



**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS**  
**DE MEZCLAS DE CONCRETO**  
**QUE INCORPOREN**  
**PLÁSTICOS DESECHADOS NO CONTAMINANTES**

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

**Para optar por el título de**

**INGENIERO CIVIL**

Jesús Antonio Fernández Fernández & Luis David Rosciano Paganelli

Tutor: Ing. Heriberto Echezuría

Junio 2019



FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS  
DE MEZCLAS DE CONCRETO  
QUE INCORPOREN  
PLÁSTICOS DESECHADOS NO CONTAMINANTES**

Este jurado; una vez realizado el examen del presente trabajo ha evaluado su contenido con el resultado: DIECISIETE PUNTOS.

**JURADO EXAMINADOR**

Nombre: Yelitza Sirit

Firma: S. Sirit

Nombre: Wilson Gonzales

Firma: Wilson Gonzales

Nombre: Heriberto Echezuría

Firma: Heriberto Echezuría



Jesús Antonio Fernández Fernández & Luis David Rosciano Paganelli

Tutor: Ing. Heriberto Echezuría

Junio 2019

*Dedico este trabajo, en primer lugar, a mi familia, concretamente, a mis padres, mi hermana, mis abuelos y mis tíos, quienes siempre me han apoyado en mis derrotas y celebrado mis éxitos; también a mis profesores, que han sabido sembrar sus enseñanzas para darme las herramientas que abrirán mi camino profesional y finalmente, a mis amigos, con los que he compartido mis años de carrera y a quienes de seguro, nunca olvidaré.*

**Jesús Antonio Fernández Fernández**

*Quisiera dedicarle tanto mis años de carrera de pre grado como este trabajo, a mi madre, por permitirme estudiar en una universidad tan prestigiosa bajo cualquier costo, por estar siempre ahí en los momentos más difíciles, celebrando las notas altas y apoyándome en las bajas; a mi hermano y a mis abuelos maternos, por confiar siempre en mí; a mis amigos, que se han vuelto parte importante de mi desarrollo personal y profesional.*

**Luis David Rosciano Paganelli**

## **Agradecimientos**

v

*Primeramente a Dios y a la Virgen, por darme la fuerza necesaria para culminar con éxito mi carrera y llevar a cabo este proyecto.*

*Al Ing. Heriberto Echezuría, por apoyarnos durante este estudio e instarnos siempre a dar nuestro mayor esfuerzo para alcanzar las metas con éxito.*

*A las empresas que nos ayudaron con la obtención y procesamiento de los residuos plásticos, que son Electroreciclaje JL, C.A y Corporación Korclass, C.A, ya que sin su apoyo hubiese sido imposible la realización de este trabajo.*

*Al personal docente y a los técnicos de los laboratorios de materiales y suelos de la Universidad Católica Andrés Bello, por apoyarnos con gran disposición durante todas las pruebas realizadas y dedicar parte de su tiempo, para guiarnos y apoyarnos a lo largo de este proceso.*

*A mis compañeros de promoción presentes en el laboratorio, por su colaboración y ánimo durante esta investigación.*

**Jesús Antonio Fernández Fernández**

## **Agradecimientos**

vi

*Al Ing. Fernando Sardi, de la Constructora Mafero, C.A. y al Sr. Giacinto Rosciano de Inversiones 5862, C.A., por su apoyo durante el proceso de ejecución de esta tesis, mediante el suministro de materiales, ideas y cualquier otra ayuda necesaria.*

*A la compañía Electroreciclaje JL, C.A., por suministrar todo el plástico necesario para el proyecto y a la Corporación Korclass, C.A. por el posterior triturado del mismo.*

*A nuestro tutor Ing. Heriberto Echezuria, por obligarnos a conseguir la excelencia, dejando a un lado la flojera y la mediocridad, buscando siempre los mejores resultados.*

*A todo el personal técnico de la Universidad Católica Andrés Bello, por estar siempre atentos ante cualquier problema que se presentara y al personal de los laboratorios de materiales y suelos, por su disposición y ayuda.*

**Luis David Rosciano Paganelli**

El concreto es el principal material utilizado en la construcción, está compuesto por cemento, agua y agregados. Debido al incremento anual de desechos electrónicos por sus prontas actualizaciones, muchos equipos quedan obsoletos en poco tiempo, esto origina grandes cantidades de desechos que deben ser dispuestos correctamente en vertederos especiales. El siguiente trabajo de investigación tuvo la finalidad de evaluar el comportamiento de mezclas de concreto que incorporen plásticos desechados no contaminantes, específicamente sustituyendo el agregado fino de las mezclas por elementos periféricos de dichos plásticos en forma triturada, que pudiera ser adaptado a la industria de la construcción nacional.

Presentamos una serie de diseños de mezcla en base a tres relaciones agua-cemento y a su vez, tres relaciones arena-plástico (0%, 50% y 100% de plástico), con el fin de conseguir una especie de envolvente de resultados que nos arrojará la combinación más adecuada en cuanto a: resistencia a compresión, absorción de agua y flamabilidad de las mezclas, siempre buscando la mayor incorporación de plástico triturado posible.

En el proceso de elaboración del concreto se alcanzó una población de veintiséis (26) cilindros estándares de 150mm de diámetro por 300mm de altura, los cuales mediante ensayos realizados a compresión permitieron evaluar las propiedades mecánicas a los 28 días; ocho (8) bloques para los ensayos de flamabilidad y ocho (8) cilindros mayores a los 350 cm<sup>3</sup> para los ensayos de absorción de agua.

Además, se dan conclusiones y recomendaciones acerca de esta sustitución de agregados, a partir de las cuales futuras investigaciones puedan basarse.

## Tabla de Contenidos

viii

Lista de Tablas .....	xi
Lista de Figuras .....	xii
<b>Introducción .....</b>	<b>1</b>
<b>Capítulo 1 - Presentación del Proyecto .....</b>	<b>3</b>
Planteamiento del Problema .....	3
Objetivos .....	4
Objetivo general.....	4
Objetivos específicos .....	4
Alcance y Limitaciones .....	5
Antecedentes de la Investigación .....	5
<b>Capítulo 2 - Marco Teórico.....</b>	<b>9</b>
Residuos Electrónicos o E-waste .....	9
Plástico ABS .....	9
Historia .....	10
Características .....	10
Reciclaje .....	12
Plástico PC .....	12
Historia .....	13
Características .....	13
Reciclaje .....	14
Disponibilidad de los residuos plásticos ABS y PC .....	14
Porcentaje de generación en Venezuela .....	15
Porcentaje de generación a nivel mundial .....	16
Reciclaje de los residuos plásticos ABS y PC .....	17
Aplicación de los residuos plásticos ABS y PC en el área de la construcción .....	17
<b>Capítulo 3 - Marco Metodológico.....</b>	<b>19</b>
Tipo de Investigación .....	19
Diseño de la Investigación .....	19
Población y Muestra .....	19
Variables de Ensayo.....	20
Variables independientes .....	20
Variables dependientes .....	21
Recolección de Datos.....	21
Materiales Empleados.....	21
Fases de Ejecución.....	22
Proceso de obtención de residuos plásticos ABS y PC para el proyecto .....	22
Preparación y caracterización de los agregados .....	24
Granulometría .....	24
Densidad y absorción .....	25
Humedad .....	26

## Tabla de Contenidos

ix

Elaboración del diseño de mezclas .....	27
Preparación de los especímenes de ensayo .....	31
Pesaje de los materiales .....	31
Proceso de mezclado .....	32
Evaluación del asentamiento .....	32
Elaboración de las probetas .....	33
Curado de los especímenes .....	34
Refrentado de los cilindros .....	34
Ensayos realizados .....	36
Ensayo de resistencia a la compresión .....	36
Ensayo de absorción de agua .....	37
Ensayo de flamabilidad del concreto .....	38
Ensayo de flamabilidad del plástico .....	39
<b>Capítulo 4 - Resultados y Análisis .....</b>	<b>41</b>
Ensayo de Granulometría de los Agregados .....	41
Ensayo de Densidad y Absorción de los Agregados .....	42
Ensayo de Humedad de los Agregados .....	43
Ensayo de Asentamiento .....	43
Ensayo de Resistencia a la Compresión del Concreto Endurecido .....	45
Ensayo de Densidad, Absorción y % Vacíos del Concreto Endurecido .....	50
Ensayo de Flamabilidad del Concreto Endurecido .....	54
Ensayo de Flamabilidad del Plástico .....	55
<b>Capítulo 5 - Conclusiones y Recomendaciones .....</b>	<b>56</b>
Conclusiones .....	56
Recomendaciones .....	57
<b>Lista de Referencias .....</b>	<b>58</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>61</b>
Anexo N° 1 - Diseño de Mezcla (0,55-0%) .....	62
Anexo N° 2 - Diseño de Mezcla (0,55-50%) .....	63
Anexo N° 3 - Diseño de Mezcla (0,55-100%) .....	64
Anexo N° 4 - Diseño de Mezcla (0,45-0%) .....	65
Anexo N° 5 - Diseño de Mezcla (0,45-50%) .....	66
Anexo N° 6 - Diseño de Mezcla (0,45-100%) .....	67
Anexo N° 7 - Diseño de Mezcla (0,30-0%) .....	68
Anexo N° 8 - Diseño de Mezcla (0,30-50%) .....	69
Anexo N° 9 - Diseño de Mezcla (0,30-100%) .....	70
Anexo N° 10 - Granulometría del Agregado Grueso .....	71
Anexo N° 11 - Granulometría del Agregado Fino .....	72
Anexo N° 12 - Granulometría del Plástico Triturado .....	73
Anexo N° 13 - Granulometría de la Combinación Arena-Plástico (50:50) .....	74

## Tabla de Contenidos

x

Anexo N° 14 - Densidad, Absorción y Humedad de los Agregados .....	75
Anexo N° 15 - Resistencia a la Compresión de Cada Mezcla .....	76
Anexo N° 16 - Densidad, Absorción y % Vacíos de Cada Mezcla .....	77

## Lista de Tablas

xi

<b>Tabla 2-1.</b>	Propiedades mecánicas y térmicas de los plásticos ABS .....	11
<b>Tabla 2-2.</b>	Propiedades mecánicas y térmicas del plástico PC .....	14
<b>Tabla 3-1.</b>	Población para cilindros de 15cm de diámetro x 30cm de altura .....	20
<b>Tabla 3-2.</b>	Población para cilindros de 10cm de diámetro x 11,5cm de altura .....	20
<b>Tabla 3-3.</b>	Población de los especímenes rectangulares de 25cm x 9cm x 5cm .....	20
<b>Tabla 3-4.</b>	Valores usuales de asentamiento con el cono de Abrams .....	28
<b>Tabla 3-5.</b>	C <sub>1</sub> Factor para corregir C por tamaño máximo, mm (pulgadas). .....	29
<b>Tabla 3-6.</b>	C <sub>2</sub> Factor para corregir C por tipo de agregado .....	29
<b>Tabla 3-7.</b>	Dosificaciones finales de materiales para cada diseño de mezcla .....	31
<b>Tabla 4-1.</b>	Valores de asentamiento para cada diseño de mezcla .....	44
<b>Tabla 4-2.</b>	Promedio de resistencia a compresión para cada diseño de mezcla .....	45
<b>Tabla 4-3.</b>	Valores promedio de densidad, absorción y % vacíos para cada diseño de mezcla .....	50
<b>Tabla 4-4.</b>	Resultados del ensayo de flamabilidad del concreto endurecido .....	54
<b>Tabla 4-5.</b>	Resultados del ensayo de flamabilidad del plástico .....	55

<b>Figura 3-1.</b>	Residuos plásticos recibidos .....	22
<b>Figura 3-2.</b>	Elementos no plásticos descartados .....	22
<b>Figura 3-3.</b>	Residuos plásticos seleccionados .....	22
<b>Figura 3-4.</b>	Máquina trituradora .....	23
<b>Figura 3-5.</b>	Residuos plásticos triturados .....	23
<b>Figura 3-6.</b>	Ensayo de granulometría .....	24
<b>Figura 3-7.</b>	Ensayo de densidad y absorción del agregado fino . .....	25
<b>Figura 3-8.</b>	Ensayo de densidad y absorción del agregado grueso . .....	25
<b>Figura 3-9.</b>	Ensayo de densidad y absorción del plástico triturado . .....	26
<b>Figura 3-10.</b>	Ensayo de humedad para agregados convencionales .....	27
<b>Figura 3-11.</b>	Pesaje de los agregados .....	32
<b>Figura 3-12.</b>	Elaboración del concreto .....	32
<b>Figura 3-13.</b>	Medición del asentamiento .....	33
<b>Figura 3-14.</b>	Especímenes terminados luego del proceso de llenado .....	34
<b>Figura 3-15.</b>	Piscina de curado .....	34
<b>Figura 3-16.</b>	Proceso de refrentado de cilindros .....	35
<b>Figura 3-17.</b>	Ensayo de resistencia a la compresión .....	36
<b>Figura 3-18.</b>	Ensayo de absorción de agua del concreto endurecido .....	38
<b>Figura 3-19.</b>	Ensayo de flamabilidad del concreto . .....	39
<b>Figura 3-20.</b>	Ensayo de flamabilidad del plástico inicial .....	39
<b>Figura 3-21.</b>	Ensayo de flamabilidad del plástico triturado .....	39
<b>Figura 4-1.</b>	Curva de asentamiento en relación al porcentaje de plástico añadido .....	44
<b>Figura 4-2.</b>	Curva de resistencia en relación del porcentaje de plástico añadido para $a/c=0,55$ .....	46
<b>Figura 4-3.</b>	Curva de resistencia en relación al porcentaje de plástico añadido para $a/c=0,45$ .....	47
<b>Figura 4-4.</b>	Curva de resistencia en relación al porcentaje de plástico añadido para $a/c=0,30$ .....	48
<b>Figura 4-5.</b>	Curva comparativa de resistencia para las tres relaciones $a/c$ . .....	49
<b>Figura 4-6.</b>	Curva de absorción de agua del concreto en función del plástico añadido .....	51
<b>Figura 4-7.</b>	Curva de agua absorbida por el concreto en función del plástico añadido .....	52
<b>Figura 4-8.</b>	Curva de densidad nominal del concreto en función del plástico añadido .....	53
<b>Figura 4-9.</b>	Curva de % vacíos de la mezcla de concreto en función del plástico añadido .....	53

## **Introducción**

Los residuos electrónicos son uno de los desechos que más está creciendo en el mundo desde hace varias décadas, debido a la acelerada actualización tecnológica y a los nuevos hábitos de consumo de la población, ya que estos equipos son innegables protagonistas de la vida moderna, de allí la importancia de desarrollar apropiados sistemas para su reutilización o reciclaje.

Dentro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de Naciones Unidas está el “garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles”, para disminuir de manera sustancial la generación de desechos y contribuir así al bienestar del medio ambiente, por tanto, la gestión adecuada del plástico proveniente de residuos electrónicos podría ser parte de este fin.

Muchas personas se han concientizado del problema global que representa el e-waste, pero muy pocas han centrado su interés en los plásticos que lo conforman, quizás por su difícil reciclaje, pero al igual que los otros componentes, puede causar efectos negativos sobre el ambiente y muchas formas de vida, debido a su lenta degradación.

Se sabe que algunos investigadores han centrado su atención en estudiar la reutilización de este elemento dentro del área de la construcción y este proyecto va dirigido también a ello, por considerarlo un tema de interés personal y una necesidad socio-ambiental.

El presente trabajo está estructurado cinco (5) capítulos, cuyo contenido se resume a continuación:

- en el capítulo uno (1) se desarrollan los aspectos vinculados con el problema objeto de nuestro estudio, ya que además de mostrar el planteamiento del mismo, así como los objetivos, se incluye el alcance y las limitaciones que puede presentar el proyecto, así como los antecedentes de la investigación.
- en el capítulo dos (2) se mencionan las bases teóricas vinculadas con el proyecto, lo que permite tener una visión global del tema a desarrollar.
- en el capítulo tres (3) se explica lo referido al marco metodológico, haciendo mención al tipo y diseño de investigación, la población y muestra, las variables de ensayo, las técnicas de recolección de datos, los materiales empleados, así como una descripción detallada de las fases de ejecución.
- en el capítulo cuatro (4) se procede a la presentación de los resultados obtenidos en los diferentes ensayos realizados, así como el análisis de los mismos.
- en el capítulo cinco (5) se encuentran las conclusiones y recomendaciones de los autores.

## Capítulo 1

### Presentación del Proyecto

#### Planteamiento del Problema

En la actualidad, las actividades humanas generan cada año decenas de toneladas de desechos plásticos, particularmente los correspondientes a elementos periféricos de equipos electrónicos (carcasas, teclados, ratones, entre otros), los cuales pertenecen a los plásticos tipo ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno) y/o PC (Policarbonato) que tardan cientos de años en descomponerse. Por esta razón, son la causa de múltiples problemas ambientales, ya que esos plásticos terminan acumulándose en vertederos o áreas naturales, e incluso son arrojados al mar, afectando la vida de las especies acuáticas y contaminando su entorno.

Considerando lo anterior, se desea disponer de dichos plásticos en forma ambientalmente segura, dado que los mismos no contienen sustancias peligrosas de acuerdo con la PROVIDENCIA ADMINISTRATIVA N° 01-00-19-04-368-2017 emanada por el despacho del Director Estatal para Ecosocialismo y Aguas en fecha 20 de julio de 2017 para la empresa ELECTRORECICLAJE JL CA., quien será la que suministre los plásticos para este trabajo.

A tal efecto, en este trabajo se propone la inclusión de estos tipos de plástico como material granular dentro de mezclas para adoquines, pavimentos peatonales, obras hidráulicas para vialidad (cunetas y cajones), canales de riego y adobe de concreto, de esta manera, no solo se incentiva el reciclaje de los desechos plásticos para dar solución a los problemas antes mencionados, sino que también se promueve el uso de materiales

alternativos en la construcción, con el fin de obtener un producto ligero, duradero, resistente y económico.

## **Objetivos**

### **Objetivo general:**

Evaluar las características físicas de mezclas de concreto que incorporen plásticos triturados provenientes de elementos periféricos de equipos electrónicos (carcasas, teclados, ratones, entre otros).

### **Objetivos específicos:**

- Valorar los cambios en resistencia mecánica a la compresión de mezclas de concreto con distintos contenidos de plástico triturado.
- Establecer los cambios en el porcentaje de agua absorbida por mezclas de concreto con distintos contenidos de plástico triturado.
- Determinar los cambios en flamabilidad de mezclas de concreto con distintos contenidos de plástico triturado.
- Valorar la variabilidad de la calidad de las mezclas para distintas relaciones agua-cemento.
- Determinar los cambios en el asentamiento de mezclas de concreto con distintos contenidos de plástico triturado.

