

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL  
DE HUAMANGA**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE  
INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA**



**Reutilización de residuos de vidrio, como sustituto parcial del agregado  
fino para la elaboración de concreto ecológico**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:  
MAESTRA EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. Sandra Leon Juica**

**ASESOR:**

**Dr. Hernan Pedro Quispe Misaico**

**Ayacucho - Perú**

**2023**

**Dedicatoria**

A Jehová Dios con mucho amor y gratitud, por haberme acompañado y guiado a lo largo de este proceso de conseguir uno de mis anhelos más deseados.

A mis padres: Zósimo y Nancy ejemplo de honestidad, esfuerzo, perseverancia y deseos de superación, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y ser lo que soy.

## **Agradecimiento**

Con eterna gratitud a mi *alma máter*, la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga (UNSCH); por haberme aceptado ser parte de ella y abierto las puertas para poder estudiar mi carrera.

A la Escuela de Posgrado por haberme albergado en sus aulas y haberme permitido culminar mi Maestría en Ingeniería Ambiental.

A la distinguida plana docente de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia; por sus enseñanzas, consejos y orientaciones durante mis estudios de maestría.

A la Empresa HHC INGENIEROS ASOCIADOS SAC Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Asfalto; al Ingeniero Rolando Amílcar Huallanca de la Cruz, por haberme permitido una vez más realizar mis ensayos de laboratorio.

A mi asesor el Mtro. Hernán Pedro Quispe Misaico por brindarme su asesoría, compartir su conocimiento y apoyarme para la presentación de esta tesis.

## Índice General

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice General.....	iv
Índice de Tablas .....	vii
Índice De Figuras.....	ix
Resumen.....	xi
Abstract.....	xiii
Introducción .....	14
Capítulo I Revisión de Literatura.....	18
1.1 Antecedentes.....	18
1.1.1 Internacionales .....	19
1.1.2 Nacionales .....	21
1.1.3 Locales .....	23
1.2 Marco teórico.....	24
1.2.1 El vidrio.....	24
1.2.1.1 Fabricación del vidrio .....	25
1.2.1.2 Propiedades generales del vidrio .....	26
1.2.1.3 Reciclaje del vidrio .....	29
1.2.1.4 Seguridad laboral al manejar el vidrio.....	32
1.2.1.5 Impacto ambiental del vidrio .....	33
1.2.2 Diferencias entre el vidrio y el cristal .....	33

1.2.3	El concreto .....	33
1.2.3.1	Concreto ecológico .....	34
1.2.3.2	Importancia del concreto .....	34
1.2.3.3	Requisitos de las mezclas .....	34
1.2.3.4	Materiales para el concreto .....	37
1.3	Los principales materiales para el concreto son: .....	37
1.3.1.1	Propiedades del concreto .....	43
1.3.1.2	Pruebas en el concreto .....	44
1.3.1.3	Temperatura del concreto .....	44
1.3.1.4	Hidratación y curado del concreto .....	45
1.3.1.5	Diseño de mezclas del concreto .....	45
1.3.1.6	Tipos de concreto .....	47
Capítulo II Materiales y Métodos .....		49
1.4	Descripción general de la zona de estudio .....	49
1.4.1	Zona de estudio .....	49
1.4.2	Características de la zona de estudio .....	51
1.4.2.1	Vías de comunicación y acceso .....	51
1.4.2.2	Clima .....	51
1.5	Materiales .....	51
1.6	Métodos .....	52
1.6.1	Descripción general de los ensayos realizados .....	52

1.6.2	Recolección, limpieza y procesamiento del vidrio .....	55
1.6.3	Análisis Granulométrico .....	56
1.6.4	Peso específico .....	62
1.6.4.1	Diseño de dosificación.....	66
1.6.4.2	Resumen de dosificación .....	68
1.6.4.3	Confección de probetas.....	69
Capítulo III Resultados y Discusiones.....		74
1.7	Resultados.....	74
1.7.1	Generalidades .....	74
1.7.2	Procedimiento .....	74
1.7.3	Cálculo del análisis de costos unitarios.....	82
1.8	Discusiones.....	85
Conclusiones.....		93
Recomendaciones .....		95
Referencias Bibliográficas.....		96

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1</b> Tipos de cemento.....	39
<b>Tabla 2</b> Tiempo de llegada de Ayacucho al río Torobamba.....	51
<b>Tabla 3</b> Peso específico de la piedra chancada.....	63
<b>Tabla 4</b> Peso específico de la arena gruesa.....	64
<b>Tabla 5</b> Peso específico del vidrio molido.....	64
<b>Tabla 6</b> Peso específico de la arena gruesa + 40% de vidrio molido .....	65
<b>Tabla 7</b> Peso específico de la arena gruesa + 45% de vidrio molido .....	65
<b>Tabla 8</b> Peso específico de la arena gruesa + 50% de vidrio molido .....	66
<b>Tabla 9</b> Resultados de dosificación para concreto con 40% de vidrio molido .....	68
<b>Tabla 10</b> Resultados de dosificación para concreto con 45% de vidrio molido .....	68
<b>Tabla 11</b> Resultados de dosificación para concreto base.....	68
<b>Tabla 12</b> Resultados de dosificación para concreto con 50% de vidrio molido.....	69
<b>Tabla 13</b> Resultados de dosificación con 40 % de vidrio molido.....	70
<b>Tabla 14</b> Resultados de dosificación con 45 % de vidrio molido.....	70
<b>Tabla 15</b> Resultados de dosificación con 50 % de vidrio molido.....	71
<b>Tabla 16</b> Resultados de dosificación con 50% de vidrio molido.....	71
<b>Tabla 17</b> Tabla resumen de resultados para $f^{\prime}c=175 \text{ kg/cm}^2$ .....	81
<b>Tabla 18</b> Tabla resumen de resultados para $f^{\prime}c=210 \text{ kg/cm}^2$ .....	82
<b>Tabla 19</b> Tabla resumen de resultados para $f^{\prime}c=280 \text{ kg/cm}^2$ .....	82
<b>Tabla 20</b> Concreto base para $f^{\prime}c = 175 \text{ kg/cm}^2$ .....	86
<b>Tabla 21</b> Concreto base para $f^{\prime}c = 210 \text{ kg/cm}^2$ .....	86
<b>Tabla 22</b> Concreto base para $f^{\prime}c = 280 \text{ kg/cm}^2$ .....	86
<b>Tabla 23</b> Concreto con 40 % de vidrio molido para $f^{\prime}c = 175 \text{ kg/cm}^2$ .....	87
<b>Tabla 24</b> Concreto con 40 % de vidrio molido para $f^{\prime}c = 210 \text{ kg/cm}^2$ .....	87

<b>Tabla 25</b> Concreto con 40 % de vidrio molido para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ .....	87
<b>Tabla 26</b> Concreto con 45 % de vidrio molido para $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ .....	88
<b>Tabla 27</b> Concreto con 45 % de vidrio molido para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ .....	88
<b>Tabla 27</b> Concreto con 45 % de vidrio molido para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ .....	88
<b>Tabla 28</b> Concreto con 50 % de vidrio molido para $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ .....	89
<b>Tabla 29</b> Concreto con 50 % de vidrio molido para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ .....	89
<b>Tabla 30</b> Concreto con 50 % de vidrio molido para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ .....	89

## Índice De Figuras

<b>Figura 1</b> Diferencia entre vidrio y cristal .....	25
<b>Figura 2</b> Código de colores para el almacenamiento de residuos sólidos .....	30
<b>Figura 3</b> Prueba del slump .....	35
<b>Figura 4</b> Almacenamiento del cemento .....	39
<b>Figura 5</b> Agua potable para la preparación del concreto .....	40
<b>Figura 6</b> Arena gruesa .....	41
<b>Figura 7</b> Piedra chancada.....	42
<b>Figura 8</b> Ubicación departamental.....	49
<b>Figura 9</b> Ubicación provincial .....	50
<b>Figura 10</b> Ubicación distrital .....	50
<b>Figura 11</b> Diagrama de flujo de procesos .....	54
<b>Figura 12</b> Resultado final del molido del vidrio.....	56
<b>Figura 13</b> Curva granulométrica de la arena gruesa .....	58
<b>Figura 14</b> Curva granulométrica de la piedra chancada .....	59
<b>Figura 15</b> Curva granulométrica del vidrio molido .....	60
<b>Figura 16</b> Curva granulométrica de la arena gruesa + 40 % de vidrio molido.....	60
<b>Figura 17</b> Curva granulométrica de la arena gruesa + 45 % de vidrio molido.....	61
<b>Figura 18</b> Curva granulométrica de la arena gruesa + 50 % de vidrio molido.....	61
<b>Figura 19</b> Resistencia alcanzada del concreto base para $f'c=175$ kg/cm <sup>2</sup> .....	75
<b>Figura 20</b> Resistencia alcanzada del concreto base para $f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup> .....	75
<b>Figura 21</b> Resistencia alcanzada del concreto base para $f'c=280$ kg/cm <sup>2</sup> .....	76
<b>Figura 22</b> Resistencia alcanzada del concreto con 40 % de vidrio molido para $f'c=175$ kg/cm <sup>2</sup> .....	76

<b>Figura 23</b> Resistencia alcanzada del concreto con 40 % de vidrio molido para $f'_c=210$ kg/cm <sup>2</sup> .....	77
<b>Figura 24</b> Resistencia alcanzada del concreto con 40 % de vidrio molido para $f'_c=280$ kg/cm <sup>2</sup> .....	77
<b>Figura 25</b> Resistencia alcanzada del concreto con 45 % de vidrio molido para $f'_c=175$ kg/cm <sup>2</sup> .....	78
<b>Figura 26</b> Resistencia alcanzada del concreto con 45 % de vidrio molido para $f'_c=210$ kg/cm <sup>2</sup> .....	78
<b>Figura 27</b> Resistencia alcanzada del concreto con 45 % de vidrio molido para $f'_c=280$ kg/cm <sup>2</sup> .....	79
<b>Figura 28</b> Resistencia alcanzada del concreto con 50 % de vidrio molido para $f'_c=175$ kg/cm <sup>2</sup> .....	80
<b>Figura 29</b> Resistencia alcanzada del concreto con 50 % de vidrio molido para $f'_c=210$ kg/cm <sup>2</sup> .....	80
<b>Figura 30</b> Resistencia alcanzada del concreto con 50 % de vidrio molido para $f'_c=280$ kg/cm <sup>2</sup> .....	81

## Resumen

El reciclaje es una necesidad mundial para mejorar la calidad del ambiente y proteger la salud de las personas. Los desechos de vidrio permanecen durante siglos contaminando el medio ambiente y solo mediante la intervención humana pueden ser reprocesados para su reutilización o reciclaje. Este estudio profundiza en el posible uso del residuo de vidrio como una solución sostenible, al ser adicionado en el concreto. El trabajo de tesis trata sobre la “Reutilización de residuos de vidrio, como sustituto parcial del agregado fino para la elaboración de concreto ecológico”, fue conceptualizada como tipo de investigación aplicada, con un nivel, aplicación del método y diseño de investigación experimental. Tuvo como objetivo principal determinar los resultados de la reutilización de residuos de vidrio como sustituto parcial del agregado fino para la elaboración de concreto ecológico, mediante el reemplazo parcial en peso del agregado fino en porcentajes del 40 %, 45 % y 50 %, con la finalidad de establecer una comparación entre un concreto convencional y otro con adición de vidrio reciclado molido. Para determinar los resultados de la reutilización de residuos de vidrio para la elaboración de concreto ecológico, se realizaron una serie de ensayos previos como la granulometría, peso específico, diseño de dosificación, confección de probetas para una resistencia  $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$ ,  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ , con diferentes porcentajes de vidrio en reemplazo de una fracción del agregado fino (arena gruesa); para lo cual se realizaron los diferentes ensayos para el diseño de mezcla de concreto. Las resistencias obtenidas se compararon con la resistencia de concreto normalizado, sin adición de vidrio. Al finalizar los ensayos de resistencia a la compresión, se concluyó que usando el 45 % de adición de vidrio reciclado molido como reemplazo en peso del agregado fino se obtiene mayor resistencia a la compresión en comparación con el concreto convencional y los demás porcentajes de adición estudiados.

**Palabras clave:** reutilización, concreto ecológico, diseño de mezcla, impacto medioambiental, vidrio reciclado.

## Abstract

Recycling is a global need to improve the quality of the environment and protect people's health. Glass waste remains for centuries polluting the environment and only through human intervention can it be reprocessed for reuse or recycling. This study delves into the possible use of glass waste as a sustainable solution, when added to concrete. The thesis work, deals with the "Reuse of glass waste, as a partial substitute for fine aggregate for the production of ecological concrete", was conceptualized as a type of applied research, with a level, application of the method and design of experimental research. Its main objective was to determine the results of the reuse of glass waste as a partial substitute for fine aggregate for the production of ecological concrete, through the partial replacement by weight of fine aggregate in percentages of 40 %, 45 % and 50 %, with the purpose of establishing a comparison between a conventional concrete and another with the addition of ground recycled glass. To determine the results of the reuse of glass waste for the production of ecological concrete, a series of previous tests were carried out, such as granulometry, specific weight, dosage design, preparation of test tubes for a resistance  $f'_c=175 \text{ kg/cm}^2$  ,  $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$  and  $f'_c=280 \text{ kg/cm}^2$ , with different percentages of glass replacing a fraction of the fine aggregate (coarse sand); for which the different tests for the design of the concrete mixture were carried out. The resistances obtained were compared with the resistance of normalized concrete, without the addition of glass. At the end of the compressive strength tests, it was concluded that using 45% addition of ground recycled glass as a replacement by weight of fine aggregate, higher compressive strength is obtained compared to conventional concrete and the other addition percentages studied.

Keywords: reuse, ecological concrete, mix design, environmental impact, recycled glass.

## Introducción

La reutilización de los desechos de vidrio es uno de los problemas más importantes en todo el mundo debido al aumento de desechos sólidos en los botaderos y la naturaleza no degradable de su eliminación.

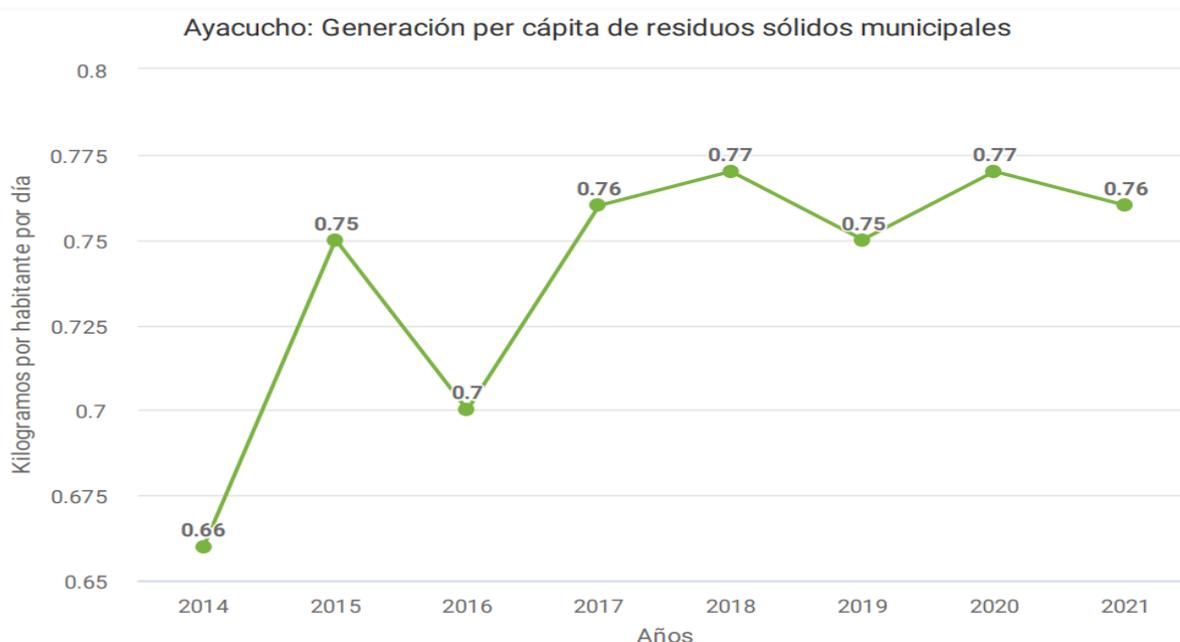
El excesivo aumento de los residuos en la actualidad pone en peligro a la naturaleza para mantener nuestras necesidades y las de generaciones futuras (Grupo de Investigación de Economía Ecológica, 2016).

