

**Evaluación de la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto simple con  
reemplazo parcial de residuos plásticos HDPE como agregado**

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniería civil

Brayan Camilo Bermúdez Hidalgo

Maicol Abril Casallas

Universidad Antonio Nariño  
Facultad de Ingeniería Civil  
Bogotá D.C.  
2020

**Evaluación de la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto simple con  
reemplazo parcial de residuos plásticos HDPE como agregado**

Brayan Camilo Bermúdez Hidalgo

Código: 10481615375

Maicol Abril Casallas

Código: 101481615375

Directora  
Ing. Alexandra Morales

Universidad Antonio Nariño  
Facultad de Ingeniería Civil  
Bogotá D.C  
2020

**Nota de Aceptación**

---

---

---

---

Firma director

---

Firma Jurado

---

Firma Jurado

Bogotá D.C.

## RESUMEN

La presente investigación que tiene como título “Evaluación de la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto simple, con reemplazo parcial de residuos plásticos HDPE como agregado” plantea como objetivo principal realizar una campaña experimental para determinar las propiedades que adquiere el concreto con resistencia de 21 (*Mpa*) al utilizar el Polietileno de Alta Densidad (HDPE) como reemplazo del agregado fino en porcentajes de 10% 20% y 30%.

Para elaborar la mezcla de concreto se utilizó el Método ACI 211. Como principal condición que establece el método se tuvieron que caracterizar los principales materiales que se requieren para este tipo de mezcla tales como: Cemento Portland Tipo I, agregado fino, agregado grueso y como principal novedad el Polietileno de alta densidad. Para la caracterización se siguieron las Normas técnicas colombianas que describen los parámetros a tener en cuenta para cada uno de ellos. Seguido de ello se realizaron las dosificaciones para los reemplazos de HDPE por agregado fino en los porcentajes ya descritos anteriormente. Una vez definido el diseño de mezcla y sus dosificaciones por cada porcentaje, se realiza el vaciado de concreto en probetas cilíndricas de 4” x 8” para la obtención de los especímenes cilíndricos con reemplazo de HDPE, fraguado el concreto se definen las propiedades que adquiere este por medio de una serie de ensayos donde se someten las muestras a compresión con edades de 7, 14 y 28 días en estado seco. Por último, con el fin de valorar la viabilidad que tiene este tipo de concretos con reemplazo de HDPE se realiza un estudio y una evaluación de las resistencias que adquiere el mismo con diferencias sobre un concreto normal. Los ensayos requeridos para el desarrollo de la presente investigación se realizaron en el Laboratorio Daincoc S.A ubicado en la ciudad de Bogotá.

Palabras clave: Especímenes cilíndricos, Polietileno de alta densidad, concreto.

## ABSTRACT

The present investigation, entitled "Evaluation of the compressive strength of cylindrical specimens of simple concrete, with partial replacement of HDPE plastic waste as aggregate" sets out as its main objective to carry out an experimental campaign to determine the properties acquired by concrete with resistance of 21 (Mpa) when using High Density Polyethylene (HDPE) as a replacement for fine aggregate in percentages of 10% 20% and 30%.

To prepare the concrete mix, the ACI 211 Method was used. As the main condition established by the method, the main materials that are required for this type of mix had to be characterized, such as: Type I Portland Cement, fine aggregate, coarse aggregate and as The main novelty is high-density polyethylene. For the characterization, the Colombian technical standards were followed, which describe the parameters to be taken into account for each one of them. Following this, the dosages were made for the replacements of HDPE by fine aggregate in the percentages already described above. Once the mix design and its dosages are defined for each percentage, the concrete is emptied into 4 "x 8" cylindrical specimens to obtain the cylindrical specimens with HDPE replacement. Once the concrete has set, the properties it acquires are defined. This by means of a series of tests where the samples are subjected to compression with ages of 7, 14 and 28 days in a dry state. Finally, in order to assess the viability of this type of concrete with HDPE replacement, a study is carried out and an evaluation of the resistances that it acquires with differences over normal concrete. The tests required for the development of this research were carried out at Laboratorio Daincoc S.A located in the city of Bogotá.

Keywords: Cylindrical specimens, High-density polyethylene, concrete.

## CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCION .....</b>	<b>10</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>11</b>
2.1. Objetivo General .....	11
2.2. Objetivos Específicos .....	11
<b>3. MARCO CONCEPTUAL.....</b>	<b>12</b>
3.1. Cemento .....	12
3.2. Agregados.....	13
3.3. Concreto .....	16
3.3.1. Tipos de concreto .....	16
3.3.2. Características del concreto .....	16
3.4. Plástico HDPE.....	18
3.4.1. Usos del polietileno de alta densidad (HDPE).....	19
<b>4. ESTADO DEL ARTE .....</b>	<b>20</b>
<b>5. METODOLOGIA.....</b>	<b>26</b>
5.1. Determinaciones características de los agregados y cemento.....	28
5.1.1. Granulometría Agregados finos, gruesos y Plástico HDPE.....	28
5.1.2. Masa unitaria suelta y compacta de los agregados. ....	33
5.1.3. Densidad Relativa (Gravedad específica) y absorción de agregados gruesos. ....	37
5.1.4. Densidad Relativa (Gravedad específica) y absorción de agregados finos. ....	38
5.1.5. Densidad del cemento.....	40
5.2. Diseño de Mezcla (Método A.C.I 211).....	41
5.2.1. Selección de asentamiento .....	41
5.2.2. Selección tamaño máximo del agregado.....	42
5.2.3. Estimación contenida de aire .....	42
5.2.4. Estimación contenido agua de mezclado .....	42
5.2.5. Determinación de la resistencia de diseño .....	43
5.2.6. Selección relación Agua – Cemento.....	43
5.2.7. Calculo contenido de cemento.....	44
5.2.8. Contenido de agregado grueso.....	44

5.2.9.	Calculo volúmenes absolutos.....	45
5.2.10.	Contenido agregado fino .....	45
5.2.11.	Reemplazo del plástico HDPE .....	45
5.2.12.	Ajuste dosificación mezcla.....	46
5.2.13.	Corrección por humedad del agregado.....	46
5.2.14.	Dosificación de los materiales.....	46
5.3.	Elaboración de especímenes cilíndricos.....	49
5.4.	Ensayos a compresión .....	49
<b>6.</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>50</b>
6.1.	Resistencia a compresión. ....	50
6.2.	Peso y densidad el concreto en estado seco. ....	54
6.3.	Costos.....	59
<b>7.</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>61</b>
<b>8.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>64</b>
<b>9.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>66</b>
<b>10.</b>	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>67</b>
<b>11.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>71</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Propiedades que posee el cemento como material. ....	12
Figura 2. Clasificación del cemento portland .....	13
Figura 3. Tipos de concreto según los materiales que lo complementan.....	17
Figura 4. Principales propiedades que proporciona el uso del concreto.....	17
Figura 5. Símbolo que tienen los productos elaborados con polietileno de alta densidad.....	18
Figura 6. Cantidad de documento que se han realizado a través de los años sobre el uso de los plásticos en el concreto. ....	21
Figura 7. Países que han realizado más publicaciones y se han interesado en el uso de plásticos en el concreto. ....	21
Figura 8. Publicaciones realizadas por país .....	24
Figura 9. Ensayo granulometría plástico HDPE (Tamizado) bajo parámetros NTC 77 (ICONTEC, 2007). ....	29
Figura 10. Curva granulometría de agregados gruesos.....	30
Figura 11. Curva granulométrica agregados finos.....	31
Figura 12. Curva granulométrica agregado plástico .....	32
Figura 13. Variación gráfica resistencia concreto Reemplazo plástico HDPE por agregado fino 0%. ....	50
Figura 14. Variación gráfica resistencia concreto Reemplazo plástico HDPE por agregado fino 10%. ....	51
Figura 15. Variación gráfica resistencia concreto Reemplazo plástico HDPE por agregado fino 20%. ....	52
Figura 16. Variación gráfica resistencia concreto Reemplazo plástico HDPE por agregado fino 30%. ....	53
Figura 17. Consolidado curvas de resistencias de muestras .....	54
Figura 18. Comparación pesos promedios de especímenes cilíndricos por cada porcentaje de reemplazo.....	55
Figura 19. Comparación densidad del concreto en estado endurecido por cada porcentaje de reemplazo.....	56
Figura 20. Resultados de la relación entre Densidad del concreto y resistencia del mismo.....	56
Figura 21. Fallo espécimen cilíndrico muestra 1 (0% Reemplazo). Edad 7 días .....	57
Figura 22. Fallo espécimen cilíndrico muestra 2 (10% Reemplazo). Edad 7 días .....	57
Figura 23. Fallo espécimen cilíndrico muestra 3 (20% Reemplazo). Edad 7 días .....	58
Figura 24. Fallo espécimen cilíndrico muestra 4 (30% Reemplazo). Edad 7 días .....	58

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de los agregados según su procedencia. ....	14
Tabla 2. Clasificación según densidad de los agregados. ....	14
Tabla 3. Clasificación de agregados por tamaño. ....	15
Tabla 4. Clasificación según su forma y textura. ....	15
Tabla 5. Propiedades del polietileno de alta densidad HDPE. ....	19
Tabla 6. Clasificación artículos investigados según agregado. ....	25
Tabla 7. Distribución fundición de especímenes cilíndricos. ....	27
Tabla 8. Resultados granulometría agregado grueso. ....	30
Tabla 9. Resultados granulometría agregado fino. ....	31
Tabla 10. Resultados granulometría agregado plástico. ....	32
Tabla 11. Resultados masa unitaria suelta y compacta del agregado grueso. ....	34
Tabla 12. Resultados masa unitaria suelta y compacta agregado fino. ....	35
Tabla 13. Resultados masa unitaria suelta y compacta de agregado plástico. ....	36
Tabla 14. Resultados gravedad específica y absorción de agregado grueso. ....	37
Tabla 15. Resultados gravedad específica y absorción agregado fino. ....	39
Tabla 16. Resultados densidad del cemento. ....	40
Tabla 17. Asentamientos recomendados para diversos tipos de construcción y sistemas de colocación y compactación. ....	41
Tabla 18. Requerimiento aproximado de agua de mezclado para diferentes asentamientos y tamaños máximos de agregados, en concreto sin aire incluido. ....	42
Tabla 19. Resistencia requerida de diseño cuando no hay datos que permitan determinar la desviación estándar. ....	43
Tabla 20. Relación Agua- cemento para los cementos colombianos, portland Tipo I. ....	44
Tabla 21. Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto. ....	45
Tabla 22. Dosificación para concreto con 0% Reemplazo. ....	47
Tabla 23. Dosificación para concreto con 10% Reemplazo. ....	47
Tabla 24. Dosificación para concreto con 20% Reemplazo. ....	48
Tabla 25. Dosificación para concreto con 30% Reemplazo. ....	48
Tabla 26. Resultados resistencia de concreto con reemplazo de agregado por plástico HDPE 0%. ....	50
Tabla 27. Resultados resistencia de concreto con reemplazo de agregado por plástico HDPE 10%. ....	51
Tabla 28. Resultados resistencia de concreto con reemplazo de agregado por plástico HDPE 20%. ....	52
Tabla 29. Resultados resistencia de concreto con reemplazo de agregado por plástico HDPE 30%. ....	53
Tabla 30. Pesos promedios por muestra. ....	54
Tabla 31. Densidades promedio y resistencia por muestra. ....	55
Tabla 32. Costos elaboración cilindros de concreto 0% reemplazo. ....	59
Tabla 33. Costos elaboración cilindros de concreto 10% reemplazo. ....	59
Tabla 34. Costos elaboración cilindros de concreto 20% reemplazo. ....	60
Tabla 35. Costos elaboración cilindros de concreto 30% reemplazo. ....	60

## 1. INTRODUCCION

Actualmente el mundo se enfrenta a diferentes problemáticas que afectan a la humanidad como tal partiendo desde la sobrepoblación, hecho que lleva consigo una sociedad globalizada y de consumismo, (Greenpeace, 2020). Colombia no está exenta al tema y su desarrollo lleva a un proceso acelerado de urbanización, especialmente en Bogotá donde crece de manera exponencial, Según (Camacol, 2019) la construcción va en aumento, y se tiene proyectado para el año 2020 la construcción de 28000 unidades de vivienda. Por lo cual, se genera un crecimiento en cuanto al uso del concreto, afirmación que describe el Dane (2019) mediante un informe, donde se expone que se dio un aumento de este en 2.1% en el año 2019 con respecto al 2018, como consecuencia de ello se ve afectada la naturaleza con la explotación de materiales que lo constituyen tales como los agregados áridos,.

Por otro lado, la alta producción y acumulación de residuos plásticos genera diversos problemas que afecta a la población en general. A pesar de ello, las industrias colombianas continúan con la producción de estos y principalmente con aquellos que son de un solo uso. En Bogotá se considera que se producen cerca de 1266 toneladas de residuos plásticos al día. El 17% de dichos residuos terminan en el relleno Sanitario Doña Juana (Amaya, 2019).

Con base en estos dos problemas se lleva a la necesidad de investigar, diseñar y contribuir en la implementación de residuos plásticos como reemplazo de agregados en cuanto a la producción de concreto con el fin de mitigar diferentes impactos en cuanto al aspecto ambiental, económico y social., infiriendo de manera directa e indirectamente en cuanto a la explotación de minerales y generación de residuos plásticos.

¿En qué porcentaje (10%, 20% y 30%) puede el plástico HDPE sustituir los

agregados en la producción de concreto sin que se vea afectada la resistencia del mismo?

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1.Objetivo General**

Evaluar la influencia del Plástico HDPE en las propiedades y características del concreto para resistencia de 21 (*Mpa* ), utilizando este como reemplazo del agregado fino en porcentajes de 10%, 20% y 30%.

### **2.2.Objetivos Específicos**

- Desarrollo y complemento acerca del estado del conocimiento.
- Realizar campaña experimental de 24 especímenes cilíndricos con reemplazo de plástico HDPE por agregado fino, desde la elaboración hasta la falla de los mismos.
- Análisis de resultados, costos, ventajas y desventajas de la elaboración de concreto con reemplazo.

### 3. MARCO CONCEPTUAL

El trabajo involucra diversos conceptos que se deben tener claros, el concreto como material, sus componentes, propiedades y elaboración del mismo. Además de reconocer las características y usos del plástico HDPE, material requerido para la investigación.

#### 3.1.Cemento

La NTC 31 (ICONTEC, 1982) describe al cemento como un material pulverizado que contiene óxido de calcio, sílice, alúmina y óxido de hierro, por su condición, al agregar una cantidad adecuada de agua es capaz de formarse una pasta conglomerante la cual se endurece tanto en el agua como en el aire. Este material es capaz de desarrollar dos propiedades fundamentales que lo hacen importante a la hora de su uso. (Ver Figura 1)

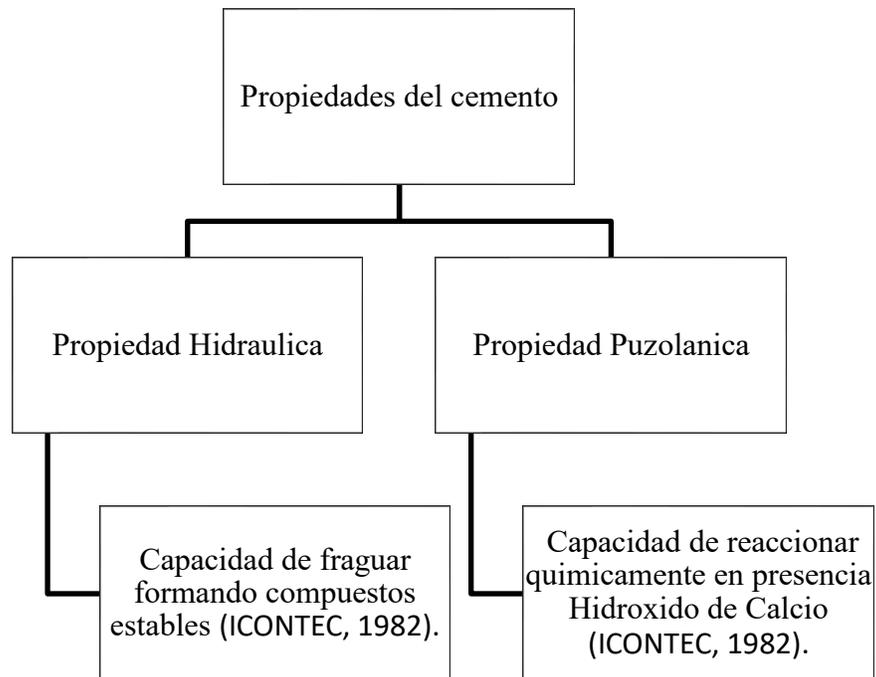
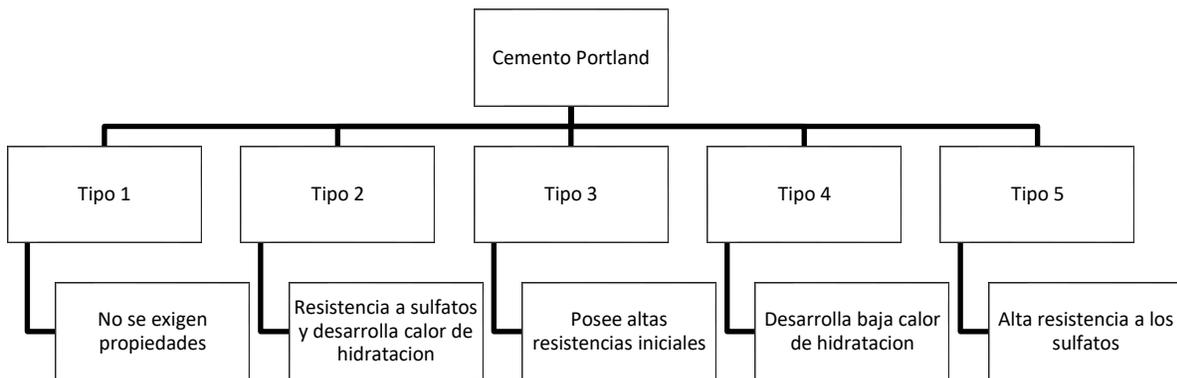


Figura 1. Propiedades que posee el cemento como material.

Fuente. Autoría propia.

Para la NTC 30 (ICONTEC, 1966) se describe al cemento portland como producto obtenido de la pulverización del Clinker portland con adición de diversas formas de sulfatos de calcio. En la (Figura 2) se muestran los tipos de cemento y principal característica de cada uno.



*Figura 2. Clasificación del cemento portland*

Fuente. Autoría Propia.

### 3.2. Agregados

También conocidos como áridos, son materiales inertes que por lo general son granulares, se presentan tanto agregados artificiales como naturales que aglomerados con cemento portland y en presencia de agua se forma una piedra artificial más conocida como mortero o concreto. Se clasifican según su procedencia, forma, densidad, tamaño y textura (Rivera, 2009).

Tabla 1. Clasificación de los agregados según su procedencia.

<b>PROCEDENCIA</b>	
Agregados Naturales	Procedentes de la explotación de fuentes naturales como los depósitos de arrastres fluviales y canteras, (Rivera, 2009).
	Rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas
Agregados Superficiales	Se obtienen a partir de productos y procesos industriales

La Tabla 1 muestra de que lugares se obtienen principalmente cada tipo de agregado. Fuente. Autoría Propia

Tabla 2. Clasificación según densidad de los agregados.

<b>DENSIDAD</b>	
Se evalúa la masa por unidad de volumen y así mismo el volumen de los poros según su procedencia.	
Tipo de agregado	Masa Unitaria del Agregado ( $Kg/cm^3$ )
Ligero	-
Ultraligero	480 – 1040
Normal	1300 – 1600
Pesado	3400 – 7500

En la Tabla 2 se evidencian 4 tipos de agregados los cuales se diferencian según la masa unitaria de los mismos. Fuente (Rivera, 2009).