## **Alcance y Limitaciones**

El alcance del presente trabajo es preparar mezclas de concreto para reutilizar materiales plásticos provenientes de elementos periféricos de equipos electrónicos (carcasas, teclados, ratones, entre otros), los cuales pertenecen a los plásticos ABS y/o PC, difíciles de desechar en forma ambientalmente segura. A estas mezclas, se les evaluarán las propiedades mecánicas, la absorción de agua y la flamabilidad.

La principal limitación que se presenta para el desarrollo del trabajo es no poder contar con un procedimiento que garantice una granulometría estandarizada, por lo tanto, se evaluarán diversos métodos para moler o triturar y para disgregar dichos plásticos en forma artesanal.

## **Antecedentes de la Investigación**

Durante años se ha venido incrementando el uso del plástico en la fabricación de productos, sin implementar de forma paralela un manejo adecuado de éste cuando se convierta en basura, por eso, la mayor parte de los residuos plásticos van a parar a rellenos sanitarios o cementerios abandonados, contribuyendo a la contaminación ambiental. Muchos investigadores se han dado a la tarea de indagar como poder lograr la disminución de estos desechos y algunos de ellos, dirigieron sus estudios a la incorporación de residuos plásticos como agregado alternativo para la fabricación de elementos no estructurales como bloques, ladrillos o adoquines, que puedan ser empleados en ciertas áreas de la construcción.

A nivel nacional, se han presentado trabajos dirigidos al reciclaje de distintos

residuos, pero pocos de ellos están enfocados en la reutilización del plástico en el área de la construcción, quizás por el desconocimiento de su posible aplicabilidad en este campo; en tal sentido, sólo hemos de citar:

- **Laura Albano (2014):** presentó ante la Universidad de Carabobo (Maracay) su trabajo de ascenso titulado “*Reutilización de residuos plásticos para la fabricación de ecoladrillos*”. Este proyecto va dirigido a demostrar la factibilidad técnica de utilizar residuos plásticos para la fabricación de ecoladrillos, es decir, botellas rellenas a presión con residuos plásticos.
- **Nigme Cadenas Rodríguez y Belkis López de Lameda (2018):** estudiantes de la UNEXPO (Barquisimeto) y de la UCLA (Barquisimeto), respectivamente, mostraron en la revista Publicaciones en Ciencias y Tecnología los resultados de su investigación titulada “*Evaluación de la eficiencia de morteros de revestimiento con aditivos reciclados, aplicando Análisis Envolvente de Datos (DEA)*”. Su proyecto consistió en evaluar la eficiencia de morteros empleados en frisos, con la incorporación de diferentes tipos de material reciclado como fibra de acero, cal, bagazo de caña de azúcar y plástico de baja densidad (PEBD), mediante la comparación de sus resistencias a compresión.

En el ámbito internacional existe mucha documentación sobre este tema, pero se han seleccionado los tres trabajos de grado que más se relacionan con el tema de esta investigación y que se consideran muy relevantes:

- **Johnny Vargas Figueredo y Elkyn Polo Padilla (2017):** presentaron su proyecto de grado titulado “*Obtención de una mezcla de concreto con residuos plásticos de equipos electrónicos para la fabricación de elementos no estructurales*” en la Universidad de la Costa (Barranquilla-Colombia). Este proyecto se centra en diseñar una mezcla de concreto utilizando como agregado alternativo el residuo molido de carcasas de equipos electrónicos que pueda ser utilizada como elemento divisorio en viviendas de interés social.
- **R. Lakshmi y S. Nagan (2010):** investigador de la KLNCIT (India) y profesor de la TCE (India), respectivamente, presentaron un artículo en el International Journal of Environmental Sciences, titulado “*Studies on Concrete containing E plastic waste*”. En él se resume el análisis de mezclas de concreto a las cuales le fueron añadidos residuos plásticos provenientes de equipos electrónicos como agregado grueso, quedando demostrado que la resistencia a la compresión se reducía a medida que aumentaba la cantidad de cantidad de plástico añadido, obteniendo resistencias aceptables para las mezclas con porcentajes de incorporación que no superaran el 20%.
- **Ashwini Manjunath (2016):** profesor de Atria Institute of Technoogy (India), presentó un resumen de su investigación “*Partial replacement of E-plastic Waste as Coarse-aggregate in Concrete*” en la revista Procedia Environmental Sciences. Allí se muestran los resultados sobre la incorporación de residuos plásticos de desechos electrónicos como agregado grueso para la realización de mezclas de

concreto, descubriendo que la resistencia a la compresión disminuía en 52% cuando el porcentaje plástico añadido era de 20%, mientras que la resistencia a la flexión para mezclas de hasta 20% de plástico se mantenía similar a la del concreto convencional; observaron además que la inclusión del plástico le otorgaba ductilidad al concreto.

En estos trabajos se destaca la importancia de la incorporación de residuos plásticos (PET, PEBD, ABS o PC) como agregado alternativo para frisos y fabricación de bloques, ladrillos o adoquines, por la contribución al medio ambiente y sus múltiples ventajas, tales como: gran disponibilidad, bajo costo, ligero peso, fácil manejo y resistencia acorde para construcciones no estructurales.

## Capítulo 2

### Marco Teórico

#### Residuos Electrónicos o E-waste

En el último siglo, la tecnología ha avanzado vertiginosamente, por lo que los equipos electrónicos pronto resultan obsoletos; como consecuencia de esto, ha surgido un nuevo tipo de desecho, la basura electrónica o e-waste, que afecta negativamente al ambiente por su lenta degradación. Según Freddy Manuel (2008), el término engloba “todo aquel desperdicio proveniente de aparatos electrónicos o eléctricos -computadoras, celulares, TVs, entre otros-”<sup>1</sup>, pero como este trabajo utilizará sólo los plásticos que se encuentran en ellos, centraremos la atención en el ABS y el PC.

**Plástico ABS.** El ABS forma parte de la familia de materiales plásticos caracterizados por su gran resistencia a los golpes y su acrónimo deriva de los tres monómeros<sup>2</sup> utilizados para producirlo (Acrilonitrilo, Butadieno y Estireno). Quiminet.com (2006) lo define como “un copolímero obtenido de la polimerización del estireno y acrilonitrilo en la presencia del polibutadieno (...) que se presenta en una gran variedad de grados dependiendo de las proporciones utilizadas de cada uno”<sup>3</sup>, es decir, un plástico conformado por una cadena de polímeros que agrupan químicamente a los monómeros integrantes (acrilonitrilo, butadieno y estireno).

---

<sup>1</sup> Tomado de <https://intececologico.wordpress.com/2008/09/26/basura-electronica-e-waste/>

<sup>2</sup> Pequeñas moléculas que pueden unirse mediante enlaces químicos para formar polímeros.

<sup>3</sup> Tomado de <http://www.quimnet.com/articulos/acrilonitrilo-butadieno-estireno-abs-descripción-propiedad-des-y-apliaciones-4433.htm>

La identificación genérica para este tipo de plástico, según la norma ISO 11469, incluye el símbolo de reciclaje con el número siete en su interior  o con el acrónimo  ABS en la parte inferior.

**Historia.** Durante la Primera Guerra Mundial, el comercio del caucho natural se vio restringido y por eso, propusieron al acrilonitrilo para trabajar en la manufactura del caucho sintético, sin embargo, su uso dejó de ser ventajoso al normalizarse el abastecimiento del caucho natural y por eso, algunas empresas se dedicaron a investigar sobre nuevas aplicaciones para este elemento. Una de las primeras opciones fue el desarrollo de una fibra sintética para uso industrial, pero las investigaciones se vieron entorpecidas hasta que se desarrollaron los solventes adecuados, alrededor de la década de los cuarenta. El primer uso del copolímero<sup>4</sup> ABS (acrilonitrilo-butadieno-estireno) tuvo lugar en 1948, utilizándolo como elemento integrante en la fabricación de equipajes y su dureza lo llevó a ser un elemento conveniente para muchos usos, por eso, a partir de ese momento nació una gama de materiales popularmente designados como plásticos ABS, que se emplearon para la fabricación de elementos automotrices y para componentes o cubiertas de equipos electrónicos, convirtiéndolo así en el polímero más popular de la ingeniería (Blog Acrílico, 2013).

**Características.** El plástico ABS suele caracterizarse por su dureza, rigidez, tenacidad, resistencia al calor, a la abrasión y a los impactos, propiedades éstas que le son proporcionadas por sus componentes. El monómero de acrilonitrilo aporta rigidez,

---

<sup>4</sup> Cadena de polímeros que contiene unidades repetitivas de dos o más especies diferentes

dureza, resistencia química y térmica a este material, mientras que el butadieno proporciona ductibilidad<sup>5</sup> a bajas temperaturas, permitiendo que el producto sea más elástico; el estireno, por su parte, facilita el procesado y otorga propiedades de brillo, además de contribuir con la dureza y rigidez (Méndez, A., 2011).

Por lo general, el plástico ABS soporta temperaturas comprendidas entre el rango de los -20°C y los +90°C. Este material también es resistente a los ácidos y álcalis diluidos, a los ácidos clorhídricos y fosfóricos de alta concentración, a los alcoholes y a los aceites minerales; sin embargo, se ve afectado por el ácido sulfúrico y nítrico de alta concentración. Sus propiedades cuantitativas, en estado puro, se resumen en la tabla 2-1.

**Tabla 2-1. Propiedades mecánicas y térmicas de los plásticos ABS**

Propiedades	Método ASTM	Unidad	Grados de ABS			
			Alto impacto	Impacto medio	Bajo Impacto	Resistente al calor
<i>Mecánicas a 23°C</i>						
Resistencia al impacto	D2546	J / m	375-640	215-375	105-215	105-320
Resistencia a la tensión	D638	Kg./ mm <sup>2</sup>	3,3 – 4,2	4,2-4,9	4,2-5,3	4,2-5,3
Elongación	D638	%	15-70	10-50	5-30	5-20
Módulo de tensión	D638		173-214	214-255	214-265	214-265
Dureza	D785	HRC (Rockwell)	88-90	95-105	105-110	105-110
Peso específico	D792		1,02-1,04	1,04-1,05	1,05-1,07	1,04-1,06
<i>Térmicas</i>						
Coefficiente de expansión térmica	D696	X 10 <sup>3</sup> cm / cm* °C	9,5 –11,0	7,0-8,8	7,0-8,2	6,5-9,3
Distorsión por calor	D648	°C a 18,4 Kg /cm <sup>2</sup>	93-99	96-102	96-104	102-112

Fuente: Textos científicos.com (2005)

<sup>5</sup> Facultad de deformarse sin llegar a romperse

Finalmente, hay que destacar que los diferentes grados en las propiedades físicas y químicas específicas de este plástico van a depender de las proporciones de sus componentes y como ejemplo de ello, tenemos el hecho de que al aumentar el porcentaje de butadieno se incrementa la resistencia al impacto, produciendo en paralelo una disminución de la resistencia a la tensión y la temperatura de deformación por el calor (Textos científicos.com, 2006)

**Reciclaje.** En la página de Textos Científicos.com (2006) referida al reciclaje del ABS, se menciona que es sencillo el reciclaje de las piezas de plástico ABS que fueron moldeadas solas, sin contener ningún aditivo adicional, ya que éste puede realizarse por vía mecánica, es decir, mediante fragmentación o molido para su reutilización; ahora bien, si éstas piezas contienen aditivos especiales o sustancias peligrosas, el reciclaje se vuelve más complejo, pues solo puede optarse por realizar un proceso termoquímico o simplemente una recuperación de energía por combustión, con el posterior tratamiento de los gases emanados.

**Plástico PC.** El PC también forma parte de la familia de materiales plásticos caracterizados por su gran resistencia al impacto, siendo además muy versátil por su moldeabilidad. Su acrónimo proviene de la abreviatura de policarbonato y en la página Quiminet.com (2006) se define como “*un poliéster con estructura química repetitiva de moléculas de Bisfenol A ligada a otros grupos carbonatos*”<sup>6</sup>, es decir, un plástico conformado por una larga cadena de polímeros que contiene grupos funcionales unidos

---

<sup>6</sup> Tomado de <https://www.quiminet.com/articulos/todo-sobre-el-policarbonato-pc-4422.htm>

por grupos de carbonato.

La identificación genérica para este tipo de plástico, según la norma ISO 11469, incluye el símbolo de reciclaje con el número siete en su interior  o con el acrónimo PC  en la parte inferior.

**Historia.** El policarbonato se descubrió casi por casualidad en el año 1928, cuando el químico estadounidense E. Carothers realizaba un estudio sistemático de las resinas de poliéster. Los estudios continuaron muchos años después y aunque muchos científicos estaban dedicados a ello, no fue sino H. Schell, un científico de la firma Bayer quien en 1952 cumple con éxito los primeros avances para la fabricación de policarbonatos. En 1953, el científico Daniel Fox de la firma General Electric también descubre en su laboratorio la producción de este polímero, pero Bayer logró patentar el descubrimiento en 1954, concretamente, una semana antes que General Electric y aunque ambas empresas iniciaron la producción entre 1959 y 1960, el material tardó en salir al mercado (Quiminet.com, 2006).

**Características.** El PC es un plástico amorfo con óptima estabilidad a las radiaciones UV por su elevado nivel de absorbancia<sup>7</sup>; tiene buena tenacidad y presenta resistencia y dureza elevada, Por lo general, no es sensible a ácidos orgánicos e inorgánicos en condiciones normales de temperatura y concentración, pero su resistencia tiende a disminuir con valores elevados de concentración de cualquiera de ellos; además,

---

<sup>7</sup> Transmisión óptica de la luz incidente.

soporta temperaturas comprendidas entre los  $-100^{\circ}\text{C}$  y los  $+135^{\circ}\text{C}$ . En la tabla 2-2 se resumen las propiedades cuantitativas del plástico PC en estado puro.

**Tabla 2-2. Propiedades mecánicas y térmicas del plástico PC**

Propiedades	Grados de PC
<i>Mecánicas a 23°C</i>	
Resistencia a la compresión	69 – 86,9 MPa
Resistencia a la flexión	Alta
Resistencia a la tracción	60-72,4 MPa
Tenacidad (Klc)	2,1 – 4,6 MPa.m <sup>1/2</sup>
<i>Térmicas a 23°C</i>	
Dilatación térmica lineal	68e6 1/°C
Conductividad térmica	0,189 – 0,218 W/m.K
Capacidad calorífica	1,53e3 – 1,63e3 J/kg.K

Fuente: Universitat de Barcelona (2019)

**Reciclaje.** Las piezas de plástico PC son fácilmente reciclables cuando son puras, es decir, cuando no contienen ninguna mezcla o aditivo, ya que pueden fundirse a altas temperaturas y moldearse repetidas veces (con un máximo de 5), sin que sus propiedades originales se alteren demasiado (Econoticias.com, 2010).

**Disponibilidad de los residuos plásticos ABS y PC.** Como se ha dicho, el acelerado avance tecnológico que se ha venido dando a lo largo del último siglo ha propiciado un incremento considerable en los desechos electrónicos, ya que las personas ansían tener en sus manos la última tecnología y convierten en residuos los viejos aparatos.

En el último informe de la Organización de Naciones Unidas (ONU), se sitúa a

los residuos e-waste en el orden de “48,5 millones de toneladas en 2018”<sup>8</sup>, ya que se ha venido dando un crecimiento anual en el orden del 3% al 5%; si nos basamos en estas cifras y consideramos el hecho de que los plásticos ABS y PC son muy utilizados en este tipo de equipos y representan aproximadamente un 20% de la masa de dichos residuos, estaríamos hablando de cerca de 10 millones de toneladas anuales de desechos plásticos no reutilizados, los cuales actualmente reposan en varios cementerios por considerarse una fracción no valiosa. Esta cifra es realmente alarmante si consideramos por sus efectos en el medio ambiente y de allí, la inminente necesidad de su reutilización o reciclaje.

*Porcentaje de generación en Venezuela.* Desde hace varias décadas, los mercados tecnológicos identificaron a Venezuela como un potencial de consumo, ya que muchos millones de venezolanos vincularon su vida cotidiana con el uso de equipos electrónicos para fines diversos. Para el 2009, la empresa canadiense RIM, cuantificaba en cerca de 10 millones la compra de teléfonos celulares en Venezuela y el Banco Mundial, establecía el número de computadoras en 82 por cada 1000 habitantes. Si tomamos en cuenta que los venezolanos también son partidarios activos de la actualización tecnológica, no es difícil pensar que al menos este número de equipos se estaría desechando de forma frecuente y por no existir una regulación clara en materia de reciclaje para este tipo de equipos, todos ellos se convertirán en desecho tecnológico.

El Ministerio del Poder Popular para el Ambiente no cuenta con cifras sobre la generación anual de residuos electrónicos en el país, pero según la periodista Carmen

---

<sup>8</sup> Cifra tomada de <http://www.itu.int/en/ITU-D/Climate-Change/Documents/GEM%202017/Global-E-waste%20Monitor%202017%20.pdf>

Sofía Alfonso “*Brasil, México, Argentina, Colombia, Venezuela y Chile están entre las naciones latinoamericanas que producen más basura electrónica*”<sup>9</sup>. En el informe presentado por la GSMA (Global System for Mobile Communications) y la Universidad de Naciones Unidas, referido a su estudio de e-waste en América Latina, se sitúa a Venezuela en el quinto lugar, con un aporte de 233 Kt (233.000 toneladas) equivalente a cerca de 7,6 kilogramos por habitante y el 0,5% del total mundial.

Tomando en cuenta que el plástico representa aproximadamente el 20% de la masa total de los equipos desechados, estaríamos hablando de un total de 46,6 Kt (46.600 toneladas) de residuo plástico anuales.

***Porcentaje de generación a nivel mundial.*** Los 44,7 millones de toneladas de residuos electrónicos generados en 2016 (equivalentes a 6,1 kg/hab) estaban distribuidos, a nivel mundial, de la siguiente forma: Asia (18,2 Mt), Oceanía (0,7 Mt), Europa con Rusia incluida (12,3 Mt), África (2,2 Mt) y América (11,3 Mt). Estas cifras demuestran que la mayor parte de los residuos fueron generados en Asia (40,72%), Europa (27,52%) y América (25,27%), ya que África y Oceanía solo produjeron un 4,92% y un 1,57%, respectivamente. Si aplicamos la proporción de plástico a estas cifras estaríamos hablando de una generación de residuos plásticos de 3,64 Mt en Asia, 2,46 Mt en Europa, 2,26 Mt en América, 0,44 Mt en África y 0,14 Mt en Oceanía.