Las personas siempre han generado residuos, pero es en la sociedad de consumo, cuando la cantidad de desperdicios ha incrementado de forma desmedida (Residuos, 2004).

Como cada día generamos más desperdicios, ayudamos que los residuos se incrementen de manera descontrolada, desde el momento en que compramos un producto hasta cuando arrojamamos los desperdicios, debemos practicar sencillas medidas que reduzcan significativamente la cantidad y la peligrosidad de nuestros residuos (Residuos, 2004).

La presente investigación se centra en determinar cuál sería el resultado de reutilizar residuos de vidrio como sustituto parcial del agregado fino para la elaboración de concreto ecológico; cuál sería el diseño de mezclas de concreto apropiado, incorporando residuos de vidrio como sustituto parcial del agregado fino para  $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$ ,  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ ; en qué medida varían las características mecánicas del concreto al incorporar residuos de vidrio como sustituto parcial del agregado fino para  $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$ ,  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$  y de qué manera el análisis de costos unitarios del concreto normal y el concreto incorporando residuos de vidrio en reemplazo del agregado fino inciden en la reducción de precios, mediante una serie de pruebas para diferentes porcentajes de vidrio, aprovechando el origen y las características de éste. De ese modo se inició la idea de adicionar un porcentaje de vidrio reciclado molido en reemplazo del agregado fino, proporcionándole utilidad a estos desechos.

En el departamento de Ayacucho se produjo para el año 2021: 0,76 kg-hab/día de residuos sólidos municipales, este indicador nos sirve para diseñar, elaborar e implementar políticas y estrategias para minimizar los residuos. El nivel de desarrollo de las personas influye en los hábitos de consumo y esto repercute en el incremento de la generación de residuos por habitante (Sistema Nacional de Información Ambiental, 2018).



*Fuente: Ministerio del Ambiente*

La industria de la construcción requiere grandes cantidades de materiales pétreos para elaborar el concreto, en los lugares donde se realiza la extracción de estos materiales hay una elevada contaminación y deforestación. A largo plazo, habrá una reducción de los mantos acuíferos y elevación de la temperatura en la región y en todo el mundo (Aparicio, Rivera, & Rodríguez, 2009). Por 01 tonelada de vidrio reciclado ahorramos 1,200 kg de materia prima y 130 kg de combustible. El vidrio es 100 % reciclable y no pierde sus propiedades físicas ni reduce su calidad durante el reciclado, esto nos hace anhelar residuos cero. Como necesitamos menos energía para fabricar botellas, las emisiones de gases efecto invernadero serán reducidas. También se beneficiará la calidad del aire ya que se emitirán menos partículas tóxicas a la atmósfera (Ecoticias.com, 2012).

Para salvaguardar la salud de las personas y no dañar el ambiente debemos tomar al reciclaje como una necesidad primordial. Además de crear empleo, al reciclar papel, plástico, vidrio, metales, etc.; ahorramos materias primas que son extraídas de la naturaleza e incrementamos la vida útil de los rellenos sanitarios en nuestra localidad, donde todos los días hay menos espacio para disponer los residuos (Ministerio del Ambiente, 2018).

Desde hace tiempo, se ha venido desarrollando investigaciones que buscan disminuir el impacto que causa la industria del concreto en el medio ambiente, a través del uso de material reciclado usándolo como agregado para la preparación del concreto, estos pueden ser cenizas volantes, residuos de vidrio, restos de neumáticos, plásticos en general y concreto provenientes de demoliciones, entre otros (Catalan, 2013).

Esta tesis tiene los siguientes objetivos:

## OBJETIVOS

### Objetivo General

Determinar los resultados de la reutilización de residuos de vidrio como sustituto parcial del agregado fino para la elaboración de concreto ecológico.

### Objetivos Específicos

**a)** Determinar el diseño de mezclas de concreto apropiado, incorporando residuos de vidrio como sustituto parcial del agregado fino para  $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$ ,  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ .

**b)** Determinar en qué medida varían las características mecánicas del concreto al incorporar residuos de vidrio como sustituto parcial del agregado fino para  $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$ ,  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ .

**c)** Realizar el análisis de costos unitarios del concreto normal y el concreto incorporando residuos de vidrio en reemplazo del agregado fino.

Tuvo como hipótesis general que los residuos de vidrio si se pueden reutilizar como sustituto parcial del agregado fino para la elaboración de concreto ecológico; como también existe un diseño de mezclas de concreto apropiado, incorporando residuos de vidrio como sustituto parcial del agregado fino para  $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$ ,  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ ; las características mecánicas del concreto varían al incorporar residuos de vidrio como sustituto parcial del agregado fino para  $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$ ,  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$  y la elaboración del análisis de costos unitarios del concreto normal y el concreto incorporando residuos de vidrio inciden en la reducción de precios.

## Capítulo I

### Revisión de Literatura

#### 1.1 Antecedentes

Desde hace unos 30 años se tomó la iniciativa de utilizar vidrio reciclado como un agregado para el concreto, por lo que podemos afirmar que el concreto con vidrio no es un enfoque nuevo. Carretón Meyer y su equipo en su laboratorio de New York, desarrollaron una fórmula ganadora para obtener una mezcla de concreto con vidrio fuerte y duradero; con la ayuda de Columbinas Sáciense and Tecnología Ventares, S&TV, han buscado opciones comerciales para ello, descartando las opiniones de quienes suponen que trabajar con el concreto con vidrio es bastante caro o arriesgado porque Columbia está en contacto con varias empresas capaces de producir su revolucionario producto. Entre otras, la Wausau Tile Company sigue produciendo en masa baldosas de terrazo y otros productos de concreto de vidrio bajo licencia de Columbia. Dependiendo del gusto del cliente, el concreto con vidrio puede elaborarse con partículas de vidrio de diferentes tamaños y colores combinados con una matriz coloreada como fondo – arquitectos y diseñadores están demostrando que el concreto no solo es respetuoso con el medio ambiente, sino que puede ser estéticamente agradable (Aparicio et al., 2009).

Un grupo de científicos australianos ha hecho visible la posibilidad de utilizar residuos de vidrio para la construcción con concreto. Esto quiere decir que se puede usar el concreto con vidrio para varias aplicaciones en la construcción como ciclovía, aceras, bordes, y trabajos similares (Aparicio et al., 2009).

El Dr. Kwas Sigue prensil de CSIRO Ingeniería de Materiales Sostenibles manifiesta: Se han realizado extensas pruebas en campo y laboratorio que han validado que los restos de vidrio triturado es bastante, seguro y económico cuando se utiliza en lugar de la arena en el concreto. Los estudios han demostrado que el

nuevo uso de los restos de vidrio en el concreto es una oportunidad para que el vidrio que se desecha pueda ser triturado y se le dé un excelente uso. SCRIO preparó un manual para concreto premezclado utilizando vidrio triturado. (Aparicio et al., 2009)

### ***1.1.1 Internacionales***

Johana Belén Almeida Beltrán, Carolina Rebeca Trujillo Vivas en su Tesis: Principios básicos de la construcción sostenible utilizando vidrio triturado en la elaboración de hormigones, Ecuador 2017 Analizaron el comportamiento del hormigón mediante el reemplazo parcial al peso del agregado fino por vidrio triturado en porcentajes del 30 %, 32 %, 34 %, 36 %, 38 % y 40 % para obtener una resistencia de 21 MPA con la finalidad de establecer una comparación entre un hormigón convencional y un hormigón con adición de vidrio triturado y a la vez contribuir al uso de materiales reciclables. Mediante el ensayo realizado en las distintas probetas de hormigón se obtuvo los valores de la resistencia a la compresión para edades de 7, 14, y 28 días. Los resultados obtenidos nos permiten determinar que la mezcla en donde se reemplazó el 36 % de agregado fino por vidrio triturado nos permite obtener la resistencia de diseño a edades tempranas además de proveer mejor trabajabilidad y adherencia en sus componentes, estableciendo de esta manera que el vidrio triturado puede ser empleado como un material que aporte al desarrollo de la Construcción Sostenible.

David Andrés Vargas Castro en su Tesis: Reutilización de vidrio plano como agregado fino en la elaboración de morteros de cemento y concretos, Cartago 2015 Evaluó la reutilización de los residuos del vidrio plano como sustituto parcial del agregado fino para la realización de morteros de cemento y de concretos.

Para este proyecto, se evaluaron 3 tipos de vidrios planos (reflectivo [V-R], espejo [V-E] e incoloro de 6 mm [V-I]) y se realizaron 4 mezclas de morteros y 4 de concretos con una proporción definida de arena y vidrio molido como parte de los agregados finos, se

utilizó un tipo de vidrio distinto en cada mezcla y una mezcla patrón [P] para cada caso. Posteriormente, se efectuaron pruebas de resistencia a la compresión a diferentes edades. En los morteros las resistencias obtenidas a la edad de 28 días para las muestras con vidrios planos fueron mayores en comparación con las muestras patrón (V-E con un valor de 462 kg/cm<sup>2</sup>, V-R de 440 kg/cm<sup>2</sup>, V-I de 409 kg/cm<sup>2</sup> y P con 390 kg/cm<sup>2</sup>); por lo que es posible la realización de este tipo de morteros. Además, como valor agregado se generan efectos decorativos. Para los concretos la resistencia a la compresión tampoco se ve afectada por la presencia del vidrio pues los valores obtenidos de las mezclas a la edad de 28 días se mantuvieron similares entre todos los tipos de mezclas (V-E tuvo una resistencia de 307 kg/cm<sup>2</sup>, V-R de 308 kg/cm<sup>2</sup>, V-I de 313 kg/cm<sup>2</sup> y el Patrón de 311 kg/cm<sup>2</sup>). Con respecto al costo de realizar concreto con o sin vidrio como agregado fino se observa que el costo se mantiene constante para todas las mezclas, el concreto con cada tipo de vidrio plano fue menor en aproximadamente 1 % al costo de la mezcla Patrón.

Carlos Javier Catalán Arteaga en su Tesis: Estudio de la influencia del vidrio molido en hormigones grado H15, H20, y H30, Chile 2013 Nos mostró como reutilizar el vidrio de desecho, como un agregado no natural en el hormigón, considerándolo como un árido más, reemplazando una cantidad controlada de arena. En esta investigación para determinar la influencia del vidrio triturado en la mezcla, se confeccionaron mezclas de hormigón de prueba, de graduación H15, H20 y H30, con porcentajes variables de vidrio en reemplazo de una fracción de la arena. Las resistencias obtenidas se comparan con la resistencia de hormigones patrones, sin adición de vidrio. Además, es de interés para este estudio, la variación producida en otras propiedades del hormigón, como la docilidad y la densidad final de la mezcla.

Los resultados muestran que el hormigón con adición de vidrio mantiene prácticamente inalterable sus propiedades, tanto en estado fresco como endurecido,

observándose un ligero aumento en la resistencia de las mezclas con un 10 % de agregado de vidrio, resultado que es consistente con estudios previos, y que además confirma la hipótesis propuesta.

Alberto Antonio Aparicio Villacorta, Gilberto Antonio Rivera Rivas y Magdiel Adonías Rodríguez Gomez en su Tesis: Estudio exploratorio de diseño de mezclas de concreto de peso normal y mortero tipo M y S usando vidrio reciclado como agregado, El Salvador 2009 Señalaron aspectos generales de la resistencia y la trabajabilidad del concreto y mortero, al ser usado como agregado el vidrio reciclado en distintas mezclas. Diseñaron mezclas que satisfagan los requerimientos de un revenimiento de 6" (Según ACI 211.1-91 tabla 6.3.3 es el máximo que puede alcanzarse sin usar aditivos), con variabilidad de relaciones agua-cemento de 0,50, 0,60 y 0,65 para compresión y utilizando este tipo de agregado. Determinaron como el uso del vidrio usado como agregado afecta otras propiedades del concreto como su trabajabilidad, resistencia a la compresión. En este trabajo se determinó por medio de las pruebas de compresión de cilindros de concretos y cubos de mortero si las mezclas que usan el vidrio reciclado pueden tener uso estructural o arquitectónico.

### **1.1.2 Nacionales**

Alexis Paredes Bendezú en su Tesis: Análisis de la resistencia a la compresión del concreto  $F'c=210 \text{ kg/cm}^2$  con adición de vidrio reciclado molido, Tarapoto 2019 Analizó la resistencia a la compresión del concreto  $F'c=210 \text{ kg/cm}^2$  con adición de vidrio reciclado molido, mediante el reemplazo parcial en peso del agregado fino en porcentajes del 15 %, 20 % y 25 %, con la finalidad de establecer una comparación entre un concreto convencional y otro con adición de vidrio reciclado molido. Se inició con el análisis de las propiedades físicas y químicas de los agregados pétreos y la elaboración de probetas de concreto y con adición de vidrio reciclado molido en el orden de 5 %, 10 %, 15 %, 20 %, 25 % y 30 % de

reemplazo en peso del agregado fino, con la finalidad de obtener los tres porcentajes de adición más adecuados, según la cantidad de vidrio utilizado y la semejanza de la resistencia a la compresión obtenida con el concreto convencional. Seguidamente, se procedió a la rotura de las probetas de concreto mencionadas, obteniendo 15 %, 20 % y 25 % como los porcentajes de adición de vidrio más adecuados. Posteriormente, se elaboró probetas de concreto convencional y modificado con 15 %, 20 % y 25 % de vidrio reciclado molido, y se efectuó las pruebas de resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días de curado. Al finalizar los ensayos de resistencia a la compresión, se concluyó que usando el 15 % de adición de vidrio reciclado molido como reemplazo en peso del agregado fino se obtiene mayor resistencia a la compresión en comparación con el concreto convencional y los demás porcentajes de adición estudiados.

Rita Mariluz Codina Rodríguez en su Tesis: Resistencia a la compresión de un concreto  $f^c=210 \text{ kg/cm}^2$  con agregado fino sustituido en 5 % y 10 % por vidrio molido reciclado, Huaraz 2018 Determinó los efectos que tendrá la resistencia a la compresión de un concreto  $f^c=210 \text{ kg/cm}^2$  cuando se sustituye el agregado fino en un 5 % y 10 % por vidrio molido reciclado.