Tabla 3. Clasificación de agregados por tamaño.

<b>TAMAÑO</b>		
Los agregados varían desde fracciones de mm hasta Cm, estas distribuciones son más conocidas como granulometría. Se clasifican acorde al material retenido en cada tamiz, este posee aberturas en mm como también una clasificación numérica		
Abertura (mm)	Denominación Común	Clasificación
< 0,002	Arcilla	Fracción muy fina
0,002 - 0,074	Limo	Fracción fina
0,074 - 4,76 (#200 - #4)	Arena	Agregado fino
4,76 - 19,1 (#4 - 3/4")	Gravilla	Agregado grueso
19,1 - 50,8 (3/4" - 2")	Grava	Agregado grueso
50,8 - 152,4 (2" - 6")	Piedra	Agregado grueso
> 152,4 (6")	Rajón	Agregado grueso

La Tabla 3 muestra la forma general de clasificar un agregado que es según su tamaño y abertura del tamiz que pasa el mismo. Fuente (Rivera, 2009).

Tabla 4. Clasificación según su forma y textura.

<b>FORMA Y TEXTURA</b>	
Esta característica influye tanto en la manejabilidad como la adherencia entre estos y la pasta	
FORMA	EJEMPLO
Redondeadas	Grava de río o playa, arena de desierto o playa
Irregular	Pedernales del suelo o excavación
Escamosa	Roca laminada
Angular	Rocas trituradas de todo tipo

TEXTURA	EJEMPLO
Vítrea	Pedernal negro, escoria vítrea
Lisa	Gravas, pizarras, mármol y algunas reolitas
Granular	Arenisca
Áspera	Basalto, felsita, pórfido y caliza
Cristalina	Granito
Apanalada	Pomex, escoria espumosa y arcilla expandida

En la Tabla 4 se observa cómo se catalogan los agregados según la forma y textura y en que materias primas se pueden encontrar principalmente. Fuente (Rivera, 2009).

### **3.3.Concreto**

Uno de los materiales más usados en la construcción, se crea a partir de la mezcla entre áridos y cemento, como también algunos aditivos en caso de ser necesario. Se define como una pieza reconstituida denominada piedra líquida, (Terreros & Carvajal, 2016).

#### **3.3.1. Tipos de concreto**

En la Figura 3 se puede ver los tipos de concreto que se dan a partir de sus múltiples usos y componentes tales como adición de agregados, aceros y aditivos.

#### **3.3.2. Características del concreto**

Como se ha descrito anteriormente el concreto se considera como uno de los materiales más importantes y las características que posee aún más. (Ver Figura 4).

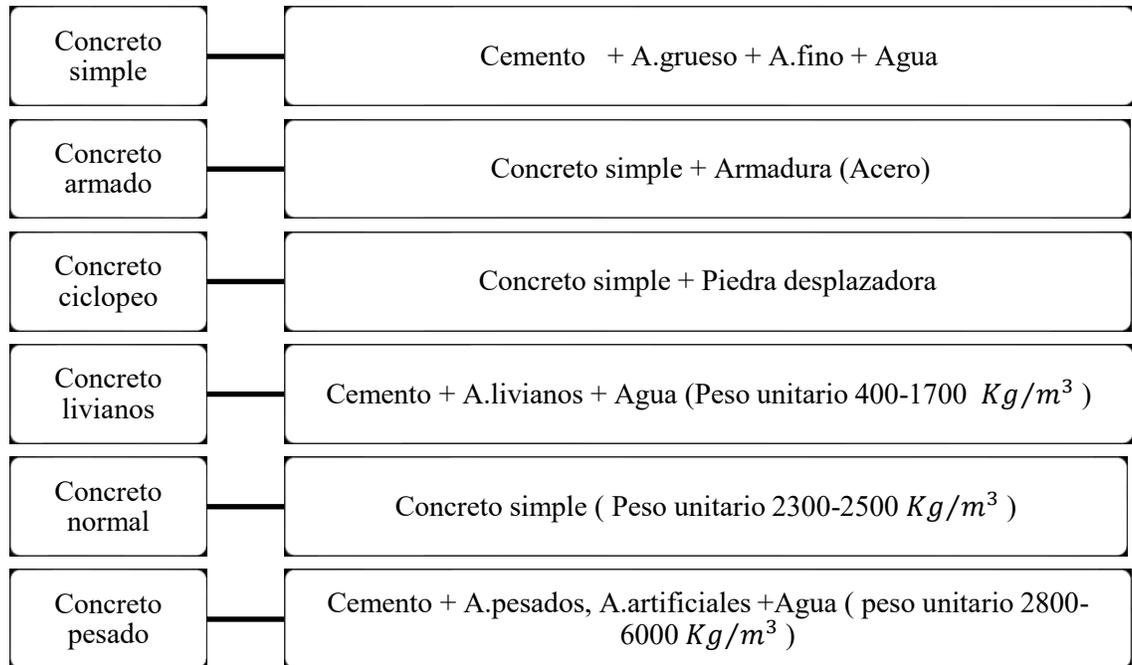


Figura 3. Tipos de concreto según los materiales que lo complementan

Fuente (Sanchez, 2001).

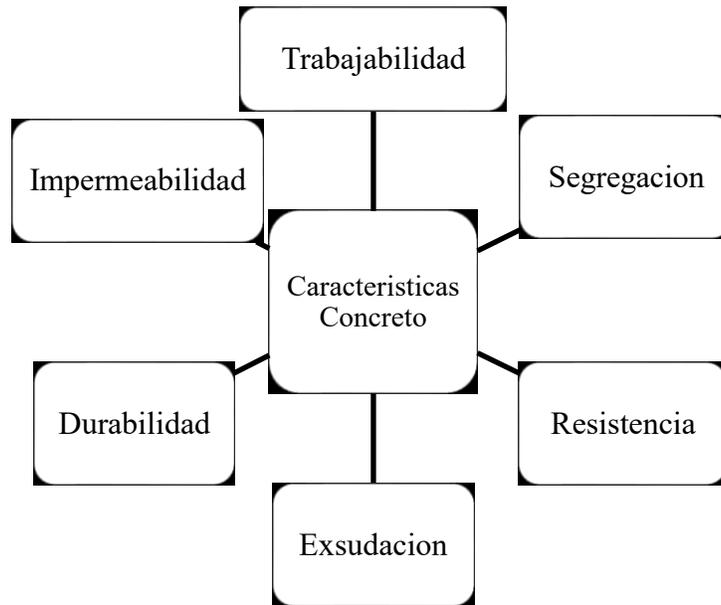


Figura 4. Principales propiedades que proporciona el uso del concreto.

Fuente. Autoría propia

### 3.4.Plástico HDPE

Según (Roca, 2005), se considera al Polietileno de Alta Densidad (HDPE) como un polímero inodoro, no tóxico, resistente, sintético, y termoplástico que posee una estructura lineal con pocas ramificaciones y que se obtiene a partir de la polimerización de metileno.

En la (Figura 5) se puede ver el símbolo con el cual se identifica el plástico HDPE y que lo diferencian de los demás.



*Figura 5. Símbolo que tienen los productos elaborados con polietileno de alta densidad*

Fuente: (Barcelona, 2011).

Este tipo de plástico posee ciertas características y propiedades que lo hacen material de alta densidad. Estas se pueden observar en la (Tabla 5).

Tabla 5. Propiedades del polietileno de alta densidad HDPE.

<b>Propiedades</b>		<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
	Densidad	$g/cm^3$	0,940 - 0,970
Físicas	Contracción	%	1,5 - 3,0
	Resistencia a la tensión	$N/mm^2$	18,0 - 35,0
<b>Propiedades</b>		<b>Resistencia</b>	
Químicas	Ácidos concentrados	Buena	
	Ácidos diluidos	Buena	
	Alcoholes	Buena	
	Cetonas	Buena	
	Grasas y aceites	Aceptable	
<b>Propiedades</b>		<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Mecánicas	Coefficiente de fricción		0,29
	Módulo de Tracción	$GPa$	0,5 - 0,2
	Relación de Poisson		0,46
	Resistencia a la tracción	$MPa$	15 - 40

En la Tabla 5 se muestran las principales propiedades como también los valores y unidades de cada una de las variables que caracterizan a este tipo de plástico. Fuente (Roca, 2005).

### 3.4.1. Usos del polietileno de alta densidad (HDPE)

Este tipo de plástico puede verse de distintas formas: en láminas planas o tubulares, planchas, tubos y monofilamentos. Por lo general el plástico HDPE se presenta en objetos tan comunes como botellas, recubrimiento de alambres, envases, juguetes, productos químicos, cascos, envases de cosméticos entre otros implementos de uso doméstico.

Igualmente se encuentran en las tuberías para la conducción de líquidos en alcantarillados o en la agricultura. Tiene diferentes ventajas que le permiten ser bastante útiles y requeridos en la construcción e industria (Aristegui Maquinaria, 2015).

#### 4. ESTADO DEL ARTE

Utilizando como herramienta de Análisis de impacto a Scopus y una adecuada investigación tomando como criterios de búsqueda palabras incluidas en el título, tales como “Plastic” AND “Concrete”, se encontraron distintos artículos donde se aborda la implementación del plástico en el concreto o también conocido como hormigón armado.

Ya tomando como principal referencia nuestro tema de investigación tal como el uso del polietileno de alta densidad como agregado en conjunto con el concreto, se encontraron diversos artículos. Tras consultar nuevamente en Scopus utilizando los criterios como “Aggregate” AND “high density polyethylene” OR “plastic” AND “concrete” se ha reflejado que son bastantes los documentos citados, pues el estudio se ha abordado con más interés partir del año 2012 como lo enseña la ( Figura 6).

Entre dichos estudios sobresalen algunos como es el caso de Malasia donde al encontrarse con un agotamiento de agregados naturales y donde la cantidad de polímeros aumento debido a la industrialización, busco la manera de mitigar los problemas de desperdicio de recursos naturales y contaminación ambiental. Por lo cual realizaron una investigación experimental sobre la utilización de residuos plásticos, polietileno de alta densidad (HDPE) como agregado grueso en concreto con un porcentaje de reemplazo del 10%, 20% y 30%. Así mismo avanzaron en las pruebas de laboratorio para analizar las propiedades obtenidas en cuanto el asentamiento, resistencia a la compresión y absorción de agua (Rahim, Salehuddin, & Ibrahim, 2013).

Por otra parte, en Indonesia se dio el uso de residuos plásticos como material de construcción. En la realización de este estudio se utilizaron dos tipos de agregados extraídos de desechos plásticos: el polipropileno (PP) y el polietileno de alta densidad (HDPE). Los

porcentajes de PP utilizados fueron 5%, 10%, 15%, mientras que 15%, 20%, 25% se utilizaron para HDPE. Tras 28 días los resultados obtenidos demostraron un aumento porcentual en el agregado plástico reduciría invariablemente el valor de la depresión, la resistencia a la compresión y la resistencia a la tracción (Jonbi, Meutia, Indra, & Firdaus, 2019).

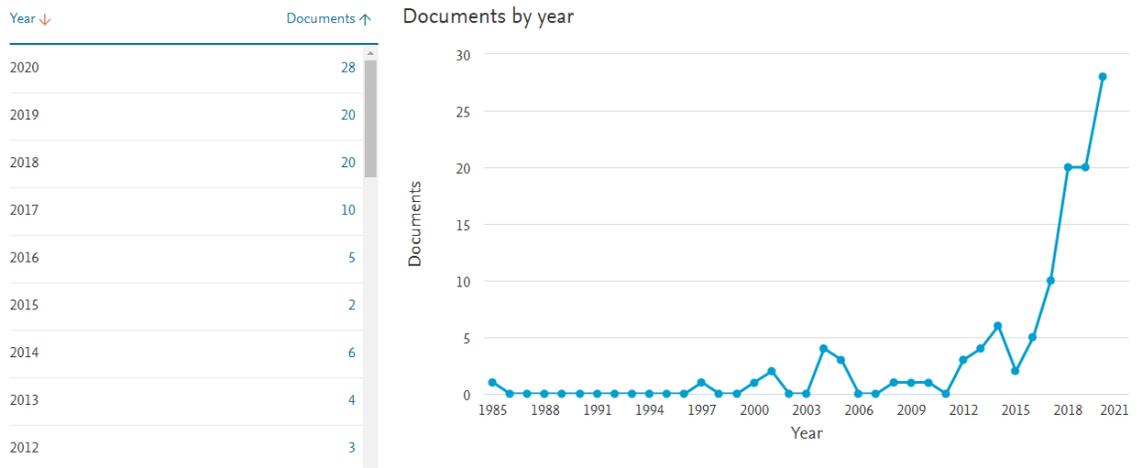


Figura 6. Cantidad de documento que se han realizado a través de los años sobre el uso de los plásticos en el concreto.

Fuente: (Scopus, 2020).

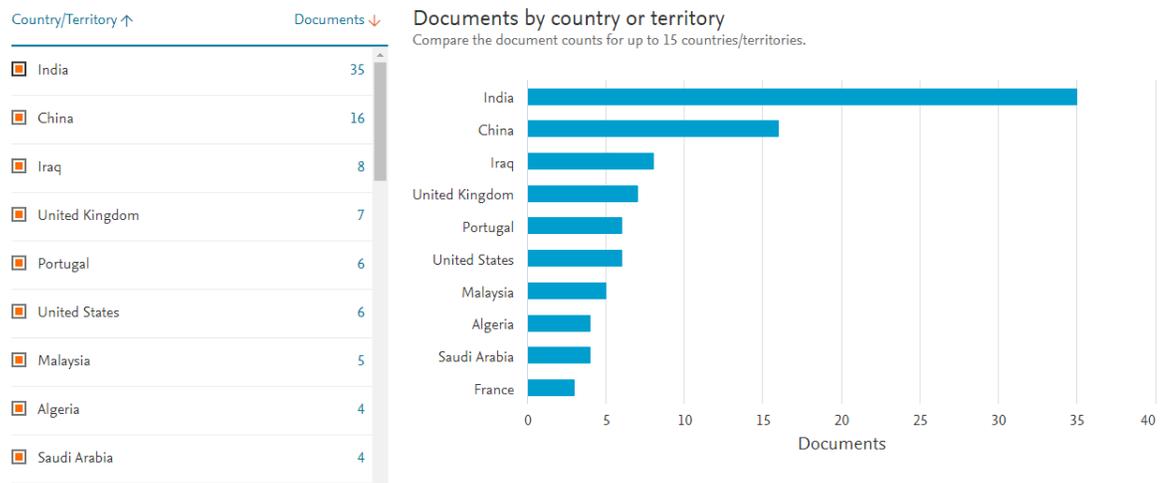


Figura 7. Países que han realizado más publicaciones y se han interesado en el uso de plásticos en el concreto.

Fuente: (Scopus, 2020).

India es uno de los países que más se centra en este tipo de investigaciones (ver Figura 7), por los problemas de sobrepoblación y la rápida urbanización que se lleva a cabo, como consecuencia han llegado a problemas de escasez en cuanto a materiales de construcción, con el fin de gestionar el problema, una de estas investigaciones se enfoca principalmente en examinar el concreto, donde se utiliza todo tipo de plásticos como reemplazo del agregado grueso. Para ello diseñaron siete mezclas de concreto y evaluaron el intercambio del agregado grueso por plástico con relación al volumen en porcentajes de 0%, 2%, 3%, 4%, 5%, 6% y 7%.

Tras realizar diversas pruebas pudieron determinar que la resistencia a compresión del concreto aumento, siempre y cuando el porcentaje de intercambio no sea mayor al 5%. Por otro lado, demostraron que el concreto con intercambio menor o igual 4% aumento notoriamente su resistencia a la tracción. Además, determinaron que al haber un mayor porcentaje de reemplazo por plásticos la densidad del concreto disminuyo (Admile & Nemade, 2020).

Otro estudio que llevo a cabo, parte desde el uso del polvo de cantera en conjunto con los residuos plásticos LDPE (Polietileno de baja densidad), como reemplazo del agregado fino en la producción de concreto, con el fin de evaluar sus propiedades y buscar nuevos materiales que, así como satisfacen necesidades, también generen un impacto ambiental positivo en la conservación de los materiales naturales. Dicho estudio se llevó a cabo con el reemplazo del agregado fino por residuos plásticos triturados y polvo de cantera en porcentajes de 25%, 50%, 75% y 100%. Con base en ello, realizaron un análisis de regresión y variedad de ensayos de resistencia a la compresión del concreto en edades de 7, 14, 28 y 90 días, como conclusión determinaron que hubo una mejora significativa en la resistencia del mismo (Bahoria, Parbat, Nagarnaik, & Waghe, 2017)

Tantas son las investigaciones que se llevan en la India acerca del tema que buscan usar diferentes materiales como reemplazo de los agregados en la producción del concreto, es el caso del estudio realizado a la producción de concreto para vigas, utilizando como reemplazo del agregado grueso a los residuos plásticos de paneles de tubos de rayos catódicos (Hamsavathi, Prakash, & Kavimani, 2020). Como metodología de la investigación diseñaron mezclas de concreto para la fundición de cubos, reemplazando parcialmente el peso del agregado grueso por residuos plásticos en porcentajes de 0% a 20%.

Tras analizar y evaluar los resultados obtenidos en los ensayos realizados a los cubos de concreto, determinaron que el comportamiento estructural mostro una mejor resistencia a la flexión y compresión en mezclas con reemplazo del 15% de reemplazo en el peso.

Según la búsqueda realizada sobre estudios similares y en base a la (Figura 7), China es el segundo país con más interés sobre el tema y a diferencia de los estudios realizados en la India, se han encargado por buscar concretos que tengan una mejor resistencia a las extremas temperaturas que se vienen experimentando últimamente, para ello han desarrollado un concreto ligero usando fibras de residuos plásticos y acero, ya que el primero de estos ayuda a que el concreto sea de mayor volumen pero su peso inferior al de un concreto normal. Finalmente después de someter cubos de concreto con diferentes porcentajes de remplazo a ciclos de congelamiento y descongelamiento acelerado, llegan a la conclusión que usando las fibras de residuo plástico y acero como reemplazo, mejora las propiedades del concreto a temperaturas extremadamente bajas, además de una mejor resistencia a la compresión y una vida útil más larga (Niu, Zuo, Wang, & Xie, 2018).

Iraq es otro de los interesados en implementar este tipo de materiales, se ubica en la

cuarta casilla con una total de 6 artículos publicados sobre investigaciones realizadas a la implementación de residuos plásticos en la producción de concreto. Uno de los estudios que ha mostrado mayor importancia se caracteriza por usar específicamente al PVC y el Polipropileno.

El proceso que han llevado a cabo es fundir especímenes cilíndricos diseñando cinco mezclas diferentes de concreto, donde se utilizaran porcentajes de reemplazo por cada tipo de residuo tales como 10%, 15%, 30% 45% y 60%. Una vez realizado los ensayos determinaron que la mezcla diseñada con PVC y porcentajes de reemplazo del 15% y 30% mejoraron su resistencia a la compresión en un 8.3% y 3% respectivamente con diferencias sobre un concreto normal. En cuanto a las mezclas diseñadas con residuos de polipropileno todas tuvieron una disminución de la resistencia bastante importante (Khazaal, Mustafa, Sarah, & Kadhum, 2020).



Figura 8. Publicaciones realizadas por país

Fuente: (Scopus, 2020).

Con base en la (Figura 8) y las investigaciones que se han descrito anteriormente, deja observar que son muy pocos los países de habla hispana que se han interesado por el tema, tal es el caso de Colombia, México, Puerto rico y España que cuentan solamente con la publicación de un artículo.

