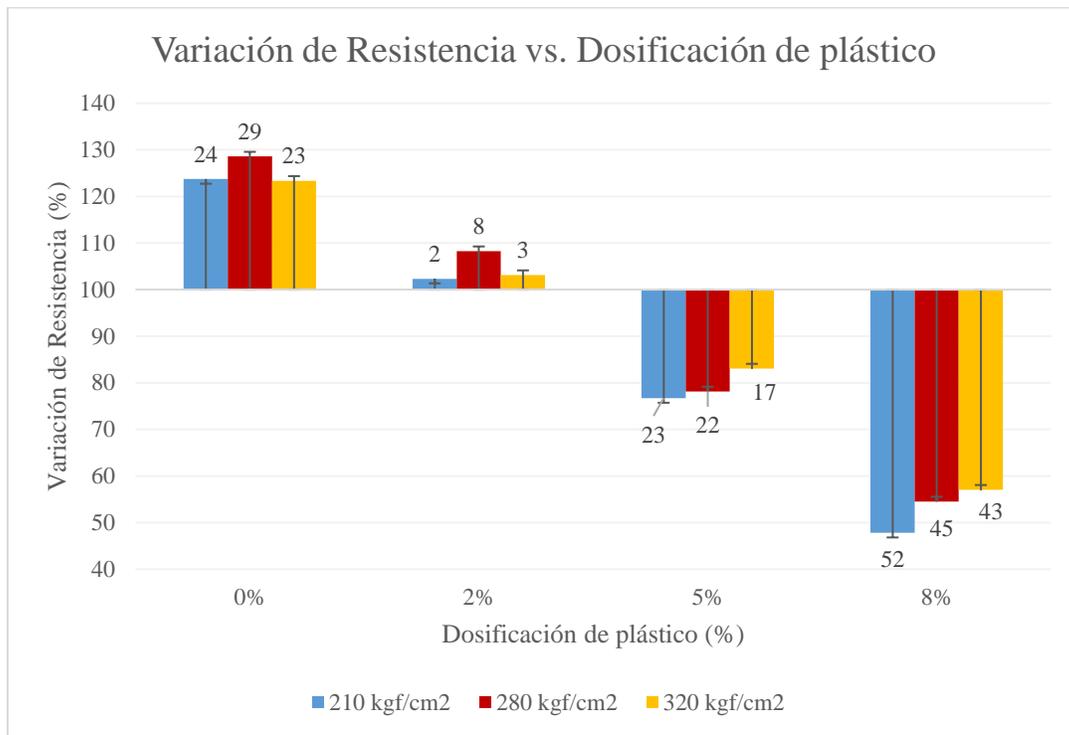
Figura 17. Gráfica de Variación de la resistencia vs. Dosificación de plástico



Fuente: elaboración propia

*“Incidencia de plástico reciclado peletizado como agregados en el concreto”.*

Figura 18. Gráfica de Variación de la resistencia vs. Dosificación de plástico (corregido)



Fuente: elaboración propia

En la figura 17, se establece la relación de la variación porcentual de la resistencia obtenida con relación a la resistencia de diseño, para diferentes dosificaciones de polipropileno.

En el caso de las probetas con la dosificación de referencia, se observa que la resistencia obtenida a 28 días es mucho mayor a la esperada, especialmente en la de 210 kgf/cm<sup>2</sup> y 320 kgf/cm<sup>2</sup>, donde se llega a obtener un 23% más en la resistencia. Sin embargo, tal como se aprecia en la figura 15, se decidió realizar una corrección con base en la tendencia ya que se presentó marcada desviación en los resultados obtenidos. Dicho cambio se presenta en la figura 18. Resultados que muestran un aumento porcentual tanto para el diseño de 280