Se elaboró 27 probetas: 9 con 0 % (patrón), 9 con 5 % y 9 con 10 % de vidrio molido reciclado. La técnica que se utilizó fue de observación y como instrumento se tuvieron las fichas técnicas de laboratorio de Mecánica de suelos y ensayos de materiales. El proceso de los datos se realizó con los programas Excel. Para el análisis de los datos se elaboró tablas, gráficos, porcentajes, medias y pruebas de hipótesis.

Las probetas fueron curadas y ensayadas a compresión a las edades de 7, 14 y 28 días, esto permitió conseguir resultados de resistencia a la compresión que al compararlos se observó que, a edades de 7, 14 y 28 días conforme se incrementa el contenido de vidrio la resistencia aumenta, donde sustituyendo agregado fino en 10 % por vidrio molido

reciclado se obtiene la mayor resistencia a los 28 días que es 335,67 kg/cm<sup>2</sup> alcanzando el 159,84 % de la resistencia de diseño.

Anddy Santiago Obando Paredes en su Tesis: Evaluación de la resistencia mecánica del concreto incorporando vidrio reciclado como agregado fino en muros de defensa ribereña en Trujillo. Región La Libertad, Lima 2016 Evaluó el comportamiento mecánico del diseño de mezcla de concreto, incorporando vidrio reciclado como reemplazo de un porcentaje del agregado fino; asimismo, analizó la trabajabilidad del concreto en estado fresco y determinó la resistencia a la compresión del concreto al utilizar vidrio reciclado como reemplazo de un porcentaje de agregado fino en el diseño de mezcla. Obteniendo como resultado que el reemplazo del vidrio molido como agregado fino en un porcentaje del 20% logra la resistencia requerida y a su vez se contribuye con la conservación del medio ambiente.

### ***1.1.3 Locales***

Sandra León Juica en su Tesis: Variación de las características mecánicas del concreto a través de la incorporación de vidrio molido, Ayacucho 2016 Determinó de qué manera el concreto con incorporación de vidrio molido en reemplazo del agregado fino (arena gruesa) en un 20 %, 25 % y 30 %; influye en la variación del esfuerzo a la compresión del concreto para  $f'_c=175$  kg/cm<sup>2</sup>,  $f'_c=210$  kg/cm<sup>2</sup> y  $f'_c=280$  kg/cm<sup>2</sup>; para lo cual se confeccionaron mezclas de concreto de prueba, de resistencia  $f'_c=175$  kg/cm<sup>2</sup>,  $f'_c=210$  kg/cm<sup>2</sup> y  $f'_c=280$  kg/cm<sup>2</sup>, con porcentajes variables de vidrio en reemplazo de una fracción del agregado fino (arena gruesa); para lo cual se realizaron los diferentes ensayos para el diseño de mezclas del concreto. Las resistencias obtenidas se comparan con la resistencia de concreto normalizado, sin adición de vidrio.

El concreto con 20 % de vidrio molido en reemplazo del agregado fino (arena gruesa) para  $f'_c=175$  kg/cm<sup>2</sup>,  $f'_c=210$  kg/cm<sup>2</sup> y  $f'_c=280$  kg/cm<sup>2</sup> aumentó su resistencia a la compresión, superando al concreto base. Se puede observar que existe una tendencia, a un

aumento en la resistencia del concreto, al incluir un 20 % de vidrio molido, dicha tendencia va aumentando a medida que el porcentaje de vidrio molido aumenta hasta un 30 %.

El concreto con 25 % de vidrio molido en reemplazo del agregado fino para  $f'c=175$  kg/cm<sup>2</sup> y  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> aumentó su resistencia a la compresión, superando al concreto base y al concreto con 20 % de vidrio molido. Se observa que existe una tendencia, a un aumento en la resistencia del concreto, al incluir un 25 % de vidrio molido, dicha tendencia va aumentando a medida que el porcentaje de vidrio molido aumenta hasta un 30 %.

El concreto con 30 % de vidrio molido en reemplazo del agregado fino (arena gruesa) para  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> aumentó su resistencia a la compresión significativamente, superando al concreto base, al concreto con 20 % de vidrio molido y al concreto con 25 % de vidrio molido. Se puede observar que existe una tendencia, a un aumento en la resistencia del concreto, al incluir un 30 % de vidrio molido.

## **1.2 Marco teórico**

### **1.2.1 El vidrio**

Material totalmente inorgánico duro, pero a su vez muy frágil. Sustancia amorfa fabricada primordialmente de sílice, fundida a altas temperaturas con boratos o fosfatos. Además, está en la naturaleza, en la obsidiana (roca volcánica), o en los vidrios naturales originado tras un impacto meteorítico (tectitas). El vidrio no es ni sólido ni líquido, sino que se encuentra en estado vítreo por lo que se le considera una sustancia amorfa, en el que las unidades moleculares, aunque están dispuestas de manera desordenada, tienen bastante cohesión para presentar rigidez mecánica. El vidrio se enfría hasta solidificarse sin que se genere cristalización; al calentarse vuelve a su forma líquida (Aparicio et al., 2009).

El vidrio normal es incoloro, pero si se le añade diversos componentes se consigue colorearlo, si se le añade óxido de hierro se colorea de azul verdoso que se utiliza mayormente en las botellas de cerveza, con óxido cuproso se colorea de azul turquesa, con

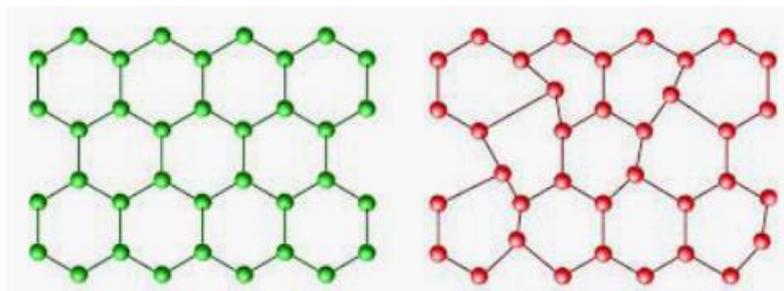
óxido de cobalto se colorea de azul, con óxido crómico se colorea de verde oscuro; como decolorantes se usan el selenio, los óxidos de níquel o cobalto, etc. Los principales clarificantes es el nitrato de potasio y sodio, también puede fabricarse opaco añadiendo compuestos enturbiadores, como el espato de flúor o la criolita (Aparicio et al., 2009).

Casi siempre hay la confusión entre vidrio y cristal. Tanto el vidrio como el cristal pueden tener la misma composición, pero, poseen una ordenación diferente de su estructura atómica. En el cristal los átomos permanecen ordenados, en el vidrio se presentan de forma desordenada, dando lugar a un material amorfo (Calderón, 2010).

Esta es la representación esquematizada de la diferencia estructural entre vidrio y cristal:

**Figura 1**

*Diferencia entre vidrio y cristal*



Estructura cristalina

Estructura vítrea

### 1.2.1.1 Fabricación del vidrio

El vidrio es fabricado a partir de una complicada combinación de compuestos vitrificantes, que incluye sílice, fundentes, como los álcalis, y estabilizantes, incluida la cal. Estas materias primas se cargan en el horno de cubeta (de producción continua) a través de una tolva. El horno se calienta con quemadores de gas o petróleo. La llama debe alcanzar una temperatura suficiente, por lo que el aire de combustión se calienta en recuperadores contruidos con ladrillos refractarios antes de que llegue a los quemadores. El horno dispone de recuperadores cuyas funciones se alternan cada veinte minutos: uno se calienta por

contacto con los gases de combustión mientras el otro presenta el calor acumulado al aire de combustión. La mezcla se funde (cuarto de fusión) a unos 1,500 °C y pasa al sector de enfriamiento, donde se produce el recocido. En el extremo opuesto del horno se alcanza una temperatura de 1,200 a 800 °C. El vidrio así recibido se forma por laminación o por medio de alguna otra técnica (Aparicio et al., 2009).

### 1.2.1.2 Propiedades generales del vidrio

#### a) Densidad

Consiste en la cantidad de masa que contiene el vidrio y que depende del tipo de materiales combinados en el proceso de fundición, la cantidad de **masa por unidad de volumen** varía dependiendo de la presión y la temperatura. La densidad del vidrio es 2500 kg/m<sup>3</sup>, lo que ofrece al vidrio plano un peso de 2,5 kg/m<sup>2</sup> por cada milímetro de espesor.

#### b) Dureza

Es la capacidad para resistir deformación o abrasión de su superficie cualquier sustancia sólida. El vidrio presenta una dureza de 6 a 7 en la escala de Mohs (relación de diez minerales ordenados por su dureza). El vidrio templado presenta la misma dureza superficial que el vidrio recocido o crudo.

#### c) Módulo de Young

También conocido como módulo de elasticidad (E), parámetro característico del material que demuestra la relación existente (en la zona de comportamiento elástico de dicho material) entre los incrementos de tensión aplicados ( $d\sigma$ ) en el ensayo de tracción y los incrementos de deformación longitudinal unitaria ( $d\varepsilon$ ) producidos. El vidrio posee una resistencia a la elasticidad de 720.000 kg/cm<sup>2</sup>.

#### d) Coeficiente de Poisson

Parámetro característico del material que indica la relación entre las deformaciones longitudinales que sufre el material perpendicularmente a la fuerza aplicada y las

deformaciones longitudinales en dirección de la fuerza aplicada sobre el mismo. Para el vidrio varía entre 0,22 y 0,23.

e) Resistencia a la intemperie

Propiedad que permite a un material resistir la acción de los agentes externos y atmosféricos. El vidrio no presenta cambios.

f) Resistencia química

El vidrio es resistente a la mayoría de los agentes químicos, excepto al ácido fluorhídrico (HF) y, a una temperatura excesiva, el fosfórico. Los álcalis atacan la superficie del vidrio. Cuando se emplean marcos de concreto, los álcalis lanzados desde el cemento, durante una lluvia, pueden opacar la superficie del vidrio. La presencia de humedad entre hojas de vidrio apiladas durante un tiempo puede producir el "impresionado" (manchas blanquecinas) en sus superficies que, son muy difíciles de quitar.

g) Resistencia mecánica

Capacidad de los cuerpos para resistir las fuerzas aplicadas sin romperse. La resistencia mecánica de un cuerpo depende de su material y de su geometría. El vidrio siempre se rompe por tensiones de tracción en su superficie.

h) Resistencia a la tracción

Máximo esfuerzo de tracción que un cuerpo puede soportar antes de romperse. Varía según la duración de la carga y oscila entre 300 y 700 kg/cm<sup>2</sup>. Para cargas permanentes, la resistencia a la tracción del vidrio disminuye en un 40 %.

A menor temperatura mayor resistencia a la tracción.

Depende del estado de los bordes del vidrio.

El borde pulido brillante es el más resistente, le sigue el borde arenado y por último el borde con un corte neto realizado con una rueda de carburo de tungsteno.

i) Resistencia a la compresión

El vidrio posee una resistencia a la compresión muy elevada, su resistencia promedio es de 1150 MPa; lo que significa que para romper un cubo de vidrio de 1cm por lado se necesita una carga de 10 toneladas aproximadamente.

j) Resistencia a la flexión

La carga a flexión se descompone en una carga a tracción y otra a compresión. Debido a que la resistencia del vidrio a tracción siempre será menor que la resistencia a compresión y en consecuencia el vidrio romperá por este esfuerzo, la resistencia a flexión será semejante a la de tracción.

k) Temperatura para su ablandamiento

El vidrio se ablanda aproximadamente a los 730 °C.

l) Conductividad térmica

Propiedad de ciertos materiales capaces de transmitir el calor, es decir, permitir el paso de la energía cinética de sus moléculas a otras sustancias adyacentes. Como el vidrio es un material sólido amorfo no tiene una alta conductividad térmica. Su conductividad térmica es de aproximadamente  $k = 1 \text{ W/mK}$  (vatios por metro-kelvin).

m) Coeficiente de dilatación lineal

Es el alargamiento por unidad de longitud al variar 1°C su temperatura. Para el vidrio entre 20 y 220 °C, dicho coeficiente es:  $9 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}$ . Por ejemplo, un vidrio de 2000 mm de longitud que incremente su temperatura en 30 °C, sufrirá un alargamiento de  $2000 (9 \times 10^{-6}) 30 = 0,54 \text{ mm}$ .

n) Módulo de rotura

Resistencia máxima calculada en un ensayo de flexión o torsión. En un ensayo de flexión, el módulo de rotura en la flexión es el esfuerzo máximo en la fibra cuando se produce el fallo. En un ensayo de torsión, el módulo de rotura en la torsión es el esfuerzo de

cizalladura máximo de la fibra extrema de un miembro circular cuando se produce el fallo.

El módulo de rotura para:

Vidrios recocidos : 350 a 550 kg/cm<sup>2</sup>

Vidrios templados : 1850 a 2100 kg/cm<sup>2</sup>

### 1.2.1.3 Reciclaje del vidrio

El vidrio se puede **reciclar en su integridad**. Además, podemos hacerlo tantas veces como queramos sin modificarlo. No en vano, aunque se recicle inmensidad de ocasiones, sigue conservando todas sus **propiedades originales** intactas (Isan, 2013).

Una de las grandes **ventajas** del reciclaje del vidrio es la obtención de otro precisamente igual en todas las ocasiones. Si no se reciclara, una botella podría tardar **más de mil años** en desintegrarse (Isan, 2013).

Otro punto a favor de su reciclado tiene que ver con la utilización que se le proporciona. Como se conoce, reciclar el vidrio permite **ahorrar energía**, es **menos caro** que fabricarlo desde el principio y, desde luego, nos impide el consumo de materias primas, incluyendo la polución ocasionada (Isan, 2013).

El país que es un caso de muestra en relación con reciclaje en este tema es **Suiza**. El cual recicla un 52 % de sus residuos generados. Le siguen otros como **Austria, Alemania, Holanda y Noruega**. USA, es uno de los que más basura produce, pero tiene una de las tasas más altas de reciclaje. El país que más basura genera es Rusia siendo este el país más grande del mundo sólo recicla el 4 % de sus residuos cada año (Borrás, 2018).

Según la NTP 900.058-2019 GESTIÓN DE RESIDUOS. Código de Colores para el Almacenamiento de Residuos Sólidos

**Figura 2**

*Código de colores para el almacenamiento de residuos sólidos*



*Fuente: ILS 360 Group*

#### Residuos municipales

Son aquellos residuos de domicilios, shoppings y otros semejantes a estos, la administración de estos residuos le corresponde al municipio desde el instante en que los diversos generadores entregan a los operarios de la entidad responsable de la prestación del servicio de residuos sólidos, o cuando los dispone en el lugar establecido por dicha entidad para su recolección.

La disposición final de residuos municipales se realiza en el relleno sanitario.

#### Color verde

Residuos que se pueden aprovechar como: papel, cartón, vidrio, plástico, textiles, madera, cuero, empaques compuestos y metales.

#### Color negro

Residuos no aprovechables como: papel encerado, papel metalizado, cerámicos, colillas de cigarro, residuos sanitarios.

Color marrón

Residuos orgánicos como: restos de alimentos, restos de poda y hojarasca.