En México, los estudios realizados se basaron en analizar y determinar las diferentes

propiedades que pueden aportar los plásticos reciclados al hormigón utilizando estos como sustitutos de los áridos naturales hasta en un 75%. Para determinar sus características evaluaron la mezcla tanto en estado fresco como estado endurecido tras 28 días de curado, los resultados obtenidos mostraron que a mayor porcentaje de remplazo de partículas plásticas la densidad del hormigón disminuyó al igual que su resistencia y su conductividad térmica, por otro lado, la relación a la tenacidad del hormigón aumento con diferencia sobre un hormigón convencional (Hernández, 2019).

En cuanto a la investigación realizada en Colombia, se basa en la implementación de residuos plásticos electrónicos como remplazo del agregado grueso para un concreto con resistencia de 21 Mpa utilizando un diseño de mezcla como lo es el método ACI 2.11, para la evaluación del concreto realizaron especímenes cilíndricos con remplazos de plásticos por agregado en porcentajes de 40%, 50% y 60%. Tras cumplir 28 días de secado realizaron diferentes ensayos donde determinaron que a mayor porcentaje de remplazo, la resistencia a la compresión fue más baja y que ninguna de las mezclas diseñadas supero las resistencia planteada, por otro lado, una de las ventajas que brindo la implementación del plástico fue la disminución del 22% en cuanto a la densidad del concreto en comparación a un concreto normal (Sabau & Vargas, 2018).

*Tabla 6. Clasificación artículos investigados según agregado.*

Reemplazo Plástico por Agregado Grueso	(Hamsavathi, Prakash, & Kavimani, 2020) (Admile & Nemade, 2020) (Jeevitha & Urs, 2019) (Niu, Zuo, Wang, & Xie, 2018). (Rahim, Salehuddin, & Ibrahim, 2013).
Reemplazo plástico por Agregado Fino	(Sabau & Vargas, 2018) (Khazaal, Mustafa, Sarah, & Kadhun, 2020) (Jonbi, Meutia, Indra, & Firdaus, 2019).

La Tabla 6 muestra los autores de los algunos de los artículos analizados y se clasifican según el agregado que han reemplazado con la implementación de residuos plásticos.

## 5. METODOLOGIA

Con el fin de desarrollar la campaña experimental que se ha planteado se requieren fundir especímenes cilíndricos de concreto simple, para dicha actividad se necesita elaborar un diseño de mezcla, el cual se determina a partir de las características de los agregados que la componen. (ver Figura 3). Además de incluir en esta un nuevo agregado como lo es el Polietileno de alta densidad.

Inicialmente se realiza la adquisición de materiales para la elaboración del concreto, entre ellos se tiene: Cemento (Tipo 1), agregados áridos (Arena y grava) y el plástico HDPE, este último triturado en la empresa Guerplast S.A ubicada en la ciudad de Bogotá, para determinar las propiedades de los materiales se proceden a realizar los principales ensayos de caracterización necesarios para la investigación y elaboración del diseño de mezcla, cada uno de ellos siguiendo los métodos estipulados por las Normas Técnicas Colombianas.

Para los agregados tanto finos como gruesos se tiene granulometría, peso unitario, densidad y absorción de los mismos. La granulometría se desarrolla según la Norma Técnica Colombiana NTC 77 (ICONTEC, 2007) y NTC 78 (ICONTEC, 1995), que determina la distribución de tamaños según el proceso de tamizado. Con los resultados obtenidos se evalúa su gradación gráficamente mediante las especificaciones determinadas por la NTC 174 (ICONTEC, 2000). En cuanto al peso unitario, otra característica a tener en cuenta, se desarrolla bajo el método que estipula la NTC 92 (ICONTEC, 1995), que permite determinar la masa unitaria en estado compacta y suelta. Por último, la densidad y absorción se guía de acuerdo a la NTC 176 (ICONTEC, 1995), para agregados gruesos y la NCT 237 (ICONTEC, 1995), para agregados finos, donde se puede identificar la relación entre la masa y el volumen del material. Así mismo el plástico HDPE se caracterizará siguiendo los mismos parámetros ya que no hay ninguna norma estipulada para otros tipos de agregados. En cuanto al cemento se determina la densidad

siguiendo los procedimientos estipulados en la NTC 221 (ICONTEC, 1999).

Ya definidas las características de los materiales se elabora el diseño de mezcla para un concreto simple con resistencia de  $f'c = 21$  (Mpa) y donde se usarán los Residuos Plásticos HDPE como reemplazo del agregado fino en porcentajes de 0%, 10%, 20% y 30%.

Para la elaboración de los especímenes se utilizarán moldes cilíndricos de 4" x 8" (in) siguiendo los requisitos estipulados por la norma NTC 550 (ICONTEC, 2000). De acuerdo a esta, se permite utilizar estos moldes siempre y cuando el diámetro de molde sea 3 veces mayor al TMN (Tamaño Máximo Nominal) del agregado grueso.

En cuanto a la obtención de resultados se someterán los cilindros a ensayos de compresión, con edades de 7, 14 y 28 días de curado con sus respectivos porcentajes de reemplazo, los ensayos se elaboran siguiendo los parámetros que se especifican según la NTC 673 (ICONTEC, 2010).

Se contarán con un total de 24 especímenes cilíndricos, donde se realizarán de la siguiente manera.

*Tabla 7. Distribución fundición de especímenes cilíndricos.*

Edad \ %	0%	10%	20%	30%
7	2	2	2	2
14	2	2	2	2
28	2	2	2	2

La Tabla 7 especifica la cantidad de cilindros que se realizan según porcentaje de reemplazo y edad de fraguado.

Se elaboran 2 especímenes cilíndricos por cada porcentaje de reemplazo y edad de

fraguado con el fin evaluar los diferentes resultados y determinar una media de los mismos.

Según Cemex (2019), “Un resultado de prueba es el promedio de por lo menos 2 pruebas de resistencia curadas de manera convencional y elaboradas con la misma muestra de concreto”

En cuanto a las edades de fraguado por general son 7, 14, 28 y 90 días, siendo el día 28 el más adecuado para definir la resistencia ya que en este punto se ha alcanzado su mayor resultado. Una vez se obtengan los datos de ensayo se procede a comenzar con las actividades correspondientes al análisis de datos y resultados del estudio.

A continuación, se muestra la metodología que se llevó a cabo para la caracterización de los materiales y diseño de mezcla.

## **5.1.Determinaciones características de los agregados y cemento.**

### **5.1.1. Granulometría Agregados finos, gruesos y Plástico HDPE.**

- Se coge una muestra por cada material y se pesa, en este caso para el agregado grueso se tomaron 3000 *g*, mientras que para el agregado fino 1000 *g*, en cuanto al polietileno de alta densidad fueron 1500 *g*, la norma establece que dicha muestra debe estar en estado seco, por lo cual se lleva a un horno con una temperatura uniforme con el fin de retirar la humedad que contiene. Excepto el polietileno de alta densidad que al someterse a elevadas temperaturas su textura cambia.

- Una vez seco el material se vuelve a pesar y así tener la muestra con la cual se inicia el proceso de granulometría por tamizado. Este consiste en la separación de granos de la muestra, pasando esta por una serie de tamices que poseen aberturas que se reducen progresivamente.

Para la clasificación de agregados finos y polietileno de alta densidad se utilizaron específicamente los tamices. ( $\frac{1}{2}$ ”,  $\frac{3}{8}$ ” No 4, 8, 16, 30, 50, 100 y 200), por otro lado, para los agregados gruesos se utilizaron los siguientes tamices. (2”  $1\frac{1}{2}$ ” 1”,  $\frac{3}{4}$ ”,  $\frac{1}{2}$ ”,  $\frac{3}{8}$ ”, No 4, 8 y

200). Para el tamaño de aberturas de la malla que conforman los tamices, (ver Tabla 3).

- Después de haber realizado el tamizado se pesan las cantidades de muestra que se han retenido en cada tamiz. Cantidades que se llevan a una evaluación de resultados a partir de porcentajes, donde se obtienen porcentaje retenido, porcentaje retenido acumulado y porcentaje de cada pasa tamiz con el fin de definir ya sea su gradación, tamaño máximo nominal y módulo de finura.



*Figura 9. Ensayo granulometría plástico HDPE (Tamizado) bajo parámetros NTC 77 (ICONTEC, 2007).*

Fuente: Autoría propia.

Tabla 8. Resultados granulometría agregado grueso.

ANÁLISIS POR TAMIZADO DE LOS AGREGADOS FINOS Y GRUESOS				
Procedimiento de ensayo:			Norma técnica de referencia:	NTC 77
Normas técnicas de referencia	NTC 77		P1 Peso muestra (g)	3000
Muestra:	GA - 4		P2 Peso muestra seca (g)	2971
Descripción del agregado:	Grava 1"		P3 Peso muestra lvd. /sec. (g)	2951
Tamiz (Pulg)	Peso retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
2"	0	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	0	0,00	0,00	100,00
1"	58	1,95	1,95	98,05
3/4"	976,00	32,85	34,80	65,20
1/2"	1079,00	36,32	71,12	28,88
3/8"	283,00	9,53	80,65	19,35
No. 4	463,00	15,58	96,23	3,77
No. 8	81,00	2,73	98,96	1,04
No. 200	9,00	0,30	99,26	0,74
Fondo	22,00	0,74	100,00	0
Total	2971,00	-	-	-
TM		Tamaño máximo		1 1/2"
TMN		Tamaño máximo nominal		1"
H		Humedad natural (%)		0,98

En la Tabla 8 se muestran los datos obtenidos a partir del análisis granulométrico realizado al agregado grueso siguiendo cada uno de los parámetros estipulados. Fuente. Autoría propia.

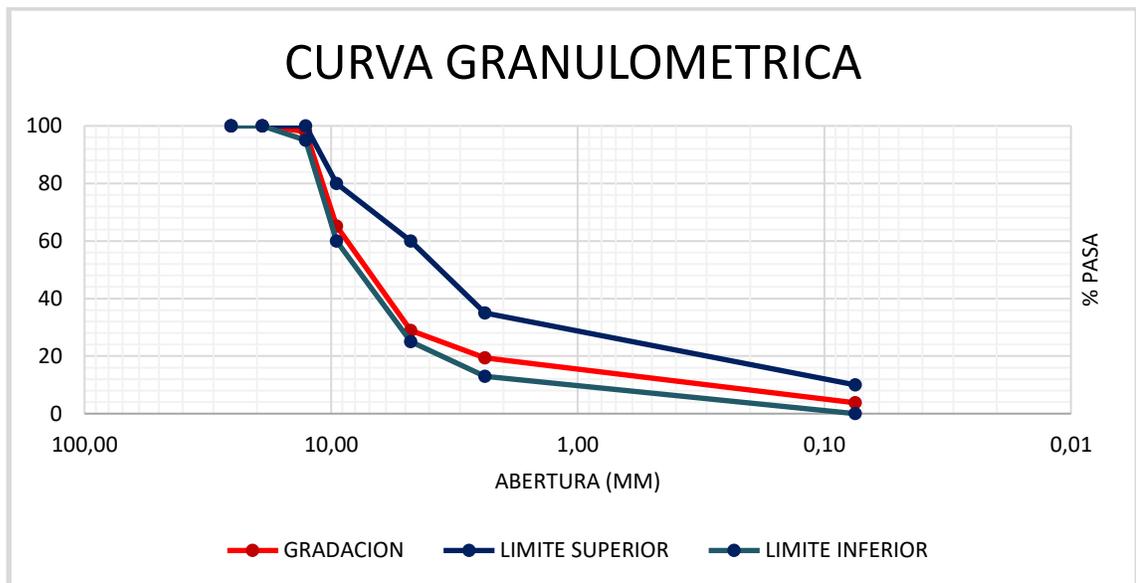


Figura 10. Curva granulometría de agregados gruesos.

Fuente. Autoría propia

Tabla 9. Resultados granulometría agregado fino

ANÁLISIS POR TAMIZADO DE LOS AGREGADOS FINOS				
Procedimiento de ensayo:			Norma técnica de referencia:	NTC 77
Muestra:	AA - 1		P1 Peso muestra (g)	1000
Agregado proveniente de:	Rio Sogamoso		P2 Peso muestra seca (g)	953
Descripción del agregado:	Arena de río		P3 Peso muestra lvd. /sec. (g)	911
Tamiz (Pulg)	Peso retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
1/2"	0	0	0	100,00
3/8"	0	0,00	0,00	100,00
No. 4	60,00	6,30	6,30	93,70
No. 8	268,00	28,12	34,42	65,58
No. 16	200,00	20,99	55,40	44,60
No. 30	97,00	10,18	65,58	34,42
No. 50	165,00	17,31	82,90	17,10
No. 100	81,00	8,50	91,40	8,60
No. 200	80,00	8,39	99,79	0,21
Fondo	2,00	0,21	100,00	0
Total	953,00	100,00	-	-
MF		Módulo de finura		3,36
H		Humedad natural %		4,93

La Tabla 9 muestra los datos obtenidos a partir del análisis granulométrico realizado al agregado fino siguiendo cada uno de los parámetros estipulados. Fuente. Autoría propia.

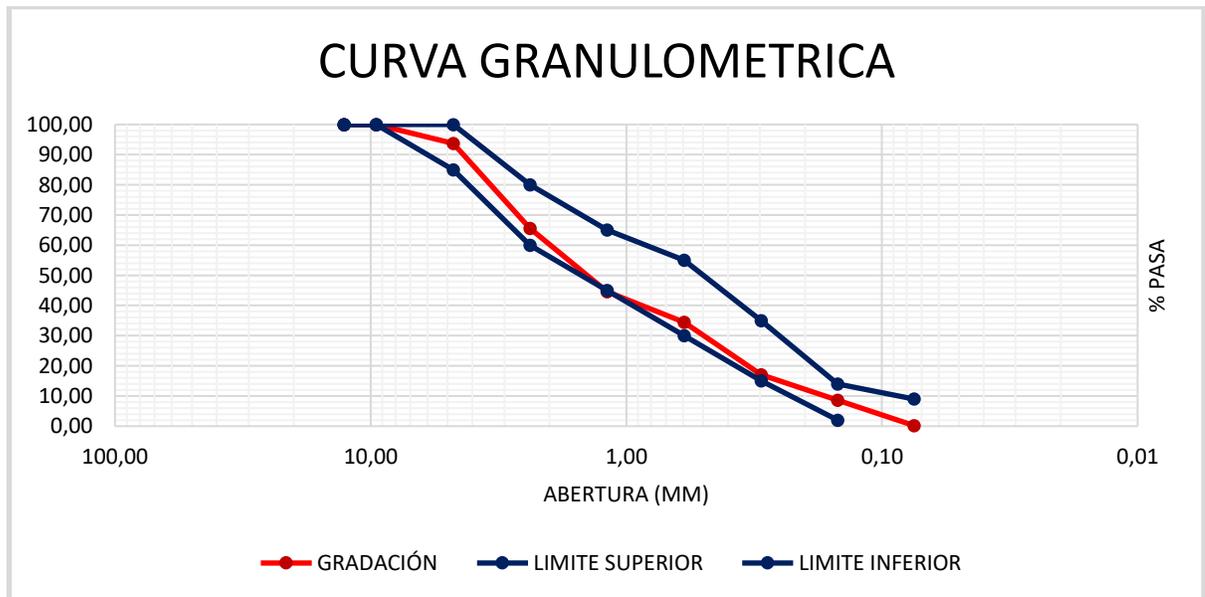


Figura 11. Curva granulométrica agregados finos.

Fuente. Autoría propia.

Tabla 10. Resultados granulometría agregado plástico.

ANÁLISIS POR TAMIZADO DE AGREGADO PLASTICO				
Muestra:	HDPE 1	Norma técnica de referencia:	NTC 77	
Agregado proveniente de:	Reciclados plásticos	P1 Peso muestra (g)	1500	
Descripción del agregado:	HDPE	P2 Peso muestra seca (g)	1482	
		P3 Peso muestra lvd. /sec. (g)	1458	
GRADACIÓN				
Tamiz (Pulg)	Peso retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
1/2"	0	0	0	100,00
3/8"	3	0,20	0,20	99,80
No. 4	445,00	29,67	29,87	70,13
No. 8	970,00	64,67	94,53	5,47
No. 16	50,00	3,33	97,87	2,13
No. 30	24,00	1,60	99,47	0,53
No. 50	7,00	0,47	99,93	0,07
No. 100	1,00	0,07	100,00	0,00
No. 200	0,00	0,00	100,00	0,00
Fondo	0,00	0,00	100,00	0
Total	1500,00	100,00	-	-
MF		Módulo de finura		5,22
H		Humedad natural		1,21

La Tabla 10 muestra los datos obtenidos a partir del análisis granulométrico realizado al agregado plástico siguiendo los parámetros del agregado fino al ser el material de reemplazo.

Fuente. Autoría propia.

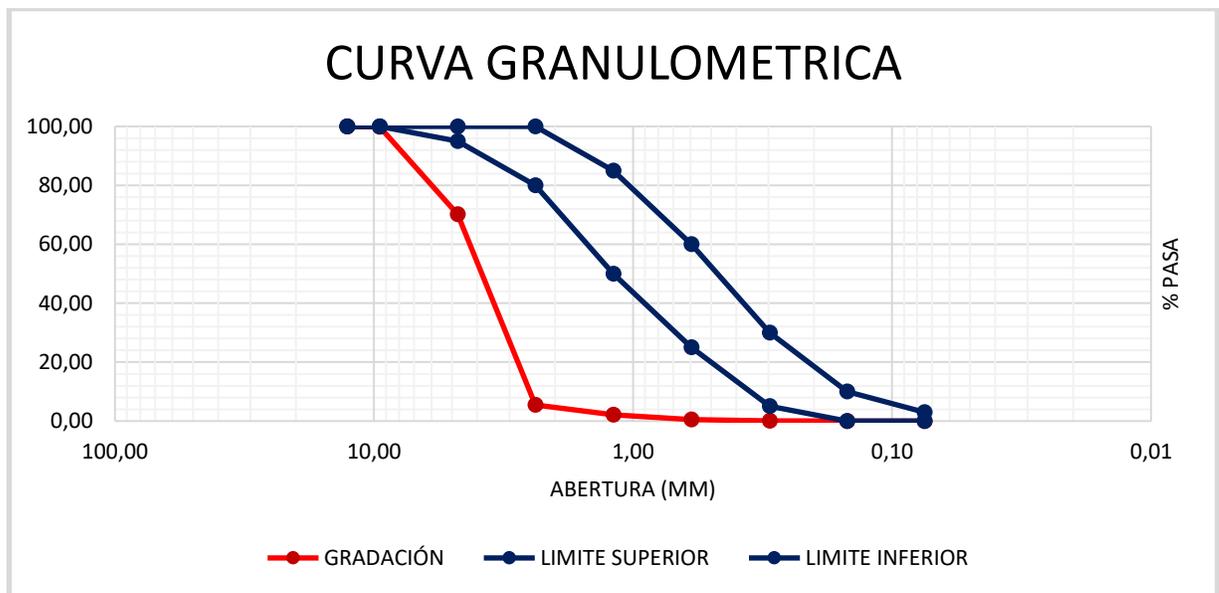


Figura 12. Curva granulométrica agregado plástico

Fuente. Autoría propia

### **5.1.2. Masa unitaria suelta y compacta de los agregados.**

- En este ensayo se utiliza un molde cilíndrico que debe cumplir con las especificaciones estipuladas en la norma. Se halla su peso y volumen según sus dimensiones.
- Para determinar la Masa unitaria suelta, se vierte material en el molde hasta llenar este en su totalidad, es necesario rebasar el material excedente con un objeto plano para garantizar el volumen del molde. Después se lleva a una balanza y se toma su peso. En cuanto la Masa Unitaria Compacta se llena con material la tercera parte del molde, y se apisona dicha capa dando 25 golpes con una varilla sin que este toque el fondo del molde. La varilla debe cumplir con las especificaciones que exige la norma. Así mismo se realizará proceso con la segunda y tercera capa que llenará en su totalidad el molde, posteriormente se rebasa el material sobrante con un objeto plano y se toma el peso total.
- Para obtener tanto la Masa Unitaria Suelta como compacta del agregado, se toma el peso real de la muestra que se halla a partir de la diferencia entre el peso total y peso del molde, valores hallados anteriormente y se divide entre el volumen del molde.
- En cuanto al plástico el método para determinar su densidad es diferente, pero dado el caso y el estudio se realiza del mismo modo que el agregado a reemplazar para comparar y evaluar sus valores.