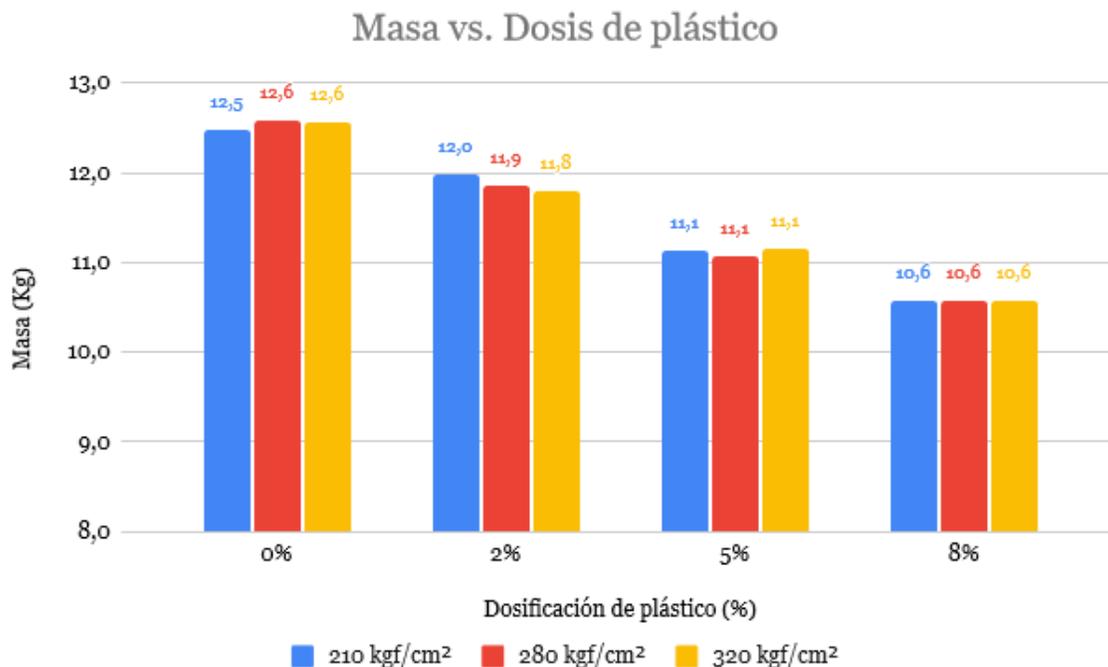
*“Incidencia de plástico reciclado peletizado como agregados en el concreto”.*

kgf/cm<sup>2</sup> sin adición de plástico, como la muestra con diseño de 320 kgf/cm<sup>2</sup>. Obteniendo así, valores que se adaptan a la tendencia de los comportamientos arrojados por los resultados de cada serie.

A medida que se aumenta la dosificación de plástico con la misma dosificación de cemento, se observa un comportamiento decreciente en la variación porcentual. Siendo la disminución de esta variación porcentual de la resistencia proporcional al aumento de la dosificación del plástico.

### IV.3. Análisis de la variación de la densidad en las probetas de concreto

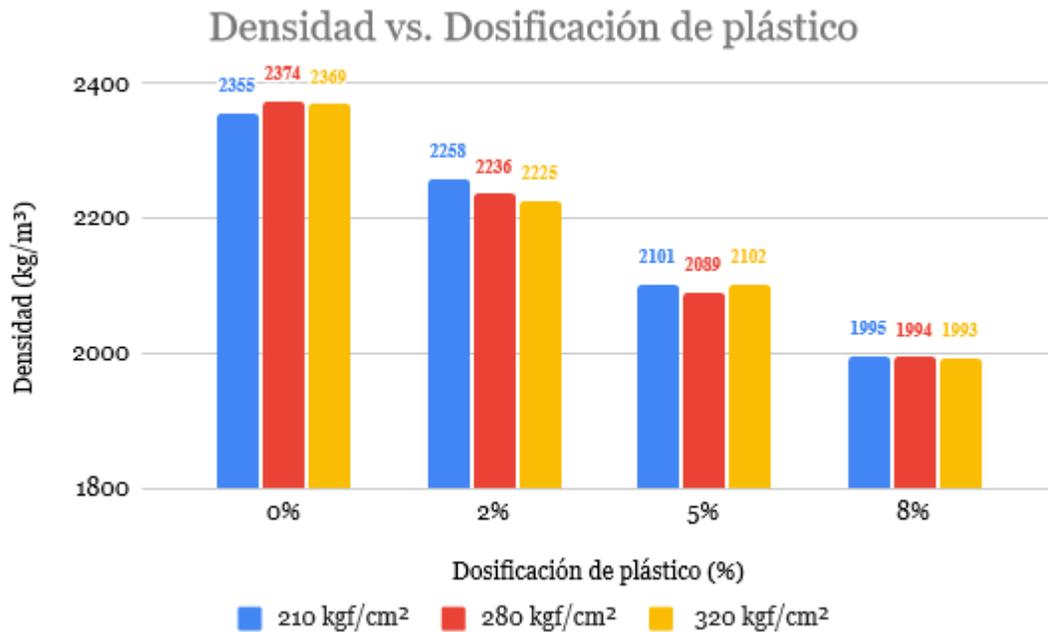
Figura 19. Gráfica de Masa vs. Dosis de plástico