Al relacionar la cantidad de residuos generada por continente con su número de habitantes, se obtiene una visión algo diferente, ya que Oceanía pasaría al primer lugar con 17,3 kg/hab (de los cuales 3,43 kg/hab serían de plástico) seguido por Europa con

---

<sup>9</sup> Tomado de <http://virtual.iesa.edu.ve/servicios/wordpress/wp-content/uploads/2016/04/2015-2-alfonzo.pdf>

16,6 kg/hab (3,32 kg/hab de plástico) y América con 11,6 kg/hab (2,32 kg/hab de plástico), quedando el remanente entre Asia y África con 4,2 kg/hab (0,84 kg/hab de plástico) y 1,9 kg/hab (0,38 kg/hab de plástico), respectivamente.

El aprovechamiento de estos residuos es muy incipiente en Oceanía y África, pues reciclan apenas el 6,14% y 0,1%, respectivamente; ahora bien, en el resto de los continentes los porcentajes son mayores porque Europa recicla el 34,95%, en América el reciclaje ronda el 17% y en Asia alcanza el 14,83%. Cabe destacar, sin embargo, que estas cifras se relacionan mayormente con la recuperación de metales y baterías, ya que en el ámbito del plástico solo Europa está haciendo avances al respecto.

**Reciclaje de los residuos plásticos ABS y PC.** Se sabe que el reciclaje de los desechos electrónicos solo puede darse luego de un proceso de desmontaje y clasificación, para eliminar los componentes peligrosos y separar los útiles; en el caso de los residuos plásticos, principalmente del tipo ABS y PC, hemos de aclarar que son de difícil reutilización o reciclaje, ya que se trata de elementos mezclados o con aditivos que solo podrían ser sometidos a procesos termoquímicos o de combustión controlada. Hoy en día se están contemplando otras vías para su eliminación como residuo y de ser viable, se habrá alcanzado la meta de contribuir con el medio ambiente.

**Aplicación de los residuos plásticos ABS y PC en el área de la construcción.** La Universidad de Bath del Reino Unido en asociación con el Goa Engineering College de la India, realizaron una investigación sobre la incorporación de residuos de plástico como reemplazo de la arena en el concreto, logrando demostrar que si era posible sustituir hasta un 10% de dicho agregado con residuos plásticos que tuvieran forma y

tamaño parecido a un grano; sus pruebas se hicieron con residuos de PET y HDPE, así como con materiales vírgenes de HDPP, PPF y PPS.

Los resultados obtenidos en este estudio pudieran ser considerados como el punto de partida de un camino de nuevas investigaciones con otros tipos de residuos plásticos pero, para el momento de este trabajo, son escasos los estudios vinculados con residuos plásticos de ABS y PC, quizás por tratarse de elementos bastante resistentes que, generalmente, resultan de mezclas con participación de aditivos.

## Capítulo 3

### Marco Metodológico

#### Tipo de Investigación

Esta investigación fue catalogada dentro del nivel exploratorio, porque como menciona Arias, F. (2012) *“se efectúa sobre un tema u objeto desconocido o poco estudiado, por lo que sus resultados constituyen una visión aproximada de dicho objeto, es decir, un nivel superficial de conocimientos”* (p. 23); en este caso, se incorpora al concreto para uso no estructural, un elemento novedoso como es el plástico de residuos electrónicos, como agregado fino en distintas proporciones y se quiere determinar, si con él se cumplen los estándares de resistencia, absorción de agua y flamabilidad.

#### Diseño de la Investigación

Consistió en un estudio de carácter experimental porque se manipularon algunas variables independientes para la elaboración de cilindros de ensayo y se buscaba determinar las posibles consecuencias de estos cambios sobre las variables dependientes, siempre bajo el control del investigador.

#### Población y Muestra

La población estuvo conformada por 26 probetas cilíndricas de diámetro 15cm x 30cm de altura, 8 probetas cilíndricas de diámetro 10cm x 11,5cm de altura y 8 especímenes rectangulares de 25cm x 9cm con 5cm de espesor. Como el universo de estudio no es muy numeroso, la muestra fue del 100% de la población.

A continuación se presentan las tablas que especifican el número de probetas para cada combinación a evaluar.

**Tabla 3-1. Población para cilindros de 15cm de diámetro x 30cm de altura**

Relación agua/cemento	Porcentaje de incorporación de plástico			TOTAL
	0%	50%	100%	
0,55	2	3	3	8
0,45	3	3	3	9
0,30	3	3	3	9
<b>TOTAL</b>	8	9	9	26

Fuente: Propia

**Tabla 3-2. Población para cilindros de 10cm de diámetro x 11,5cm de altura**

Relación agua/cemento	Porcentaje de incorporación de plástico			TOTAL
	0%	50%	100%	
0,55	2	3	3	8

Fuente: Propia

**Tabla 3-3. Población de los especímenes rectangulares de 25cm x 9cm x 5cm**

Relación agua/cemento	Porcentaje de incorporación de plástico			TOTAL
	0%	50%	100%	
0,55	2	3	3	8

Fuente: Propia

## Variables de Ensayo

Las variables de esta investigación son:

### Variables independientes:

- Relación agua-cemento ( $\alpha$ )
- Relación plástico-arena (p)

**Variables dependientes:**

- Resistencia a la compresión (kgf/cm<sup>2</sup>)
- Absorción de agua del concreto (%)
- Flamabilidad
- Asentamiento (cm)

**Recolección de Datos**

En este trabajo se aplicó la técnica de observación directa para recolectar los datos arrojados por los distintos equipos empleados para los respectivos ensayos, dicha información fue asentada en hojas de cálculo para su posterior análisis y procesamiento; en algunos casos, se utilizó una cámara fotográfica para tomar las imágenes de las pruebas.

**Materiales Empleados**

- Cemento Portland
- Agua (apta para la elaboración de concreto según normativa vigente)
- Agregados convencionales: arena lavada origen Tapipa y piedra picada #0 (arrocillo) proveniente de la Cantera Nacional
- Agregado no convencional: residuos plásticos de equipos electrónicos que fueron suministrados por la empresa ELECTRORECICLAJE JL CA y triturados por la CORPORACIÓN KORCLASS, C.A.

## Fases de Ejecución

**Proceso de obtención de residuos plásticos ABS y PC para el proyecto.** Los residuos plásticos fueron suministrados por la empresa ELECTRORECICLAJE JL C.A., en dos tandas; la primera, contenía 26 kg y la segunda 25 kg, para un total de 51 kg. Una vez obtenido el material, se realizó un proceso de revisión del mismo para así poder separar piezas metálicas, etiquetas y otros elementos que aún se encontraban en ellos, a fin de tener un material conformado únicamente por plásticos de equipos electrónicos; luego de este proceso, se obtuvo una masa final de 49 kg de residuos.



*Figura 3-1.* Residuos plásticos recibidos  
Fuente: Propia



*Figura 3-2.* Elementos no plásticos descartados  
Fuente: Propia



*Figura 3-3.* Residuos plásticos seleccionados  
Fuente: Propia

Finalizado el proceso de revisión, se transportó el material a la “CORPORACIÓN KORCLASS, C.A.” encargada de manufacturar productos plásticos, quien posee una trituradora para plástico que cuenta con las siguientes características: ocho cuchillas y un motor de 15 Hp que genera 1760 revoluciones por minuto; dicha máquina se empleó para realizar la molienda del plástico hasta que tuviera un tamaño similar al del agregado fino, ya que los residuos serían empleados como sustitutos del mismo.



Figura 3-4. Máquina trituradora  
Fuente: Propia



Figura 3-5. Residuos plásticos triturados  
Fuente: Propia

**Preparación y caracterización de los agregados.** Para elaborar los especímenes utilizados en los diferentes ensayos se emplearon aproximadamente ciento cincuenta kilogramos (150 kg) de agregado fino (arena de Tapipa), doscientos kilogramos (200 kg) de agregado grueso (piedra #0 o arrocillo) y cuarenta y tres kilogramos (43 kg) de plástico (residuos electrónicos triturados). Estos elementos fueron traídos en sacos hasta el laboratorio y almacenados fuera de éste hasta su utilización, situándolos en un área que se encontraba bajo techo para evitar que fueran afectadas sus condiciones de humedad.

Previo a la elaboración de la mezcla, se realizaron varios ensayos esenciales como son la granulometría y las mediciones de densidad, absorción y humedad, las cuales se explican a continuación.

**Granulometría.** Se realizaron ensayos a los agregados convencionales, así como al plástico triturado que sustituirá al agregado fino en algunas de las mezclas, para ello, se siguió el procedimiento establecido en la norma COVENIN 255-1998, y con los datos obtenidos se elaboraron las curvas granulométricas.



Figura 3-6. Ensayo de granulometría  
Fuente: Propia

**Densidad y absorción.** Se determinaron la densidad y absorción de agua del agregado fino y grueso, siguiendo los procedimientos establecidos en las normas COVENIN 268-1998 Y COVENIN 269-1998, respectivamente.



*Figura 3-7.* Ensayo de densidad y absorción del agregado fino  
Fuente: Propia



*Figura 3-8.* Ensayo de densidad y absorción del agregado grueso  
Fuente: Propia

En el caso del plástico triturado, ya que las características del mismo dificultaban su análisis por medio del método de agregado fino, se empleó el procedimiento de la norma COVENIN 269-1998 para el agregado grueso, con una modificación, que consistió en colocar la muestra en una media de nylon (tipo panty) antes de introducirla en la cesta, a fin de evitar que las partículas finas se salieran pues el tamaño de la malla era superior a algunas de ellas.



Figura 3-9. Ensayo de densidad y absorción del plástico triturado  
Fuente: Propia

**Humedad.** Para determinar la humedad de los agregados convencionales, se tomaron muestras representativas de cada uno mediante un cuarteo mecánico. Se obtuvo la masa inicial de ambos, luego, se secaron dichas muestras durante 24 horas en el horno y se volvieron a pesar. Ambos valores fueron comparados para calcular el porcentaje de humedad natural. Para el agregado plástico, no se realizó este ensayo, porque el mismo fue obtenido seco y durante su almacenamiento no sufrió alteraciones de humedad.



*Figura 3-10.* Ensayo de humedad para agregados convencionales  
Fuente: Propia

**Elaboración del diseño de mezclas.** Para establecer la dosificación de los materiales para las distintas mezclas a realizar se tomó como base el método de diseño de mezclas explicado en el libro Manual de Concreto Estructural, ya que presenta una estructura organizada y no impone limitaciones con respecto a la granulometría ni a la proporción en que se combinan los agregados. Este procedimiento requirió de cierta información previa, basada en:

- Tipos de agregados
- Análisis granulométrico de los agregados
- Tamaño máximo del agregado grueso
- Densidad SSS (saturada con superficie seca) de los agregados
- Contenido de humedad y porcentaje de absorción de los agregados
- Relación Beta o proporción de agregados

Conocidos estos datos, se procedió a realizar el diseño y para ello, se estableció la siguiente secuencia de pasos:

- Selección de la relación agua-cemento: según el método elegido, ésta se escoge en función de la resistencia esperada, utilizando para ello la Ley de Abrams que relaciona ambos datos, pero debido a que la investigación buscaba analizar el comportamiento de las mezclas para diferentes relaciones agua-cemento, dicho valor fue seleccionado directamente.
- Selección del asentamiento: este valor se escogió en función del tipo de obra a realizar, ya que se busca que las mezclas sean empleadas para elementos no estructurales, tales como adoquines o pavimentos peatonales. Se utilizó como referencia la siguiente tabla:

**Tabla 3-4. Valores usuales de asentamiento con el cono de Abrams**

ELEMENTOS	RANGOS DE ASENTAMIENTO (cm)
Prefabricados	Nulo-6
Fundaciones ciclópeas	3-8
Pedestales, muros de fundación armados	4-8
Pavimentos	5-8
Losas, vigas, columnas, muros de corte	6-11
Paredes estructurales delgadas	10-18
Transportado por bombeo	6-18
Autonivelante	Mayor de 18

Fuente: Manual de Concreto Estructural (2009)

- Cálculo de la dosis de cemento: para determinarla se empleó la Ley de la Relación Triangular, que vincula el asentamiento deseado, la relación agua-cemento y la dosis de cemento a utilizar. Una vez obtenido el valor, debe corregirse multiplicándolo por los factores de corrección por tipo de agregados utilizados ( $C_2$ ) y el tamaño máximo del agregado grueso ( $C_1$ ), los cuales se tomaron de las tablas 3-5 y 3-6; además, debe comprobarse que la dosis no sea menor a la

requerida por durabilidad del concreto, es decir, 270 kg/m<sup>3</sup>.

**Tabla 3-5.  $C_1$  Factor para corregir  $C$  por tamaño máximo, mm (pulgadas)**

<b>TAMAÑO MÁXIMO</b>	6,35 (1/4)	9,53 (3/8)	12,7 (1/2)	19,1 (3/4)	25,4 (1)	38,1 (1½)	50,8 (2)	63,5 (2½)	76,2 (3)
<b>FACTOR <math>C_1</math></b>	1,33	1,20	1,14	1,05	1,00	0,93	0,88	0,85	0,82

Fuente: Manual de Concreto Estructural (2009)

**Tabla 3-6.  $C_2$  Factor para corregir  $C$  por tipo de agregado**

<b>GRUESOS</b>	<b>TRITURADOS</b>	<b>SEMITRITURADOS</b>	<b>CANTO RODADO</b>
<b>FINOS</b>			
<b>Arena natural</b>	1,00	0,93	0,90
<b>Arena triturada</b>	1,28	1,23	0,96

Fuente: Manual de Concreto Estructural (2009)

- Cálculo del volumen de cemento: este valor se obtuvo al dividir la dosis seleccionada entre el peso específico del cemento, como en este caso no se conocía dicho valor, se siguió la recomendación del Manual de utilizar un peso específico de 3,33 kg/l.
- Estimación del volumen de aire atrapado: esta cifra, generalmente, no se puede calcular de forma exacta, pero se obtiene una buena aproximación al dividir la dosis de cemento a utilizar entre el tamaño máximo del agregado grueso en milímetros (mm).
- Cálculo del contenido de agua: se determinó su masa en la mezcla, multiplicando la dosis de cemento por la relación agua-cemento utilizada y el volumen ocupado, resultó igual a la masa determinada, ya que se asumió que su densidad es 1 kg/l.
- Determinación de la masa del agregado combinado en la mezcla: primero se calculó la densidad saturada con superficie seca (SSS) del agregado combinado, que se obtuvo por medio de la siguiente fórmula:

$$\gamma_{(A+G)} = (\beta * \gamma_{(A)}) + ((1 - \beta) * \gamma_{(G)})$$

posteriormente, debido a que el método busca determinar las dosificaciones para un metro cúbico de concreto, se multiplicó la densidad obtenida por la diferencia de volumen necesaria para 1 m<sup>3</sup>, resultando la masa del agregado combinado.

- Determinación de la masa y volumen del agregado fino: la masa del agregado fino resultó al multiplicar la masa del agregado combinado por la relación  $\beta$  escogida, la cual representa la proporción de agregado fino en el agregado total; su volumen se obtuvo al dividir dicha masa entre la densidad SSS del agregado fino.

Para los casos en que el agregado fino fue sustituido por plástico triturado, se procedió a disminuir el volumen de arena en función al porcentaje de participación del plástico y dicho volumen, fue multiplicado por la densidad SSS del plástico, para así obtener la masa que se debía incluir en la mezcla.

- Determinación de la masa y volumen del agregado grueso: la masa del agregado grueso se consiguió al restar la masa del agregado fino de la masa del agregado combinado y para obtener su volumen, se dividió la masa calculada entre la densidad SSS del agregado grueso.
- Corrección por humedad y absorción: en las masas mencionadas anteriormente se asumía que los agregados se encontraban en la condición SSS, como ese no fue el caso, se corrigieron las masas de los mismos en función de la humedad que presentaban y se ajustó el contenido de agua, de manera tal que no se alterara la relación agua-cemento escogida.

A continuación, se presentan las dosificaciones finales correspondientes a cada diseño de mezcla y los cálculos correspondientes, se detallan en los anexos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9.

**Tabla 3-7. Dosificaciones finales de materiales para cada diseño de mezcla**

Mezcla	Cemento (kg/m <sup>3</sup> )	Agua (l/m <sup>3</sup> )	Arena (kg/m <sup>3</sup> )	Plástico (kg/m <sup>3</sup> )	Piedra (kg/m <sup>3</sup> )
D1 (0,55-0%)	401,28	241,47	998,99	0,00	656,95
D2 (0,55-50%)	401,28	247,92	499,49	219,59	656,95
D3 (0,55-100%)	401,28	254,36	0,00	439,18	656,95
D4 (0,45-0%)	520,88	253,22	905,04	0,00	595,17
D5 (0,45-50%)	520,88	259,05	452,52	198,94	595,17
D6 (0,45-100%)	520,88	264,89	0,00	397,88	595,17
D7 (0,30-0%)	882,38	278,00	638,73	0,00	420,04
D8 (0,30-50%)	882,38	282,12	319,36	140,40	420,04
D9 (0,30-100%)	882,38	286,23	0,00	280,80	420,04

Fuente: Propia

Es importante mencionar, que las relaciones de agua-cemento mostradas en la tabla son valores nominales, porque la inclusión del plástico en las mezclas afecta la estequiometría de las mismas y por tanto, las relaciones reales de agua-cemento se encuentran dentro de un intervalo que es cercano a dichos valores nominales.

**Preparación de los especímenes de ensayo.** Para la realización de las distintas probetas a evaluar fue seguida una serie de pasos que se mencionan a continuación:

**Pesaje de los materiales.** Con base en las dosificaciones obtenidas del diseño para cada una de las mezclas, se pesaron las cantidades necesarias de cemento, agregado grueso, arena y plástico triturado, las cuales se almacenaron en bolsas plásticas hasta su uso; el volumen de agua se midió en el momento del ensayo, utilizando un cilindro graduado de 500 ml.



*Figura 3-11.* Pesaje de los agregados  
Fuente: Propia

***Proceso de mezclado.*** Se comenzó colocando en la tolva los agregados, que se mezclaron durante tres (3) minutos aproximadamente; una vez hecho esto, se añadió la mitad del cemento y se mezcló, posteriormente, se agregó el cemento restante y se volvió a mezclar. Cuando los agregados y el aglomerante (cemento) estaban ligados, se empezó a verter el agua y ésta se fue mezclando hasta obtener una masa homogénea de concreto.



*Figura 3-12.* Elaboración del concreto  
Fuente: Propia

***Evaluación del asentamiento.*** Se colocó el cono de Abrams sobre una plancha metálica y se llenó con concreto hasta un tercio del volumen; a continuación, se dieron 25

golpes distribuidos en toda la superficie, utilizando para ello la barra compactadora. Este proceso se realizó para las dos capas siguientes (los 2/3 restantes) y luego, se enrasó la parte superior empleando la barra. Por último, se alzó verticalmente el molde del cono, se colocó de forma invertida al lado de la mezcla y se midió la distancia entre el borde del molde y la parte superior de la mezcla, para determinar el asentamiento.