Tabla 11. Resultados masa unitaria suelta y compacta del agregado grueso.

<b>DENSIDAD VOLUMÉTRICA (MASA UNITARIA) Y VACIOS EN AGREGADOS GRUESOS</b>				
Procedimiento de ensayo:	-	Norma técnica de referencia:		NTC 92
Muestra:	GA - 4	Masa molde ( <i>g</i> )		1533,00
Descripción del agregado:	Grava 1"	Volumen molde ( <i>cm</i> <sup>3</sup> )		2981,00
Agregado proveniente de	Cantera	Diámetro ( <i>cm</i> )		-
Referencia:	-	Altura ( <i>cm</i> )		-
<b>MASA UNITARIA SUELTA</b>				
Ensayo No.	1	2	3	Promedio
Masa del agregado + molde ( <i>g</i> )	6032	6021	6089	6047
Masa del agregado ( <i>g</i> )	4499	4488	4556	4514
Masa unitaria suelta ( <i>g / cm</i> <sup>3</sup> )	1509	1506	1528	1514
<b>MASA UNITARIA COMPACTA</b>				
Ensayo No.	1	2	3	Promedio
Masa del agregado + molde ( <i>g</i> )	6465	6448	6462	6458
Masa del agregado ( <i>g</i> )	4932	4915	4929	4925
Masa unitaria compacta ( <i>g / cm</i> <sup>3</sup> )	1654	1649	1653	1652
MUS	Masa unitaria suelta promedio			1514
MUC	Masa unitaria compacta promedio			1652

La Tabla 11 presenta los valores hallados tanto para la masa unitaria suelta como compacta del agregado grueso. Se determinaron tras una serie de ensayos y promediando sus resultados. Autoría propia.

Tabla 12. Resultados masa unitaria suelta y compacta agregado fino

<b>DENSIDAD VOLUMÉTRICA (MASA UNITARIA) Y VACIOS EN AGREGADOS FINOS</b>				
Procedimiento de ensayo:		Norma técnica de referencia:	NTC 92	
Muestra:	AA - 1	Masa molde ( <i>g</i> )	1533,00	
Agregado proveniente de:	Cantera	Volumen molde ( <i>cm</i> <sup>3</sup> )	2981,00	
Descripción del agregado:	Arena de río	Diámetro ( <i>cm</i> )		
Referencia:		Altura ( <i>cm</i> )		
<b>MASA UNITARIA SUELTA</b>				
Ensayo No.	1	2	3	Promedio
Masa del agregado + molde ( <i>g</i> )	6238	6218	6224	6227
Masa del agregado ( <i>g</i> )	4704	4684	4690	4693
Masa unitaria suelta ( <i>g /cm</i> <sup>3</sup> )	1578	1571	1573	1574
<b>MASA UNITARIA COMPACTA</b>				
Ensayo No.	1	2	3	Promedio
Masa del agregado + molde ( <i>g</i> )	6653	6656	6680	6663
Masa del agregado ( <i>g</i> )	5119	5122	5146	5129
Masa unitaria compacta ( <i>g /cm</i> <sup>3</sup> )	1717	1718	1726	1,721
MUS	Masa unitaria suelta promedio			1574
MUC	Masa unitaria compacta promedio			1721

La Tabla 12 presenta los valores hallados tanto para la masa unitaria suelta como compacta del agregado fino. Se determinaron tras una serie de ensayos y promediando sus resultados. Autoría propia.

Tabla 13. Resultados masa unitaria suelta y compacta de agregado plástico

<b>DENSIDAD VOLUMÉTRICA (MASA UNITARIA) Y VACIOS EN AGREGADOS PLASTICOS</b>				
Procedimiento de ensayo:	-	Norma técnica de referencia:	NTC 92	
Muestra:	HDPE 1	Masa molde (g)	1533,00	
Agregado proveniente de:	-	Volumen molde (cm <sup>3</sup> )	2981,00	
Descripción del agregado:	HDPE	Diámetro (cm)	-	
Referencia:	-	Altura (cm)	-	
<b>MASA UNITARIA SUELTA</b>				
Ensayo No.	1	2	3	Promedio
Masa del agregado + molde (g)	3046	3068	3065	3060
Masa del agregado (g)	1513	1535	1532	1527
Masa unitaria suelta (g /cm <sup>3</sup> )	0,508	0,515	0,514	0,512
<b>MASA UNITARIA COMPACTA</b>				
Ensayo No.	1	2	3	Promedio
Masa del agregado + molde (g)	3150	3155	3139	3148
Masa del agregado (g)	1617	1622	1606	1615
Masa unitaria compacta (g /cm <sup>3</sup> )	0,543	0,544	0,539	0,542
MUS	Masa unitaria suelta promedio		0,512	
MUC	Masa unitaria compacta promedio		0,542	

La Tabla 13 presenta los valores hallados tanto para la masa unitaria suelta como compacta del agregado plástico, se determinaron tras una serie de ensayos y promediando sus resultados. Autoría propia.

### 5.1.3. Densidad Relativa (Gravedad específica) y absorción de agregados gruesos.

- Se toma una muestra del material y se sumerge en un recipiente con agua durante 24 horas aproximadamente con el fin de saturar el agregado y tomar su peso. Posteriormente se retira el material del recipiente con agua y se extiende sobre una bandeja para secarlo superficialmente con una toalla, allí se toma un segundo peso, por último, el material es llevado al horno a una temperatura de 120 °C para así dejar la humedad del material y dejarlo totalmente seco para tomar un peso final.
- Con los diferentes pesos que se tomaron a la muestra se procede a calcular la gravedad específica, nominal y el porcentaje de absorción del material.

Tabla 14. Resultados gravedad específica y absorción de agregado grueso.

<b>DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y LA ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO</b>		
Procedimiento de ensayo:	-	Norma técnica de referencia: NTC 176
Muestra:	GA - 4	A Peso en aire de muestra seca (g)
Agregado proveniente de:	-	B Peso en aire de muestra SSS (g)
Descripción del agregado:	Grava 1"	C Peso de la muestra sumergida (g)
Referencia:	-	Gs Peso específico (g /cm <sup>3</sup> )
Ensayo No.		1
A (g)		4912
B (g)		5000
C (g)		3055
B - C		1945
A - C		1857
B - A		88
Gs aparente	$\left[ \frac{A}{(A - C)} \right]$	2,53
Gs nominal	$\left[ \frac{A}{(B - C)} \right]$	2,65
% Absorción	$\left[ \frac{(B - A)}{A} \right] \times 100$	1,79

La Tabla 14 evidencia los datos de peso específico seco, peso específico saturado con superficie seca, peso específico aparente y la absorción del agregado grueso. los cuales se obtienen tras realizar el ensayo correspondiente en el laboratorio.

#### **5.1.4. Densidad Relativa (Gravedad específica) y absorción de agregados finos.**

- Se toma una muestra de 2000 *g* del material y se pasa por Tamiz N.º 200 para eliminar impurezas del mismo. El material retenido se extiende en una bandeja y se lleva al horno para allí eliminar excesos de humedad.
- Para verificar si aún hay humedad en la muestra se utiliza un molde cónico donde el diámetro mayor se apoya en una superficie plana y se procede a verter el material por el orificio del diámetro menor luego se apisona la muestra con un total de 25 golpes de varilla. Seguido se levanta cuidadosamente el molde y se observa si el material mantiene la forma del molde o no, en caso de serlo así eso determina que el agregado aún tiene humedad y no es apta para el ensayo, por lo que se debe repetir el procedimiento hasta el punto que al retirar el molde haya un desmoronamiento superficial indicando que el material ha alcanzado óptimas condiciones para proceder al ensayo.
- Por último, se introduce 500 *g* de material en un picnómetro y se le añade agua hasta llegar a un 90% de la capacidad del mismo, se procede a eliminar el aire atrapado ya sea agitando o invirtiendo la probeta, después se saca la muestra y se seca nuevamente en el horno para tomar un peso final y así calcular gravedad específica, aparente y % de absorción del material.

Tabla 15. Resultados gravedad específica y absorción agregado fino.

<b>DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y LA ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO</b>		
Procedimiento de ensayo:	-	Norma técnica de referencia: NTC 237
Muestra:	AA - 1	A Peso en aire de muestra seca ( <i>g</i> )
Agregado proveniente de:	Cantera	V Vol. del picnómetro ( <i>cm</i> <sup>3</sup> )
Descripción del agregado:	Arena de río	W Vol. agua picnómetro y muestra ( <i>cm</i> <sup>3</sup> )
Referencia:	-	Gs Peso específico ( <i>g /cm</i> <sup>3</sup> )
Ensayo No.	1	
A ( <i>g</i> )	489	
V ( <i>cm</i> <sup>3</sup> )	500	
W ( <i>cm</i> <sup>3</sup> )	308	
V - W ( <i>cm</i> <sup>3</sup> )	192	
500 - A	11	
[(V-W) -(500-A)]	181	
Gs bulk $\left[ \frac{A}{(V - W)} \right]$	2,55	
Gs bulk SSS $\left[ \frac{500}{(V - W)} \right]$	2,60	
Gs aparente $[A/(V - W) - (500 - A)]$	2,71	
% Absorción $\left[ \frac{(500 - A)}{A} \right] \times 100$	2,25	

La Tabla 15 evidencia los datos de peso en aire de muestra seca, volumen del picnómetro, volumen de picnómetro más muestra, peso específico y la absorción del agregado fino. los cuales se obtienen tras realizar el ensayo correspondiente en el laboratorio.

NOTA. En cuanto a la densidad del plástico HDPE ( Polietileno de alta densidad ) esta se asume como 0,97 (*g /cm*<sup>3</sup>) ya que es la densidad general para este. El ensayo a realizar para verificación y determinación de la densidad se realiza mediante la extrusión en masa del plástico en un molde con volumen conocido.

### 5.1.5. Densidad del cemento.

- El principal equipo a utilizar en este ensayo es el frasco de Le Chatelier con sus respectivas dimensiones ya indicadas en la norma. El frasco se debe llenar aproximadamente entre 0 a 1 ml con un líquido específico estipulado para el ensayo, donde se tiene Kerosene libre de agua y Nafta. Para este caso se utiliza kerosene y se establece un volumen inicial.
- Se toma aproximadamente 64 g de cemento y se vierte en el frasco en pequeñas cantidades evitando que este se pegue a las paredes del recipiente por encima de líquido ya vertido. Se tapa el frasco y se agita de forma horizontal haciendo círculos hasta el punto de que ya no se produzcan burbujas en la superficie y así constatar que se ha sacado todo el aire de la muestra.
- Para finalizar se lleva este frasco al baño de maría con una temperatura constante y se mantiene allí hasta el punto que las variaciones en temperatura no excedan los 0,2 °C ya acercado a este valor se toma nuevamente el volumen. Para calcular la densidad se coge el peso de la muestra de cemento y se divide entre la diferencia del volumen final e inicial.

Tabla 16. Resultados densidad del cemento

<b>DENSIDAD DEL CEMENTO HIDRÁULICO</b>		
Procedimiento de ensayo:		Norma técnica de referencia: NTC 221
Muestra:	Cemento Portland	Temperatura ambiente (°C)
Líquido utilizado:	Kerosene	Referencia:
Ensayo No.		1
Masa cemento (g)		64,00
Volumen inicial (cm <sup>3</sup> )		0,80
Volumen final (cm <sup>3</sup> )		22,50
Peso específico (g /cm <sup>3</sup> )		2,95

La Tabla 16 muestra el valor que se determinó para la densidad del cemento Portland tras realizar el ensayo en el laboratorio utilizando el líquido kerosene.

## 5.2. Diseño de Mezcla (Método A.C.I 211)

### 5.2.1. Selección de asentamiento

Inicialmente se determina un asentamiento según el tipo de estructura y sistema de colocación del concreto, En este caso como se muestra en la (Tabla 17), se toma un asentamiento de 100 (*mm*) puesto que el sistema colocación es manual y donde como estructuras se tienen losas, muros y vigas compactadas manualmente.

*Tabla 17. Asentamientos recomendados para diversos tipos de construcción y sistemas de colocación y compactación*

<b>Consistencia</b>	<b>Asentamiento (<i>mm</i>)</b>	<b>Ejemplo de tipo de construcción</b>	<b>Sistema de colocación</b>	<b>Sistema de compactación</b>
Muy seca	0-20	Prefabricado de alta resistencia, revestimiento de pantalla de cimentación	Con vibradores de formaleta; concretos de proyección neumática (lanzado)	secciones sujetas a vibración extrema, puede requerir presión
Seca	20-35	Pavimentos	Pavimentadoras con terminadora vibratoria	Secciones sujetas a vibración intensa
Semi seca	35-50	Pavimentos, fundiciones de concreto simple	Colocación con Maquinas operadoras	Secciones simplemente reforzadas, con vibración
Media	50-100	Pavimentos compactados a mano, losas muros, vigas	Colocación manual	Secciones medianamente reforzadas con vibración
Húmeda	100-150	Elementos estructurales esbeltos	Bombeo	Secciones bastante reforzadas, con vibración
Muy húmeda	150 o mas	Elementos muy esbeltos, Pilotes fundidos in situ	Tubo embudo tremie	Secciones altamente reforzadas, sin vibración, (Normalmente no adecuados para vibrarse)

En la Tabla 17 se presenta la relación que hay entre la consistencia de la muestra, tipo de construcción, sistemas de colocación, compactación y el asentamiento a tener en cuenta en el diseño de mezcla. Fuente: (Sanchez, 2001).

### 5.2.2. Selección tamaño máximo del agregado

El tamaño máximo nominal del agregado (TMN) se define según la granulometría que se realizó al anteriormente, del cual para el agregado grueso se tiene un TMN de 1" (25,4 mm).

### 5.2.3. Estimación contenida de aire

Durante la operación de mezclado por lo general queda aire atrapado naturalmente dentro del concreto y en algunas condiciones climáticas es necesario la inclusión de aire. La mezcla de concreto a diseñar en este caso se realiza para elementos estructurales que no estarán expuestos a ambientes severos tales como congelamiento o deshielo por lo cual no es necesario el uso de incorporadores de aire, siendo así se asume que el promedio de aire atrapado es del 0 %.

### 5.2.4. Estimación contenido agua de mezclado

Una vez definido el tamaño máximo nominal del agregado, el asentamiento y el porcentaje de aire incluido, se determina el contenido de agua de mezclado necesaria por cada metro cubico de concreto.

En base a la (Tabla 18) y lo descrito anteriormente se muestra que la cantidad necesaria de agua para el mezclado es de aproximadamente 192 Kg/m<sup>3</sup>.

Tabla 18. Requerimiento aproximado de agua de mezclado para diferente asentamientos y tamaños máximos de agregados, en concreto sin aire incluido

Asentamiento (mm) (pulg)		Tamaño máximo del agregado en (mm) (pulg)							
		9,51 3/4 "	12,7 1/2 "	19,0 3/4 "	25,4 1"	38,1 1 1/2 "	50,8 2"	64,0 2 1/2 "	76,1 3"
		Agua de mezclado, en Kg/m <sup>3</sup> de concreto							
0	0	223	201	186	171	158	147	141	132
25	1	231	208	194	178	164	154	147	138
50	2	236	214	199	183	170	159	151	144
75	3	241	218	203	188	175	164	156	184
100	4	244	221	207	192	179	168	159	151
125	5	247	225	210	196	183	172	162	153
150	6	251	230	214	200	187	176	165	157
175	7	256	235	218	205	192	181	170	163

200	8	260	240	224	210	197	186	176	168
-----	---	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

La tabla 18 presenta la estimación de agua de mezclado a tener en cuenta para la elaboración de concreto partiendo desde el asentamiento escogido y el TMN del agregado hallado en granulometría. Fuente (Sanchez, 2001).

### 5.2.5. Determinación de la resistencia de diseño

De acuerdo a la NSR (Norma Sismo Resistente) para determinar la resistencia de diseño ( $F'_{cr}$ ) se debe agregar una desviación estándar a la resistencia planteada inicialmente ( $F'_c$ ), (Ver Tabla 19), para así diseñar y producir un concreto que asegure su resistencia a la compresión promedio.

*Tabla 19. Resistencia requerida de diseño cuando no hay datos que permitan determinar la desviación estándar*

Resistencia especificada $f'_c$ ( $kg/cm^2$ )	Resistencia de diseño de la mezcla $f'_{cr}$ ( $kg/cm^2$ )
Menos de 210 ( $kg/cm^2$ )	$f'_c + 70$ ( $kg/cm^2$ )
De 210 ( $kg/cm^2$ ) a 350 ( $kg/cm^2$ )	$f'_c + 85$ ( $kg/cm^2$ )
más de 350 ( $kg/cm^2$ )	$f'_c + 100$ ( $kg/cm^2$ )

La Tabla 19 muestra el valor que se debe sumar a la resistencia que se ha especificado para así obtener la resistencia requerida para el diseño de mezcla. Fuente. (Sanchez, 2001).

Como ya se ha descrito anteriormente se tiene previsto realizar especímenes cilíndricos con resistencia de 21 MPa ( $210 kg/cm^2$ ) por lo cual para asegurar su resistencia se toma una desviación de 8,5 ( $kg/cm^2$ ) para obtener así una resistencia de diseño aproximadamente de 29,5 MPa, ( $295 kg/cm^2$ ).

### 5.2.6. Selección relación Agua – Cemento

A partir de la resistencia de diseño obtenida en el anterior inciso y con base a la (Tabla 20) para concreto sin aire incluido se tiene que la relación de agua/ cemento es de 0,43.

Tabla 20. Relación Agua- cemento para los cementos colombianos, portland Tipo I.

Resistencia a la compresión ( $kg/cm^2$ )	RELACION AGUA / CEMENTO	
	CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO	CONCRETO CON AIRE INCORPORADO
150	0,8	0,71
200	0,7	0,61
250	0,62	0,53
300	0,43	0,46
350	0,4	0,4
400	0,38	-
450	0,36	-

En la Tabla 20 se muestran los valores de la relación agua/cemento determinados a partir de la durabilidad y propiedades para el acabado de concreto, estos se asignan según la resistencia de diseño de mezcla como también el tipo de concreto. Fuente. (Sanchez, 2001). Autoría propia.

### 5.2.7. Cálculo contenido de cemento

Una vez calculado el contenido de agua de mezclado y la relación agua cemento se busca determinar la cantidad de cemento que se necesita para elaborar un metro cúbico de concreto, resultado que estará dado por  $Kg$  de cemento por  $m^3$  de concreto.

### 5.2.8. Contenido de agregado grueso

Este se logra definir por medio de los datos obtenidos de módulo de finura de la arena y el Tamaño nominal máximo del agregado grueso como se muestra en la (Tabla 21).

Tabla 21. Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto

Volumen de agregado grueso, seco y compactado con varilla(a), por volumen de concreto para diferentes módulos de finura de la arena (b)					
Tamaño máximo nominal del agregado		Módulo de finura de la arena			
(mm)	(pulg)	2.40	2.60	2.80	3.00
9,51	3/8 "	0,5	0,48	0,46	0,44
12,7	1/2"	0,59	0,57	0,55	0,53
19	3/4"	0,66	0,64	0,62	0,6
25,4	1"	0,71	0,69	0,67	0,65
38,1	1 1/2"	0,75	0,73	0,71	0,69
50,8	2"	0,78	0,76	0,74	0,72
76,1	3"	0,82	0,8	0,78	0,76
152	6"	0,87	0,85	0,83	0,81

La Tabla 21 muestra los valores a tener cuenta para determinar el peso seco del agregado grueso necesario para mezcla de concreto. Estos dependen del TMÑ del agregado y módulo de finura de agregado fino. Fuente. (Sanchez, 2001).