Color rojo

Residuos peligrosos como: pilas, lámparas y luminarias, medicinas vencidas, empaques de plaguicidas, entre otros (Ministerio del Ambiente, 2019, párr. 3).

Residuos no municipales

Residuos del ámbito de administración no municipal o residuos no municipales, encontramos residuos peligrosos y no peligrosos que se desarrollan en el avance de ocupaciones extractivas, productivas y de servicios (Norma Técnica Peruana, 2019).

Comprenden los residuos hospitalarios, de construcción, agricultura, producción industrial y de instalaciones o actividades especiales, son regulados por cada sector, siendo de responsabilidad del generador. Cada sector reporta al MINAM a través de las declaraciones anuales de manejo de residuos sólidos, la gestión de estos; sin embargo, no todos los sectores cumplen con realizar el reporte. (NTP y diapositiva)

Color azul

Residuos de papel y cartón

Color blanco

Residuos de plástico

Color amarillo

Residuos de metales

Color marrón

Residuos orgánicos

Color plomo

Residuos de vidrio

Color rojo

Residuos peligrosos

Color negro

Residuos no aprovechables (Ministerio del Ambiente, 2019, párr. 7).

#### **1.2.1.4 Seguridad laboral al manejar el vidrio**

Las personas que trabajan con el vidrio están expuestas a una serie de peligros que pueden generar algún tipo de daño o lesión (Vargas, 2015).

El vidrio puede causar cortes de diversos tamaños y profundidades, puede incrustarse en la piel y el vidrio molido puede ser respirado, lo que a largo plazo puede generar enfermedades como la silicosis o empeorar las enfermedades respiratorias actuales (Vargas, 2015).

En este sentido, es vital tomar medidas para prevenir o evitar que se produzcan accidentes, ya que la protección y salud de las personas son aspectos esenciales.

Si se manipulan partículas con diámetros menores a 100 micras son inhalables y se debe usar protección respiratoria, el tamaño de la partícula con el cual se trabaja definirá si es obligatoria o no la protección respiratoria.

Para saber el tipo de protección (mascarilla o respirador) a usarse, éste variará según la concentración y el tiempo de exposición, por lo que se realizará una Evaluación del Riesgo para determinar el tipo de protección más adecuado. El equipo de protección respiratoria tiene 03 componentes los cuales deben ser evaluados para escoger el más indicado:

**Tipo de protección:** desde mascarillas desechables hasta aparatos de respiración autocontenidos.

**Resistencia al aceite:** el equipo puede ser N (no resistente a aceites), R (resistente a aceites) o P (a prueba de aceites).

Porcentaje de eficiencia del filtro: 95, 99 ó 100 (99,97) %.

### **1.2.1.5 Impacto ambiental del vidrio**

Un frasco de vidrio sobrevivirá a generaciones, afectando a la naturaleza. Es cierto que el vidrio no contamina al medio ambiente, pero durante su fabricación las grandes industrias que elaboran las botellas de vidrio generan un gran consumo de energía y emisión de sustancias derivadas de la combustión, este produce contaminantes a la atmósfera. Reutilizando los materiales que se disponen, se crean nuevos diseños y puestos de trabajo, generando un modo de vida que vela por la sostenibilidad del planeta.

Cuando se fabrica vidrio a partir de vidrio reciclado se ahorra 68 % de energía y 50 % del agua que son necesarios en el proceso de fabricación. La contaminación del aire en esta fabricación se reduce en un 20 % y la contaminación del agua en un 50 % (Martinez, 2014).

### **1.2.2 Diferencias entre el vidrio y el cristal**

El vidrio es diferente al cristal en cuanto a su composición, por lo que cada uno de éstos debe depositarse en contenedores de reciclaje diferentes. Ya que requiere temperaturas diferentes en su proceso de fundición (twenergy, 2019).

La principal **diferencia entre el cristal y el vidrio** es que los elementos de cristal tienen óxido de plomo, como las copas, vasos, elemento imposible de fundir en los hornos donde se trabaja el vidrio, todo ello debido a que necesitan temperaturas específicas (twenergy, 2019).

El cristal se puede encontrar en la naturaleza, por lo que participa en la generación de algunos minerales en cambio el vidrio, es un elemento fabricado (twenergy, 2019).

### **1.2.3 El concreto**

Mezcla en proporciones correctas de cemento Portland, agregado fino, agregado grueso, aire y agua para obtener propiedades prefijadas, como la resistencia (Abanto, 2009).

Las partículas de los agregados son unidas al reaccionar químicamente el cemento y el agua, formando un material heterogéneo, ocasionalmente se agregan algunas sustancias, denominados aditivos, para mejorar o alternar algunas propiedades del concreto (Abanto, 2009).

#### **1.2.3.1 Concreto ecológico**

Concreto convencional al cual se incorpora material reciclado en reemplazo parcial, ya sea del cemento, agregado fino, agregado grueso; reduciendo de esta manera el consumo de recursos y las emisiones de gases efecto invernadero, además de generar estructuras más fuertes.

#### **1.2.3.2 Importancia del concreto**

El material de construcción más usado en nuestro país es el concreto. La calidad final del concreto depende del conocimiento que se tenga acerca del material y de la calidad profesional del ingeniero, muchas veces el concreto es desconocido en sus siete grandes aspectos: *naturaleza, materiales, propiedades, selección de las proporciones, proceso de puesta en obra, control de calidad e inspección y mantenimiento de los elementos estructurales* (Rivva, 2000).

La limitación que se pueden dar a las aplicaciones del concreto es debido al desconocimiento de alguno de los aspectos ya señalados; así como de la mayor o menor importancia de estos de acuerdo con el empleo que se pretende dar al material. Lo cual obliga al estudio y actualización permanente para obtener del concreto las máximas posibilidades que como material puede ofrecer al ingeniero (Rivva, 2000).

#### **1.2.3.3 Requisitos de las mezclas**

Las mezclas de concreto deben cumplir con los siguientes requisitos:

a. La mezcla preparada debe permitir una adecuada colocación en los encofrados para esto debe tener la trabajabilidad, consistencia y cohesividad adecuada. Esta mezcla deberá tener una exudación mínima y estar libre de segregación.

b. La mezcla endurecida debe tener las propiedades especificadas en función del empleo que se va a dar a la estructura.

c. El costo de la unidad cúbica de concreto endurecido deberá ser el mínimo compatible con la calidad deseada (Rivva, 2000).

Las propiedades principales del concreto en estado fresco son:

#### Trabajabilidad

Esfuerzo necesario para tratar una cantidad de mezcla de concreto en estado fresco en los procesos de mezcla, transporte, fraguado y compactación. La forma más habitual de medir la "trabajabilidad" es a través de la "la prueba del slump". Los instrumentos necesarios son una plancha base, un cono y una varilla metálica. Esta prueba incluye la medición de la altura de una masa de concreto después de extraerla de un molde cónico. Cuanto mayor sea la altura, más trabajable será el concreto. Del mismo modo, cuanto mayor sea la altura, más trabajable será el concreto (ACEROS AREQUIPA, 2010).

### Figura 3

#### *Prueba del slump*



Para realizar este ensayo de revenimiento se necesita un molde tipo cono truncado de metal ligero o liviano, cuyas dimensiones son 10 y 20 cm de diámetro en sus bases respectivamente y 30 cm de altura.

En su parte inferior posee un par de asas, que nos sirven para mantener el molde fijo durante la prueba, se sostiene fijo el molde por medio de las asas contra una superficie horizontal y se llena en tres capas con el concreto a probarse, se golpea cada capa 25 veces con una varilla cilíndrica de 2 cm de diámetro y 50 cm de longitud.

Una vez lleno el molde, se enraza utilizando una regla con un movimiento de sierra, agarrando el cono por medio de las asas, levantamos cuidadosamente y se coloca a la par del concreto que estaba dentro de él, colocando la regla sobre el molde metálico en posición horizontal sobre el concreto, se mide cuanto ha sido el asentamiento, el cual nos indica el grado de docilidad que posee el concreto.

Esta prueba no nos dice nada de los cambios de granulometría ni dosificación, pero es un excelente índice de la cantidad de agua de amasado que posee el concreto.

#### Segregación

Es la separación de los materiales que forman una mezcla heterogénea (como es el concreto), de manera que su distribución deje de ser uniforme por falta de cohesión. Esto puede ser ocasionado por, diferencia en tamaño de partículas, mala distribución granulométrica, densidad, mal mezclado, mal vibrado, mal transporte, etc.

#### Exudación

Es la separación de parte del agua de la mezcla durante su fraguado, esto puede ser debido a distintas densidades, esto puede ser controlado con el uso de aditivos. La forma de medir la exudación de un concreto se encuentra descrita en la norma ASTM C 232.

#### Contracción

Capacidad de producir cambios de volumen en el concreto por la pérdida de agua por evaporación, debido a las variaciones de humedad y temperatura del ambiente. Para evitar problemas de agrietamiento es vital controlar la contracción. Una medida para reducir este problema es cumplir con el curado del concreto.

En estado endurecido el concreto presenta las siguientes propiedades:

Elasticidad

Capacidad del concreto de deformarse elásticamente dentro de ciertos límites. Es decir, que una vez deformado puede volver a su forma auténtica.

Resistencia

Capacidad del concreto para soportar una carga por unidad de área y se expresa en términos de esfuerzo, generalmente en  $\text{kg/cm}^2$ , MPa. Para que éste desarrolle la resistencia indicada en los planos, debe prepararse con cemento y agregados satisfactorios. Debe ser bien transportado, colocado, vibrado y curado (ACEROS AREQUIPA, 2010).

#### **1.2.3.4 Materiales para el concreto**

### **1.3 Los principales materiales para el concreto son:**

a. cemento, b. agua, c. agregados y d. aire.

b.

#### **a. Cemento**

Material pulverizado que, al adicionar una cantidad conveniente de agua, forma una pasta conglomerante o aglomerante capaz de endurecer tanto bajo el agua como al aire y formar compuestos estables (SENCICO, 2014).

Se tiene 03 grandes grupos de cementos:

Grupo I, Cemento Portland

Se subdividen en 05 tipos:

**Tipo I**, de uso normal, cuando no se requiere ninguna característica especial, se usa en toda obra civil normal.

**Tipo II**, cemento de moderado calor de hidratación y resistencia moderada a la acción de los sulfatos.

**Tipo III**, cemento de altas resistencias iniciales, se utiliza cuando se requiere una rápida puesta de servicio de la estructura de concreto o ganancias rápidas de resistencia.

**Tipo IV**, cemento de bajo calor de hidratación, utilizado en la elaboración de concretos masivos.

**Tipo V**, cemento de alta resistencia al ataque de los sulfatos.

Grupo II, Cemento Pozolánico

**Cemento Tipo IP**, es un cemento portland Tipo I que tiene una adición puzolánica entre 15 – 45 %, se utiliza en obras donde se requiere altas resistencias al ataque de sulfatos y bajo calor de hidratación.

**Cemento Tipo IPM**, es un cemento portland Tipo I que tiene una adición puzolánica hasta un 15 %, se utiliza en obras donde se requiere resistencias moderadas al ataque de los sulfatos y un moderado calor de hidratación.

Grupo III, Cemento Adicionado

**Cemento Tipo IS**, es un cemento portland Tipo I que tiene una adición de escorias de altos hornos finamente molidas entre 25 – 70 %, se utiliza en obras donde se requiere altas resistencias al ataque de los sulfatos y bajo calor de hidratación.

**Cemento Tipo ISM**, es un cemento portland Tipo I que tiene una adición de escorias de altos hornos finamente molidas hasta un 15 %, se utiliza en obras donde se requiere resistencias moderadas al ataque de los sulfatos y un moderado calor de hidratación (SENCICO, 2014).

**Tabla 1***Tipos de cemento*

<b>Cemento Portland</b>	<b>Cemento Puzolánico</b>		<b>Cemento Adicionado</b>
Tipo I	Tipo IP (15 % - 45 %)	Tipo	Tipo IS (25 % - 70 %) Tipo
Tipo II	IPM (Hasta 15 %)		ISM (Hasta 15 %)
Tipo III			
Tipo IV			
Tipo V			

Fuente: Manual de preparación, colocación y cuidados del concreto SENCICO

(2014)

**Figura 4***Almacenamiento del cemento***b. Agua**

El agua es un componente esencial en las mezclas de concreto y morteros, pues permite que el cemento desarrolle su capacidad ligante. Para cada cuantía de cemento existe una cantidad de agua del total de la agregada que se requiere para la hidratación del cemento; el resto del agua solo sirve para aumentar la fluidez de la pasta para que cumpla la función de lubricante de los agregados y se pueda obtener la manejabilidad adecuada de las mezclas frescas. El agua adicional es una masa que queda dentro de la mezcla y cuando se fragua el

concreto va a crear porosidad, lo que reduce la resistencia, razón por la que cuando se requiera una mezcla bastante fluida no debe lograrse su fluidez con agua, sino agregando aditivos plastificantes. (El Concreto, 2009)

Generalmente se utiliza agua potable, si no está disponible se puede usar agua de río, de lago, de afluentes naturales, entre otras, siempre y cuando estén claras, no tengan olor apreciable y cumplan con los requisitos químicos estipulados en la norma NTP 339.088: Requisitos de calidad del agua para el concreto (SENCICO, 2014).

### **Figura 5**

*Agua potable para la preparación del concreto*



### **c. Agregados**

Partículas de origen natural o artificial, inorgánicas, cuyas dimensiones están dentro de los límites establecidos en la norma NTP 400.011. Estos materiales están embebidos en la pasta y ocupan entre el 62 % y el 78 % de la unidad cúbica del concreto. Los agregados son la fase discontinua del concreto.

Una correcta información de la naturaleza corporal y química del concreto, así como de su comportamiento, presupone siempre la de los materiales que componen la corteza terrestre, estudiados a la luz de la geología y, en particular, de la petrología (Rivva, 2000).

### c.1 Clasificación

El agregado utilizado dentro de la fabricación del concreto se clasifica en agregado fino, agregado grueso y hormigón, conocido este último como agregado integral (Rivva, 2000).

#### c.1.1 Agregado fino

Es el agregado que resulta de la desintegración natural o artificial de las rocas, puede consistir en una mezcla de las dos, que pasa el Tamiz NTP 9.5 mm (3/8") y se retiene en el tamiz N° 200. El agregado fino más usual es la arena. Sus partículas deben ser limpias, de perfil predominantemente angular, duras, compactas y resistentes (Rivva, Diseño de Mezclas, 1992).

- El agregado fino tendrá que estar graduado dentro de los límites indicados en la norma NTP 400.037. No tendrá que señalar presencia de materia orgánica cuando ella es determinada de acuerdo con los requisitos de la norma NTP 400.013.

### **Figura 6**

*Arena gruesa*



#### c.1.2 Agregado Grueso

Es el agregado retenido en el tamiz NTP 4.75 mm (N°4) y cumple con los límites establecidos en la norma NTP 400.037 (Rivva, Diseño de Mezclas, 1992).

El agregado grueso incluye grava natural o triturada, piedra chancada, agregados metálicos naturales o artificiales. El agregado grueso utilizado en la producción de concreto ligero puede ser natural o artificial.

El agregado grueso está formado por partículas limpias, de perfil predominantemente angular o semiangular, duras, compactas, resistentes y de textura predominantemente rugosa.