Figura 3-13. Medición del asentamiento

Fuente: Propia

**Elaboración de las probetas.** Una vez medido el asentamiento, se colocó la mezcla en un recipiente y se transportó hasta la zona donde se encontraban los moldes cilíndricos, los cuales ya habían sido aceitados; primero se elaboraron los cilindros de 15cm x 30cm, que fueron llenados hasta alcanzar un tercio de su volumen y luego se utilizó la barra compactadora para aplicar los 25 golpes uniformes repartidos en toda la sección del cilindro. Este proceso se repitió para los otros dos tercios restantes y finalmente, se procedió al enrase de la superficie del cilindro al nivel de la parte superior del molde, empleando para ello una espátula.

En el llenado de los moldes cilíndricos de 10cmx11,5cm y los moldes de madera se realizó un procedimiento similar, con la diferencia de que al momento de compactar se usó una vara metálica más pequeña, para que se obtuviera una compactación similar a la

de las probetas de 15cmx30cm.



*Figura 3-14.* Especímenes terminados luego del proceso de llenado  
Fuente: Propia

***Curado de los especímenes.*** Transcurridas aproximadamente 24 horas desde el llenado de las probetas, se procedió al desencofrado de todos los moldes, anotando en cada uno de los cilindros su código de identificación y fecha de elaboración; luego, los cilindros se depositaron en la piscina de curado, donde permanecieron durante 28 días continuos.



*Figura 3-15.* Piscina de curado  
Fuente: Propia

***Refrentado de los cilindros.*** Cuando los cilindros de 15cm x 30cm salieron de la piscina de curado, se observó que existían irregularidades en la capa superior, lo que

podría afectar al ensayo de compresión y por eso, se continuó con el proceso establecido en la norma, que contempla el refrentado para nivelar la superficie y lograr que la carga se distribuya uniformemente.

Este procedimiento se inició con el secado al sol de los cilindros, para eliminar el exceso de humedad y evitar la formación de burbujas bajo la cubierta de capping; luego, se colocó material de radiografía alrededor del cilindro, el cual había sido previamente recortado, sujetándolo con tirrap con el objeto de que quedará firme y nivelado.

Para el refrentado se utilizó una mezcla de sellador de baldosas y ésta fue colocada en la zona a tratar, formando una capa de 4mm a 5mm, perfectamente rematada. El capping se dejó secar por 24 horas aproximadamente y luego de retirar el material de soporte, se lijó la parte superior para terminar de garantizar total planitud.



*Figura 3-16.* Proceso de refrentado de cilindros

Fuente: Propia

**Ensayos realizados.** La última fase de ejecución contempla los ensayos correspondientes a las variables de resistencia a la compresión, absorción de agua del concreto y flamabilidad, cuyos sus procedimientos se detallan a continuación.

*Ensayo de resistencia a la compresión.* Antes de realizar este ensayo, se determinó la masa y las dimensiones de los cilindros (diámetro y altura), datos necesarios para los cálculos correspondientes. Posteriormente, los cilindros fueron llevados a la máquina de ensayo y de forma individual, colocados en ella, asegurándose que quedara perfectamente centrado para que coincidiera con las placas de compresión; al encender la máquina, ésta comenzó a aplicar presión sobre el cilindro con una tasa comprendida entre  $2,5 \text{ kgf/cm}^2/\text{seg}$  y  $3,5 \text{ kgf/cm}^2/\text{seg}$ , manteniéndose hasta el momento del punto de rotura y en ese instante, se tomó el valor de la carga aplicada para calcular la resistencia.



Figura 3-17. Ensayo de resistencia a la compresión

Fuente: Propia

*Ensayo de absorción de agua.* Este ensayo se hizo con base a la norma ASTM C642, que contempla el método estándar para determinar la densidad, absorción y porcentaje de vacíos en el concreto endurecido. Para esta prueba se destinaron los cilindros de 10cm de diámetro x 11,5cm de altura y como algunos de ellos, previo al ensayo, presentaban irregularidades en los bordes, se rebajaron todos hasta que quedaran sin zonas dañadas; una vez hecho esto, se secaron al sol y se les determinó su masa.

Luego de esto, los cilindros fueron llevados al horno de secado, donde permanecieron por 24 horas, y se volvió a determinar la masa; como la diferencia entre ambos valores de masa no superaba el 1%, se tomó este último como valor de la masa seca. Posteriormente, se sumergieron los cilindros en un recipiente con agua, a temperatura ambiente, durante 48 horas aproximadamente y cada 24 horas, se sacaban del recipiente para secarlos superficialmente, garantizando así el estado de saturado con superficie seca y luego, se determinaba su masa.

Una vez hecho esto, los cilindros debían colocarse en agua hirviendo por 5 horas aproximadamente y luego enfriarse, de forma natural, alrededor de unas 14 horas, para determinar nuevamente su masa; en nuestro ensayo este paso fue omitido, porque la medición de absorción de los agregados se hizo únicamente con agua a temperatura ambiente y así, se aseguró que ambas mediciones estuvieran bajo las mismas condiciones. Finalmente, se determinó la masa sumergida siguiendo el procedimiento descrito para el agregado grueso en el punto de caracterización de agregados y con todos los valores obtenidos, se realizaron los cálculos para determinar la absorción, densidad y porcentaje de vacíos.



Figura 3-18. Ensayo de absorción de agua del concreto endurecido  
Fuente: Propia

***Ensayo de flamabilidad del concreto.*** Esta prueba está sustentada en la norma ISO 11925, específicamente en la segunda parte, donde se establece el test para aplicación de una sola llama. Para este ensayo se destinaron los especímenes rectangulares de 25cm x 9cm x 5cm y éstos, fueron colocados de forma horizontal en un soporte de sujeción, para poder acercar una llama de aproximadamente 20mm de altura; la misma proviene de un quemador situado por debajo del espécimen, para que el punto de ignición estuviera situado en la parte centro-inferior y de esta manera, se estudiaba la forma más desfavorable al cual el elemento pudiera estar expuesto. Durante cada ensayo se midió la temperatura alcanzada por la llama que se mantuvo por un (1) minuto en cada uno de ellos, tiempo superior al establecido por la norma (30seg), para determinar su comportamiento en cuanto a la ignición y evaluar cualquier otra posible reacción.



Figura 3-19. Ensayo de flamabilidad del concreto  
Fuente: Propia

*Ensayo de flamabilidad del plástico.* Se decidió analizar el comportamiento del plástico ante el fuego, evaluando sus dos formas (original y triturada), con el fin de compararlo con el ensayo de flamabilidad de los especímenes de concreto, manteniendo las condiciones de temperatura, altura de flama y tiempo de exposición.



Figura 3-20. Ensayo de flamabilidad del plástico inicial  
Fuente: Propia



Figura 3-21. Ensayo de flamabilidad del plástico triturado  
Fuente: Propia

En el primer caso se tomó un fragmento del plástico en su estado inicial, se posicionó sobre el quemador y se le aplicó una llama; para el segundo, se colocó una pequeña cantidad de plástico triturado sobre una rejilla de acero, con el fin de que lo sostuviera y se expuso a la llama del quemador.

## Capítulo 4

### Resultados y Análisis

#### Ensayo de Granulometría de los Agregados

El agregado grueso (Piedra) presentó un tamaño máximo de 1/2", ya que es el menor tamiz por el que pasó el 95% o más del material y la curva granulométrica tendió a salirse de los límites establecidos en la norma COVENIN 277-2007 para los tamaños pequeños que corresponden a los tamices de 1/4" y #4, lo que quiere decir, que existe menos material del recomendado para dichas medidas. La tabla y gráfica que contienen los resultados correspondientes al ensayo se muestran en el anexo 10.

En cuanto al agregado fino (arena), presentó una granulometría bien gradada, con una cantidad mínima de pasante #200 (correspondiente a partículas excesivamente pequeñas) y su curva granulométrica demostró que la totalidad de los valores se encontraban dentro de los límites establecidos por la norma antes citada para arenas de tamaño grueso, por tanto, este material es totalmente apto para la elaboración de la mezcla de concreto a utilizar en los respectivos ensayos. La tabla y gráfica que contienen los resultados correspondientes al ensayo se muestran en el anexo 11.

El plástico triturado mostró una granulometría prácticamente monogranular, ya que la mayoría de sus partículas quedan retenidas en los tamices #4 y #8, correspondientes a los tamaños gruesos y hay muy pocos granos en los tamices correspondientes a tamaños medios y finos; en la gráfica se comprueba que casi todos los valores se salen de los límites establecidos en la norma COVENIN 277-2007, lo que representaría un material poco apto para la mezcla, pero como eso se debió al proceso de

trituration del mismo, por no existir una máquina recomendada para lograr una granulometría uniforme, se decidió utilizarlo para las mezclas. La tabla y gráfica que contienen los resultados correspondientes al ensayo se muestran en el anexo 12.

Para comprobar su efecto en la proporción 50:50, se determinó la composición granulométrica para la combinación de arena con plástico triturado (ver tabla y gráfica en el anexo 13). En la curva se demuestra que la combinación 50:50 arroja resultados que están dentro de los límites establecidos en la norma antes citada para arenas gruesas, lo que le convierte en un material apropiado para el estudio.

### **Ensayo de Densidad y Absorción de los Agregados**

Conforme a los datos obtenidos en el ensayo de densidad, los cuales pueden ser vistos en el anexo 14, se constata que la densidad de la arena y de la piedra son bastante similares, con una variación de entre el 3% y 6%, correspondiendo el último valor a la densidad nominal, el parámetro que relaciona el peso del material con el volumen ocupado por éste y sus poros no permeables.

Con respecto al plástico triturado, hemos de acotar que sus densidades son totalmente diferentes con respecto a los otros dos elementos, ya que todas ellas se sitúan en el orden de  $1,15 \text{ g/cm}^3$  a  $1,21 \text{ g/cm}^3$ , correspondiendo igualmente el último valor a la densidad nominal. Esto indica que es un material mucho más liviano, lo que favorece, en principio, a la masa total de las mezclas y por ende, al de los productos generados de ellas.

En cuanto a la absorción de los agregados, cabe señalar, que el menor valor corresponde a la arena, seguido por la piedra y el plástico triturado; la arena presenta

0,70%, lo que indica que posee pocos poros permeables en donde puede almacenarse el agua, la piedra en cambio, alcanza el 2,09%, un valor lógico ya que se trata de partículas picadas con mayor tamaño y por ende, tienen mayor cantidad de espacios donde el agua puede acumularse.

El plástico triturado tiene la mayor absorción de todos, en contraposición a lo que se esperaba por su superficie lisa, ya que ésta se situó en 4,54% y la razón lógica que se ve para ello, son las irregularidades generadas por el propio proceso de triturado, que provocaron fisuras en las partículas donde puede ingresar el agua. Las tablas con los resultados del ensayo de absorción de los agregados se muestran en el anexo 14.

### **Ensayo de Humedad de los Agregados**

Los resultados obtenidos del ensayo demostraron que las diferencias existentes entre la masa húmeda y seca, en ambos materiales, eran similares; en la arena, la variación era del 0%, lo que quiere decir que estaba totalmente seca, la piedra en cambio, mostraba un porcentaje de humedad de 0,03%, valor ínfimo, por lo que igualmente se consideró seco. Las tablas correspondientes a los resultados de este ensayo se muestran en el anexo 14.

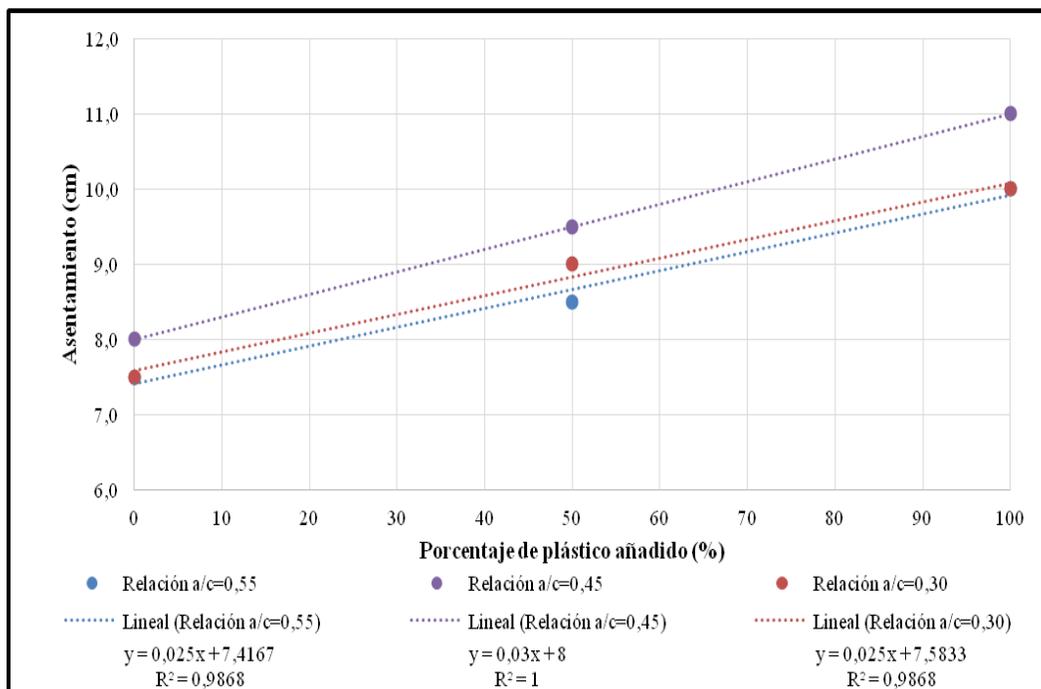
### **Ensayo de Asentamiento**

En la tabla 4-1 se muestran los valores de asentamiento obtenidos para cada tipo de mezcla y los mismos fueron representados en la curva mostrada en la Figura 4-1:

**Tabla 4-1. Valores de asentamiento para cada diseño de mezcla**

Mezcla	Asentamiento (cm)
D1 (0,55-0%)	7,5
D2 (0,55-50%)	8,5
D3 (0,55-100%)	10,0
D4 (0,45-0%)	8,0
D5 (0,45-50%)	9,5
D6 (0,45-100%)	11,0
D7 (0,30-0%)	7,5
D8 (0,30-50%)	9,0
D9 (0,30-100%)	10,0

Fuente: Propia



*Figura 4-1.* Curva de asentamiento en relación al porcentaje de plástico añadido

Fuente: Propia

como puede verse, el asentamiento tiene valores cercanos para las tres relaciones agua-cemento y éstos aumentan a medida que se añade plástico a la mezcla, con una tendencia prácticamente lineal para todas ellas, debido a que este material presenta una superficie

mucho más lisa que la arena, lo que facilita su lubricación por la pasta de cemento. Este comportamiento no coincide con lo exhibido en el estudio de Manjunath, A. (2016), ya que se mostraba una disminución de asentamiento a medida que el contenido de plástico iba aumentando, pero esto se debía a que utilizaba este elemento como sustituto de agregado grueso y por tanto, dichas partículas debían tener formas más planas con respecto a las de otro agregado grueso como la piedra, dejando mayores vacíos entre ellas que deben ser llenados con pasta, causando así una reducción del asentamiento.

### **Ensayo de Resistencia a la Compresión del Concreto Endurecido**

Los valores obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión para cada uno de los diseños de mezcla, con base a la relación agua-cemento, se presentan en el anexo 15. Para tener una mejor visualización del resultado obtenido por cada mezcla, se calcularon de los promedios y dichos resultados se presentan en la tabla 4-2:

**Tabla 4-2. Promedio de resistencia a compresión para cada diseño de mezcla**

Mezcla	Resistencia Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
D1 (0,55-0%)	332
D2 (0,55-50%)	209
D3 (0,55-100%)	83
D4 (0,45-0%)	420
D5 (0,45-50%)	258
D6 (0,45-100%)	163
D7 (0,30-0%)	456
D8 (0,30-50%)	384
D9 (0,30-100%)	275

Fuente: Propia

Se ha de señalar, que para el cálculo de la resistencia promedio se aplicó un

criterio de selección basado en la eliminación de valores distantes, estableciendo como margen más del 20%; el único valor que tuvo que ser eliminado en nuestro caso, fue el obtenido para el cilindro JR0451003, ya que mostraba un resultado de 86 kgf/cm<sup>2</sup> y éste dista más del 40% de los restantes.

Con estos resultados se construyeron las gráficas de resistencia en función del porcentaje de plástico añadido, para cada relación agua-cemento, las cuales se muestran en las Figuras 4-2, 4-3 y 4-4.

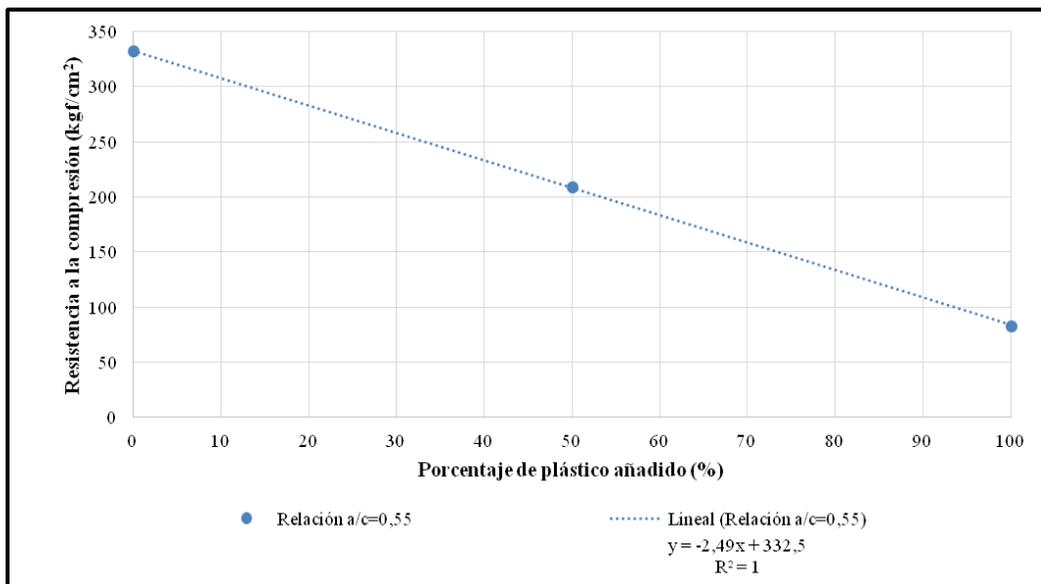


Figura 4-2. Curva de resistencia en relación al porcentaje de plástico añadido para a/c=0,55  
Fuente: Propia

En esta gráfica se evidencia el hecho de que la resistencia del concreto disminuye al aumentar el porcentaje de plástico para la mezcla con una relación agua-cemento de 0,55, partiendo desde 332 kgf/cm<sup>2</sup> hasta 83 kgf/cm<sup>2</sup> (75% aproximadamente), con una tendencia prácticamente lineal; esto se debe a la superficie lisa del plástico, que dificulta la adherencia de la pasta.