### 5.2.9. Calculo volúmenes absolutos

Ya definidos los pesos de los materiales como lo son el cemento, agua, agregado grueso, y volumen de aire se procede a calcula los volúmenes absolutos por cada material.

### 5.2.10. Contenido agregado fino

Los volúmenes hallados anteriormente son restados al volumen total y así la diferencia hallada será el volumen absoluto del agregado fino.

### 5.2.11. Reemplazo del plástico HDPE

La inclusión del agregado triturado HDPE se da mediante el reemplazo de este en el peso seco del agregado fino limitándose a los respectivos porcentajes ya planteados. La cantidad requerida se toma de aquel material retenido en pasa Tamiz #4 que cumple con lo estipulado por

la (Tabla 3).

#### **5.2.12. Ajuste dosificación mezcla**

Al modificar el peso en seco del agregado fino por el plástico HDPE se aumenta el volumen total de la mezcla diseñada inicialmente para  $1m^3$ , causa de ello, son las densidades de cada material, por lo cual para asegurar y mantener el volumen inicial se ajusta el peso en seco del agregado grueso con relación al porcentaje reemplazado en el agregado fino.

#### **5.2.13. Corrección por humedad del agregado**

Los agregados no se encuentran secos en su totalidad y puede poseer humedad excepto el Plástico HDPE donde su aporte de humedad y absorción es nulo. Para la corrección de los agregados se toma un peso de la muestra en estado húmedo y un peso dos cuando está ya se ha secado al horno y así hallar la excedencia de humedad que posee al momento de realizar la mezcla. Posteriormente se determina si es necesario aumentar el contenido de agua a la mezcla o no.

#### **5.2.14. Dosificación de los materiales**

Se elaboraron 4 muestras donde sus dosificaciones se asocian a un porcentaje de reemplazo de plástico HDPE por agregado fino como se puede observar en la (Tabla 22, Tabla 23, Tabla 24 y Tabla 25.)

En el proceso de mezclado se verifica el asentamiento por medio del ensayo de asentamiento del concreto que se rige por la norma NTC 396 (ICONTEC, 1992)

Tabla 22. Dosificación para concreto con 0% Reemplazo

<b>MUESTRA 1 (0% REEMPLAZO)</b>							
Diseño Mezcla para 1000 (L) - Cantidad Requerida 15 (L)							
Resistencia	210 ( $kg/cm^2$ )	Asentamiento	100	Relación A/C	0,43		
MATERIAL	DENSIDAD	VOLUMEN (L)	PESO SECO	PESO MEZCLA ((kg)	Humedad %	Absorción %	PESO MEZCLA CORREGIDO (kg)
CEMENTO	2,95	152,0	447,0	6,71	-	-	6,71
AGUA	1,00	192,0	192,0	2,88	-	-	1,85
ARENA	2,56	264,0	677,0	10,16	8,4	2,25	11,01
HDPE	1,00	0,0	0,0	0,00	-	-	0,00
GRAVA	2,53	392,0	991,0	14,87	4,5	1,79	15,53
Total		1000	2307				

La Tabla 22 especifica las cantidades que se requieren para la elaboración del concreto en volumen de 15 litros que requieren las probetas cilíndricas para la muestra 1 con 0% de reemplazo de plástico HDPE por agregado fino. Fuente. Autoría propia

Tabla 23. Dosificación para concreto con 10% Reemplazo

<b>MUESTRA 2 (10% REEMPLAZO)</b>							
Diseño Mezcla para 1000 (L) - Cantidad Requerida 15 (L)							
Resistencia	210 ( $kg/cm^2$ )	Asentamiento	100	Relación A/C	0,43		
MATERIAL	DENSIDAD	VOLUMEN (L)	PESO SECO	PESO MEZCLA (kg)	Humedad %	Absorción %	PESO MEZCLA CORREGIDO (kg)
CEMENTO	2,95	152,0	447,0	6,71	-	-	6,71
AGUA	1,00	192,0	192,0	2,88	-	-	1,96
ARENA	2,56	238,0	609,0	9,14	8,4	2,25	9,90
HDPE	1,00	68,0	68,0	1,02	-	-	1,02
GRAVA	2,53	351,0	888,0	13,32	4,5	1,79	13,92
Total		1000	2204				

La Tabla 23 especifica las cantidades que se requieren para la elaboración del concreto en volumen de 15 litros que requieren las probetas cilíndricas para la muestra 2 con 10% de reemplazo de plástico HDPE por agregado fino. Fuente. Autoría propia

Tabla 24. Dosificación para concreto con 20% Reemplazo

<b>MUESTRA 3 (20% REEMPLAZO)</b>							
Diseño Mezcla para 1000 (L) - Cantidad Requerida 15 (L)							
Resistencia	210 ( $kg/cm^2$ )	Asentamiento	100	Relación A/C	0,43		
MATERIAL	DENSIDAD	VOLUMEN (L)	PESO SECO	PESO MEZCLA ( $kg$ )	Humedad %	Absorción %	PESO MEZCLA CORREGIDO ( $kg$ )
CEMENTO	2,95	152,0	447,0	6,71	-	-	6,71
AGUA	1,00	192,0	192,0	2,88	-	-	2,06
ARENA	2,56	212,0	543,0	8,15	8,4	2,25	8,83
HDPE	1,00	135,0	135,0	2,03	-	-	2,03
GRAVA	2,53	309,0	782,0	11,73	4,5	1,79	12,26
Total		1000	2099				

La Tabla 24 especifica las cantidades que se requieren para la elaboración del concreto en volumen de 15 litros que requieren las probetas cilíndricas para la muestra 3 con 20% de reemplazo de plástico HDPE por agregado fino. Fuente. Autoría propia

Tabla 25. Dosificación para concreto con 30% Reemplazo

<b>MUESTRA 4 (30% REEMPLAZO)</b>							
Diseño Mezcla para 1000 (L) - Cantidad Requerida 15 (L)							
Resistencia	210 ( $kg/cm^2$ )	Asentamiento	100	Relación A/C	0,43		
MATERIAL	DENSIDAD	VOLUMEN (L)	PESO SECO	PESO MEZCLA ( $kg$ )	Humedad %	Absorción %	PESO MEZCLA CORREGIDO ( $kg$ )
CEMENTO	2,95	152,0	447,0	6,71	-	-	6,71
AGUA	1,00	192,0	192,0	2,88	-	-	2,17
ARENA	2,56	185,0	474,0	7,11	8,4	2,25	7,71
HDPE	1,00	203,0	203,0	3,05	-	-	3,05
GRAVA	2,53	268,0	678,0	10,17	4,5	1,79	10,63
Total		1000	1994				

La Tabla 25 especifica las cantidades que se requieren para la elaboración del concreto en volumen de 15 litros que requieren las probetas cilíndricas para la muestra 3 con 30% de reemplazo de plástico HDPE por agregado fino. Fuente. Autoría propia

### **5.3.Elaboración de especímenes cilíndricos**

- Una vez establecidas las dosificaciones por cada muestra se procede a elaborar los cilindros. Para ello se requieren un total de 24 moldes cilíndricos.
- Por cada muestra se utilizarán 6 moldes, para su vaciado se prepara inicialmente la mezcla de concreto y se vierte una tercera parte del cilindro, seguido de ello se procede al apisonamiento de la mezcla con un total de 25 golpes utilizando como implemento la varilla que estipula norma, para una mejor compactación de la mezcla se realiza un vibrado manual utilizando un martillo plástico. De igual manera este proceso se lleva a cabo con las terceras partes faltantes en el llenado del molde cilíndrico
- Finalmente se rebasa el material sobrante por cada molde cilíndrico.

### **5.4.Ensayos a compresión**

- Tras realizar el desencofrado de los especímenes cilíndricos se realizan los ensayos a compresión donde se ejerce una carga axial sobre el espécimen cilíndrico.
- Para el fallo de los cilindros se realiza a medida que estos van cumpliendo las edades de curado, tales como 7, 14 y 28 días.

## 6. RESULTADOS

### 6.1. Resistencia a compresión.

Tabla 26. Resultados resistencia de concreto con reemplazo de agregado por plástico HDPE 0%

Elemento fundido	Peso Kg	Resistencia diseño ( $kg/cm^2$ )	Edad (Días)	Cilindro # 1, kN	Promedio, ( $kg/cm^2$ )	PSI	Mpa	% Evolución
MUESTRA N° 1	3,710	210	7	61,7	77,6	1108,4	7,65	36,9
	3,732	210	7	58,0	72,9	1042,0	7,19	34,7
	3,730	210	14	140,8	177,1	2529,5	17,45	84,3
	3,763	210	14	151,2	190,1	2716,3	18,74	90,5
	3,725	210	28	218,8	275,2	3930,8	27,10	131,0
	3,738	210	28	220,0	276,7	3952,3	27,26	131,7

La Tabla 26 contiene los resultados correspondientes a evaluación de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de la Muestra 1 (Reemplazo 0% de HDPE por agregado fino).

Fuente. Autoría propia

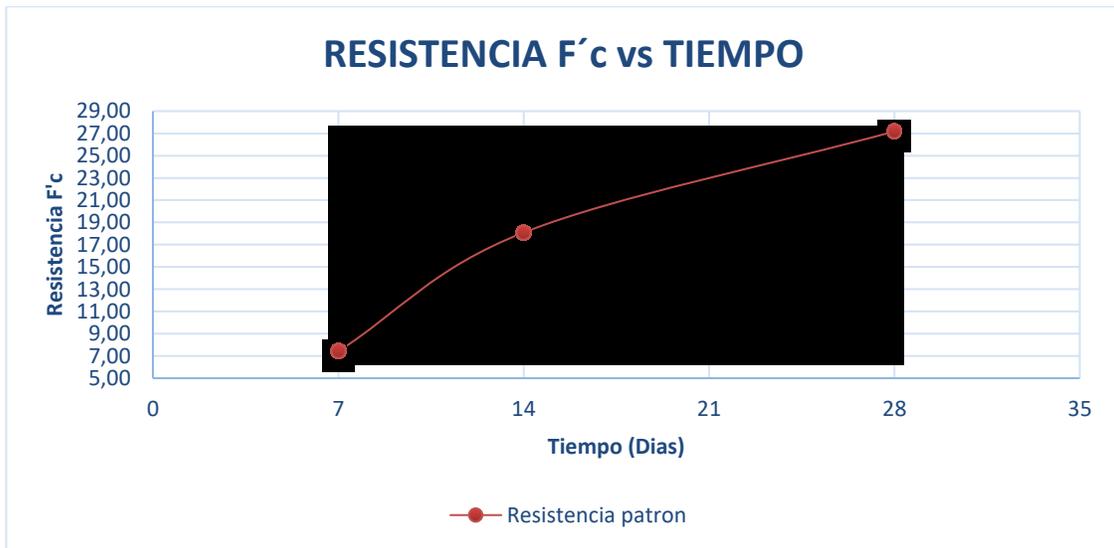


Figura 13. Variación gráfica resistencia concreto Reemplazo plástico HDPE por agregado fino 0%.

Fuente. Autoría propia

Tabla 27. Resultados resistencia de concreto con reemplazo de agregado por plástico HDPE 10%

Elemento fundido	Peso Kg	Resistencia diseño ( $kg/cm^2$ )	Edad (Días)	Cilindro # 1, kN	Promedio, ( $kg/cm^2$ )	PSI	MPa	% Evolución
MUESTRA N° 2	3,598	210	7	74,7	93,9	1342,0	9,26	44,7
	3,534	210	7	72,1	90,7	1295,3	8,93	43,2
	3,563	210	14	114,2	143,6	2051,6	14,15	68,4
	3,612	210	14	124,6	156,7	2238,5	15,44	74,6
	3,527	210	28	210,3	264,5	3778,1	26,06	125,9
	3,583	210	28	216,9	272,8	3896,6	26,87	129,9

La Tabla 27 contiene los resultados correspondientes a evaluación de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de la Muestra 2 (Reemplazo 10% de HDPE por agregado fino). Fuente. Autoría propia

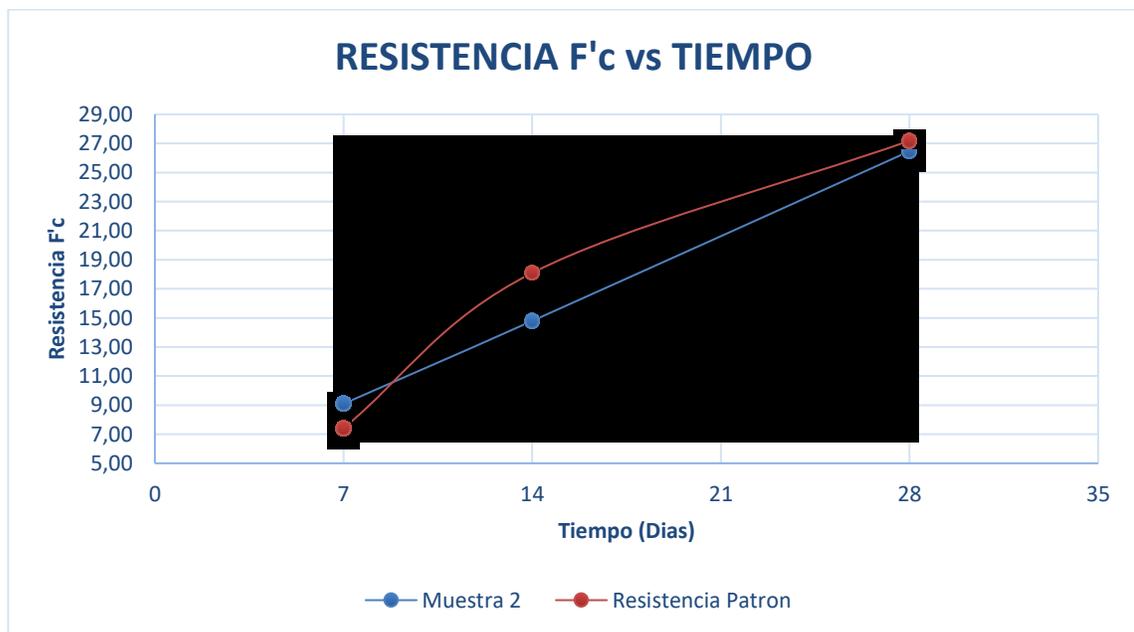


Figura 14. Variación gráfica resistencia concreto Reemplazo plástico HDPE por agregado fino 10%.

Fuente. Autoría propia

Tabla 28. Resultados resistencia de concreto con reemplazo de agregado por plástico HDPE 20%

Elemento fundido	Peso Kg	Resistencia diseño ( $kg/cm^2$ )	Edad (Días)	Cilindro # 1, kN	Promedio, ( $kg/cm^2$ )	PSI	MPa	% Evolución
MUESTRA N° 3	3,332	210	7	64,6	81,2	1160,5	8,00	38,7
	3,319	210	7	66,9	84,1	1201,9	8,29	40,1
	3,355	210	14	91,6	115,2	1645,6	11,35	54,9
	3,398	210	14	92,0	115,7	1652,8	11,40	55,1
	3,322	210	28	100,6	126,5	1807,3	12,46	60,2
	3,340	210	28	105,9	133,2	1902,5	13,12	63,4

La Tabla 28 contiene los resultados correspondientes a evaluación de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de la Muestra 3 (Reemplazo 20% de HDPE por agregado fino). Fuente. Autoría propia.



Figura 15. Variación gráfica resistencia concreto Reemplazo plástico HDPE por agregado fino 20%.

Fuente. Autoría propia

Tabla 29. Resultados resistencia de concreto con reemplazo de agregado por plástico HDPE 30%

Elemento fundido	Peso Kg	Resistencia diseño ( $kg/cm^2$ )	Edad (Días)	Cilindro # 1, kN	Promedio, ( $kg/cm^2$ )	PSI	MPa	% Evolución
MUESTRA N° 4	3,142	210	7	72,5	91,2	1302,5	8,98	43,4
	3,127	210	7	73,2	92,1	1315,0	9,07	43,8
	3,143	210	14	93,2	117,2	1674,3	11,55	55,8
	3,191	210	14	95,2	119,7	1710,3	11,80	57,0
	3,162	210	28	101,6	127,8	1825,3	12,59	60,8
	3,138	210	28	103,4	130,0	1857,6	12,81	61,9

La Tabla 29 contiene los resultados correspondientes a evaluación de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de la Muestra 4 (Reemplazo 30% de HDPE por agregado fino). Fuente. Autoría propia.

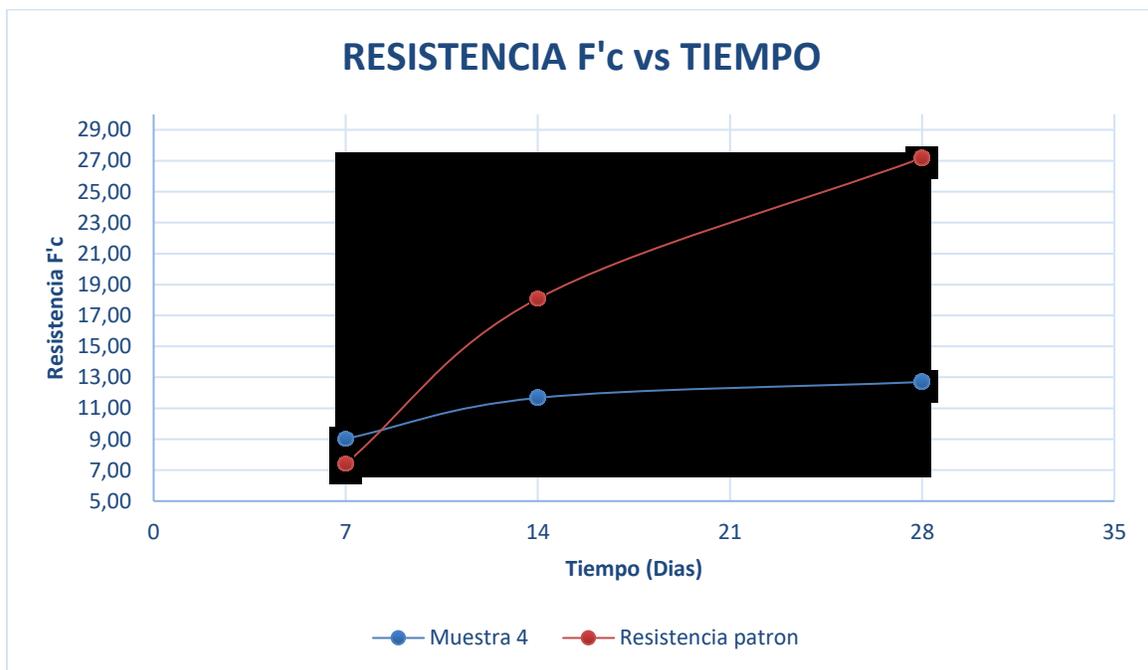


Figura 16. Variación gráfica resistencia concreto Reemplazo plástico HDPE por agregado fino 30%

Fuente. Autoría propia.