Fuente: elaboración propia

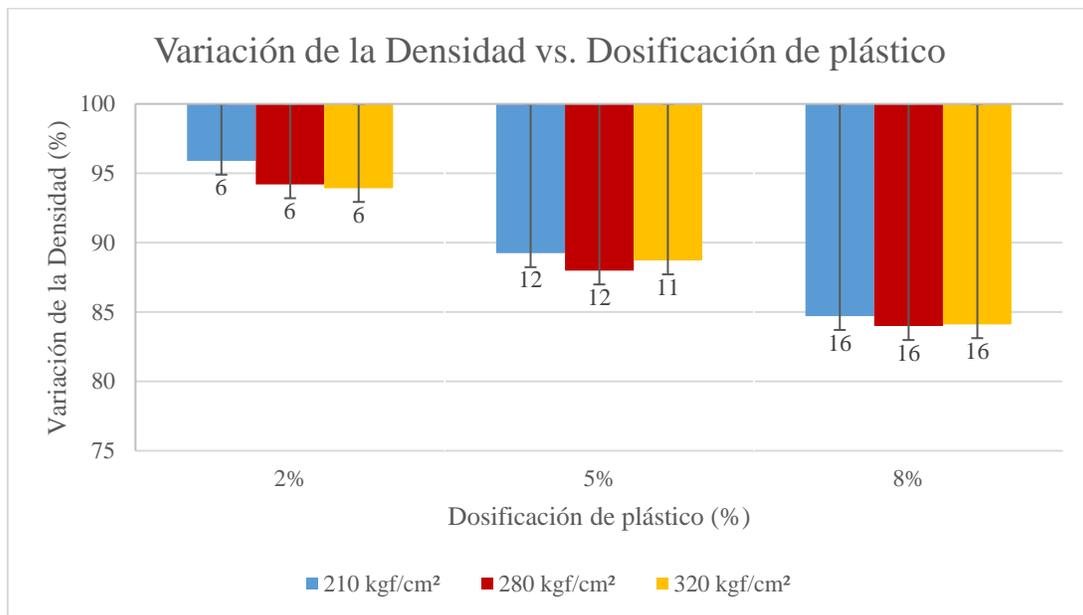
*“Incidencia de plástico reciclado peletizado como agregados en el concreto”.*

Figura 20. Gráfica de Densidad vs. Dosis de plástico



Fuente: elaboración propia

Figura 21. Gráfica de Variación de la Densidad vs. Dosificación de plástico



“Incidencia de plástico reciclado peletizado como agregados en el concreto”.

Fuente: elaboración propia

De la figura 19, se muestra la variación de la masa de las probetas de concreto con diferentes dosificaciones de polipropileno, a medida que se aumenta la dosis de polipropileno se evidencia que a consecuencia de sustituir el agregado fino por plástico peletizado, la masa en el concreto disminuye, obteniendo así probetas cada vez más livianas.

En consecuencia, se puede observar el mismo comportamiento en la variación de la densidad con respecto a la dosificación de plástico, ya que es una variable directamente proporcional a la masa, lo que se evidencia en la figura 20. Donde se obtuvieron las densidades para cada dosificación de polipropileno.

En la figura 21, se aprecia la variación porcentual de la densidad del concreto, con respecto a las probetas de referencia, a medida que se aumenta la dosis de polipropileno.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### V.I Conclusiones

El presente estudio, consistió en evaluar la incidencia de la sustitución parcial del agregado fino por plástico reciclado peletizado en probetas de concreto. Fueron realizados ensayos con variación en la dosificación de plástico sustituido para tres (3) resistencias distintas estableciendo una comparación entre probetas de referencia y probetas con agregado de diferentes dosis de polipropileno peletizado para un mismo diseño. A continuación, se exponen las conclusiones de los resultados obtenidos:

Para las condiciones y ensayos realizados en las probetas donde se evaluó el comportamiento mecánico a flexión, se concluye que a mayor dosificación de polipropileno peletizado se evidencia una disminución en la carga máxima soportada a flexión. De igual forma, se concluye que la deflexión máxima disminuye tanto con el aumento de la dosificación de polipropileno (0%, 2%, 5% y 8%), como con el aumento de la resistencia de diseño (210 kgf/cm<sup>2</sup>, 280 kgf/cm<sup>2</sup> y 320 kgf/cm<sup>2</sup>).

Al examinar las probetas luego de ser sometidas a los diferentes ensayos realizados, se pudo observar que el plástico peletizado presentaba baja resistencia a ser desprendido del concreto, lo que indica una baja adherencia de los agregados dentro de la mezcla. Causando una baja capacidad de absorción de energía, es decir, disminución de la tenacidad.