Es importante mencionar que para esta relación agua-cemento las mezclas que incorporaban 100% de plástico presentaban una considerable cantidad de vacíos externos, denominados en este medio oquedades, las cuales se debieron a la granulometría del plástico, ya que al carecer de partículas de tamaños medios y finos, no existía material que cubriera dichos vacíos y los mismos, tenían que ser llenados por la pasta de cemento, cuya cantidad no fue suficiente, ya que se trataba de una mezcla con relación agua-cemento alta, presentando una baja cantidad de cemento, como se mencionó al analizar los resultados del diseño de mezcla, esto además dificultó el proceso de acabado de la superficie de los cilindros.

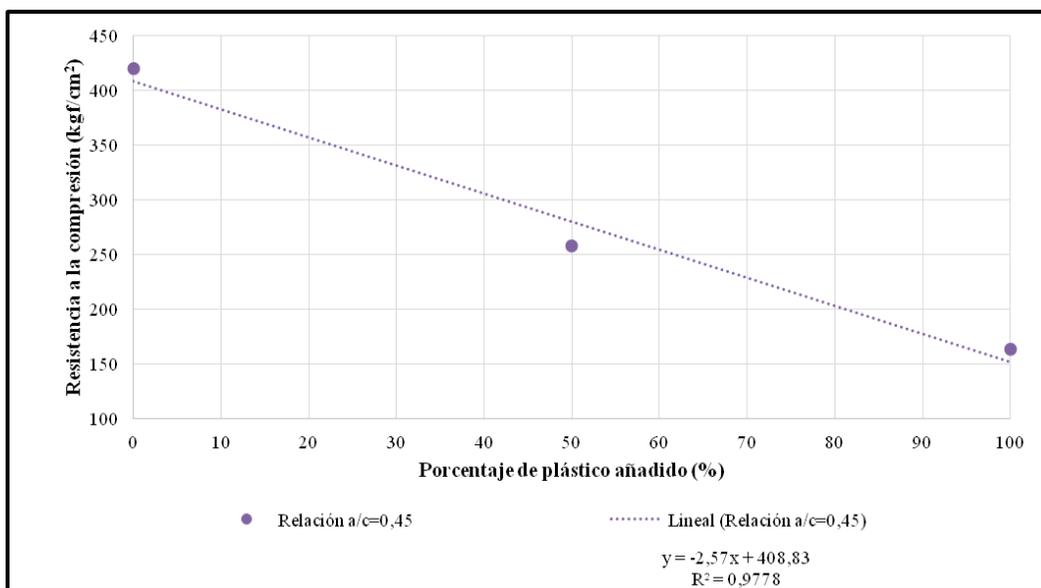


Figura 4-3. Curva de resistencia en relación al porcentaje de plástico añadido para a/c=0,45

Fuente: Propia

Para el caso de las mezclas con relación agua-cemento de 0,45 se presenta un comportamiento similar al de la gráfica anterior, ya que la resistencia disminuye desde 420 kgf/cm<sup>2</sup> hasta 163 kgf/cm<sup>2</sup> (61% aproximadamente) con tendencia casi lineal, esto corrobora que al incluir más plástico en la mezcla, la resistencia disminuye. Para las

mezclas pertenecientes a esta relación no se generaron oquedades, a diferencia del caso anterior, debido a que las mismas contenían una mayor cantidad de cemento.

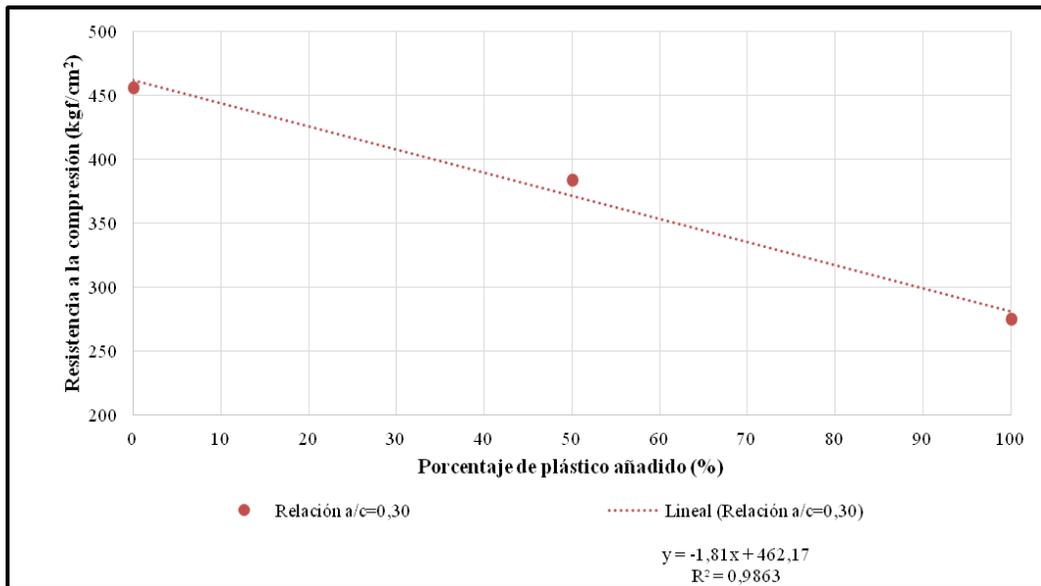


Figura 4-4. Curva de resistencia en relación al porcentaje de plástico añadido para a/c=0,30  
Fuente: Propia

En la curva de la relación agua-cemento de 0,30 también se observa una tendencia lineal decreciente para la resistencia a la compresión, que va desde 456 kgf/cm<sup>2</sup> hasta 275 kgf/cm<sup>2</sup> (40% aproximadamente); en este caso, parece que la disminución de la resistencia es más tenue, pero ello se debió a una limitación en la medición de la resistencia para la mezcla con 0% de plástico, ya que la máquina de ensayo se detuvo cuando se superaron los 81000 kgf de carga por medidas de seguridad. Nuevamente, en esta mezcla no se presentaron oquedades.

Como las tres curvas presentaron tendencias similares, se decidió elaborar un gráfico comparativo de todas ellas, el cual se muestra en la Figura 4-5.

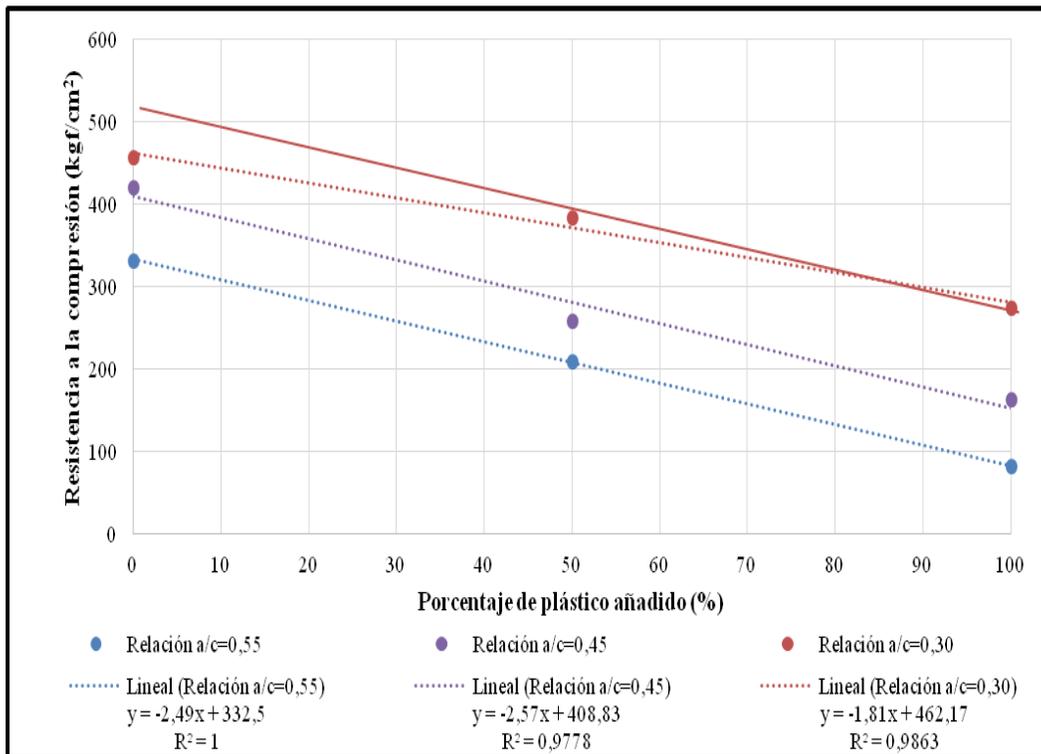


Figura 4-5. Curva comparativa de resistencia para las tres relaciones a/c  
Fuente: Propia

En este gráfico se visualiza claramente que las líneas para las relaciones 0,55 y 0,45 son prácticamente paralelas, mientras que la de la relación 0,30 tiene una inclinación menor, por lo que se evidencia que la resistencia máxima a la compresión pudo haber alcanzado un valor mayor si en la máquina de compresión se pudiera continuar con la presión. Para calcular aproximadamente cual hubiese sido el valor máximo de resistencia, se trazó una línea paralela a las tendencias anteriores ajustada a los puntos conocidos de resistencia, proyectándola hacia el posible valor final, el cual alcanzaría cerca de 510 kgf/cm<sup>2</sup>.

Al comparar la disminución de resistencia en función del porcentaje de plástico añadido, obtenida en este trabajo, con los estudios hechos por Manjunath, A. (2016) y

Lakshmi, R. y Nagan, S. (2010) se observa que la inclusión de plástico triturado como sustituto del agregado fino da mejores resultados que al utilizarlo como agregado grueso, ya que en sus trabajos la resistencia a compresión disminuía más del 50% al incorporar un porcentaje de plástico cercano al 25%, mientras que en nuestro estudio, al incorporar 50% de plástico, la disminución de resistencia fue de aproximadamente 38% para las mezclas de  $a/c=0,55$  y  $a/c=0,45$ .

Al comparar las resistencias de las tres relaciones agua-cemento, se observó que la mínima resistencia obtenida fue de  $83 \text{ kgf/cm}^2$  para una relación  $a/c=0,55$  con 100% de plástico, por lo tanto, todas las mezclas son factibles para construir elementos no estructurales como aceras y adoquines, entre otros. En cuanto a las otras dos relaciones agua-cemento ( $a/c=0,45$  y  $a/c=0,30$ ) alcanzaron, en algunos casos, resistencias superiores a los  $210 \text{ kgf/cm}^2$ , por lo que se considera que deben realizarse otros estudios dirigidos a su posible aplicación en elementos estructurales.

### **Ensayo de Densidad, Absorción y % Vacíos del Concreto Endurecido**

Los valores obtenidos del ensayo de densidad y absorción, para cada diseño de mezcla propuesto con la relación agua-cemento de 0,55, se presentan en el anexo 16 y con base a ellos, se calcularon los promedios presentados en la tabla 4-3:

**Tabla 4-3. Valores promedio de densidad, absorción y % vacíos para cada diseño de mezcla**

Mezcla	Absorción (%)	Agua Absorbida (g)	Densidad Aparente ( $\text{g/cm}^3$ )	Densidad SSS ( $\text{g/cm}^3$ )	Densidad Nominal ( $\text{g/cm}^3$ )	% Vacíos
D1 (0,55-0%)	4,94	99,00	2,25	2,36	2,53	11,11
D2 (0,55-50%)	5,43	92,67	1,95	2,06	2,18	10,59
D3 (0,55-100%)	8,20	108,33	1,48	1,60	1,69	12,15

Fuente: Propia

En la Figura 4-6 se muestran los resultados promedio de absorción en relación con el porcentaje de plástico añadido; como puede verse, con una incorporación de plástico de hasta el 50%, dichos valores parecen mantenerse muy cercanos entre ellos, pero la absorción de agua se eleva considerablemente con el aumento de la participación de este elemento, debido a dos factores: el primero, que el plástico presentaba el mayor porcentaje de absorción de los agregados y por tanto, al aumentar su cantidad en la mezcla también aumenta su absorción y el segundo, que su masa es inferior a la de la arena, por lo que al añadir plástico se vuelve más ligera la mezcla y afecta a la absorción, ya que se obtiene de dividir la masa del agua absorbida entre la masa del material.

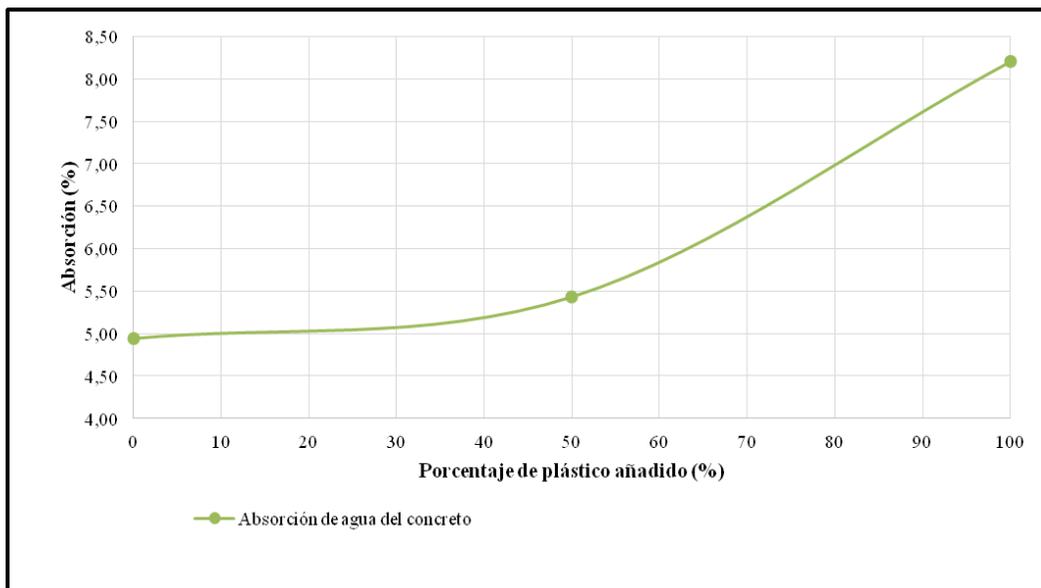


Figura 4-6. Curva de absorción de agua del concreto en función del plástico añadido  
Fuente: Propia

Para comprobar si la masa del plástico afecta considerablemente la absorción, se graficó la cantidad de agua absorbida en función del porcentaje de plástico añadido y dicha curva se muestra en la figura 4-7; la gráfica evidencia que la cantidad de agua

absorbida por el concreto no varió significativamente en función del porcentaje de plástico incorporado, aunque los porcentajes de absorción si aumentaron con la incorporación del mismo a la mezcla (ver figura 4-6), lo que indica que los valores de absorción si fueron afectados por la reducción de la masa del concreto al incorporar plástico, pero no debido a un aumento de la cantidad de agua absorbida, sino a una reducción de la masa de la mezcla, por ser el plástico un material más ligero que la arena.

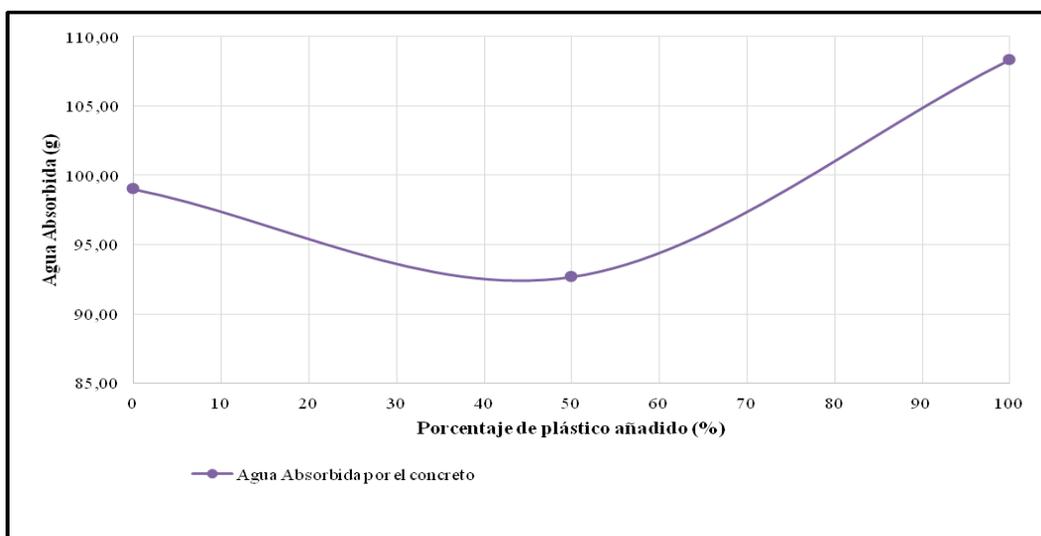


Figura 4-7. Curva de agua absorbida por el concreto en función del plástico añadido  
Fuente: Propia

En la Figura 4-8 se presenta la relación entre la densidad nominal del concreto y el porcentaje de plástico añadido; la curva demuestra que a medida que se agrega plástico a la mezcla ésta se hace más ligera, lo cual es lógico, ya que su masa es inferior a la del agregado fino convencional. Dicha reducción se ajusta también a una tendencia lineal que va desde  $2,53 \text{ g/cm}^3$  (un valor usual para las mezclas de concreto) hasta  $1,69 \text{ g/cm}^3$ , logrando un concreto 33% más ligero.