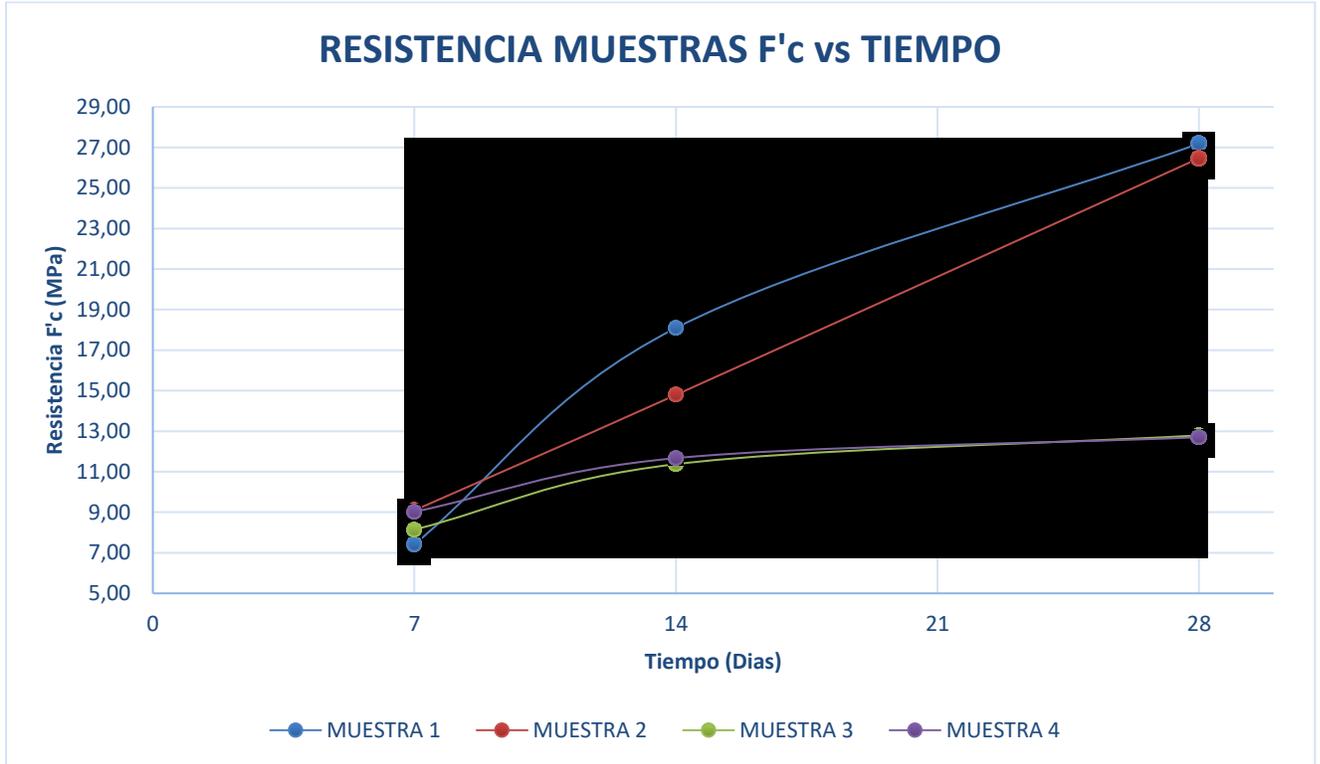


Figura 17. Consolidado curvas de resistencias de muestras

Fuente. Autoría propia.

## 6.2. Peso y densidad el concreto en estado seco.

Tabla 30. Pesos promedios por muestra

Muestra	Peso (kg)
Muestra 1	3,73
Muestra 2	3,57
Muestra 3	3,34
Muestra 4	3,15

En la Tabla 30 se presentan los pesos promedio de los cilindros tras 28 días de curado donde se clasifican según las muestras. ( Porcentaje de reemplazo). Fuente: Autoría propia.

Tabla 31. Densidades promedio y resistencia por muestra

Muestra	Densidad Promedio <i>kg/m<sup>3</sup></i>	Resistencia 28 DIAS
Muestra 1	2155,3	27,18
Muestra 2	2143,4	26,47
Muestra 3	2049,5	12,79
Muestra 4	1857,3	12,70

La Tabla 31 muestra las densidades promedio obtenidas a partir de la relación entre la masa y el volumen de los especímenes cilíndricos de cada muestra.

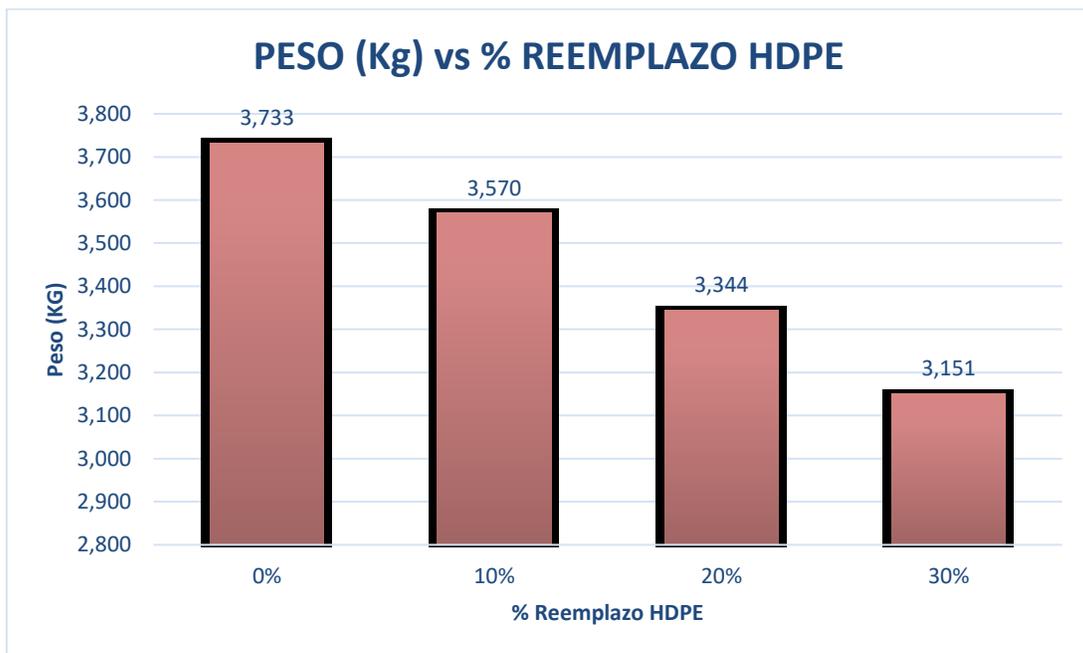


Figura 18. Comparación pesos promedios de especímenes cilíndricos por cada porcentaje de reemplazo.

Fuente Autoría propia

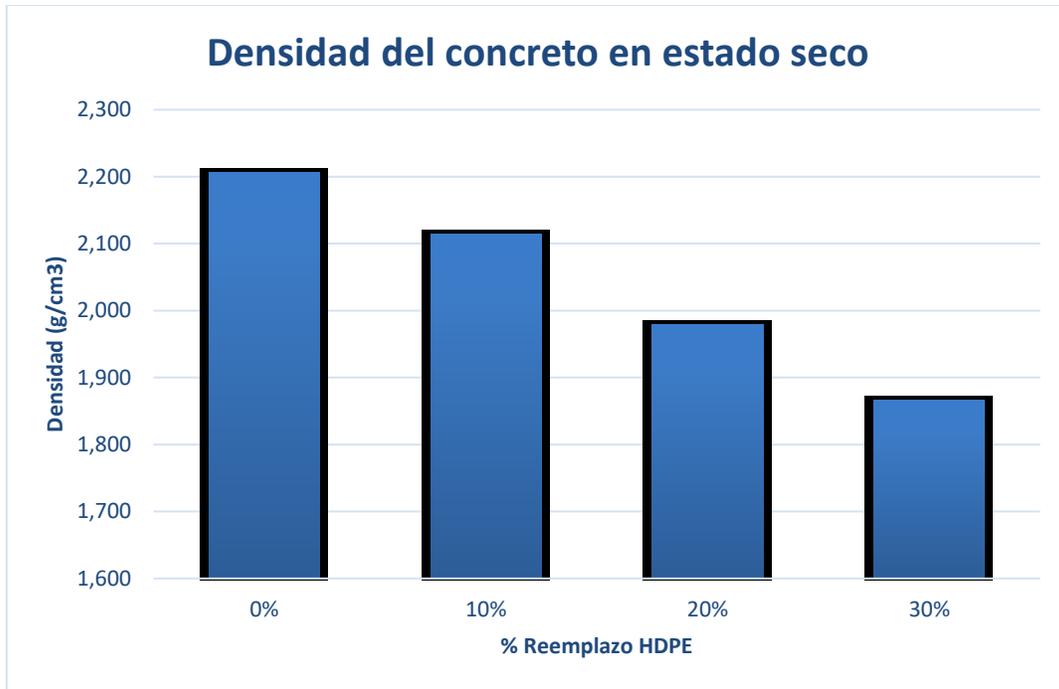


Figura 19. Comparación densidad del concreto en estado endurecido por cada porcentaje de reemplazo.

Fuente. Autoría propia.

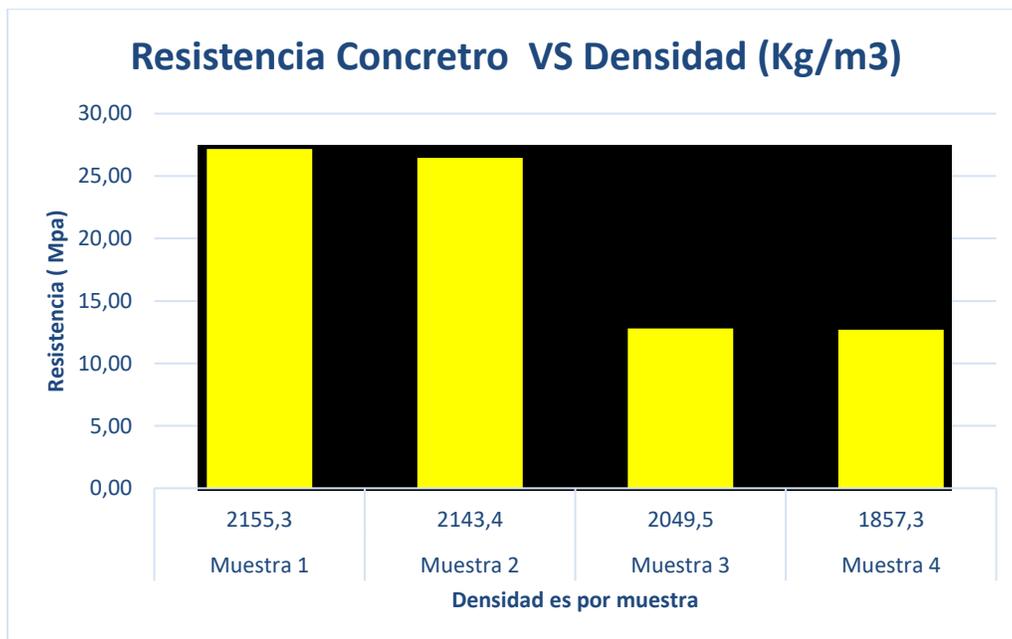


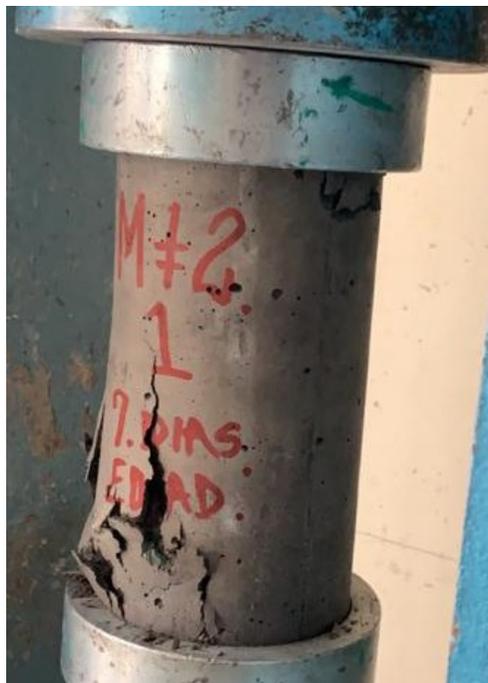
Figura 20. Resultados de la relación entre Densidad del concreto y resistencia del mismo.

Fuente. Autoría propia.



*Figura 21. Fallo espécimen cilíndrico muestra 1 (0% Reemplazo). Edad 7 días*

Fuente. Autoría propia



*Figura 22. Fallo espécimen cilíndrico muestra 2 (10% Reemplazo). Edad 7 días*

Fuente. Autoría propia



*Figura 23. Fallo espécimen cilíndrico muestra 3 (20% Reemplazo). Edad 7 días*

Fuente. Autoría propia



*Figura 24. Fallo espécimen cilíndrico muestra 4 (30% Reemplazo). Edad 7 días*

Fuente. Autoría propia

### 6.3.Costos

Se determinaron los costos derivados de cada material y cantidad necesaria para cada mezcla con su respectivo porcentaje de reemplazo de plástico HDPE por agregado, a continuación, se observa el presupuesto requerido por cada muestra.

*Tabla 32. Costos elaboración cilindros de concreto 0% reemplazo*

<b>MUESTRA 1 (0% Reemplazo)</b>				
<b>MATERIAL</b>	<b>UND</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>V/UNITARIO</b>	<b>COSTO</b>
Cemento	(kg)	6.71	\$ 538	\$ 3,610
Agregado Grueso (Grava)	(kg)	15.53	\$ 120	\$ 1,864
Agregado Fino (Arena)	(kg)	11.01	\$ 110	\$ 1,211
Plastico (HDPE)	(kg)	0.00	\$ 1,360	\$ 0,00
Agua	(m <sup>3</sup> )	0.001	\$ 1,560	\$ 2
TOTAL				\$ 6,686

La Tabla 32 muestra tanto valores unitarios y costos por material como también el costo total que se requiere para elaborar ese tipo de mezcla como lo es concreto con 0% de reemplazo.

*Tabla 33. Costos elaboración cilindros de concreto 10% reemplazo*

<b>MUESTRA 2 (10% Reemplazo)</b>				
<b>MATERIAL</b>	<b>UND</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>V/UNITARIO</b>	<b>COSTO</b>
Cemento	(kg)	6.71	\$ 538	\$ 3,610
Agregado Grueso (Grava)	(kg)	13.92	\$ 120	\$ 1,670
Agregado Fino (Arena)	(kg)	9.90	\$ 110	\$ 1,089
Plastico (HDPE)	(kg)	1.02	\$ 1,360	\$ 1,387
Agua	(m <sup>3</sup> )	0.001	\$ 1,560	\$ 2
TOTAL				\$ 7,758

La Tabla 33 muestra tanto valores unitarios y costos por material como también el costo total que se requiere para elaborar ese tipo de mezcla como lo es concreto con 10% de reemplazo.

Tabla 34. Costos elaboración cilindros de concreto 20% reemplazo

<b>MUESTRA 3 (20% Reemplazo)</b>				
<b>MATERIAL</b>	<b>UND</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>V/UNITARIO</b>	<b>COSTO</b>
Cemento	(kg)	6.71	\$ 538	\$ 3,610
Agregado Grueso (Grava)	(kg)	12.26	\$ 120	\$ 1,471
Agregado Fino (Arena)	(kg)	8.83	\$ 110	\$ 971
Plastico (HDPE)	(kg)	2.03	\$ 1,360	\$ 2,761
Agua	(m <sup>3</sup> )	0.002	\$ 1,560	\$ 3
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 8,816</b>

La Tabla 34 muestra tanto valores unitarios y costos por material como también el costo total que se requiere para elaborar ese tipo de mezcla como lo es concreto con 20% de reemplazo.

Tabla 35. Costos elaboración cilindros de concreto 30% reemplazo

<b>MUESTRA 4 (30% Reemplazo)</b>				
<b>MATERIAL</b>	<b>UND</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>V/UNITARIO</b>	<b>COSTO</b>
Cemento	(kg)	6.71	\$ 538	\$ 3,610
Agregado Grueso (Grava)	(kg)	10.63	\$ 120	\$ 1,276
Agregado Fino (Arena)	(kg)	7.71	\$ 110	\$ 848
Plastico (HDPE)	(kg)	3.05	\$ 1,360	\$ 4,148
Agua	(m <sup>3</sup> )	0.002	\$ 1,560	\$ 3
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 9,885</b>

La Tabla 35 muestra tanto valores unitarios y costos por material como también el costo total que se requiere para elaborar ese tipo de mezcla como lo es concreto con 30% de reemplazo.

## 7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Tras el desarrollo de la campaña experimental se han podido analizar diferentes aspectos, partiendo desde la caracterización de materiales y diseños de mezclas para la elaboración de los especímenes cilíndricos hasta el fallo de los mismos en edades de endurecimiento de 7, 14 y 28 días con sus diferentes porcentajes de reemplazo.

En primera parte como se puede observar en la (Figura 17) se tiene en resumen las curvas que muestran los resultados de Resistencia a compresión del concreto con resistencia de 21 (*MPa*), donde se evaluaron los diferentes porcentajes de reemplazo de plástico HDPE por agregado fino.

En base a ello tomando como principal referencia la curva trazada por un concreto normal sin reemplazo alguno que se denomina como Muestra 1 y realizando una breve comparación con respecto a las curvas generadas por las otras muestras se puede definir que el concreto ha perdido propiedades de resistencia a medida que se ve aumentado el reemplazo del polietileno de alta densidad. Sin desmeritar esta razón así mismo se puede establecer que el concreto con 10% de reemplazo definido como Muestra 2, aunque inicialmente supero la resistencia de un concreto normal, con el pasar de los días este se ubicó por debajo de la curva establecida por la muestra 1 en valores no muy altos pero que una vez cumplió su edad de endurecimiento logro sobrepasar el nivel de la resistencia requerida de 21 *MPa*.

En cuanto a las curvas de resistencia del concreto con reemplazos de 20% y 30% muestra 3 y 4 respectivamente, al término de los 28 días no supero el 70% de la resistencia que se requería. (Ver Tabla 28 y Tabla 29).

Causa de no cumplir la resistencia se puede relacionar en el hecho que al haber un aumento parcial de reemplazo de plásticos por agregado fino en la elaboración de la mezcla, la

cantidad de agua que absorbe este material es muy baja por ende a mayor porcentaje de reemplazo la adherencia y compactación entre las partículas de agregados es muy deficiente y como consecuencia la baja resistencia a compresión, pues al aplicar los ensayos la presión que se ejerce sobre los especímenes cilíndricos hace que la fractura del concreto se dé principalmente en donde hay acumulación de plástico como se muestra en la (Figura 24).

En segundo lugar, tomando como referencia los resultados que se han reflejado tanto en la (Figura 18) como (Figura 19) se ha podido establecer que a mayor reemplazo de plástico HDPE por agregado fino, el peso del concreto en estado seco es menor pudiéndose definir como un concreto liviano. Al agregar el plástico el volumen del concreto aumento y su peso disminuyo característica que se dio gracias a la influencia del plástico HDPE y su propiedad de ser de alta densidad.

Teniendo en cuenta las investigaciones realizadas, los resultados obtenidos y un breve análisis. Se puede evidenciar que la resistencia obtenida por la muestra 2 ( 10% reemplazo) en comparación con la investigación realizada a la implementación de PVC, (Admile & Nemade, 2020), han dado resultados positivos y han superado la resistencia requerida, con diferencia que en esta ultima el porcentaje de reemplazo es mayor con un 15% y 30% respectivamente, determinando así que el uso del PVC, como reemplazo del agregado fino brinda mejores condiciones y propiedades que la implementación del polietileno de alta densidad.

Con respecto a la investigación realizada en la India, donde se utilizaron a los residuos plásticos como remplazo del agregado en un 5%, se evidencio que la resistencia del concreto no se ha afectado, misma tendencia generada por la implementación del polietileno de alta densidad como remplazo del agregado con un 10%, la única observación a tener en cuenta es que el agregado a remplazar en cada una de las investigaciones es diferente. En base a ello el uso de

plásticos como agregados, ofrece propiedades positivas en cuanto a la resistencia a compresión del concreto.

Así mismo al implementar el plástico HDPE se ha modificado el peso y volumen, variables que han mejorado la densidad del concreto, con una disminución notable en este. Los resultados han sido similares con lo descrito por el artículo de la investigación realizada en Colombia, donde se implementan los residuos plásticos electrónicos, aunque tanto el material que se reemplaza como el que se utiliza para reemplazar es distinto, en ambas investigaciones, los dos plásticos permiten que el concreto mejore en dicha propiedad.