Las partículas son químicamente estables y deben estar libres de cascarilla, tierra, polvo, limo, humus, incrustaciones superficiales, restos orgánicos, sales o diferentes materiales perjudiciales.

### **Figura 7**

*Piedra chancada*



#### c.2 Funciones del agregado

Las tres funciones principales del agregado en el concreto son:

Dar un correcto relleno a la pasta, reduciendo el material de contenido de pasta por unidad de volumen y, por tanto, disminuyendo el costo de la unidad cúbica de concreto.

Ofrecer una masa de partículas con la capacidad para hacer frente a los movimientos mecánicos, de desgaste o de intemperie que puedan actuar sobre el concreto.

Reducir las modificaciones de volumen atribuibles al fraguado y endurecimiento, humectación y secado o calentamiento de la pasta (Rivva, Naturaleza y Materiales del Concreto, 2000).

### c.3 Almacenamiento del agregado en obra

El almacenamiento correcto de los insumos del concreto contribuye a la buena marcha de la obra, y facilita la fabricación eficaz de un concreto de calidad.

En la etapa previa de la construcción, se realiza el diseño general de las instalaciones teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

Ubicación y características del lugar donde se asienta la construcción.

Espacios disponibles.

Consumo promedio de concreto en función al cronograma de la obra.

Consumo máximo y duración de periodo en el cual se realiza la mayor producción de concreto.

Formas y medios de aprovisionamiento de los materiales.

Inventario mínimo que es conveniente mantener.

Ubicación de las mezcladoras de la central de mezcla.

Evaluación de las alternativas de instalaciones de almacenamiento aplicables (ASOCEM, s.f.).

#### **1.3.1.1 Propiedades del concreto**

Dependiendo del uso, en el concreto se requieren determinadas propiedades. Es por ello por lo que es de suma importancia para el ingeniero el conocimiento de todas y cada

una de las propiedades del concreto, así como de la interrelación entre ellas, ya que es él, quien debe decidir, para cada caso particular el empleo del concreto, la mayor o menor importancia de cada una de ellas.

Se debe recordar las limitaciones del concreto, al analizar sus propiedades en función de las múltiples variables que pueden actuar sobre el concreto modificándolo. En este análisis es importante que se recuerde que, como cualquier otro material, el concreto puede sufrir adicionalmente modificaciones en el tiempo y que puede claudicar por fallas atribuibles a problemas de durabilidad, aun cuando su resistencia haya sido la adecuada.

Al analizar las propiedades del concreto esta debe estar íntimamente asociada con las características y proporciones de los materiales integrantes; la calidad, cantidad y densidad de la pasta es determinante en las propiedades del concreto; y la relación agua-cemento lo es sobre las características de la pasta (Rivva, Naturaleza y Materiales del Concreto, 2000).

#### **1.3.1.2 Pruebas en el concreto**

La mayor parte de procedimientos de diseño, están basados principalmente en lograr una resistencia a compresión para una edad especificada, así como una trabajabilidad apropiada. Además, es asumido que si se logran estas dos propiedades las otras propiedades del concreto también serán satisfactorias (Aparicio et al., 2009).

#### **1.3.1.3 Temperatura del concreto**

La temperatura del concreto mientras se combina es estimulada por el calor específico y la temperatura de los materiales constituyentes. Por lo tanto, el agregado al estar presente en la mezcla en el volumen más importante podría tener un impacto en la temperatura del concreto.

En los climas cálidos, el riego de los agregados reduce la temperatura de estos y, por tanto, la del concreto. En los casos en los que es importante un concreto muy frío, el

agregado grueso puede ser enfriado por inmersión en agua fría o por rociado de las pilas de agregado, de acuerdo con la recomendación ACI 305R.

En climas fríos puede ser necesario el calentamiento del agregado para obtener la temperatura deseada en el concreto, de acuerdo con las recomendaciones del ACI 306R. Los agregados congelados no deberán ser empleados en las mezclas de concreto (Rivva, Naturaleza y Materiales del Concreto, 2000).

#### **1.3.1.4 Hidratación y curado del concreto**

La hidratación es el proceso de reacción química del cemento en presencia del agua. La hidratación requiere la presencia de humedad, condiciones de curado favorables, y tiempo.

El tiempo de curado es el período durante el cual el concreto es mantenido en condiciones de humedad para lograr la hidratación del cemento en la magnitud que se desea para alcanzar la resistencia seleccionada (Rivva, Naturaleza y Materiales del Concreto, 2000).

#### **1.3.1.5 Diseño de mezclas del concreto**

Los elementos que conforman el concreto:

Elementos activos: cemento + arena + piedra + agua + aditivos (\*)

Elemento “pasivo”: aire.

Proporciones en volumen:

aditivo.....	0.1 % a 0.2 %
aire.....	1.0 % a 3.0 %
cementos.....	7.0 % a 15.0 %
agua.....	15.0 % a 22.0 %
agregados.....	60.0 % a 75.0 %

a. Consideraciones generales previas al diseño

### 1. Características técnicas de la estructura a realizar.

**De la obra:** Puede ser colocado en: solados, zapatas, cimientos, sobre-cimientos, columnas, placas, vigas, edificaciones, techos aligerados, losas para otros elementos, cisternas, tanques, puentes, cajones de cimentación, aeropuertos, muelles, pilote, etc.

**Del análisis estructural:** La estructura puede ser simple, armada, postensada, pretensada, prefabricada, etc.

De donde:

\* Resistencia especificada:  $f^c$  (planos)

\* Trabajabilidad: asentamiento (cono de abrams): 2", 4", 7"

### 2. Condiciones a las que estará expuesta la estructura de concreto.

Ambientales en costa, sierra, selva, norte, centro, mar, lago, etc.

### 3. Características de los materiales para la producción de concreto.

**Cantera:** arena, piedra, hormigón, de río o cerro; natural, artificial, reciclado.

**Agregados:** peso específico, peso unitario suelto, peso unitario compactado, humedad, absorción, tamaño nominal máximo, módulo de finura.

**Agua:** potable, río, pozo, cisternas y reciclada.

**Cemento:** portland normales ( $3120 \text{ kg/m}^3$ ), puzolánico ( $2960 \text{ kg/m}^3$ ), desconocido ( $3150 \text{ kg/m}^3$ )

### 4. Condiciones ambientales durante el proceso de vaciado.

#### b. Resistencia de diseño

Selección de la resistencia requerida  $f^c_{cr}$  (diseño de concreto).

$$f^c_{cr} = f^c + \text{factor de Seguridad}$$

Una prueba: Resultado del promedio de dos ensayos realizados:

$$f^c = \frac{1}{2} \times (f^c_{c1} + f^c_{c2})$$

\*Cuando no se conocen propiedades estadísticas (Factor de Seguridad) de la resistencia del concreto, se pueden tomar los valores siguientes:

$$\text{Si } f_c < 210 \text{ kg/cm}^2 \quad f_{cr} = f_c + 70 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Si } 210 \text{ kg/cm}^2 \leq f_c \leq 350 \text{ kg/cm}^2 \quad f_{cr} = f_c + 84 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Si } 350 \text{ kg/cm}^2 < f_c \quad f_{cr} = f_c + 98 \text{ kg/cm}^2$$

Los valores anteriores están formulados en el RNE E.060 y ACI.

La distribución de los resultados a compresión de las probetas de concreto, siguen siendo una tendencia similar con la forma Gaussiana (campana de Gauss), por lo que se puede obtener parámetros de  $f_{cr}$ , también utilizando las propiedades de la estadística.

### 1.3.1.6 Tipos de concreto

Según El manual de construcción UNACEM (2013),

Concreto simple

Concreto que no tiene armadura de refuerzo (veredas, pavimentos, falso piso y contrapiso, etc.)

Concreto armado

Concreto que tiene armadura de refuerzo (fierro) para resistir esfuerzos (columnas, vigas, techo).

Concreto ciclópeo

Concreto simple a cuya masa se agrega grandes piedras o bloques. No contiene armadura (cimienta).

Concreto premezclado

Concreto que se dosifica en planta, que puede ser mezclado en la misma o en camiones mezcladores y que es transportado a la obra.

Concreto prefabricado

Elementos de concreto simple o armado, fabricados en un lugar diferente a su posición final en la estructura.

## Capítulo II

### Materiales y Métodos

#### 2.1 Descripción general de la zona de estudio

##### 2.1.1 Zona de estudio

Para el presente trabajo de investigación la zona de estudio fue la *Cantera Ninabamba*, ubicada dentro del distrito de San Miguel, provincia de La Mar, departamento de Ayacucho, siendo sus coordenadas  $13^{\circ}00'49''$  S y  $73^{\circ} 58' 50''$  O en formato DMS (grados, minutos y segundos) o -13.0136 y -73.9806 (en grados decimales). Los diferentes ensayos se han realizado en la Empresa HHC INGENIEROS ASOCIADOS SAC Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Asfalto.

#### Figura 8

*Ubicación departamental*



**Figura 9***Ubicación provincial***Figura 10***Ubicación distrital*

## 2.1.2 Características de la zona de estudio

### 2.1.2.1 Vías de comunicación y acceso

A la cantera de Ninabamba se llega por vía terrestre (calle asfaltada y afirmada) desde Ayacucho – río Torobamba. Se tarda 140 minutos, siendo la distancia de 122 km. De la misma manera que se indica dentro del siguiente cuadro:

**Tabla 2**

*Tiempo de llegada de Ayacucho al río Torobamba*

ITINERARIO	DISTANCIA	TIEMPO	TIPO DE CARRETERA	TIPO DE MOVILIDAD
Ayacucho – Río Torobamba	122 km.	140 min.	Asfaltada y Afirmada	Transporte Interdistrital

### 2.1.2.2 Clima

En el distrito de San Miguel el clima es templado y seco, moderadamente lluvioso y con amplitud térmica moderada. con una temperatura media diurna de 20°C y nocturna de hasta 5°C. Las temperaturas más bajas se registran en los meses de invierno (junio, julio, agosto), y las mejores en octubre; las precipitaciones se producen durante los meses de noviembre a marzo.

## 2.2 Materiales

Materiales de escritorio

Papel bond

Libreta de campo

Lapiceros

Lápiz

Plumones

Corrector

Material bibliográfico

Documentos

Hojas de cálculo

Materiales granulares

Arena gruesa

Piedra chancada

Vidrio molido

Equipos y herramientas

Computadora

Impresora

Cámara fotográfica

Mezcladora

Cono de Abrams

Varilla compactadora

Balanza electrónica

Flexómetro

El presente trabajo es un tipo de investigación aplicada, con un nivel experimental, realizando la siguiente metodología:

## **2.3 Métodos**

### ***2.3.1 Descripción general de los ensayos realizados***

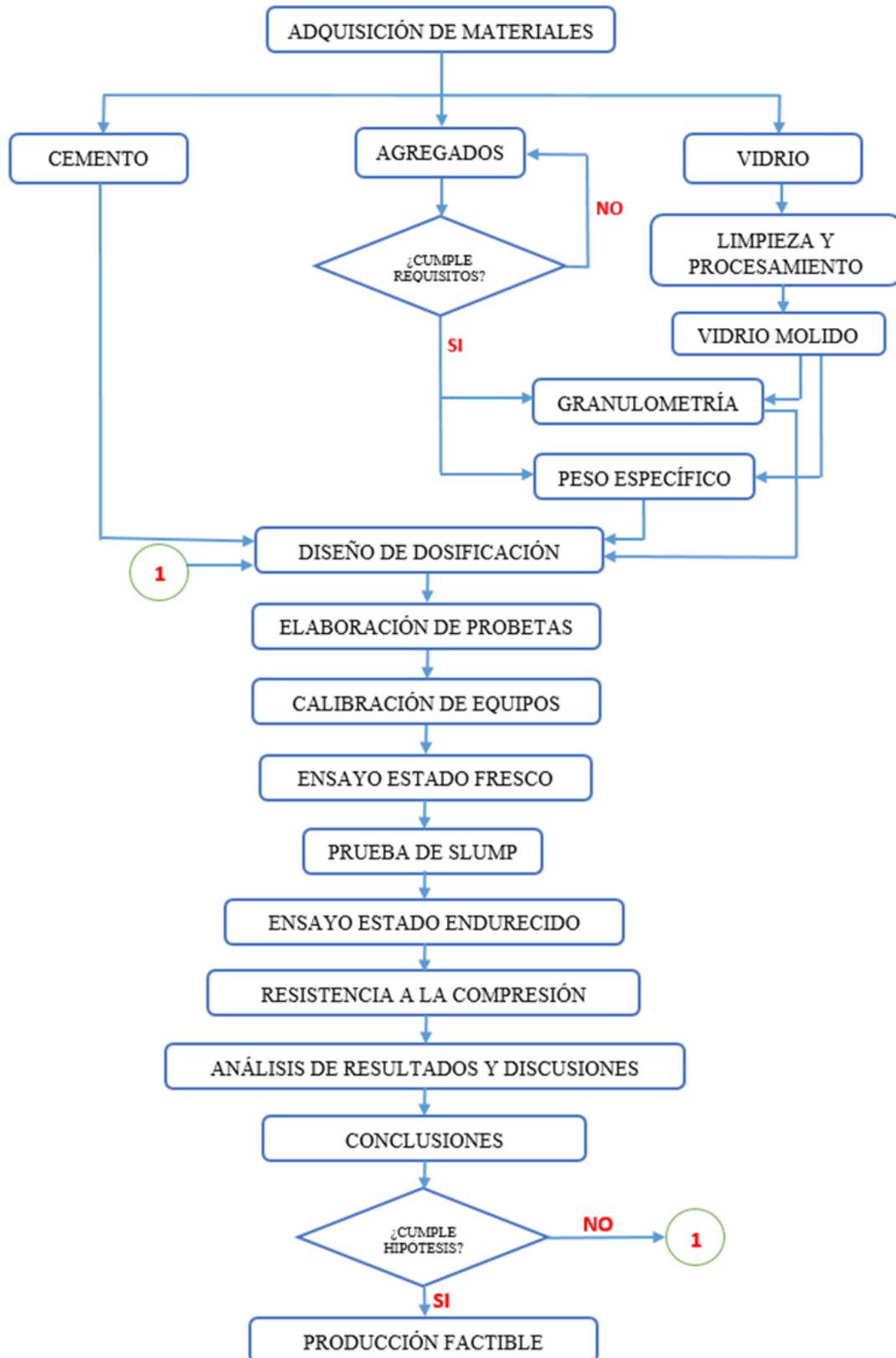
Antes de realizar los diferentes ensayos, se constató que los agregados a utilizarse cumplieran con la NTP 400.037:2021, el cemento utilizado cumplió la NTP 334.009:2020 y el agua utilizada fue potable, cumpliendo la NTP 339.088:2014 (revisada el 2019); la trituración del vidrio se llevó a cabo teniendo en cuenta las disposiciones de la NTP 400.010:2020, que se relacionan con la granulometría que tienen que cumplir los áridos para

la preparación de morteros y hormigones; se realizó los distintos ensayos para el diseño de mezcla del concreto para luego elaborar las probetas cilíndricas con dimensiones:  $\varnothing$  de base 10cm y altura 20cm fabricados de acuerdo con los métodos indicados en la norma NTP 339.183:2013 (revisada el 2018) las cuales fueron curadas por 7, 14, 21 y 28 días; para luego ser ensayadas a compresión de acuerdo con la norma NTP 339.034:2015, dejando claro de esta manera su resistencia.