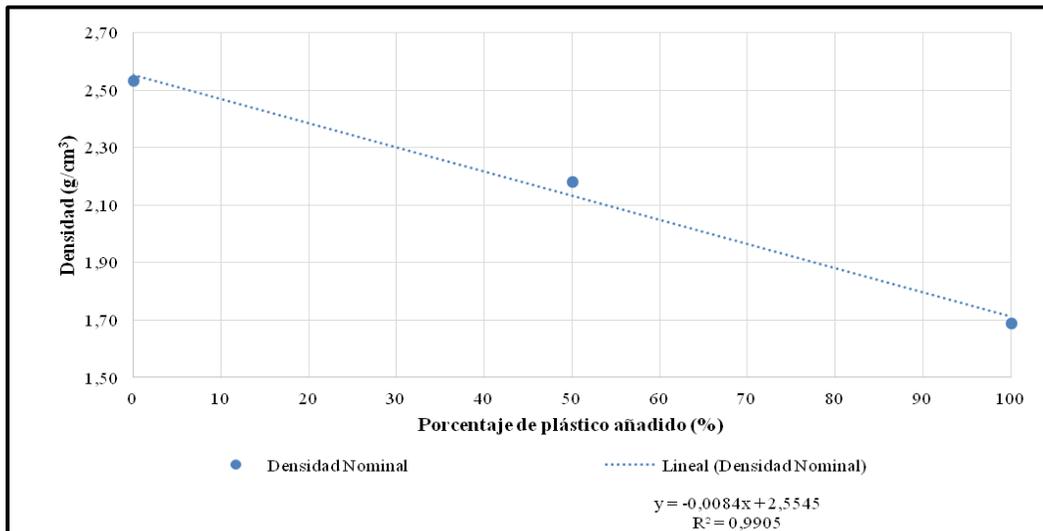


Figura 4-8. Curva de densidad nominal del concreto en función del plástico añadido  
 Fuente: Propia

La figura 4-9 muestra la relación entre plástico añadido y porcentaje de vacíos de la mezcla y en la gráfica, se puede visualizar que las diferencias entre los tres valores no son muy significativas, como sucedía con la curva de agua absorbida; esto demuestra, que la inclusión de plástico no altera la cantidad de vacíos presentes en el concreto.

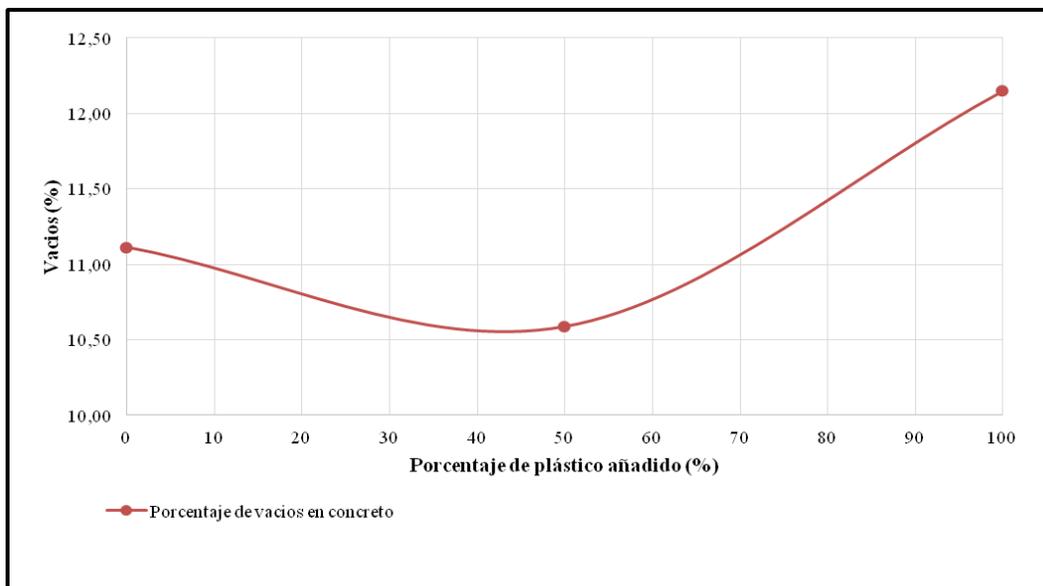


Figura 4-9. Curva de % vacíos de la mezcla de concreto en función del plástico añadido  
 Fuente: Propia

### Ensayo de Flamabilidad del Concreto Endurecido

En la tabla 4-4 se detallan los resultados obtenidos en la prueba de flamabilidad realizada para los distintos contenidos de plástico del diseño de mezcla con relación agua-cemento de 0,55.

**Tabla 4-4. Resultados del ensayo de flamabilidad del concreto endurecido**

Mezcla	Código Cilindro	Temperatura (°C)	Ignición	Flama Sostenida	Comportamiento
D1 (0,55-0%)	JR000F1	450	Negativa	Negativa	No se observó ningún cambio físico en el espécimen
	JR000F2		Negativa	Negativa	
D2 (0,55-50%)	JR050F1	500	Positiva	Negativa	Hubo quemaduras superficiales en pequeñas zonas del espécimen
	JR050F2		Positiva	Negativa	
	JR050F3		Positiva	Negativa	
D3 (0,55-100%)	JR100F1	600	Positiva	Negativa	Hubo quemaduras severas y profundas en la zona general de aplicación de la llama
	JR100F2		Positiva	Negativa	
	JR100F3		Positiva	Negativa	

Fuente: Propia

Como puede verse, la ignición fue negativa únicamente para la mezcla de concreto convencional, ya que ninguno de sus agregados tenía características flamables; al incorporar plástico, la ignición se hizo presente, pero su comportamiento varió dependiendo de la cantidad de plástico presente. En las muestras 50:50, ocurrió la ignición en algunas de las partículas plásticas que se encontraban en la zona superficial, pero una vez quemadas éstas, la llama dejó de propagarse, ya que las otras estaban cubiertas por la pasta de cemento; en las muestras que incluían el 100% de plástico, sin presencia de arena, las quemaduras fueron mayores, debido a la mayor cantidad de partículas plásticas presentes en la superficie.

Es importante destacar, que una vez retirada la llama no hubo presencia de flama sostenida en ninguno de los casos, es decir, no continuó quemándose el material por más

de tres (3) segundos, lo que indica que no es totalmente flamable.

### **Ensayo de Flamabilidad del Plástico**

En la tabla 4-5 se muestran los resultados obtenidos en la prueba de flamabilidad realizada a los elementos plásticos en su forma inicial y triturada.

**Tabla 4-5. Resultados del ensayo de flamabilidad del plástico**

Forma	Temperatura (°C)	Ignición	Flama Sostenida
Inicial	450 a 550	Positiva	Positiva
Triturada		Positiva	Positiva

Fuente: Propia

Al realizar el ensayo se pudo ver que tanto el plástico en su estado inicial como en su forma triturada presentan ignición, y además al retirar la llama se observó la presencia de una flama sostenida, que en el caso del plástico en su estado inicial, se mantuvo encendida y quemando el material, mientras que para el plástico triturado, la llama se consumió rápidamente debido al tamaño presentado por el material, comportamiento similar al del ensayo de flamabilidad del concreto endurecido, donde las partículas superficiales de plástico se consumieron hasta alcanzar la pasta de cemento.

## Capítulo 5

### Conclusiones y Recomendaciones

#### Conclusiones

La resistencia a la compresión disminuye considerablemente al incrementar el porcentaje de plástico en la mezcla de concreto, logrando reducciones del 75%, 61% y 40% para las relaciones de agua-cemento de 0,55, 0,45 y 0,30, respectivamente, debido a que se trata de partículas con superficie más lisa que las del agregado convencional, por lo que se reduce la adherencia con la pasta de cemento.

Igualmente, se demostró que los porcentajes de absorción de agua en el concreto se elevan con la incorporación de plástico, pero dicho incremento no se debe a un aumento en la cantidad de agua que absorbe, sino a la disminución de la masa de la mezcla, por ser el plástico un material más ligero que la arena.

Se pudo constatar también que, con la incorporación del plástico triturado, la mezcla es más sensible a la ignición y esto es, porque las partículas plásticas se encuentran más expuestas y reaccionan ante la presencia de fuego, aunque dichas partículas no se mantienen encendidas por mucho tiempo después de que éste desaparece.

En cuanto a la calidad de las mezclas en función de las diferentes relaciones de agua-cemento, se puede concluir que todas son factibles para uso no estructural, ya que cumplen con los requisitos de resistencia establecidos en las normas, aunque para el caso de la relación de agua-cemento de 0,55 con participación de 100% de plástico, se generaron muchas oquedades que dificultaron el acabado. También se observó que la

resistencia se incrementa en las relaciones de agua-cemento de 0,45 y 0,30, alcanzando valores que se sitúan dentro del rango para uso estructural.

Finalmente, se demostró que el asentamiento de las mezclas de concreto, independientemente de la relación agua-cemento, aumenta con la incorporación de plástico como sustituto de agregado fino, debido a su superficie lisa que facilitó la lubricación con la pasta de cemento en estado fresco.

### **Recomendaciones**

Considerando que los diseños de mezcla con las relaciones de agua-cemento de 0,45 y 0,30, alcanzaron resistencias superiores a los valores establecidos en la norma para concreto de uso estructural, sería oportuno realizar estudios más profundos dirigidos a este campo.

Si bien quedó demostrado que es factible la incorporación de plástico para uso no estructural, se recomienda una exploración costo-beneficio, para determinar si es rentable el uso de los residuos plásticos triturados como sustituto del agregado fino.

Como los valores de relación agua-cemento se alteraron a consecuencia de la incorporación de los residuos plásticos triturados en las mezclas, se sugiere profundizar en el estudio de las características de dicho material, para determinar cómo afectan la estequiometría de las mezclas.

### Lista de referencias

- Albano, L. (2014). **Reutilización de residuos plásticos para la fabricación de ecoladrillos.** Recuperado de <http://mriuc.bc.uc.edu.ve/bitstream/handle/123456789/3854/lalbano.pdf?sequence=1>
- Alfonzo A, C. (2015). **El reciclaje en Venezuela es incipiente pero tiene potencial.** Recuperado de <http://virtual.iesa.edu.ve/servicios/wordpress/wp-content/uploads/2016/04/2015-2-alfonzo.pdf>
- Arias, F. (2012). **El proyecto de investigación: introducción a la investigación científica.** Caracas-Venezuela: Editorial Episteme
- Baldé, C, Forti V., Gray, V, Kuehr & R. Stegmann, P. (2017). **The Global E-waste Monitor 2017: Quantities, Flows, and Resources.** Recuperado de <http://www.itu.int/en/ITU-D/Climate-Change/Documents/GEM%202017/Global-E-waste%20Monitor%202017%20.pdf>
- BBC News Mundo (2019). **La basura electrónica en 4 gráficos: como el mundo desperdicia US\$62.500 millones cada año.** Recuperado de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-47032919>
- Blog Acrílico (2013). **Historia.** Recuperado de <http://acrilicotextil.blogspot.com/2013/04/historia.html>
- Blog Tecnología de los plásticos (2011). **ABS.** Recuperado de <https://tecnologia delosplasticos.blogspot.com/2011/06/abs.html>
- Blog Tecnología de los plásticos (2011). **Policarbonato.** Recuperado de <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/policarbonato.html>
- Cadenas, N. y López, B. (2018). **Evaluación de la eficiencia de morteros de revestimiento con aditivos reciclados aplicando análisis envolvente de datos (DEA).** Recuperado de <https://revistas.ucla.edu.ve/index.php/pcyt/article/view/854>
- Econoticias.Com (2010). **Reciclado de plásticos ¿cómo se reciclan?.** Recuperado de <https://www.ecoticias.com/residuos-reciclaje/21178/Reciclado-de-Plasticos-Como-se-Reciclan>
- Freddy M. (2008). **Basura electronic (E-Waste).** Recuperado de <https://intececológico.wordpress.com/2008/09/26/basura-electronica-e-waste/>
- Lakshmi, R. y Nagan, S. (2010). **Studies on concrete containing e-plastic waste.** International Journal of Environmental Sciences. Volumen 1, N° 3. pp 290-281. Recuperado de <http://www.ipublishing.co.in/jesvol1no12010/EIJES1026.pdf>

- Magalini, F., Kuehr, R. y Baldé, C. (2015). **E-waste en América Latina: Análisis estadístico y recomendaciones de política pública**. Recuperado de <http://www.gsma.com/latinamerica/wp-content/uploads/2015/11/gsma-unu-ewaste2015-spa.Pdf>
- Manjunath, A. (2016). **Partial replacement of e-plastic waste as coarse-aggregate in concrete**. ScienceDirect, pp. 731-739. Recuperado de <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1878029616301682?token=8EBEFD9C98C0E3EF459E872A99793FFCFBD3C547F7701ECC61FF57EB9A43D01824A77182C1DB7F25274DEA243AC5DA67>
- Méndez, A. (2011). **ABS (acrilonitrilo-butadieno-estireno)**. Recuperado de <http://quimica.laguia2000.com/compuestos-quimicos/abs-acrilonitrilo-butadieno-estireno>
- Méndez P, A. (2017). **Reciclado de plástico del sector eléctrico y electrónico**. Recuperado de <https://www.pt-mexico.com/art%C3%ADculos/pretratamiento-y-reciclado-de-plsticos-residuales-del-sector-el%C3%A9ctrico-y-electr%C3%B3nico>
- Platform for accelerating the circular economy (2019). **Una nueva visión circular para la electrónica: Es hora de un reinicio global (A new circular vision for electronics: Time for a global reboot)**. Recuperado de [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_A\\_New\\_Circular\\_Vision\\_for\\_Electronics.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_A_New_Circular_Vision_for_Electronics.pdf)
- Porrero, J., Ramos, C., Grases, J. y Velazco, G. (2009). **Manual del Concreto Estructural**. Tercera edición. Caracas, 91-153.
- Quiminet.com (2006). **Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS) Descripción, propiedades y aplicaciones**. Recuperado de <https://www.quiminet.com/articulos/acrilonitrilo-butadieno-estireno-abs-descripcion-propiedades-y-aplicaciones-4433.htm>
- Quiminet.com (2006). **Todo sobre el Policarbonato (PC)**. Recuperado de <https://www.quiminet.com/articulos/todo-sobre-el-policarbonato-pc-4422.htm>
- Quiminet.com (2006). **Aplicaciones del Policarbonato e historia**. Recuperado de <http://www.quiminet.com/articulos/aplicaciones-del-policarbonato-e-historia-2670362.htm>
- Textos científicos.com (2005). **ABS**. Recuperado de <https://www.textoscientificos.com/polimeros/abs>
- Textos científicos.com (2006). **Reciclado del ABS**. Recuperado de <http://www.textoscien.tificos.com/polímeros/abs/reciclado-abs>

Universitat de Barcelona (2019). **Policarbonato**. Recuperado de <http://www.ub.edu/cmematerials/es/content/policarbonato>

Vargas, J. y Polo, E. (2017). **Obtención de una mezcla de concreto con residuos plásticos de equipos electrónicos para la fabricación de elementos no estructurales**. (Tesis de Pregrado). Universidad de la Costa, Barranquilla. Recuperado de <http://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/212/1140871558%20-%201140875540.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

### **Normas:**

ASTM C-642 (1997). **Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete**. Recuperado de <http://www.c-s-h.ir/wp-content/uploads/2015/01/C-642.pdf>

ISO 11469 (2000). **Plastics – Generic Identification and marking of plastics products**. Recuperado de <https://www.sis.se/api/document/preview/616622/>

ISO 11925-2 (2010). **Reaction to fire test – Ignitability of products subjected to direct impingement of flame. Part 2: Single-flame source test**. Recuperado de [https://kupdf.net/download/bs-en-iso-11925-2-2011\\_5c190483e2b6f5ed2e91fb59\\_pdf](https://kupdf.net/download/bs-en-iso-11925-2-2011_5c190483e2b6f5ed2e91fb59_pdf)

Norma COVENIN 255 (1998). **Agregados. Determinación de la composición granulométrica**. Recuperado de <https://profesor-estudiantes.webs.com/0255-1998.pdf>

Norma COVENIN 268 (1998). **Agregado fino. Determinación de la densidad y la absorción**. Recuperado de <http://www.sencamer.gob.ve/sencamer/normas/268-98.pdf>

Norma COVENIN 269 (1998). **Agregado grueso. Determinación de la densidad y la absorción**. Recuperado de <http://www.sencamer.gob.ve/sencamer/normas/269-98.pdf>

Norma COVENIN 277 (2007). **Concreto. Agregados. Requisitos**. Recuperado de <file:///C:/Users/casa/Downloads/DocGo.Net-0277-2007%20Norma%20Concreto%20Agregados.pdf>

# **ANEXOS**

## ANEXO N° 1

## DISEÑO DE MEZCLA (0,55-0%)

Datos de Entrada	
Tipo de Arena	natural
Tipo de Grava	triturada
Tamaño Máximo (Pulg)	1/2
Densidad SSS Grava (g/cm <sup>3</sup> )	2,73
Humedad Grava (%)	0,00
Absorción Grava (%)	2,09
Densidad SSS Arena (g/cm <sup>3</sup> )	2,63
Humedad Arena (%)	0,00
Absorción Arena (%)	0,70
Densidad SSS Plástico (g/cm <sup>3</sup> )	1,20
Humedad Plástico (%)	0,00
Absorción Plástico (%)	4,54
Relación $\beta$	0,60

Diseño de mezcla	
Relación agua-cemento	0,55
Asentamiento (cm)	7,5
Dosis de cemento descorregida (kg/m <sup>3</sup> )	352,00
Factor C1 por Tamaño máximo	1,14
Factor C2 por Tipo de agregado	1,00
Dosis de cemento Corregida (kg/m <sup>3</sup> )	401,28
Dosis mínima por durabilidad (kg/m <sup>3</sup> )	270,00
Dosis de cemento utilizada (kg/m <sup>3</sup> )	401,28
Volumen de cemento (l)	120,38
Volumen de aire atrapado (l)	31,60
Masa de agua en la mezcla (kg)	220,70
Volumen de agua en la mezcla (l)	220,70
Densidad SSS agregado combinado (g/cm <sup>3</sup> )	2,67
Masa del agregado combinado (kg)	1676,71
Masa de la arena inicial (kg)	1006,03
Volumen de la arena inicial (l)	382,16
Porcentaje de plástico añadido (%)	0
Volumen del plástico (l)	0,00
Masa del plástico (kg)	0,00
Volumen de la arena final (l)	382,16
Masa de la arena final (l)	1006,03
Masa de la grava (kg)	670,68
Volumen de grava (l)	245,37
Masa real de la Arena (kg)	998,99
Masa real de la Grava (kg)	656,95
Masa real del Plástico (kg)	0,00
Masa real del Agua (kg)	241,47
Volumen real de Agua (kg)	241,47

Dosificaciones Finales					
Componentes	Cemento (kg)	Agua (l)	Agregado fino (kg)	Agregado Grueso (kg)	Plástico (kg)
1 m <sup>3</sup> de concreto	401,28	241,47	998,99	656,95	0,00
3 cilindro 15cm*30cm	6,38	3,84	15,89	10,45	0,00
3 cilindro 10cm*11,5cm	1,09	0,65	2,71	1,78	0,00
3 molde 25cm*9cm*5cm	1,35	0,81	3,37	2,22	0,00
Total	8,82	5,31	21,97	14,45	0,00
Total + 10%	9,71	5,84	24,16	15,89	0,00