## 8. CONCLUSIONES

- En cuanto a la gradación de los agregados, el plástico ha sido el material que ha presentado el mayor módulo de finura respecto al agregado fino, pues las partículas poseen forma constante y se han retenido en su mayoría en el Tamiz N°8 Y N°16 provocando que la curva de granulometría se encuentre fuera de sus límites.
- En relación a la masa unitaria suelta y compacta tanto el agregado grueso como el fino han dado resultados muy similares y acordes a sus propiedades, a diferencia del plástico HDPE, aunque no es su ensayo natural para determinar la densidad volumétrica se pudo observar que al ser un material que posee elasticidad y cierta dureza es aún más difícil la compactación entre partículas arrojando así valores muy por debajo de un agregado normal.
- La caracterización por densidad y absorción por parte de los agregados han dado resultados acordes a sus propiedades, en el caso del plástico esta práctica fue nula pues las evaluaciones que se llevan a cabo no tuvieron cambio alguno en el material.
- La mezcla de concreto que demostró mejores resultados fue la Muestra 2 diseñada con Resistencia de 21 (*MPa*) y 10 % de reemplazo de plástico HDPE por agregado fino, se observó una resistencia similar de 98,6% a la de un concreto normal.
- La muestra 3 y 4 mezcla diseñada para resistencia de 21 (*MPa*) con 20% y 30% de reemplazo respectivamente de plástico HDPE por agregado fino, han alcanzado una evolución cercana al 60% del total de la resistencia requerida, su diferencia con relación a la resistencia obtenida por la muestra 1 concreto normal es casi del 50%.
- Aunque el costo aumenta a medida que se da el reemplazo de plástico HDPE por agregado fino son varias las propiedades que han presentado mejoras
- En base a los resultados y lo descrito anteriormente, se puede usar el plástico HDPE triturado como reemplazo del agregado fino en porcentajes menores o iguales al 10% en la producción de concreto

para elementos estructurales que requieran una resistencia de  $21(MPa)$  y propiedades de material liviano, además de la inclusión de pruebas a este tipo de materiales en obras de construcción de gran calibre, así mismo se da oportunidades de impulsar e incluir nuevamente el plástico HDPE reciclado en ciclo productivo y también con la opción de disminuir en un pequeño porcentaje la explotación de agregado pétreos.

- Al funcionar el concreto con reemplazo de 10 % se puede buscar la forma de disminuir costo en cuanto al plástico HDPE para buscar beneficios económicos futuros.

## 9. RECOMENDACIONES

- Desarrollar una campaña experimental y un análisis detallado sobre el reemplazo de plástico HDPE por agregado fino respecto al volumen absoluto del mismo, así mismo evaluar y comparar.
- Evaluar estos tipos de concreto en pruebas de sismo resistencia o modelado programado.
- El plástico al ser un material elástico se recomienda un estudio y sometimientos de especímenes cilíndricos a pruebas de tracción.
- Desarrollar un estudio sobre la implementación de aditivos en la elaboración de este tipo de concretos y las propiedades que desarrolla el mismo.
- Se recomienda llevar un estudio a más fondo del concreto con plástico HDPE y someterlo a diferentes temperaturas y analizar otras propiedades diferentes.

## 10. REFERENCIAS

- Admile, P., & Nemade, P. (2020). Performance of Structural Concrete Using Recycled Plastics as Coarse Aggregate. En P. Admile, & P. Nemade, *Lecture Notes in Civil Engineering* (págs. 347-359). Springer.
- Amaya, J. (2019). *En Bogotá se producen 1.266 toneladas de residuos plásticos al día*. Bogota: Conexion Capital.
- Aristegui Maquinaria. (06 de 08 de 2015). *Aristegui Maquinaria*. Obtenido de <https://www.aristegui.info/usos-y-ventajas-del-hdpe/>
- Bahoria, B., Parbat, D., Nagarnaik, P., & Waghe, U. (2017). Effect of characterization properties on compressive strength of concrete containing quarry dust and waste plastic as fine aggregate. *International Journal of Civil Engineering and Technology* (págs. 699-707). IAEME Publication.
- Barcelona, U. d. (2011). *Materials*. Obtenido de <http://www.ub.edu/cmematerials/es/content/polietileno-de-alta-densidad>
- Camacol. (12 de 12 de 2019). *Camacol Bogota y Cundinamarca*. Obtenido de <https://ww2.camacolcundinamarca.co/724-nueva-decada.html>
- Cemex. (5 de Abril de 2019). *Cemex*. Obtenido de <https://www.cemex.com.pe/-/por-que-se-determina-la-resistencia-a-la-compresion-en-el-concreto->
- Dane. (2019). *Dane Informacion para todos*. Obtenido de [uccion/estadisticas-de-concreto-premezclado](http://www.dane.gov.co/estadisticas-de-concreto-premezclado)
- Garcia, T., Vargas, M., & Serna, P. (2016). Bond of reinforcing bars to steel fiber reinforced concrete. *Construction and Building Materials* (págs. 275-284). Elsevier Ltd.
- Greenpeace. (2020). *Consumismo*. España: Greenpeace.
- Hamsavathi, K., Prakash, K., & Kavimani, V. (2020). Green high strength concrete containing recycled Cathode Ray Tube Panel Plastics (E-waste) as coarse aggregate in concrete beams for structural applications. *Journal of Building Engineering*. Elsevier Ltd.
- Hernández, E. E. (2019). Influencia de el plástico áridos reciclados en las propiedades de endurecimiento

de los hormigones . *Escuela de Posgrado en Arquitectura, Universidad Nacional Autónoma de México, México.*

ICONTEC. (1966). *Norma Técnica Colombiana NTC 30. Cemento Portland. Clasificación y Nomenclatura.* Bogota.

ICONTEC. (1982). *Norma Técnica Colombiana NTC 31. Ingeniería Civil y Arquitectura. Cemento. Definiciones 1982.* Bogota.

ICONTEC. (1992). *Norma Técnica Colombiana 396. Ingeniería civil y arquitectura. Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto.* Bogota.

ICONTEC. (1995). *Norma Técnica Colombiana NTC 176. Ingeniería civil y arquitectura. Método de ensayo para determinar la densidad y la absorción del agregado grueso.* Bogota.

ICONTEC. (1995). *Norma Técnica Colombiana NTC 237. Ingeniería civil y arquitectura. Método para determinar la densidad y la absorción del agregado fino.* Bogota.

ICONTEC. (1995). *Norma Técnica Colombiana NTC 78. Ingeniería Civil y Arquitectura. Método para determinar por lavado el material que pasa el tamiz 75  $\mu$ m en agregados minerales.* Bogota.

ICONTEC. (1995). *Norma Técnica Colombiana NTC 92. Ingeniería civil y arquitectura. Determinación de la masa unitaria y los vacíos entre partículas de agregados.* Bogota.

ICONTEC. (1999). *Norma Técnica Colombiana NTC 221. Ingeniería civil y arquitectura. Método de ensayo para determinar la densidad del cemento hidráulico.* Bogota.

ICONTEC. (2000). *Norma Técnica Colombiana NTC 174. Concretos. Especificaciones de los agregados para el concreto.* Bogota.

ICONTEC. (2000). *Norma Técnica Colombiana NTC 550. Concretos. Elaboración y cuadro de especímenes de concreto en obra.* Bogota.

ICONTEC. (2007). *Norma Técnica Colombiana NTC 77. Concretos. Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y grueso.* Bogota.

ICONTEC. (2010). *Norma Técnica Colombiana NTC 673. Concretos. Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.* Bogota.

- Jeevitha, B., & Urs, N. (2019). Study on mechanical properties of cement concrete for partial replacement of coarse aggregate by shredded plastic and cement by fly ash and metakaolin. En *Lecture Notes in Civil Engineering* (pág. 177.187). Springer.
- Jonbi, J., Meutia, W., Indra, A., & Firdaus, A. (2019). Mechanical properties of polypropylene plastic waste usage and high-density polyethylene in concrete. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (pág. 1). IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.
- Kandasamy, R., & Murugesan, R. (2014). Study on fibre reinforced concrete using manufactured sand as fine aggregate and domestic waste plastics as fibres. *Journal of Structural Engineering (India)* (págs. 521-527). India: Structural Engineering Research Centre.
- Khazaal, S., Mustafa, M., Sarah, K., & Kadhum, J. (2020). Recycle of waste plastic materials (Polyvinyl chloride (pvc) and polypropylene (pp)) as a fine aggregates for concrete. *International Journal of Advanced Science and Technology* (págs. 911-918). Science and Engineering Research Support Society.
- Naciones Unidas. (2019). *Poblacion* . UN.
- Niu, J., Zuo, F., Wang, J., & Xie, C. (2018). Freeze-Thaw Damage Model of Plastic-Steel Fiber Reinforced Lightweight Aggregate Concrete. *Jianzhu Cailiao Xuebao/Journal of Building Materials* (págs. 235-240). Tongji University.
- Ocampo, J., Morales, Y., & Rivera, G. (2016). *Proyección de la demanda de materiales de construcción en colombia por medio de analisis de flujo de materiales y diamica de sistemas*. Medellin: Universidad de Medellin.
- Rahim, N., Salehuddin, S., & Ibrahim, N. (2013). Use of plastic waste (high density polyethylene) in concrete mixture as aggregate replacement. *Advanced Materials Research* (págs. 265-269). Advanced Materials Research.
- Rivera, G. (2009). *AGREGADOS PARA CONCRETO O MORTERO*.
- Roca, I. (2005). *Estudio de las propiedades y aplicaciones industriales del polietileno de alta densidad (PEAD)*. Guatemala: Universidad de San Carlos.

Sabau, M., & Vargas, J. (2018). Use of e-plastic waste in concrete as a partial replacement of coarse mineral aggregate. *Department of Civil and Environmental Engineering, Universidad de la Costa, Barranquilla, Techno-Press, 377-384.*

Sanchez, D. (2001). *Tecnología del concreto y el mortero*. Quinta: Bhandar Editores.

Scopus. (05 de 2020). *Scopus*.

Terreros, L., & Carvajal, I. (2016). *Análisis de las propiedades mecánicas de un concreto convencional adicionando fibra de cañamo*. Bogota: Universidad Católica de Colombia.

Zita, A. (2011). *Impacto ambiental: definición, causas y evaluación - Toda Materia*. Obtenido de Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC): [//www.todamateria.com/impacto-ambiental/](http://www.todamateria.com/impacto-ambiental/)

## 11. ANEXOS

Fotografías proceso campaña experimental.



Caracterización de agregados.



## Inclusión del plástico HDPE en el mezclado del concreto



## Verificación de mezcla y su asentamiento



Elaboración de cilindros compactación mediante varilla y martillo de goma



Desenfofrado de cilindros



Ensayo a compresión y muestra de cilindros fracturados.

FORMATOS ANEXADOS POR LABORATORIO DAINCONC



## DERIVADOS REY

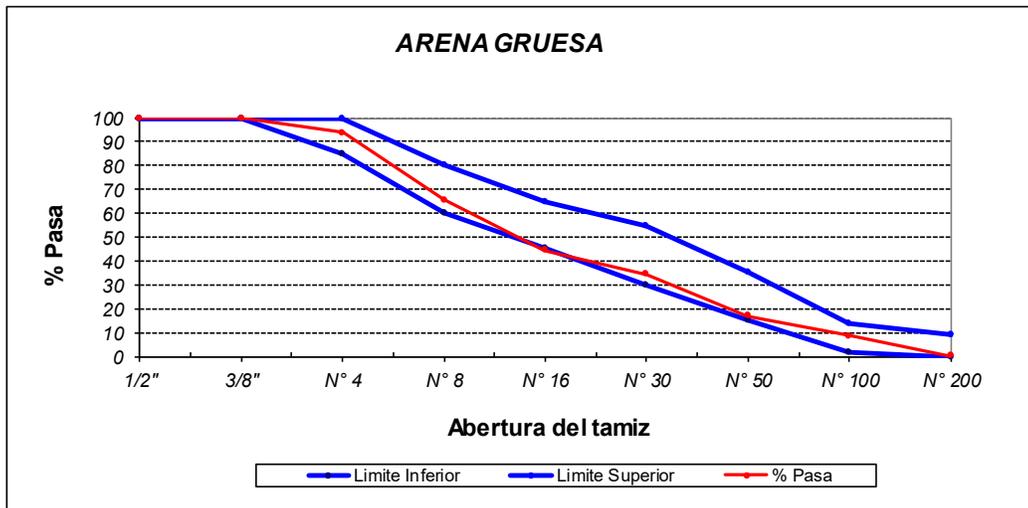
CARACTERISTICAS FISICAS DE ARENA GRUESA

**MATERIAL:** ARENA GRUESA **FECHA:** 03/08/2020  
**CANTERA:** \_\_\_\_\_ **MUESTRA:** 1  
**CLIENTE:** \_\_\_\_\_ **HORA:** 7:50 a.m

ARENA GRUESA	Tamiz Estándar	Masa Retenida	%Retenido	Retenido acumulado	% Pasa	Limite Inferior	Limite Superior
	1/2"	0	0,0	0,0	100,0	100	100
	3/8"	0	0,0	0,0	100,0	100	100
	N° 4	60	6,3	6,3	93,7	85	100
	N° 8	268	28,1	34,4	65,6	60	80
	N° 16	200	21,0	55,4	44,6	45	65
	N° 30	97,0	10,2	65,6	34,4	30	55
	N° 50	165	17,3	82,9	17,1	15	35
	N° 100	81,0	8,5	91,4	8,6	2	14
	N° 200	80,0	8,4	99,8	0,2	0	9
Fondo	2,0	0,2	100,0	0,0			

Norma NTC - 174

Masa Inicial	<b>1000,0</b>		Modulo de Finura:	<b>3,36</b>
Masa Inicial Seca	<b>953,0</b>	P2	Materia Organica:	<u>1</u>
Masa Final seca despues de lavado	<b>911,0</b>	P3	pH:	<u>3</u>
Sumatoria de masas retenidas	<b>953,0</b>			
Fondo despues de tamizado	<b>2,0</b>			
Humedad W%	<b>4,9</b>	953		



OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

**REALIZO** **Ing. Elquier Daza**  
**DIRECTOR OPERATIVO**



REGISTRO DE DATOS DE MASA UNITARIA SUELTA O COMPACTA

Muestra No.: **1**  
Fecha Toma: **3/08/2020**  
Fecha Ensayo: **4/08/2020**

Mina:  
Tipo de Agregado: **ARENA GRUESA**  
Planta:

Masa Unitaria Suelta **X** Masa Unitaria Compacta     

MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
Peso del recipiente : P1 (kg).	1534	1534	1534	***
Peso de la muestra seca y del recipiente P2 (kg).	6238,00	6218,00	6224,00	***
Peso de la muestra seca P3 = P2 - P1 (kg).	4704	4684	4690	***
Volumen definido del recipiente. V (m <sup>3</sup> ).	0,002981	0,002981	0,002981	***
Masa Unitaria (kg/m <sup>3</sup> ). M:U: = P3/V.	1578	1571	1573	<b>1574</b>

**OBSERVACIONES:** MASA UNITARIA EN SECO

Ing. Elquier Daza

ELABORO

DIRECTOR OPERATIVO



### REGISTRO DE DATOS DE MASA UNITARIA SUELTA O COMPACTA

Muestra No.: **1**  
Fecha Toma: **3/08/2020**  
Fecha Ensayo: **4/08/2020**

Mina: \_\_\_\_\_  
Tipo de Agregado: **ARENA GRUESA**  
Planta: \_\_\_\_\_

Masa Unitaria Suelta \_\_\_\_ Masa Unitaria Compacta X

MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
Peso del recipiente : P1 (kg).	1534	1534	1534	***
Peso de la muestra seca y del recipiente P2 (kg).	6653,00	6656	6680,00	***
Peso de la muestra seca P3 = P2 - P1 (kg).	5119	5122	5146	***
Volumen definido del recipiente. V (m <sup>3</sup> ).	0,002981	0,002981	0,002981	***
Masa Unitaria (kg/m <sup>3</sup> ). M:U: = P3/V.	1717	1718	1726	<b>1721</b>

**OBSERVACIONES:** MASA UNITARIA EN SECO

Ing. Elquier Daza

ELABORO

DIRECTOR OPERATIVO



### REGISTRO DE DENSIDAD Y ABSORCIÓN EN AGREGADOS FINOS

Muestra No.: **Nº1**  
Fecha Toma: 3/08/2020  
Fecha Ensayo: 4/08/2020

Mina:  
Tipo de Agregado: **ARENA GRUESA**  
Planta:

B = Masa al aire de la muestra secada al horno (g).	489
A=Masa al aire muestra SSS (g)	500,0
C=Masa del picnómetro lleno de agua (g)	629
D=Masa del picnómetro con agua hasta su capacidad y muestra (g)	938
Ds Aparente (g/cm3) $B/(C+A-D)$	<b>2,56</b>
Ds Aparente SSS (g/cm3) $A/(C+A-D)$	<b>2,62</b>
Ds Nominal (g/cm3) $B/(C+B-D)$	<b>2,72</b>
Absorción (%). $((A-B)/B)*100$	<b>2,25</b>

**OBSERVACIONES:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
**ELABORO**

Ing. Elquier Daza  
**DIRECTOR OPERATIVO**



# GRANULOMETRIA

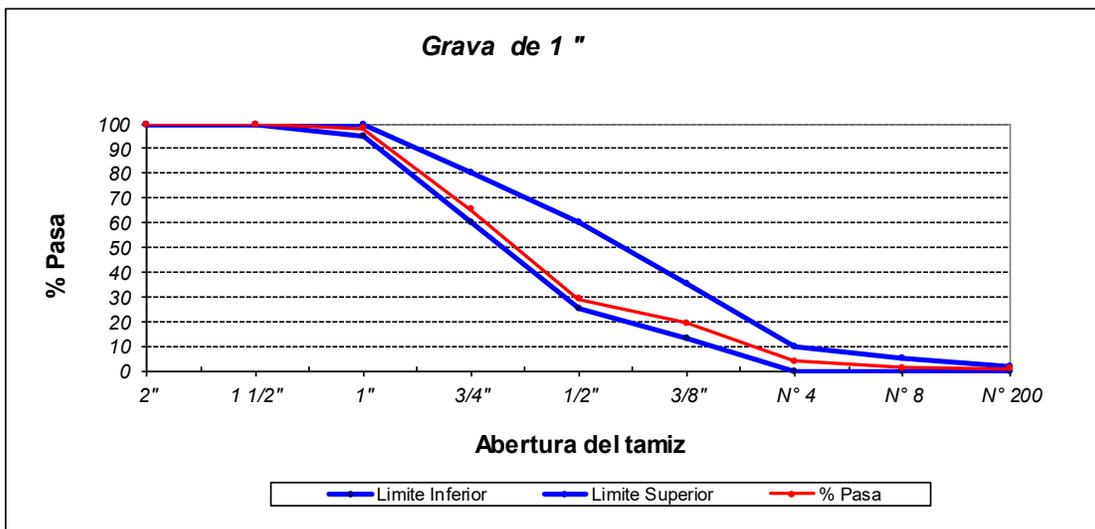
CARACTERISTICAS FISICAS DE GRAVA DE 1"

MATERIAL: GRAVA DE 1"      FECHA: 5 de agosto de 2020  
 CANTERA: \_\_\_\_\_      HORA: 9:30 a.m  
 CLIENTE: \_\_\_\_\_      MUESTRA: 2

**Norma NTC - 174**

GRAVA DE 1"	Tamiz Estándar	Masa Retenida	%Retenido	Retenido acumulado	% Pasa	Limite Inferior	Limite Superior
	2"	0	0,0	0,0	100,0	100	100
1 1/2"	0	0,0	0,0	100,0	100	100	
1"	58	2,0	2,0	98,0	95	100	
3/4"	976	32,9	34,8	65,2	60	80	
1/2"	1079	36,3	71,1	28,9	25	60	
3/8"	283	9,5	80,6	19,4	13	35	
N° 4	463	15,6	96,2	3,8	0	10	
N° 8	81	2,7	99,0	1,0	0	5	
N° 200	9	0,3	99,3	0,7	0	2	
Fondo	22,0	0,7	100,0	0,0			