Por su parte, el comportamiento mecánico a compresión, evidencia que a medida que la dosis de polipropileno se incrementa en 2%, la resistencia a la compresión disminuye en

*“Incidencia de plástico reciclado peletizado como agregados en el concreto”.*

4,5%, en el caso de un incremento de dosificación de plástico del 5%, la resistencia se ve disminuida 20,7%, y por último, para la dosificación de polipropileno de 8%, la resistencia a compresión en promedio disminuye 46,9%, con respecto al valor teórico buscado para todos los diseños (210 kgf/cm<sup>2</sup>, 280 kgf/cm<sup>2</sup> y 320 kgf/cm<sup>2</sup>).

Con relación a la densidad, al aumentar la dosis de polipropileno añadido como sustituto del agregado fino en 2%, 5% y 8%, la densidad disminuye en 5,9%, 11,7% y 15,9% respectivamente en promedio para todas las resistencias trabajadas (210 kgf/cm<sup>2</sup>, 280 kgf/cm<sup>2</sup> y 320 kgf/cm<sup>2</sup>), debido a la incidencia del material plástico. Obteniendo así, probetas que resultaron más livianas.

En consecuencia, la sustitución del agregado fino por polipropileno peletizado afecta el comportamiento a flexión y a compresión disminuyendo la capacidad última, al igual que disminuye la densidad, característica importante en el ámbito de la construcción, a pesar de la baja en resistencias.

Ahora bien, desde el punto de vista ambiental, la sustitución estudiada resulta factible como solución de protección al medio y las exigencias de los objetivos de desarrollo sostenible 2030, orientándola a soluciones donde las bajas resistencias no constituyan el principio de la construcción, como el caso de aceras y brocales e incluso capas de relleno.

## **V.II Recomendaciones**

Considerando que polipropileno peletizado se obtiene bajo un proceso de extrusión que resulta en partículas de tamaños muy similares, se considera oportuno realizar nuevos estudios con otro tipo de forma final del polipropileno pudiendo ser, los flakes que son unos pequeños pedazos de plástico en forma de hojuelas, que se producen en el triturado inicial *“Incidencia de plástico reciclado peletizado como agregados en el concreto”*.

del plástico cuando se va a empezar su ciclo de reciclado y este podría tener mayor adherencia en el concreto por su forma completamente irregular.

Algo no evaluado en el presente trabajo de grado es la utilización de diferentes tipos de plástico, existen una gran variedad de polímeros que se usan día a día en elementos cotidianos que tienen la capacidad de ser reciclados y podrían ser añadidos como continuación de la investigación que se realizó, por ejemplo, el uso del PET, material que es utilizado en todo el mundo en envases plásticos y en la industria textil, o el uso de cauchos, un material que tiene muy buenas propiedades elásticas.

Por otro lado, se recomienda estudiar el efecto de la durabilidad en el concreto debido a que al ser el polipropileno un material químicamente inerte, puede generar beneficios en la prolongación de su vida útil. Otro aspecto que podría ser relevante, es el estudio de la incidencia del plástico reciclado peletizado como agregado en la adherencia del concreto con acero de refuerzo.

Se recomienda extender los estudios realizados, no sólo a probetas cilíndricas y viguetas sino también el estudio del comportamiento mecánico en losetas.

## BIBLIOGRAFÍA

Porrero S. J., Ramos R, C., Grases G., J., & Velazco, G. J. (2003). *Manual del Concreto estructural*. Caracas, Venezuela.

Nevill A. (1995). *Tecnología del Concreto*. México, D.F.

Romero I. (2017) *Flexión de vigas*. ETSI Industriales, Universidad Politécnica de Madrid

Norma COVENIN 342(R) (2004) Concreto. *Determinación de la resistencia a la flexión en vigas simplemente apoyadas. Cargas en los extremos del tercio central*. Recuperado en: <http://www.sencamer.gob.ve/sencamer/normas/342-04.pdf>

Norma COVENIN 338 (2002). *Método para la elaboración curado y ensayo de compresión de cilindros de concreto*. Caracas.

ASTM. (2002). C78-02. *Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la flexión del concreto* (Utilizando viga simple con carga en los tercios del claro).

Pytell A, Singer F. (1994). *Resistencia de Materiales*. Universidad de Oxford.

Callister W., Rethwisch D. (2013). *Materials Science and Engineering an Introduction*. Universidad de Utah.

“Incidencia de plástico reciclado peletizado como agregados en el concreto”.