## ANEXO N° 2

## DISEÑO DE MEZCLA (0,55-50%)

Datos de Entrada	
Tipo de Arena	natural
Tipo de Grava	triturada
Tamaño Máximo (Pulg)	1/2
Densidad SSS Grava (g/cm <sup>3</sup> )	2,73
Humedad Grava (%)	0,00
Absorción Grava (%)	2,09
Densidad SSS Arena (g/cm <sup>3</sup> )	2,63
Humedad Arena (%)	0,00
Absorción Arena (%)	0,70
Densidad SSS Plástico (g/cm <sup>3</sup> )	1,20
Humedad Plástico (%)	0,00
Absorción Plástico (%)	4,54
Relación $\beta$	0,60

Diseño de mezcla	
Relación agua-cemento	0,55
Asentamiento (cm)	7,5
Dosis de cemento descorregida (kg/m <sup>3</sup> )	352,00
Factor C1 por Tamaño máximo	1,14
Factor C2 por Tipo de agregado	1,00
Dosis de cemento Corregida (kg/m <sup>3</sup> )	401,28
Dosis mínima por durabilidad (kg/m <sup>3</sup> )	270,00
Dosis de cemento utilizada (kg/m <sup>3</sup> )	401,28
Volumen de cemento (l)	120,38
Volumen de aire atrapado (l)	31,60
Masa de agua en la mezcla (kg)	220,70
Volumen de agua en la mezcla (l)	220,70
Densidad SSS agregado combinado (g/cm <sup>3</sup> )	2,67
Masa del agregado combinado (kg)	1676,71
Masa de la arena inicial (kg)	1006,03
Volumen de la arena inicial (l)	382,16
Porcentaje de plástico añadido (%)	50
Volumen del plástico (l)	191,08
Masa del plástico (kg)	229,59
Volumen de la arena final (l)	191,08
Masa de la arena final (l)	503,01
Masa de la grava (kg)	670,68
Volumen de grava (l)	245,37
Masa real de la Arena (kg)	499,49
Masa real de la Grava (kg)	656,95
Masa real del Plástico (kg)	219,59
Masa real del Agua (kg)	247,92
Volumen real de Agua (kg)	247,92

Dosificaciones Finales					
Componentes	Cemento (kg)	Agua (l)	Agregado fino (kg)	Agregado Grueso (kg)	Plástico (kg)
1 m <sup>3</sup> de concreto	401,28	247,92	499,49	656,95	219,59
3 cilindro 15cm*30cm	6,38	3,94	7,94	10,45	3,49
3 cilindro 10cm*11,5cm	1,09	0,67	1,35	1,78	0,60
3 molde 25cm*9cm*5cm	1,35	0,84	1,69	2,22	0,74
Total	8,82	5,45	10,98	14,45	4,83
Total + 10%	9,71	6,00	12,08	15,89	5,31

## ANEXO N° 3

## DISEÑO DE MEZCLA (0,55-100%)

Datos de Entrada	
Tipo de Arena	natural
Tipo de Grava	triturada
Tamaño Máximo (Pulg)	1/2
Densidad SSS Grava (g/cm <sup>3</sup> )	2,73
Humedad Grava (%)	0,00
Absorción Grava (%)	2,09
Densidad SSS Arena (g/cm <sup>3</sup> )	2,63
Humedad Arena (%)	0,00
Absorción Arena (%)	0,70
Densidad SSS Plástico (g/cm <sup>3</sup> )	1,20
Humedad Plástico (%)	0,00
Absorción Plástico (%)	4,54
Relación $\beta$	0,60

Diseño de mezcla	
Relación agua-cemento	0,55
Asentamiento (cm)	7,5
Dosis de cemento descorregida (kg/m <sup>3</sup> )	352,00
Factor C1 por Tamaño máximo	1,14
Factor C2 por Tipo de agregado	1,00
Dosis de cemento Corregida (kg/m <sup>3</sup> )	401,28
Dosis mínima por durabilidad (kg/m <sup>3</sup> )	270,00
Dosis de cemento utilizada (kg/m <sup>3</sup> )	401,28
Volumen de cemento (l)	120,38
Volumen de aire atrapado (l)	31,60
Masa de agua en la mezcla (kg)	220,70
Volumen de agua en la mezcla (l)	220,70
Densidad SSS agregado combinado (g/cm <sup>3</sup> )	2,67
Masa del agregado combinado (kg)	1676,71
Masa de la arena inicial (kg)	1006,03
Volumen de la arena inicial (l)	382,16
Porcentaje de plástico añadido (%)	100
Volumen del plástico (l)	382,16
Masa del plástico (kg)	459,11
Volumen de la arena final (l)	0,00
Masa de la arena final (l)	0,00
Masa de la grava (kg)	670,68
Volumen de grava (l)	245,37
Masa real de la Arena (kg)	0,00
Masa real de la Grava (kg)	656,95
Masa real del Plástico (kg)	439,18
Masa real del Agua (kg)	254,36
Volumen real de Agua (kg)	254,36

Dosificaciones Finales					
Componentes	Cemento (kg)	Agua (l)	Agregado fino (kg)	Agregado Grueso (kg)	Plástico (kg)
1 m <sup>3</sup> de concreto	401,28	254,36	0,00	656,95	439,18
3 cilindro 15cm*30cm	6,38	4,05	0,00	10,45	6,98
3 cilindro 10cm*11,5cm	1,09	0,69	0,00	1,78	1,19
3 molde 25cm*9cm*5cm	1,35	0,86	0,00	2,22	1,48
Total	8,82	5,59	0,00	14,45	9,66
Total + 10%	9,71	6,15	0,00	15,89	10,62

## ANEXO N° 4

## DISEÑO DE MEZCLA (0,45-0%)

Datos de Entrada	
Tipo de Arena	natural
Tipo de Grava	triturada
Tamaño Máximo (Pulg)	1/2
Densidad SSS Grava (g/cm <sup>3</sup> )	2,73
Humedad Grava (%)	0,00
Absorción Grava (%)	2,09
Densidad SSS Arena (g/cm <sup>3</sup> )	2,63
Humedad Arena (%)	0,00
Absorción Arena (%)	0,70
Densidad SSS Plástico (g/cm <sup>3</sup> )	1,20
Humedad Plástico (%)	0,00
Absorción Plástico (%)	4,54
Relación $\beta$	0,60

Diseño de mezcla	
Relación agua-cemento	0,45
Asentamiento (cm)	7,5
Dosis de cemento descorregida (kg/m <sup>3</sup> )	456,91
Factor C1 por Tamaño máximo	1,14
Factor C2 por Tipo de agregado	1,00
Dosis de cemento Corregida (kg/m <sup>3</sup> )	520,88
Dosis mínima por durabilidad (kg/m <sup>3</sup> )	270,00
Dosis de cemento utilizada (kg/m <sup>3</sup> )	520,88
Volumen de cemento (l)	156,26
Volumen de aire atrapado (l)	41,01
Masa de agua en la mezcla (kg)	234,40
Volumen de agua en la mezcla (l)	234,40
Densidad SSS agregado combinado (g/cm <sup>3</sup> )	2,67
Masa del agregado combinado (kg)	1519,03
Masa de la arena inicial (kg)	911,42
Volumen de la arena inicial (l)	346,22
Porcentaje de plástico añadido (%)	0
Volumen del plástico (l)	0,00
Masa del plástico (kg)	0,00
Volumen de la arena final (l)	346,22
Masa de la arena final (l)	911,42
Masa de la grava (kg)	607,61
Volumen de grava (l)	222,29
Masa real de la Arena (kg)	905,04
Masa real de la Grava (kg)	595,17
Masa real del Plástico (kg)	0,00
Masa real del Agua (kg)	253,22
Volumen real de Agua (kg)	253,22

Dosificaciones Finales					
Componentes	Cemento (kg)	Agua (l)	Agregado fino (kg)	Agregado Grueso (kg)	Plástico (kg)
1 m <sup>3</sup> de concreto	520,88	253,22	905,04	595,17	0,00
3 cilindro 15cm*30cm	8,28	4,03	14,39	9,47	0,00
<b>Total</b>	<b>8,28</b>	<b>4,03</b>	<b>14,39</b>	<b>9,47</b>	<b>0,00</b>
<b>Total + 10%</b>	<b>9,11</b>	<b>4,43</b>	<b>15,83</b>	<b>10,41</b>	<b>0,00</b>

## ANEXO N° 5

## DISEÑO DE MEZCLA (0,45-50%)

Datos de Entrada	
Tipo de Arena	natural
Tipo de Grava	triturada
Tamaño Máximo (Pulg)	1/2
Densidad SSS Grava (g/cm <sup>3</sup> )	2,73
Humedad Grava (%)	0,00
Absorción Grava (%)	2,09
Densidad SSS Arena (g/cm <sup>3</sup> )	2,63
Humedad Arena (%)	0,00
Absorción Arena (%)	0,70
Densidad SSS Plástico (g/cm <sup>3</sup> )	1,20
Humedad Plástico (%)	0,00
Absorción Plástico (%)	4,54
Relación $\beta$	0,60

Diseño de mezcla	
Relación agua-cemento	0,45
Asentamiento (cm)	7,5
Dosis de cemento descorregida (kg/m <sup>3</sup> )	456,91
Factor C1 por Tamaño máximo	1,14
Factor C2 por Tipo de agregado	1,00
Dosis de cemento Corregida (kg/m <sup>3</sup> )	520,88
Dosis mínima por durabilidad (kg/m <sup>3</sup> )	270,00
Dosis de cemento utilizada (kg/m <sup>3</sup> )	520,88
Volumen de cemento (l)	156,26
Volumen de aire atrapado (l)	41,01
Masa de agua en la mezcla (kg)	234,40
Volumen de agua en la mezcla (l)	234,40
Densidad SSS agregado combinado (g/cm <sup>3</sup> )	2,67
Masa del agregado combinado (kg)	1519,03
Masa de la arena inicial (kg)	911,42
Volumen de la arena inicial (l)	346,22
Porcentaje de plástico añadido (%)	50
Volumen del plástico (l)	173,11
Masa del plástico (kg)	207,97
Volumen de la arena final (l)	173,11
Masa de la arena final (l)	455,71
Masa de la grava (kg)	607,61
Volumen de grava (l)	222,29
Masa real de la Arena (kg)	452,52
Masa real de la Grava (kg)	595,17
Masa real del Plástico (kg)	198,94
Masa real del Agua (kg)	259,05
Volumen real de Agua (kg)	259,05

Dosificaciones Finales					
Componentes	Cemento (kg)	Agua (l)	Agregado fino (kg)	Agregado Grueso (kg)	Plástico (kg)
1 m <sup>3</sup> de concreto	520,88	259,05	452,52	595,17	198,94
3 cilindro 15cm*30cm	8,28	4,12	7,20	9,47	3,16
Total	8,28	4,12	7,20	9,47	3,16
Total + 10%	9,11	4,53	7,92	10,41	3,48

## ANEXO N° 6

## DISEÑO DE MEZCLA (0,45-100%)

Datos de Entrada	
Tipo de Arena	natural
Tipo de Grava	triturada
Tamaño Máximo (Pulg)	1/2
Densidad SSS Grava (g/cm <sup>3</sup> )	2,73
Humedad Grava (%)	0,00
Absorción Grava (%)	2,09
Densidad SSS Arena (g/cm <sup>3</sup> )	2,63
Humedad Arena (%)	0,00
Absorción Arena (%)	0,70
Densidad SSS Plástico (g/cm <sup>3</sup> )	1,20
Humedad Plástico (%)	0,00
Absorción Plástico (%)	4,54
Relación $\beta$	0,60

Diseño de mezcla	
Relación agua-cemento	0,45
Asentamiento (cm)	7,5
Dosis de cemento descorregida (kg/m <sup>3</sup> )	456,91
Factor C1 por Tamaño máximo	1,14
Factor C2 por Tipo de agregado	1,00
Dosis de cemento Corregida (kg/m <sup>3</sup> )	520,88
Dosis mínima por durabilidad (kg/m <sup>3</sup> )	270,00
Dosis de cemento utilizada (kg/m <sup>3</sup> )	520,88
Volumen de cemento (l)	156,26
Volumen de aire atrapado (l)	41,01
Masa de agua en la mezcla (kg)	234,40
Volumen de agua en la mezcla (l)	234,40
Densidad SSS agregado combinado (g/cm <sup>3</sup> )	2,67
Masa del agregado combinado (kg)	1519,03
Masa de la arena inicial (kg)	911,42
Volumen de la arena inicial (l)	346,22
Porcentaje de plástico añadido (%)	100
Volumen del plástico (l)	346,22
Masa del plástico (kg)	415,93
Volumen de la arena final (l)	0,00
Masa de la arena final (l)	0,00
Masa de la grava (kg)	607,61
Volumen de grava (l)	222,29
Masa real de la Arena (kg)	0,00
Masa real de la Grava (kg)	595,17
Masa real del Plástico (kg)	397,88
Masa real del Agua (kg)	264,89
Volumen real de Agua (kg)	264,89

Dosificaciones Finales					
Componentes	Cemento (kg)	Agua (l)	Agregado fino (kg)	Agregado Grueso (kg)	Plástico (kg)
1 m <sup>3</sup> de concreto	520,88	264,89	0,00	595,17	397,88
3 cilindro 15cm*30cm	8,28	4,21	0,00	9,47	6,33
<b>Total</b>	<b>8,28</b>	<b>4,21</b>	<b>0,00</b>	<b>9,47</b>	<b>6,33</b>
<b>Total + 10%</b>	<b>9,11</b>	<b>4,63</b>	<b>0,00</b>	<b>10,41</b>	<b>6,96</b>

## ANEXO N° 7

## DISEÑO DE MEZCLA (0,30-0%)

Datos de Entrada	
Tipo de Arena	natural
Tipo de Grava	triturada
Tamaño Máximo (Pulg)	1/2
Densidad SSS Grava (g/cm <sup>3</sup> )	2,73
Humedad Grava (%)	0,00
Absorción Grava (%)	2,09
Densidad SSS Arena (g/cm <sup>3</sup> )	2,63
Humedad Arena (%)	0,00
Absorción Arena (%)	0,70
Densidad SSS Plástico (g/cm <sup>3</sup> )	1,20
Humedad Plástico (%)	0,00
Absorción Plástico (%)	4,54
Relación $\beta$	0,60

Diseño de mezcla	
Relación agua-cemento	0,30
Asentamiento (cm)	7,5
Dosis de cemento descorregida (kg/m <sup>3</sup> )	774,02
Factor C1 por Tamaño máximo	1,14
Factor C2 por Tipo de agregado	1,00
Dosis de cemento Corregida (kg/m <sup>3</sup> )	882,38
Dosis mínima por durabilidad (kg/m <sup>3</sup> )	270,00
Dosis de cemento utilizada (kg/m <sup>3</sup> )	882,38
Volumen de cemento (l)	264,71
Volumen de aire atrapado (l)	69,48
Masa de agua en la mezcla (kg)	264,71
Volumen de agua en la mezcla (l)	264,71
Densidad SSS agregado combinado (g/cm <sup>3</sup> )	2,67
Masa del agregado combinado (kg)	1072,05
Masa de la arena inicial (kg)	643,23
Volumen de la arena inicial (l)	244,34
Porcentaje de plástico añadido (%)	0
Volumen del plástico (l)	0,00
Masa del plástico (kg)	0,00
Volumen de la arena final (l)	244,34
Masa de la arena final (l)	643,23
Masa de la grava (kg)	428,82
Volumen de grava (l)	156,88
Masa real de la Arena (kg)	638,73
Masa real de la Grava (kg)	420,04
Masa real del Plástico (kg)	0,00
Masa real del Agua (kg)	278,00
Volumen real de Agua (kg)	278,00

Dosificaciones Finales					
Componentes	Cemento (kg)	Agua (l)	Agregado fino (kg)	Agregado Grueso (kg)	Plástico (kg)
1 m <sup>3</sup> de concreto	882,38	278,00	638,73	420,04	0,00
3 cilindro 15cm*30cm	14,03	4,42	10,16	6,68	0,00
Total	14,03	4,42	10,16	6,68	0,00
Total + 10%	15,44	4,86	11,17	7,35	0,00

## ANEXO N° 8

## DISEÑO DE MEZCLA (0,30-50%)

Datos de Entrada	
Tipo de Arena	natural
Tipo de Grava	triturada
Tamaño Máximo (Pulg)	1/2
Densidad SSS Grava (g/cm <sup>3</sup> )	2,73
Humedad Grava (%)	0,00
Absorción Grava (%)	2,09
Densidad SSS Arena (g/cm <sup>3</sup> )	2,63
Humedad Arena (%)	0,00
Absorción Arena (%)	0,70
Densidad SSS Plástico (g/cm <sup>3</sup> )	1,20
Humedad Plástico (%)	0,00
Absorción Plástico (%)	4,54
Relación $\beta$	0,60

Diseño de mezcla	
Relación agua-cemento	0,30
Asentamiento (cm)	7,5
Dosis de cemento descorregida (kg/m <sup>3</sup> )	774,02
Factor C1 por Tamaño máximo	1,14
Factor C2 por Tipo de agregado	1,00
Dosis de cemento Corregida (kg/m <sup>3</sup> )	882,38
Dosis mínima por durabilidad (kg/m <sup>3</sup> )	270,00
Dosis de cemento utilizada (kg/m <sup>3</sup> )	882,38
Volumen de cemento (l)	264,71
Volumen de aire atrapado (l)	69,48
Masa de agua en la mezcla (kg)	264,71
Volumen de agua en la mezcla (l)	264,71
Densidad SSS agregado combinado (g/cm <sup>3</sup> )	2,67
Masa del agregado combinado (kg)	1072,05
Masa de la arena inicial (kg)	643,23
Volumen de la arena inicial (l)	244,34
Porcentaje de plástico añadido (%)	50
Volumen del plástico (l)	122,17
Masa del plástico (kg)	146,77
Volumen de la arena final (l)	122,17
Masa de la arena final (l)	321,61
Masa de la grava (kg)	428,82
Volumen de grava (l)	156,88
Masa real de la Arena (kg)	319,36
Masa real de la Grava (kg)	420,04
Masa real del Plástico (kg)	140,40
Masa real del Agua (kg)	282,12
Volumen real de Agua (kg)	282,12

Dosificaciones Finales					
Componentes	Cemento (kg)	Agua (l)	Agregado fino (kg)	Agregado Grueso (kg)	Plástico (kg)
1 m <sup>3</sup> de concreto	882,38	282,12	319,36	420,04	140,40
3 cilindro 15cm*30cm	14,03	4,49	5,08	6,68	2,23
Total	14,03	4,49	5,08	6,68	2,23
Total + 10%	15,44	4,94	5,59	7,35	2,46