Masa Inicial **3000,0**      Tamaño máximo 1 1/2"  
 Masa Inicial Seca **2971**      P2      Tamaño máximo 1"  
 Masa Final seca despues de lavado **2951**      P3      Perdida en tamizado 20  
 Sumatoria de masas retenidas **2971**  
 Fondo despues de tamizado **2**  
 Humedad **1,0**      2971



OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

*Handwritten signature*

\_\_\_\_\_ **REALIZO**

Ing. Elquier Daza  
**DIRECTOR OPERATIVO**



REGISTRO DE DATOS DE MASA UNITARIA SUELTA O COMPACTA

Muestra No.: **2**  
Fecha Toma: 5/08/2020  
Fecha Ensayo: 6/08/2020

Mina:  
Tipo de Agregado: GRAVA 1"  
Planta:

Masa Unitaria Suelta  X  Masa Unitaria Compacta

MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
Peso del recipiente : P1 (kg).	1533	1533	1533	***
Peso de la muestra seca y del recipiente P2 (kg).	<b>6032</b>	<b>6021</b>	<b>6089</b>	***
Peso de la muestra seca P3 = P2 - P1 (kg).	4499	4488	4556	***
Volumen definido del recipiente. V (m <sup>3</sup> ).	0,002981	0,002981	0,002981	***
Masa Unitaria (kg/m <sup>3</sup> ). M:U: = P3/V.	1509	1506	1528	<b>1514</b>

OBSERVACIONES:  Masa unitaria suelta en seco

Ing. Equier Daza

ELABORO

DIRECTOR OPERATIVO



### REGISTRO DE DATOS DE MASA UNITARIA SUELTA O COMPACTA

Muestra No.: 

<b>2</b>
----------

  
Fecha Toma: 

5/08/2020
-----------

  
Fecha Ensayo: 

6/08/2020
-----------

Mina: 

--

  
Tipo de Agregado: 

GRAVA 1''
-----------

  
Planta: 

--

Masa Unitaria Suelta \_\_\_\_ Masa Unitaria Compacta X

MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
Peso del recipiente : P1 (kg).	1534	1534	1534	***
Peso de la muestra seca y del recipiente P2 (kg).	<b>6465,00</b>	<b>6448,00</b>	<b>6462,00</b>	***
Peso de la muestra seca P3 = P2 - P1 (kg).	4931	4914	4928	***
Volumen definido del recipiente. V (m <sup>3</sup> ).	0,002981	0,002981	0,002981	***
Masa Unitaria (kg/m <sup>3</sup> ). M:U: = P3/V.	1654	1648	1653	<b>1651,9</b>

**OBSERVACIONES:** Masa unitaria compacta en seco

Ing. Equier Daza

ELABORO

DIRECTOR OPERATIVO



### REGISTRO DE DENSIDAD Y ABSORCIÓN EN AGREGADOS GRUESOS

Muestra No.: **2**  
Fecha Toma: 6/08/2020  
Fecha Ensayo: 7/08/2020

Mina:  
Tipo de Agregado: GRAVA 1"  
Planta:

A = Masa muestra seca (g).	4912,0
B = Masa al aire muestra SSS (g).	5000,0
C = Masa en el agua de la muestra (g).	3055,0
Ds Aparente (g/cm <sup>3</sup> )      A/(B-C)	<b>2,53</b>
Ds Aparente SSS (g/cm <sup>3</sup> )      B/(B-C)	2,57
Ds Nominal (g/cm <sup>3</sup> )      A/(A-C)	2,65
Absorción (%).      (B-A)/(A)*100	<b>1,79</b>

**OBSERVACIONES:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
ELABORO

Ing. Elquier Daza  
DIRECTOR OPERATIVO



# DERIVADOS REY

## CARACTERISTICAS FISICAS DE PLASTICO HDPE

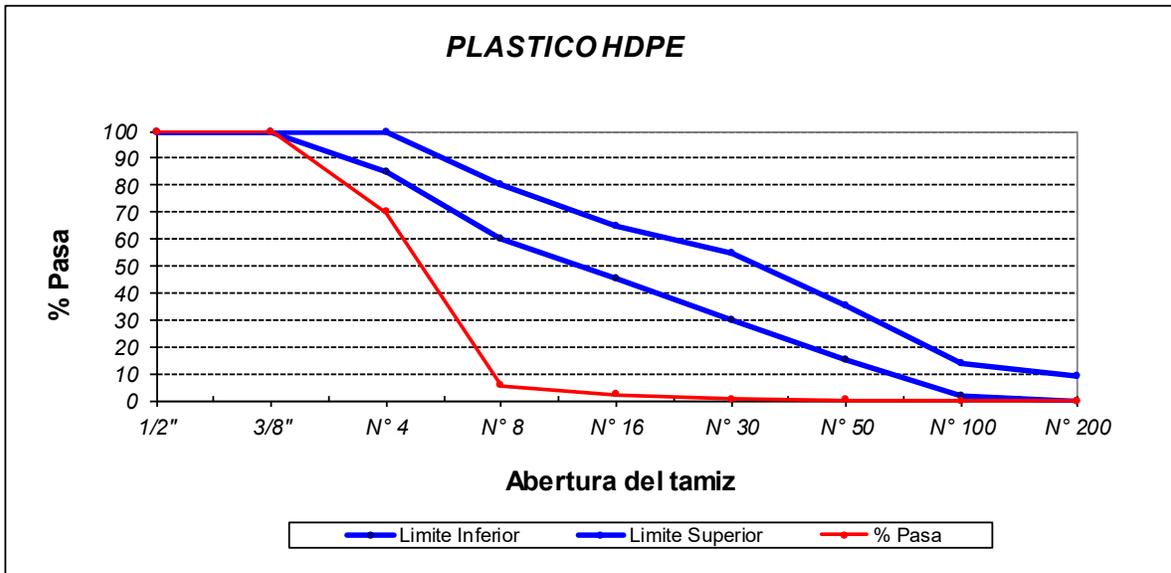
MATERIAL: PLASTICO HDPE      FECHA: 03/08/2020  
 CANTERA: \_\_\_\_\_      MUESTRA: 1  
 CLIENTE: \_\_\_\_\_      HORA: 9:50 a. m.

**Norma NTC - 174**

PLASTICO HDPE	Tamiz Estándar	Masa Retenida	%Retenido	Retenido acumulado	% Pasa	Limite Inferior	Limite Superior
	1/2"	0	0,0	0,0	100,0	100	100
	3/8"	3	0,2	0,2	99,8	100	100
	N° 4	445	29,7	29,9	70,1	85	100
	N° 8	970	64,7	94,5	5,5	60	80
	N° 16	50	3,3	97,9	2,1	45	65
	N° 30	24,0	1,6	99,5	0,5	30	55
	N° 50	7	0,5	99,9	0,1	15	35
	N° 100	1,0	0,1	100,0	0,0	2	14
	N° 200	0,0	0,0	100,0	0,0	0	9
Fondo	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0		

Masa Inicial      **1500,0**  
 Masa Inicial Seca      **1482,0**      P2  
 Masa Final seca despues de lavado      **1458,0**      P3  
 Sumatoria de masas retenidas      **1500,0**  
 Fondo despues de tamizado      **0,0**  
 Humedad W%      **1,2**      1500

Modulo de Finura: **5,22**  
 Materia Organica: \_\_\_\_\_  
 pH: \_\_\_\_\_



OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Ing. Elquier Daza  
**DIRECTOR OPERATIVO**

**REALIZO**



REGISTRO DE DATOS DE MASA UNITARIA SUELTA O COMPACTA

Muestra No.: **1**  
Fecha Toma: **3/08/2020**  
Fecha Ensayo: **4/08/2020**

Mina:  
Tipo de Agregado: **PLASTICO HDPE**  
Planta:

Masa Unitaria Suelta X Masa Unitaria Compacta \_\_\_\_\_

MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
Peso del recipiente : P1 (kg).	1533	1533	1533	***
Peso de la muestra seca y del recipiente P2 (kg).	3046,00	3068,00	3065,00	***
Peso de la muestra seca P3 = P2 - P1 (kg).	1513	1535	1532	***
Volumen definido del recipiente. V (m <sup>3</sup> ).	0,00298	0,00298	0,00298	***
Masa Unitaria (kg/m <sup>3</sup> ). M:U: = P3/V.	508	515	514	<b>512</b>

**OBSERVACIONES:** MASA UNITARIA EN SECO

Ing. Elquier Daza

ELABORO

DIRECTOR OPERATIVO



REGISTRO DE DATOS DE MASA UNITARIA SUELTA O COMPACTA

Muestra No.: **1**  
Fecha Toma: **3/08/2020**  
Fecha Ensayo: **4/08/2020**

Mina:  
Tipo de Agregado: **PLASTICO HDPE**  
Planta:

Masa Unitaria Suelta \_\_\_\_ Masa Unitaria Compacta X

MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
Peso del recipiente : P1 (kg).	1533	1533	1533	***
Peso de la muestra seca y del recipiente P2 (kg).	3150,00	3155	3139,00	***
Peso de la muestra seca P3 = P2 - P1 (kg).	1617	1622	1606	***
Volumen definido del recipiente. V (m <sup>3</sup> ).	0,002981	0,002981	0,002981	***
Masa Unitaria (kg/m <sup>3</sup> ). M:U: = P3/V.	542	544	539	<b>542</b>

**OBSERVACIONES:** MASA UNITARIA EN SECO

Ing. Equier Daza

ELABORO

DIRECTOR OPERATIVO

FORMATOS DISEÑOS DE MEZCLA EXPEDIDOS POR LABORATORIO DAINCON

	<b>RECETA PARA MEZCLAS DE LABORATORIO</b>	<b>PROYECTO:</b> LABORATORIO DAICONC SAS	<b>MEZCLA No.:</b> 1	<b>FECHA:</b> 7/09/2020						
<b>DESCRIPCION PROYECTO:</b>	<b>PROYECTO DE GRADO CON HDPE</b>									
<b>Cliente</b>	<b>MAICOL - BRAYAN</b>									
	Resistencia Especificada (kg/cm <sup>2</sup> ): <u>210</u> Contenido de Aire esperado (%): _____	Asentamiento/Consistencia de Diseño (mm): <u>100</u> Volumen a mezclar (litros): <u>15</u>	Fecha de elaboración de la mezcla: <u>7-sep-20</u>							
MATERIAL	PROCEDENCIA	DENSIDAD g/cm <sup>3</sup>	VOLUMEN litros	PESO SECO kg	PESO MEZCLA	UNIDAD	HUMEDAD %	ABSORCION %	HUMEDAD LIBRE, %	PESO CORREGIDO MEZCLA
CEMENTO 1	CEMEX UG TIPO 1	2,95	152	447	6,71	kg	-	-	-	6,71
AGUA	EAAB	1,00	192	192	2,88	kg	-	-	-	1,85
ARENA1	RIO SOGAMOSO	2,56	264	677	10,16	kg	8,40	2,25	6,15	11,01
PET	HDPE	0,00	0	0	0,00	kg			0,00	0,00
GRAVA 1	-	2,53	392	991	14,87	kg	4,50	1,79	2,71	15,53
GRAVA 2				0	0,00	kg			0,00	0,00
ADITIVO 1		0,00	0	0	0,0	g	-	-	-	0,00
TOTAL	-	-	1000	2307	-	-	-	-	-	-
Rendimiento (Peso Unitario Real / Peso Unitario Teórico): _____		Relación agua-cemento final: <u>0,43</u>		Adición (Reducción) Aditivo 3 (g): _____						
<b>OBSERVACIONES:</b>										
EJECUTO VERIFICACION: _____ Maicol-Bravan Laboratorista					REVISO: _____  Elquier Daza R Director Operativo					

**RECETA PARA MEZCLAS DE LABORATORIO**PROYECTO:  
LABORATORIO DAICONC SASMEZCLA No.:  
2FECHA:  
7/09/2020DESCRIPCION  
PROYECTO:**PROYECTO DE GRADO CON HDPE**

Cliente

**MAICOL - BRAYAN**Resistencia Especificada (kg/cm<sup>2</sup>): 210Asentamiento/Consistencia de Diseño (mm): 100

Fecha de elaboración de

Contenido de Aire esperado (%): \_\_\_\_\_

Volumen a mezclar (litros): 15la mezcla: 7-sep-20

MATERIAL	PROCEDENCIA	DENSIDAD g/cm <sup>3</sup>	VOLUMEN litros	PESO SECO kg	PESO MEZCLA	UNIDAD	HUMEDAD %	ABSORCION %	HUMEDAD LIBRE, %	PESO CORREGIDO MEZCLA
CEMENTO 1	CEMEX UG TIPO 1	2,95	152	447	6,71	kg	-	-	-	6,71
AGUA	EAAB	1,00	192	192	2,88	kg	-	-	-	1,96
ARENA1	RIO SOGAMOSO	2,56	238	609	9,14	kg	8,40	2,25	6,15	9,90
ARENA 2	HDPE 10%	1,00	68	68	1,02	kg			0,00	1,02
GRAVA 1	-	2,53	351	888	13,32	kg	4,50	1,79	2,71	13,92
GRAVA 2				0	0,00	kg			0,00	0,00
ADITIVO 1							-	-		
TOTAL	-	-	1000	2204	-	-	-	-	-	-

Rendimiento (Peso Unitario Real / Peso  
Unitario Teórico): \_\_\_\_\_Relación agua-  
cemento final: 0,43

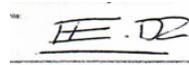
Adición (Reducción) Aditivo 3 (g): \_\_\_\_\_

OBSERVACIONES:

EJECUTO VERIFICACION: \_\_\_\_\_

Maicol-Brayan  
Laboratorista

REVISO: \_\_\_\_\_

  
Elquier Daza R  
Director Operativo

**RECETA PARA MEZCLAS DE LABORATORIO**PROYECTO:  
LABORATORIO DAICONC SASMEZCLA No.:  
1FECHA:  
8/09/2020DESCRIPCION  
PROYECTO:**PROYECTO DE GRADO CON HDPE**

Cliente

**MAICOL - BRAYAN**Resistencia Especificada (kg/cm<sup>2</sup>): 210Asentamiento/Consistencia de Diseño (mm): 100

Fecha de elaboración de

Contenido de Aire esperado (%): \_\_\_\_\_

Volumen a mezclar (litros): 15la mezcla: 8-sep-20

MATERIAL	PROCEDENCIA	DENSIDAD g/cm <sup>3</sup>	VOLUMEN litros	PESO SECO kg	PESO MEZCLA	UNIDAD	HUMEDAD %	ABSORCION %	HUMEDAD LIBRE, %	PESO CORREGIDO MEZCLA
CEMENTO 1	CEMEX UG TIPO 1	2,95	152	447	6,71	kg	-	-	-	6,71
AGUA	EAAB	1,00	192	192	2,88	kg	-	-	-	2,06
ARENA1	RIO SOGAMOSO	2,56	212	543	8,15	kg	8,40	2,25	6,15	8,83
PET	HDPE 20%	1,00	135	135	2,03	kg			0,00	2,03
GRAVA 1	-	2,53	309	782	11,73	kg	4,50	1,79	2,71	12,26
GRAVA 2				0	0,00	kg			0,00	0,00
ADITIVO 1							-	-		
TOTAL	-	-	1000	2099	-	-	-	-	-	-

Rendimiento (Peso Unitario Real / Peso  
Unitario Teórico): \_\_\_\_\_Relación agua-  
cemento final: 0,43

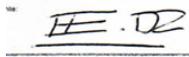
Adición (Reducción) Aditivo 3 (g): \_\_\_\_\_

OBSERVACIONES:

EJECUTO VERIFICACION: \_\_\_\_\_

0  
Laboratorista

REVISO: \_\_\_\_\_

  
Elquier Daza R  
Director Operativo



RECETA PARA MEZCLAS DE LABORATORIO

PROYECTO:  
LABORATORIO DAICONC SAS

MEZCLA No.:  
1

FECHA:  
8/09/2020

DESCRIPCION PROYECTO: **PROYECTO DE GRADO CON HDPE**

Cliente **MAICOL - BRAYAN**

Resistencia Especificada (kg/cm<sup>2</sup>): 210 Asentamiento/Consistencia de Diseño (mm): 100 Fecha de elaboración de la mezcla: 8-sep-20  
Contenido de Aire esperado (%): \_\_\_\_\_ Volumen a mezclar (litros): 15

MATERIAL	PROCEDENCIA	DENSIDAD g/cm <sup>3</sup>	VOLUMEN litros	PESO SECO kg	PESO MEZCLA	UNIDAD	HUMEDAD %	ABSORCION %	HUMEDAD LIBRE, %	PESO CORREGIDO MEZCLA
CEMENTO 1	CEMEX UG TIPO 1	2,95	152	447	6,71	kg	-	-	-	6,71
AGUA	EAAB	1,00	192	192	2,88	kg	-	-	-	2,17
ARENA1	RIO SOGAMOSO	2,56	185	474	7,11	kg	8,40	2,25	6,15	7,71
PET	HDPE 30%	1,00	203	203	3,05	kg			0,00	3,05
GRAVA 1	-	2,53	268	678	10,17	kg	4,50	1,79	2,71	10,63
GRAVA 2				0	0,00	kg			0,00	0,00
ADITIVO 1							-	-		
TOTAL	-	-	1000	1994	-	-	-	-	-	-

Rendimiento (Peso Unitario Real / Peso Unitario Teórico): \_\_\_\_\_ Relación agua-cemento final: 0,43 Adición (Reducción) Aditivo 3 (g): \_\_\_\_\_

OBSERVACIONES:

EJECUTO VERIFICACION: \_\_\_\_\_

Maicol-Bravan  
Laboratorista

REVISO: \_\_\_\_\_

Elouier Daza R  
Director Operativo





# REPORTE RESULTADOS RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CONCRETOS

Codigo	FORD-047
Version	01
Fecha de Emisión	28/10/2014
Páginas	1 de 1

Cliente:	Fecha recepción:	7/09/2020
Contacto:	Telefono:	Orden de trabajo:
Proyecto: Muestra 2 (10% reemplazo plastico HDPE)	Informe N.	2 - 20

Sede Laboratorio Cra 90 # 88 A- 07 (Piso 1) Bogotá - Tele-fax (057) 4569832

## PORCENTAJES PROMEDIO DE EVOLUCION POR EDAD

3 Días	35 - 45%	7 Días	70 - 80%	28 Días	> 100%
--------	----------	--------	----------	---------	--------

## RESISTENCIA Kg/cm2

Cod. Int.	Cod. Cliente	Fecha Toma	Fecha ensayo	Elemento fundido	Resistencia diseño Kg/Cm2	Edad (Días)	Cilindro # 1,KN	Cilindro # 2,KN	Promedio, Kg/cm2	PSI	% Evolución
O01		7/09/2020	14/09/2020	MUESTRA N° 2	210	7	74,7		93,9	1342,0	44,7
O02		7/09/2020	14/09/2020		210	7	72,1		90,7	1295,3	43,2
O03		7/09/2020	21/09/2020		210	14	114,2		143,6	2051,6	68,4
O04		7/09/2020	21/09/2020		210	14	124,6		156,7	2238,5	74,6
O05		7/09/2020	5/10/2020		210	28	275,1		346,0	4942,2	164,7
O06		7/09/2020	5/10/2020		210	28	276,7		348,0	4971,0	165,7

Ensayo para determinar la resistencia a compresión. NTC 673

Observaciones

Ejecutó: Est Ing. Maicol-Brayan  
Técnico de laboratorio

Revisó: Ing. Elquier Daza R.  
Director de Laboratorio