Las probetas se fabricaron para los tres tipos de resistencias  $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$ ,  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ ; teniendo un porcentaje de vidrio en reemplazo de una parte del agregado fino, el cual varía desde un 40 % hasta un 50 %.

Figura 11

Diagrama de flujo de procesos



### ***2.3.2 Recolección, limpieza y procesamiento del vidrio***

Se identificó los lugares estratégicos donde encontrar la mayor cantidad de botellas de vidrio, ubicando puntos donde este tipo de material es desechado por diversas formas, comenzando con la recolección de botellas de vidrio en su integridad.

Las botellas fueron lavadas con agua caliente y detergente, se les quito las etiquetas, se enjuagó con mucho cuidado quitando cualquier resto de detergente, se les dejó secar al sol para evitar inconvenientes durante la trituración, más que nada con el material fino producido.

La trituración de las botellas se llevó a cabo en el laboratorio HHC INGENIEROS ASOCIADOS SAC Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Asfalto, donde se encuentra la máquina en la cual se ejecuta la prueba de Los Ángeles (La máquina de prueba de abrasión Los Ángeles se utiliza para determinar la resistencia de los agregados a la fragmentación. La cual consiste en una unidad de control electrónico y un tambor de acero enrollado con un diámetro interior de 711 mm y una longitud interna de 508 mm) el cual fue usado para hacer la trituración del vidrio.

El proceso utilizado para la trituración del vidrio fue el siguiente:

Se colocaron alrededor de 20 botellas en la máquina donde se ejecuta la prueba de Los Ángeles, enseguida se pusieron bolas de acero de diámetro 1.5” la cantidad estaba en función de la proporción de botellas, se cerró la máquina para evitar la proyección de material triturado.

Los tiempos de trituración variaron desde 1.5 hasta los 2.5 min; en relación de la proporción de botellas, que varía de 15 a 20 botellas.

Se vació la máquina y se tamizo parcialmente el material triturado, haciéndolo pasar por la malla N° 04, el material obtenido fue tamizado, llevando a cabo los distintos ensayos para de esta forma conseguir la curva granulométrica correspondiente.

La trituración del vidrio se llevó a cabo varias veces, hasta conseguir la cantidad deseada de material triturado. Debido a la naturaleza extremadamente abrasiva del material triturado fue primordial tomar resguardos por un tema de seguridad, usando implementos de seguridad como mascarilla, lentes, guantes y zapatos de seguridad, teniendo mayor cuidado con el material triturado más fino.

El resultado final de la molienda es un material con una textura muy parecida a la arena gruesa, con una increíble cantidad de finos gracias a los ajustes realizados en el tiempo de molienda, la masa de vidrio utilizada en cada molienda, la cantidad y el peso de las bolas utilizadas. El material obtenido básicamente no muestra bordes afilados, ya que hubo un desgaste entre partículas, estas se pulen mientras se ejecuta el proceso.

### **Figura 12**

*Resultado final del molido del vidrio*



#### **2.3.3 Análisis Granulométrico**

Es la medición y graduación que se lleva a cabo de los granos de material. Teniendo en cuenta el peso total y los pesos retenidos, nos permite estudiar y conocer el tamaño de las

partículas y sedimentos presentes en una muestra, y medir la importancia que tendrán según la fracción de suelo que representen para luego realizar la curva granulométrica, con los valores de porcentaje retenido que cada diámetro ha obtenido. Esta curva permite visualizar la tendencia homogénea o heterogénea que tienen los tamaños de grano (diámetros) de las partículas, también esta curva busca tener una continuidad que permita un desempeño adecuado en la mezcla final, aportando la resistencia que se busca en el concreto.

La norma que establece un método de ensayo para determinar la distribución por tamaño de las partículas del agregado fino y grueso es la NTP 400.012:2013 (revisada el 2018). Lo primero que se hizo fue tomar una muestra del agregado y del vidrio para pesarlo, ambas muestras se secaron en la cocina y se volvió a pesar, para así poder calcular el contenido de humedad.

Después se procedió a realizar el peso unitario suelto, se rellenó la briqueta echando el agregado a una altura no menor de 20 cm y se niveló con una varilla metálica de 5/8" de 60 cm de largo, luego se pesó, esto se llevó a cabo 03 ocasiones para la arena gruesa y el vidrio molido, en el caso de la piedra chancada han sido 02 ocasiones, para de esta forma sacar un promedio.

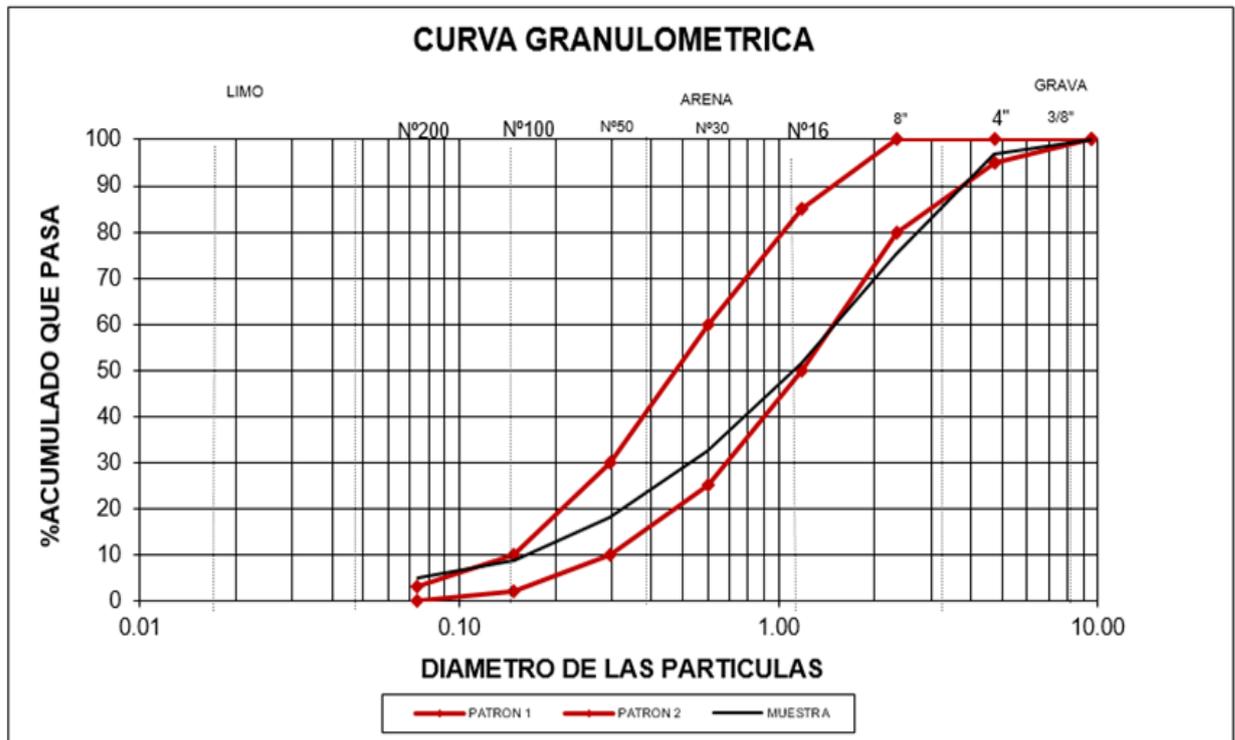
Luego se procedió a llevar a cabo el peso unitario varillado, llenándose la briqueta en 03 capas de igual volumen, compactando cada cubierta con 25 inserciones de varilla distribuyéndolas uniformemente y se niveló con la varilla de acero, para después pesarlo, esto se llevó a cabo 02 ocasiones para sacar un promedio.

Más adelante se realizó el tamizado del agregado por la malla 3/8", N° 04 y el resto del material fue <4. Del material sobrante <4 se tomó una muestra y se lavó el material, una vez limpio se colocó en la cocina para el respectivo secado, una vez seco se hizo enfriar al aire libre, se pesó y se procedió al tamizado; para lo cual se sobrepuso los contenedores uno sobre otro; comenzando por Lavado, fondo, N° 200, N° 100, N° 50, N° 30, N° 16, N° 8;

obteniéndose diferentes fracciones de dicho material retenidos en cada tamiz, los cuales fueron pesadas, dejando en claro de esta manera la granulometría del árido en función a dichos porcentajes.

**Figura 13**

*Curva granulométrica de la arena gruesa*



De la figura se obtiene:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} * D_{60}}$$

**De donde:**

$C_u$  = Coeficiente de uniformidad

**De donde:**  $C_c$  = Coeficiente de curvatura

$D_{60}$  = Diámetro al 60%

$D_{30}$  = Diámetro al 30%

$D_{10}$  = Diámetro al 10%

$D_{10}$  = Diámetro al 10%

$D_{60}$  = Diámetro al 60%

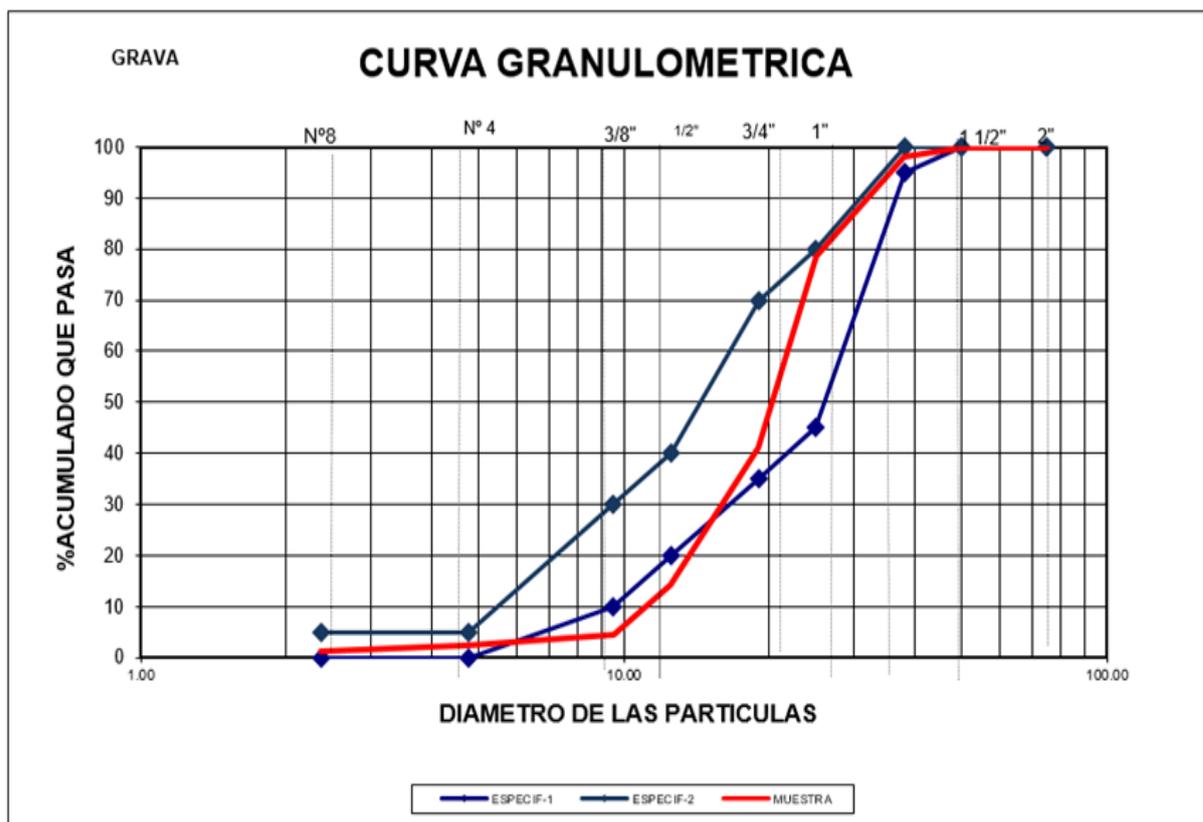
$$C_u = \frac{2.40}{0.30} = 8$$

$$C_c = \frac{0.80^2}{0.30 * 2.40} = 0.89$$

Con estos resultados deducimos que la arena gruesa presenta tiene gran variedad de tamaños, y una curva granulométrica constante, sin escalones; lo que es propio de un suelo bien graduado ya que presenta  $C_u > 4$  y  $1 < C_c < 3$ .

**Figura 14**

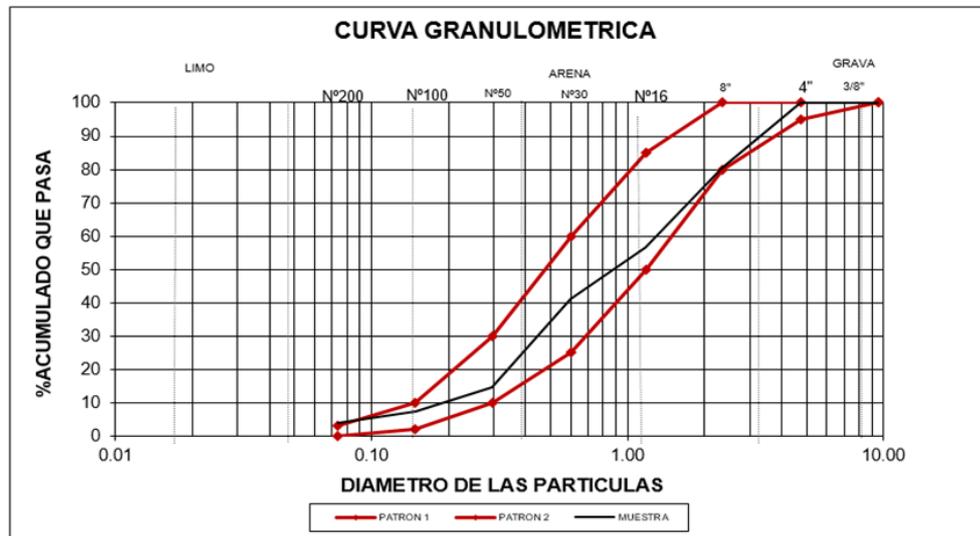
*Curva granulométrica de la piedra chancada*



La piedra chancada de igual manera presenta gran variedad de tamaños, y una curva granulométrica constante, sin escalones, ya que la muestra se encuentra en su mayoría dentro de los patrones óptimos.