## ANEXO N° 9

## DISEÑO DE MEZCLA (0,30-100%)

Datos de Entrada	
Tipo de Arena	natural
Tipo de Grava	triturada
Tamaño Máximo (Pulg)	1/2
Densidad SSS Grava (g/cm <sup>3</sup> )	2,73
Humedad Grava (%)	0,00
Absorción Grava (%)	2,09
Densidad SSS Arena (g/cm <sup>3</sup> )	2,63
Humedad Arena (%)	0,00
Absorción Arena (%)	0,70
Densidad SSS Plástico (g/cm <sup>3</sup> )	1,20
Humedad Plástico (%)	0,00
Absorción Plástico (%)	4,54
Relación $\beta$	0,60

Diseño de mezcla	
Relación agua-cemento	0,30
Asentamiento (cm)	7,5
Dosis de cemento descorregida (kg/m <sup>3</sup> )	774,02
Factor C1 por Tamaño máximo	1,14
Factor C2 por Tipo de agregado	1,00
Dosis de cemento Corregida (kg/m <sup>3</sup> )	882,38
Dosis mínima por durabilidad (kg/m <sup>3</sup> )	270,00
Dosis de cemento utilizada (kg/m <sup>3</sup> )	882,38
Volumen de cemento (l)	264,71
Volumen de aire atrapado (l)	69,48
Masa de agua en la mezcla (kg)	264,71
Volumen de agua en la mezcla (l)	264,71
Densidad SSS agregado combinado (g/cm <sup>3</sup> )	2,67
Masa del agregado combinado (kg)	1072,05
Masa de la arena inicial (kg)	643,23
Volumen de la arena inicial (l)	244,34
Porcentaje de plástico añadido (%)	100
Volumen del plástico (l)	244,34
Masa del plástico (kg)	293,54
Volumen de la arena final (l)	0,00
Masa de la arena final (l)	0,00
Masa de la grava (kg)	428,82
Volumen de grava (l)	156,88
Masa real de la Arena (kg)	0,00
Masa real de la Grava (kg)	420,04
Masa real del Plástico (kg)	280,80
Masa real del Agua (kg)	286,23
Volumen real de Agua (kg)	286,23

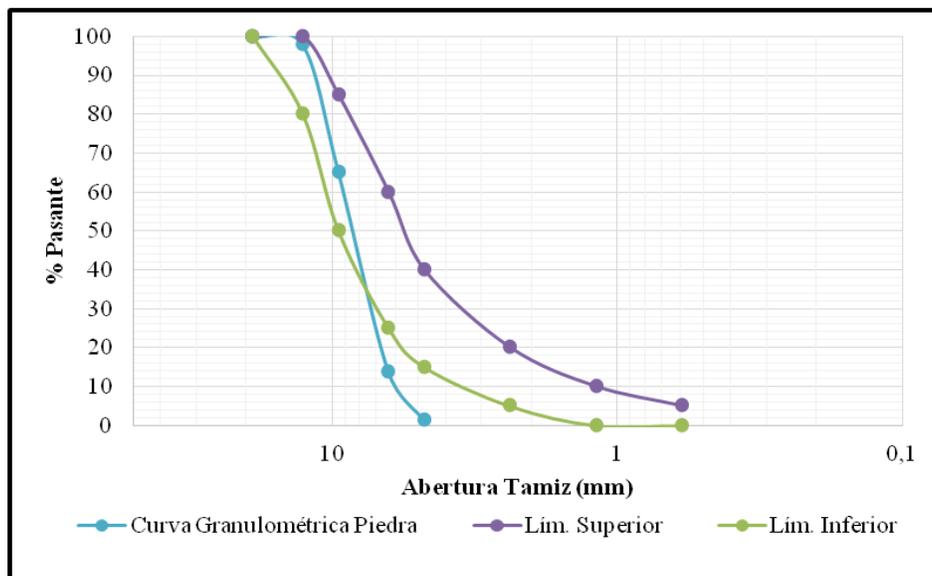
Dosificaciones Finales					
Componentes	Cemento (kg)	Agua (l)	Agregado fino (kg)	Agregado Grueso (kg)	Plástico (kg)
1 m <sup>3</sup> de concreto	882,38	286,23	0,00	420,04	280,80
3 cilindro 15cm*30cm	14,03	4,55	0,00	6,68	4,47
Total	14,03	4,55	0,00	6,68	4,47
Total + 10%	15,44	5,01	0,00	7,35	4,91

## ANEXO N° 10

## GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO

Datos granulométricos de la piedra picada					
Tamiz	Abertura (mm)	Masa (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante
3/4"	19,050	0	0,0	0,0	100,0
1/2"	12,700	182	2,1	2,1	97,9
3/8"	9,525	2788	32,7	34,8	65,2
1/4"	6,350	4383	51,4	86,2	13,8
#4	4,760	1060	12,4	98,6	1,4
Pasante		118	1,4	100,0	0,0
Masa total		8531			

Fuente: Propia



Curva granulométrica del agregado grueso (piedra)

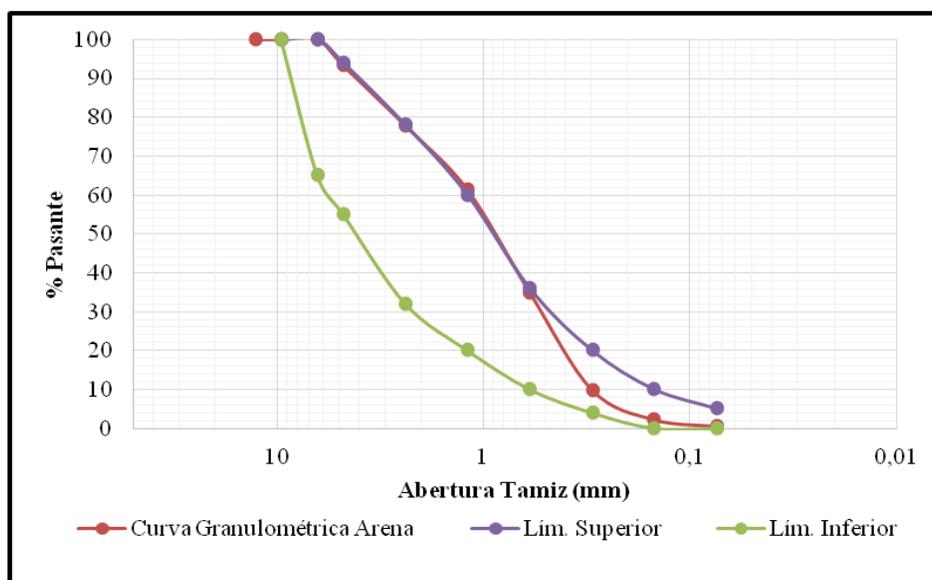
Fuente: Propia

## ANEXO N° 11

## GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO

Datos granulométricos de la arena					
Tamiz	Abertura (mm)	Masa (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante
1/2"	12,700	0	0,0	0,0	100,0
3/8"	9,525	0	0,0	0,0	100,0
1/4"	6,350	0	0,0	0,0	100,0
#4	4,760	46	6,7	6,7	93,3
#8	2,380	107	15,5	22,2	77,8
#16	1,190	114	16,5	38,7	61,3
#30	0,595	182	26,4	65,1	34,9
#50	0,297	173	25,1	90,1	9,9
#100	0,149	53	7,7	97,8	2,2
#200	0,074	12	1,7	99,6	0,4
Fondo		3	0,4	100,0	0,0
Masa total		690			

Fuente: Propia



Curva granulométrica del agregado fino (arena)

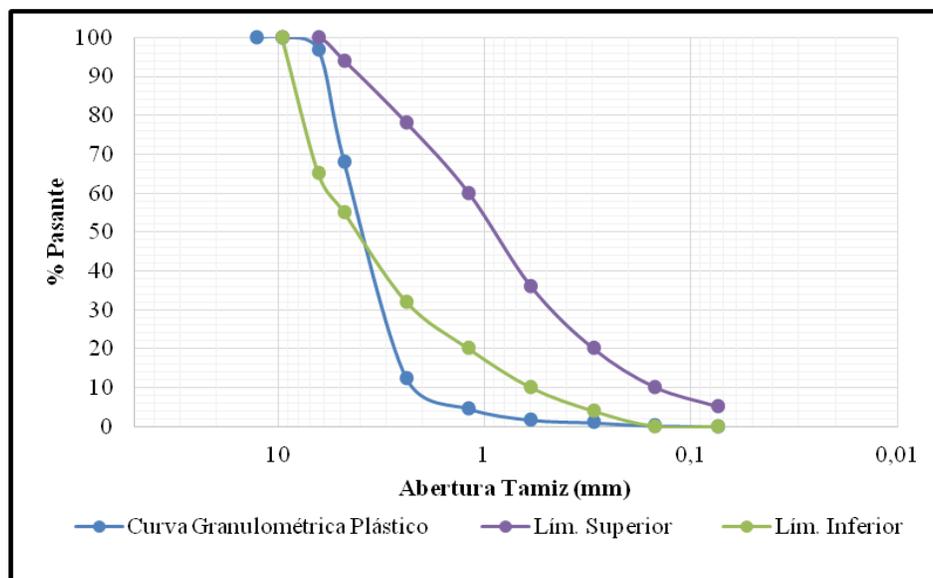
Fuente: Propia

## ANEXO N° 12

## GRANULOMETRÍA DEL PLÁSTICO TRITURADO

Datos granulométricos del plástico triturado					
Tamiz	Abertura (mm)	Masa (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante
1/2	12,700	0	0,0	0,0	100,0
3/8	9,525	0	0,0	0,0	100,0
1/4	6,350	28	3,3	3,3	96,7
#4	4,760	246	28,8	32,1	67,9
#8	2,380	473	55,5	87,6	12,4
#16	1,190	67	7,9	95,4	4,6
#30	0,595	25	2,9	98,4	1,6
#50	0,297	6	0,7	99,1	0,9
#100	0,149	7	0,8	99,9	0,1
#200	0,074	1	0,1	100,0	0,0
Fondo		0	0,0	100,0	0,0
<b>Masa total</b>		853			

Fuente: Propia



Curva granulométrica del plástico triturado

Fuente: Propia

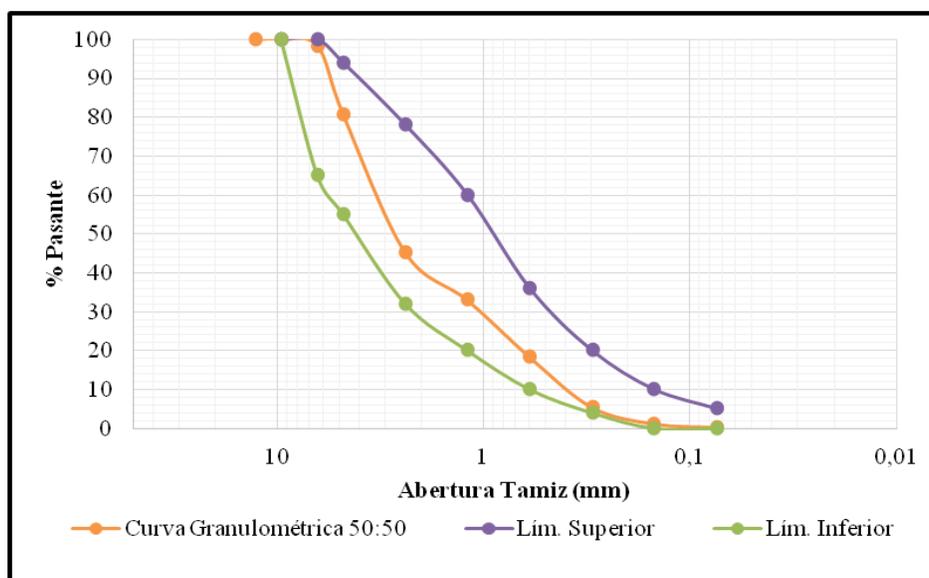
**ANEXO N° 13**

**GRANULOMETRÍA DE LA COMBINACIÓN**

**ARENA-PLÁSTICO (50:50)**

Datos de la combinación granulométrica para arena y plástico triturado				
Tamiz	Abertura (mm)	% Pasante Arena	% Pasante Plástico Triturado	% Pasante Combinado (50:50)
1/2	12,700	100,0	100,0	100,0
3/8	9,525	100,0	100,0	100,0
1/4	6,350	100,0	96,7	98,4
#4	4,760	93,3	67,9	80,6
#8	2,380	77,8	12,4	45,1
#16	1,190	61,3	4,6	32,9
#30	0,595	34,9	1,6	18,3
#50	0,297	9,9	0,9	5,4
#100	0,149	2,2	0,1	1,1
#200	0,074	0,4	0,0	0,2

Fuente: Propia



Curva granulométrica de la combinación arena y plástico (50:50)

Fuente: Propia

## ANEXO N° 14

## DENSIDAD, ABSORCIÓN Y HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

Datos de densidad y absorción de la piedra	
Masa Tara	130,7 g
Masa SSS + Tara	2924,2 g
Masa SSS	2793,5 g
Masa Sumergida	1771,5 g
Masa Seca + Tara	2867,0 g
Masa Seca	2736,3 g
Densidad Aparente	2,68 g/cm <sup>3</sup>
Densidad Aparente SSS	2,73 g/cm <sup>3</sup>
Densidad Nominal	2,84 g/cm <sup>3</sup>
Absorción de Agua	2,09 %

Fuente: Propia

Datos de densidad y absorción de la arena	
Masa Picnómetro	167,8 g
Masa Pic. +SSS	467,9 g
Masa SSS	300,1 g
Masa Pic. +SSS +Agua	851,9 g
Masa Pic. +Agua	665,8 g
Masa Seca	298,0 g
Densidad Aparente	2,61 g/cm <sup>3</sup>
Densidad Aparente SSS	2,63 g/cm <sup>3</sup>
Densidad Nominal	2,66 g/cm <sup>3</sup>
Absorción de Agua	0,70 %

Fuente: Propia

Datos de densidad y absorción del plástico triturado	
Masa Tara	79,9 g
Masa SSS + Tara	780,4 g
Masa SSS	700,5 g
Masa Sumergida	117,4 g
Masa Seca + Tara	750,0 g
Masa Seca	670,1 g
Densidad Aparente	1,15 g/cm <sup>3</sup>
Densidad Aparente SSS	1,20 g/cm <sup>3</sup>
Densidad Nominal	1,21 g/cm <sup>3</sup>
Absorción de Agua	4,54 %

Fuente: Propia

Datos de humedad de la piedra	
Masa Tara	677,0 g
Masa hum + Tara	7708,0 g
Masa hum	7031,0 g
Masa Seca + Tara	7706,0 g
Masa Seca	7029,0 g
Porcentaje de Humedad	0,03 %

Fuente: Propia

Datos de humedad de la arena	
Masa Tara	80,0 g
Masa hum + Tara	663,0 g
Masa hum	583,0 g
Masa Seca + Tara	663,0 g
Masa Seca	583,0 g
Porcentaje de Humedad	0,00 %

Fuente: Propia

## ANEXO N° 15

## RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CADA MEZCLA

Valores de resistencia a compresión para ensayos con diferentes relaciones agua-cemento							
Mezcla	Código Cilindro	Asentamiento (cm)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Peso (kg)	Carga (kg)	Resistencia (kgf/cm <sup>2</sup> )
D1 (0,55-0%)	JR0550001	7,5	14,85	29,85	12,24	57000	329
	JR0550002		14,90	29,85	12,15	58400	335
D2 (0,55-50%)	JR0550501	8,5	15,10	30,15	10,60	36800	205
	JR0550502		15,05	30,10	10,65	38400	216
	JR0550503		15,00	30,10	10,60	36200	205
D3 (0,55-100%)	JR0551001	10,0	15,10	30,20	8,39	16600	93
	JR0551002		15,10	30,10	8,45	15400	86
	JR0551003		15,05	30,05	8,26	12400	70
D4 (0,45-0%)	JR0450001	8,0	14,95	29,95	12,46	70000	399
	JR0450002		14,90	29,90	12,51	75000	430
	JR0450003		14,90	29,95	12,34	75000	430
D5 (0,45-50%)	JR0450501	9,5	15,00	29,85	10,80	45200	256
	JR0450502		15,10	29,95	10,90	43200	241
	JR0450503		14,95	30,00	10,88	48800	278
D6 (0,45-100%)	JR0451001	11,0	15,10	30,10	9,48	26800	150
	JR0451002		15,00	30,05	9,56	31000	175
	JR0451003		14,90	29,90	9,48	15000	86
D7 (0,30-0%)	JR0300001	7,5	15,10	30,10	12,44	81200	+453
	JR0300002		15,05	30,05	12,38	81200	+456
	JR0300003		15,00	30,10	12,35	81200	+459
D8 (0,30-50%)	JR0300501	9,0	15,10	30,05	11,50	66800	373
	JR0300502		15,10	30,05	11,44	66800	373
	JR0300503		14,95	30,00	11,41	71000	404
D9 (0,30-100%)	JR0301001	10,0	15,00	30,15	10,46	42400	240
	JR0301002		15,00	30,05	10,41	51800	293
	JR0301003		15,00	30,10	10,44	51400	291

Fuente: Propia

## ANEXO N° 16

## DENSIDAD, ABSORCIÓN Y % VACÍOS DE CADA MEZCLA

Valores de absorción para cada mezcla						
Mezcla	Código Cilindro	Masa Seca (g)	Masa SSS (g)	Masa Sumergida (g)	Agua Absorbida (g)	Absorción (%)
D1 (0,55-0%)	JR000A1	2067	2166	1250,8	99	4,79
	JR000A2	1944	2043	1175,3	99	5,09
D2 (0,55-50%)	JR050A1	1799	1894	969,5	95	5,28
	JR050A2	1649	1736	893,2	87	5,28
	JR050A3	1674	1770	909,7	96	5,73
D3 (0,55-100%)	JR100A1	1347	1458	533,7	111	8,24
	JR100A2	1255	1354	506,5	99	7,89
	JR100A3	1359	1474	572,3	115	8,46

Fuente: Propia

Valores de densidad y % vacíos para cada diseño de mezcla					
Mezcla	Código Cilindro	Densidad Aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad SSS (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad Nominal (g/cm <sup>3</sup> )	% Vacíos
D1 (0,55-0%)	JR000A1	2,26	2,37	2,53	10,82
	JR000A2	2,24	2,35	2,53	11,41
D2 (0,55-50%)	JR050A1	1,95	2,05	2,17	10,28
	JR050A2	1,96	2,06	2,18	10,32
	JR050A3	1,95	2,06	2,19	11,16
D3 (0,55-100%)	JR100A1	1,46	1,58	1,66	12,01
	JR100A2	1,48	1,60	1,68	11,68
	JR100A3	1,51	1,63	1,73	12,75

Fuente: Propia