**Figura 15**

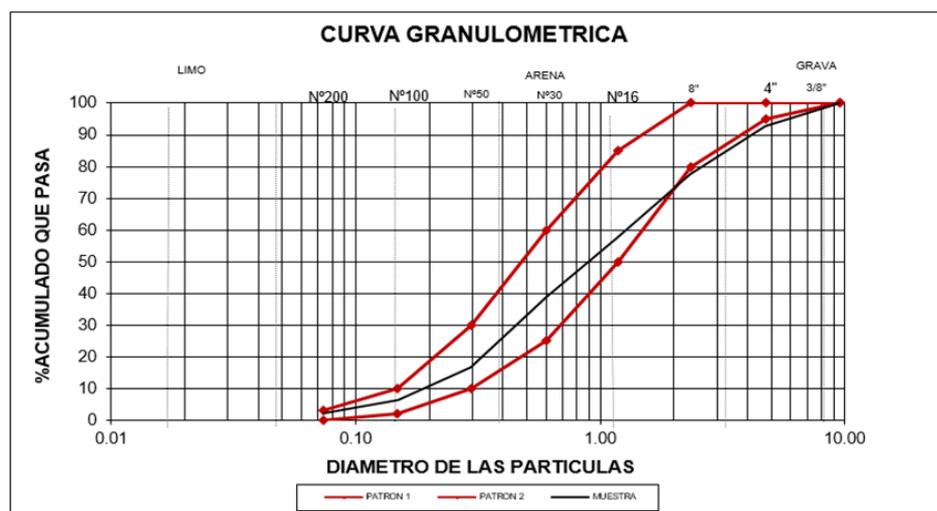
*Curva granulométrica del vidrio molido*



El vidrio molido presenta una curva granulométrica muy parecida a la arena gruesa, la cual también se encuentra dentro de los patrones óptimos la cual permite visualizar la tendencia heterogénea que tienen los tamaños de grano (diámetros) de las partículas.

**Figura 16**

*Curva granulométrica de la arena gruesa + 40 % de vidrio molido*

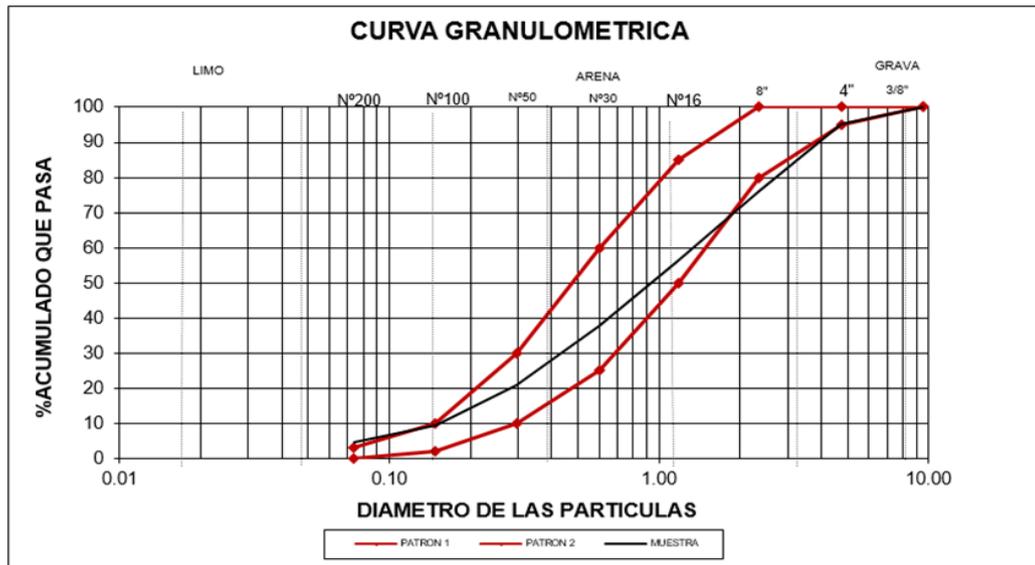


Al hacer una combinación de la arena gruesa con 40 % de vidrio molido las características de la curva granulométrica se mantienen, como si se estuviera trabajando solo

con la arena presentando una continuidad que permita un desempeño adecuado en la mezcla final, aportando la resistencia que se busca en el concreto.

**Figura 17**

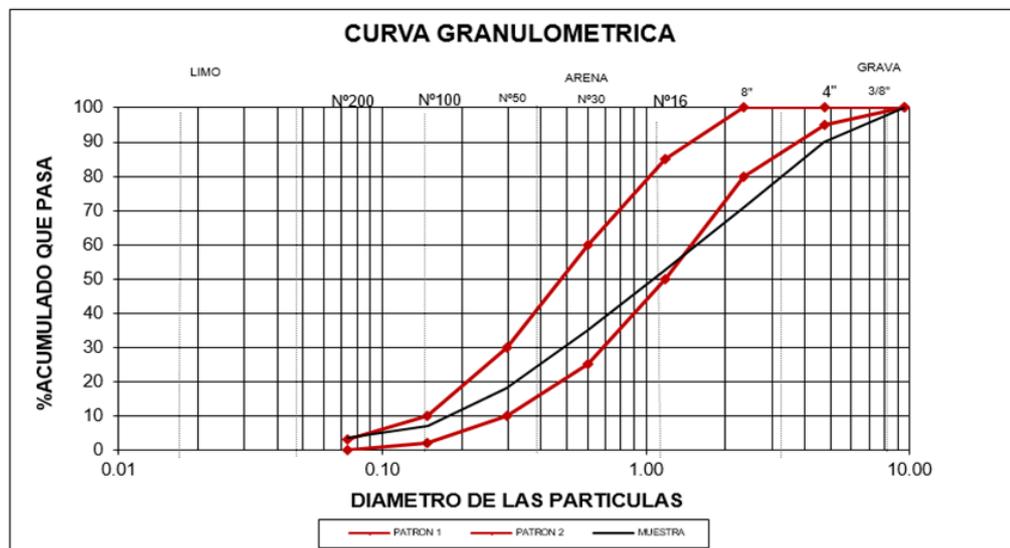
*Curva granulométrica de la arena gruesa + 45 % de vidrio molido*



Al hacer una combinación de la arena gruesa con 45 % de vidrio molido las características de la curva granulométrica se mantienen, variando ligeramente en la cantidad de Gravas, Arenas y Finos.

**Figura 18**

*Curva granulométrica de la arena gruesa + 50 % de vidrio molido*



Al hacer una combinación de la arena gruesa con 50 % de vidrio molido hay un aumento de la cantidad de Gravas la cual también se encuentra dentro de los patrones óptimos y nos permite visualizar la tendencia heterogénea que tienen los tamaños de grano (diámetros) de las partículas.

#### **2.3.4 *Peso específico***

Antes de determinar el peso específico de la arena gruesa y el vidrio molido; se calcula la humedad superficial para lo cual tomamos una muestra del material de aproximadamente 1 kg. y agregamos agua hasta alcanzar una consistencia a capacidad de campo, se dejó descansar por espacio de ½ hora en un recipiente hermético para evitar la pérdida de humedad; transcurrido este tiempo se sostiene el molde firmemente sobre una superficie suave, lisa y no absorbente, con el diámetro mayor abajo. Colocamos una porción del agregado fino en 3 capas de igual volumen, la última capa debe sobresalir del molde, compactamos ligeramente el agregado fino con el pisón dentro del molde con 25 golpes ligeros, para cada golpe, dejar caer el pisón desde una altura de 5 mm respecto a la superficie de la muestra, después removemos la arena suelta de la base y alzamos el molde verticalmente, si la humedad superficial está aún presente, el agregado fino retendrá la forma del molde, un desplome ligero del agregado moldeado indica que este ha alcanzado una condición saturada superficialmente seca.

Si no se obtiene una caída de material (existe exceso de humedad) y si se obtiene una caída excesiva de material (existe falta de humedad) para ambos casos deberá repetirse el proceso hasta alcanzar la condición SSS.

Una vez obtenida la condición SSS, se tomó inmediatamente una muestra de 500 g. Se pesa la fiola y se le agrega 500 ml de agua, lo volvemos a pesar, medimos la temperatura del agua y se agrega los 500 g. de la muestra en estado SSS, se vuelve a pesar y se agita la combinación para que el material fino pueda emerger a la superficie, quitamos los restos de

espuma de la fiola con papel absorbente. Posteriormente vaciamos la combinación y se deja decantar, luego eliminamos el exceso de agua y lo ponemos en la cocina para hacer el secado respectivo de la muestra, una vez seco se pone a enfriar al aire libre y finalmente lo pesamos.

Para determinar el peso específico de la piedra chancada; se pesa primero en el aire y luego en el agua, para esto remojuamos un promedio de 2 kg. de piedra de un día para otro, se escurre el agua y secamos cada piedrita con una franela, aproximadamente 1 ½ kg.

Calibramos la balanza, colocamos un balde con agua cerca; sumergimos la canastilla dentro del agua y procedemos a pesarlo, colocamos la piedra chancada seca en la canastilla y lo sumergimos en el agua y lo volvemos a pesar, sacamos el cesto y lo vaciamos en una bandeja para secarlo en la cocina, una vez seco se deja enfriar al aire libre y se pesa.

**Tabla 3**

*Peso específico de la piedra chancada*

<b>FECHA DE ENSAYO : 28/08/2019</b>		
<b>ESTRUCTURA</b>	<b>DISEÑO</b>	<b>DISEÑO</b>
Fecha de Ensayo.	28/08/2019	28/08/2019
Peso de la muestra superficialmente seca (Wmsss)	1605.90	1605.90
Peso canastilla en agua	<b>142.50</b>	<b>142.50</b>
Peso de canastilla en agua + Wmsss	1098.90	1098.90
Peso muestra seca en horno	1580.10	1580.10
peso especifico seco	<b>2.433</b>	<b>2.433</b>
peso especifico saturado	2.47	2.47
Peso de vacios	25.80	25.80
peso especifico aparente	2.533	2.533
% de absorción	1.63	1.63
	<b>PROMEDIO ESPECÍFICO =</b>	<b>2.433</b>
	<b>PROMEDIO ABSORCION =</b>	<b>1.633</b>
<b>OBSERVACIONES : La temperatura de ensayo del agua destilada es a 20 °C.</b>		

**Tabla 4***Peso específico de la arena gruesa*

FECHA DE ENSAYO : 28/08/2019		
Nº DE ENSAYOS	1	2
ESTRUCTURA	DISEÑO	DISEÑO
Fecha de Ensayo.	28/08/2019	28/08/2019
Wmuestra SSS (S).	500	500
WFiola+ 500 ml. de Agua (B)	660.9	660.9
Wfiola+W muestra+WAgua	1160.9	1160.9
WmuestSSS+Fiola+Agua a ( C ).	967.7	967.7
Wmuest. seco horno a 105 °C (A)	488.3	488.3
Vmuest. + Aire	193.2	193.2
Vaire	11.7	11.7
V. masa	181.5	181.5
P.E.masa	<b>2.527</b>	<b>2.527</b>
P.E.sss	<b>2.588</b>	<b>2.588</b>
P.E.aparente	<b>2.690</b>	<b>2.690</b>
% Absorción	<b>2.396</b>	<b>2.396</b>
	<b>PROMEDIO ESPECÍFICO = 2.527</b>	
	<b>PROMEDIO ABSORCION = 2.396</b>	

OBSERVACIONES : La temperatura de ensayo del agua destilada es a 20 °C.

**Tabla 5***Peso específico del vidrio molido*

FECHA DE ENSAYO : 04/09/2019		
Nº DE ENSAYOS	1	2
ESTRUCTURA	DISEÑO	DISEÑO
Fecha de Ensayo.	04/09/2019	04/09/2019
Wmuestra SSS (S).	500	500
WFiola+ 500 ml. de Agua (B)	660.7	660.7
Wfiola+W muestra+WAgua	1160.7	1160.7
WmuestSSS+Fiola+Agua a ( C ).	962.0	962.0
Wmuest. seco horno a 105 °C (A)	498.4	498.4
Vmuest. + Aire	198.7	198.7
Vaire	1.6	1.6
V. masa	197.1	197.1
P.E.masa	<b>2.508</b>	<b>2.508</b>
P.E.sss	<b>2.516</b>	<b>2.516</b>
P.E.aparente	<b>2.529</b>	<b>2.529</b>
% Absorción	<b>0.321</b>	<b>0.321</b>
	<b>PROMEDIO ESPECÍFICO = 2.508</b>	
	<b>PROMEDIO ABSORCION = 0.321</b>	

OBSERVACIONES : La temperatura de ensayo del agua destilada es a 20 °C.

**Tabla 6***Peso específico de la arena gruesa + 40% de vidrio molido*

FECHA DE ENSAYO : 28/09/2019		
N° DE ENSAYOS	1	2
ESTRUCTURA	DISEÑO	DISEÑO
Fecha de Ensayo.	28/09/2019	28/09/2019
Wmuestra SSS (S).	500	500
WFiola+ 500 ml. de Agua (B)	660.3	660.3
Wfiola+W muestra+WAgua	1160.3	1160.3
WmuestSSS+Fiola+Agua a ( C ).	971.1	971.1
Wmuest. seco horno a 105 °C (A)	493.4	493.4
Vmuest. + Aire	189.2	189.2
Vaire	6.6	6.6
V. masa	182.6	182.6
P.E.masa	<b>2.608</b>	<b>2.608</b>
P.E.sss	<b>2.643</b>	<b>2.643</b>
P.E.aparente	<b>2.702</b>	<b>2.702</b>
% Absorción	<b>1.338</b>	<b>1.338</b>
	<b>PROMEDIO ESPECÍFICO =</b>	<b>2.608</b>
	<b>PROMEDIO ABSORCION =</b>	<b>1.338</b>

OBSERVACIONES : La temperatura de ensayo del agua destilada es a 20 °C.

**Tabla 7***Peso específico de la arena gruesa + 45% de vidrio molido*

FECHA DE ENSAYO : 01/10/2019		
N° DE ENSAYOS	1	2
ESTRUCTURA	DISEÑO	DISEÑO
Fecha de Ensayo.	01/10/2019	01/10/2019
Wmuestra SSS (S).	500	500
WFiola+ 500 ml. de Agua (B)	660.5	660.5
Wfiola+W muestra+WAgua	1160.5	1160.5
WmuestSSS+Fiola+Agua a ( C ).	971.4	971.4
Wmuest. seco horno a 105 °C (A)	493.5	493.5
Vmuest. + Aire	189.1	189.1
Vaire	6.5	6.5
V. masa	182.6	182.6
P.E.masa	<b>2.610</b>	<b>2.610</b>
P.E.sss	<b>2.644</b>	<b>2.644</b>
P.E.aparente	<b>2.703</b>	<b>2.703</b>
% Absorción	<b>1.317</b>	<b>1.317</b>
	<b>PROMEDIO ESPECÍFICO =</b>	<b>2.610</b>
	<b>PROMEDIO ABSORCION =</b>	<b>1.317</b>

OBSERVACIONES : La temperatura de ensayo del agua destilada es a 20 °C.

**Tabla 8***Peso específico de la arena gruesa + 50% de vidrio molido*

FECHA DE ENSAYO : 04/10/2019		
N° DE ENSAYOS	1	2
ESTRUCTURA	DISEÑO	DISEÑO
Fecha de Ensayo.	04/10/2019	04/10/2019
Wmuestra SSS (S).	500	500
WFiola+ 500 ml. de Agua (B)	660.0	660
Wfiola+W muestra+WAgua	1160.0	1160
WmuestSSS+Fiola+Agua a ( C ).	971.2	971.2
Wmuest. seco horno a 105 °C (A)	493.6	493.6
Vmuest. + Aire	188.8	188.8
Vaire	6.4	6.4
V. masa	182.4	182.4
P.E.masa	<b>2.614</b>	<b>2.614</b>
P.E.sss	<b>2.648</b>	<b>2.648</b>
P.E.aparente	<b>2.706</b>	<b>2.706</b>
% Absorción	<b>1.297</b>	<b>1.297</b>
	<b>PROMEDIO ESPECÍFICO =</b>	<b>2.614</b>
	<b>PROMEDIO ABSORCION =</b>	<b>1.297</b>

OBSERVACIONES : La temperatura de ensayo del agua destilada es a 20 °C.

El cálculo del PESO ESPECÍFICO para la piedra chancada sirve para determinar su volumen absoluto y el cálculo del PESO ESPECÍFICO para la arena gruesa y vidrio molido es importante para determinar el diseño de mezcla de concreto.

#### 2.3.4.1 Diseño de dosificación

Consiste en determinar la combinación más práctica y económica de los materiales, para producir un concreto que cumpla los requisitos estipulados para las diferentes resistencias.

Para calcular el diseño de dosificación se utilizó la metodología usada en el Laboratorio HHC INGENIEROS ASOCIADOS SAC Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Asfalto. La dosificación se realizó para los 03 tipos de diseño, diferenciándose en la adición gradual de una cantidad controlada de vidrio, como sustituto parcial del agregado fino (arena gruesa).

El procedimiento de dosificación fue el siguiente:

- Se determinó el peso específico de la arena, vidrio molido y de la piedra chancada, en el caso del cemento se obtuvo de tablas; luego el peso unitario suelto y varillado de los tres materiales, % humedad, % absorción y el módulo de fineza; mediante las siguientes fórmulas:

$$\mathbf{Pe (arena + \% vidrio molido)} = \frac{W_{\text{muestra seco horno}}}{V_{\text{muestra + aire}}}$$

de donde:

**Vmuestra + aire**

$$= (W_{\text{fiola}} + W_{\text{muestra}} + W_{\text{agua}}) - (W_{\text{muestra SSS}} + W_{\text{fiola}} + W_{\text{agua}})$$

$$\mathbf{(W_{\text{fiola}} + W_{\text{muestra}} + W_{\text{agua}})} = W_{\text{muestra SSS}} + (W_{\text{fiola}} + 500 \text{ ml agua})$$

$$\% \mathbf{Humedad} = \frac{W}{\text{Peso Mseca}} * 100$$

de donde:

$$\mathbf{W} = (M \text{ húm. + recip.}) - (M \text{ seca + recip.})$$

$$\mathbf{Peso Mseca} = (M \text{ seca + recip.}) - \text{peso recipiente}$$

$$\% \mathbf{Absorción} = \frac{W_{\text{muestra SSS}} - W_{\text{muestra seco horno}}}{W_{\text{muestra seco horno}}} * 100$$

- Cantidad de agua (A)

Se obtiene de la tabla N° 10, 2, 1

- Cantidad de cemento (C)

Se calcula como el cociente entre la cantidad de agua y la razón agua-cemento, expresado en kg.

$$\mathbf{C} = \frac{\text{Volumen unitario de agua (Tabla 10,2,1)}}{W/C}$$

### 2.3.4.2 Resumen de dosificación

Los resultados de dosificación obtenidos para 1m<sup>3</sup> de mezcla se muestran en las siguientes tablas:

**Tabla 9**

*Resultados de dosificación para concreto con 40% de vidrio molido*

<u>MATERIALES POR METRO CÚBICO DE CONCRETO</u>	<u>175 kg/cm2</u>	<u>210 kg/cm2</u>	<u>280 kg/cm2</u>
CEMENTO	285 kg	330 kg	385 kg
AGUA	178 kg	178 kg	178 kg
GRAVA	1092 kg	1092 kg	1092 kg
ARENA + 40% DE VIDRIO MOLIDO	785 kg	747 kg	700 kg
<b>TOTAL =</b>	<b>2340 kg</b>	<b>2347 kg</b>	<b>2355 kg</b>

**Tabla 10**

*Resultados de dosificación para concreto con 45% de vidrio molido*

<u>MATERIALES POR METRO CÚBICO DE CONCRETO</u>	<u>175 kg/cm2</u>	<u>210 kg/cm2</u>	<u>280 kg/cm2</u>
CEMENTO	285 kg	330 kg	385 kg
AGUA	178 kg	178 kg	178 kg
GRAVA	1092 kg	1092 kg	1092 kg
ARENA + 45% DE VIDRIO MOLIDO	786 kg	747 kg	701 kg
<b>TOTAL =</b>	<b>2341 kg</b>	<b>2347 kg</b>	<b>2356 kg</b>

**Tabla 11**

*Resultados de dosificación para concreto base*

<u>MATERIALES POR METRO CÚBICO DE CONCRETO</u>	<u>175 kg/cm2</u>	<u>210 kg/cm2</u>	<u>280 kg/cm2</u>
CEMENTO	285 kg	330 kg	385 kg
AGUA	185 kg	185 kg	185 kg
GRAVA	1092 kg	1092 kg	1092 kg
ARENA	707 kg	669 kg	624 kg
<b>TOTAL =</b>	<b>2269 kg</b>	<b>2276 kg</b>	<b>2286 kg</b>

**Tabla 12**

*Resultados de dosificación para concreto con 50% de vidrio molido*

<u>MATERIALES POR METRO CÚBICO DE CONCRETO</u>	<u>175 kg/cm<sup>2</sup></u>	<u>210 kg/cm<sup>2</sup></u>	<u>280 kg/cm<sup>2</sup></u>
CEMENTO	285 kg	330 kg	385 kg
AGUA	178 kg	178 kg	178 kg
GRAVA	1092 kg	1092 kg	1092 kg
ARENA + 50% DE VIDRIO MOLIDO	787 kg	749 kg	702 kg
<b>TOTAL =</b>	<b>2342 kg</b>	<b>2349 kg</b>	<b>2357 kg</b>

### 2.3.4.3 Confección de probetas

Los moldes para la elaboración de las probetas deben ser de acero, hierro forjado u otro material no absorbente y que no se mezcle con el cemento, se prepararon según lo establecido en la norma NTP 339.033:2015 Preparación de mezclas de prueba en laboratorio, donde se establecen los procedimientos necesarios para la elaboración de mezclas de prueba de hormigón en laboratorio.

Se utilizó una mezcladora tipo trompo, con capacidad de carga de 120 l aprox., una balanza electrónica de precisión superior al 0,1 %.

Se usó moldes de acero de forma cilíndrica  $\varnothing = 0.10$  m y  $h = 0.20$  m; según requisitos de la norma ASTM C31, se utilizaron recipientes de variados volúmenes para medir la masa, transportar áridos, entre otros usos, la varilla a emplearse fue de acero redondo con un diámetro 5/8" (16 mm), recta y aproximadamente de 24" (60 cm) de largo y con una de sus extremos boleados, se usó un mazo con cabeza de hule o cuero que pesó aproximadamente 0.60 y 0.80 kg., la frecuencia del vibrador fue de 7000 vibraciones por minuto (150 Hz) cuando el vibrador estuvo operando en el concreto. El diámetro del vibrador fue no mayor a un cuarto del diámetro del molde cilíndrico.

Materiales:

Cemento: Se utilizó cemento portland tipo I "Andino"

Áridos: De canto rodado, provenientes de lecho de río (arena gruesa y piedra chancada)

Vidrio: Proveniente de botellas, triturado, debidamente limpio y seco.

Proceso de mezclado:

Antes de realizar el mezclado, se procedió primeramente a pesar cada uno de los materiales de acuerdo con la cantidad de material para el diseño, colocándolo posteriormente en la mezcladora.

Resultados de la dosificación de piedra chancada y arena gruesa con distintos porcentajes de vidrio molido para probetas cilíndricas de  $\varnothing$  10 cm y 20 cm de altura

**Tabla 13**

*Resultados de dosificación con 40 % de vidrio molido*

	<b>Cantidad de material para el diseño</b>		
	<u>175 kg/cm<sup>2</sup></u>	<u>210 kg/cm<sup>2</sup></u>	<u>280 kg/cm<sup>2</sup></u>
	Para 12 prob.	Para 12 prob.	Para 12 prob.
Cemento	5.365	6.227	7.265
Agua	3.354	3.357	3.36
Piedra	20.581	20.581	20.581
Arena + 40% de vidrio molido	14.8	14.074	13.201
<b>Peso Total</b>	<b>44.1</b>	<b>44.239</b>	<b>44.407</b>

**Tabla 14**

*Resultados de dosificación con 45 % de vidrio molido*

	<b>Cantidad de material para el diseño</b>		
	<u>175 kg/cm<sup>2</sup></u>	<u>210 kg/cm<sup>2</sup></u>	<u>280 kg/cm<sup>2</sup></u>
	Para 12 prob.	Para 12 prob.	Para 12 prob.
Cemento	5.365	6.227	7.265
Agua	3.354	3.357	3.36
Piedra	20.581	20.581	20.581
Arena + 40% de vidrio molido	14.8	14.074	13.201
<b>Peso Total</b>	<b>44.1</b>	<b>44.239</b>	<b>44.407</b>

**Tabla 15***Resultados de dosificación con 50 % de vidrio molido*

	<b>Cantidad de material para el diseño</b>		
	<u>175 kg/cm<sup>2</sup></u>	<u>210 kg/cm<sup>2</sup></u>	<u>280 kg/cm<sup>2</sup></u>
	Para 12 prob.	Para 12 prob.	Para 12 prob.
Cemento	5.365	6.227	7.265
Agua	3.351	3.354	3.357
Piedra	20.581	20.581	20.581
Arena + 45% de vidrio molido	14.811	14.085	13.21
<b>Peso Total</b>	<b>44.108</b>	<b>44.247</b>	<b>44.413</b>

**Tabla 16***Resultados de dosificación con 50% de vidrio molido*

	<b>Cantidad de material para el diseño</b>		
	<u>175 kg/cm<sup>2</sup></u>	<u>210 kg/cm<sup>2</sup></u>	<u>280 kg/cm<sup>2</sup></u>
	Para 12 prob.	Para 12 prob.	Para 12 prob.
Cemento	5.365	6.227	7.265
Agua	3.348	3.351	3.354
Piedra	20.581	20.581	20.581
Arena + 50% de vidrio molido	14.837	14.11	13.234
<b>Peso Total</b>	<b>44.131</b>	<b>44.269</b>	<b>44.434</b>

Antes de que los componentes del concreto estén mezclados de forma uniforme y homogénea los moldes deben estar limpios, lubricados con aceite para prevenir la adherencia con la mezcla y colocados sobre una superficie horizontal, rígida, nivelada y libre de vibraciones.

Lo primero que se realiza es la “prueba del slump”; para lo cual acondicionamos una plancha base, un cono y una varilla de metal, siguiendo las especificaciones de la NTP 339.035:2015.

El procedimiento es como sigue:

Humedecemos el molde y el piso o placa base, el operador apoya firmemente el molde sobre la base colocando y presionando con los dos pies los estribos del molde. Por ningún motivo debe mover los pies durante el llenado del molde.

El cono es llenado en tres capas de igual volumen, cada una de las cuales es apisonada y se chucea con la varilla, 25 veces cada una, penetrando la capa anterior 25mm (1”) inmediatamente después se nivela el cono rodando la varilla de compactación sobre el borde superior del molde.

Levantar el molde por encima de las 12 pulgadas (300 mm) de un solo movimiento sin giros, en un tiempo de 5 +/- 2 segundos y colocar al lado del concreto.

Por último, se mide la altura entre el cono y el concreto, colocando la varilla horizontalmente sobre el cono.

La prueba se ejecuta desde su inicio hasta el final sin interrupciones en no más de 2.5 minutos.

Una vez que hallamos realizado esta prueba se devuelve el concreto y se hace trabajar nuevamente la mezcladora; se comienza a llenar los moldes en tres capas de igual volumen, en la última capa, se agrega la cantidad de concreto suficiente para que el molde quede lleno después de la compactación, ajustamos el sobrante o faltante de concreto con una porción de mezcla y completamos el número de golpes faltantes; compactamos cada capa con 25 penetraciones de la varilla distribuyéndose uniformemente en forma de espiral y terminando en el centro.

La capa inferior se compacta en todo su espesor; la segunda y tercera capa se compacta penetrando no más de 1” en la capa anterior. Después de compactar cada capa se golpeó a los lados del molde ligeramente de 10 a 15 veces con el mazo de goma para liberar las burbujas de aire que puedan estar atrapadas. Se enrasa el exceso de concreto con la varilla de compactación, posteriormente con una cuchilla, para mejorar el acabado superior. Debe darse el menor número de pasadas para obtener una superficie lisa y acabada.

Desmolde y curado

Este procedimiento se efectuó mediante el uso de la norma NTP 339.033; luego de terminar con el llenado de los moldes, se dejó reposar en una zona adecuada para que después de 18 a 24 hr, realizar el desmolde de las probetas, hecho esto se anota en la cara circular de la probeta con un plumón indeleble el tipo de resistencia, fecha de moldeo, % de vidrio molido y tiempo de curado. Posteriormente se colocan los moldes en una poza para el curado respectivo.

## Capítulo III

### Resultados y Discusiones

#### 3.1 Resultados

##### 3.1.1 Generalidades

Una semana después de la elaboración de las probetas, éstas fueron ensayadas a compresión según la norma NTP 339.034:2015; ensayo de compresión de probetas cúbicas y cilíndricas, que establece el método para efectuar los ensayos hasta rotura por compresión, además de los requisitos que deben cumplir los equipos usados en el ensayo.

##### 3.1.2 Procedimiento

Al sacar las probetas de la poza de curado, fueron puestas al aire libre por 24 h hasta que sequen, luego se llevaron al laboratorio donde se encuentra la prensa para ensayo de resistencia a la compresión, limpiamos la superficie de los soportes superior e inferior de la prensa, identificamos las probetas para posteriormente refrentarlas.

Se colocó una cantidad aproximada de ½ kg de azufre en la cocina, esperando que ésta se derrita completamente, mientras se va engrasando las superficies de los bloques; para conseguir una distribución uniforme de la carga, luego se refrentan los moldes con el mortero de azufre. Se limpia las superficies de los bloques superior e inferior y ambos lados de la probeta; se centra las probetas en la máquina de ensayo para realizar la rotura respectiva.

$$R_c = \frac{4G}{\pi d^2}$$

Dónde:

**R<sub>c</sub>**: Es la resistencia de rotura a la compresión, en kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm<sup>2</sup>).

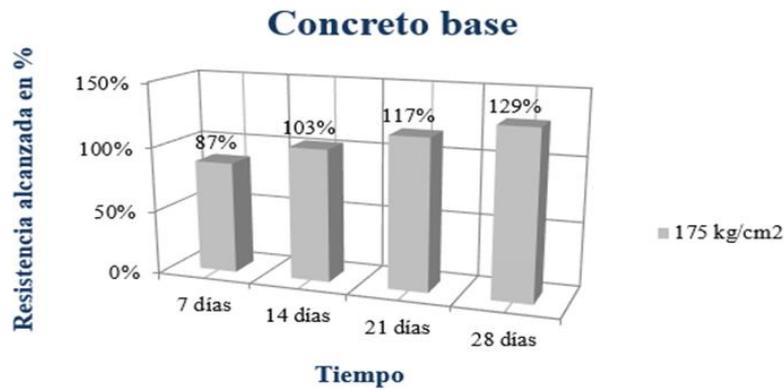
**G**: La carga máxima de rotura en kilogramos.

**d**: Es el diámetro de la probeta cilíndrica, en centímetros.

**Figura 19**

Resistencia alcanzada del concreto base para  $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$

Resistencia	7 días	14 días	21 días	28 días
175 kg/cm <sup>2</sup>	87%	103%	117%	129%

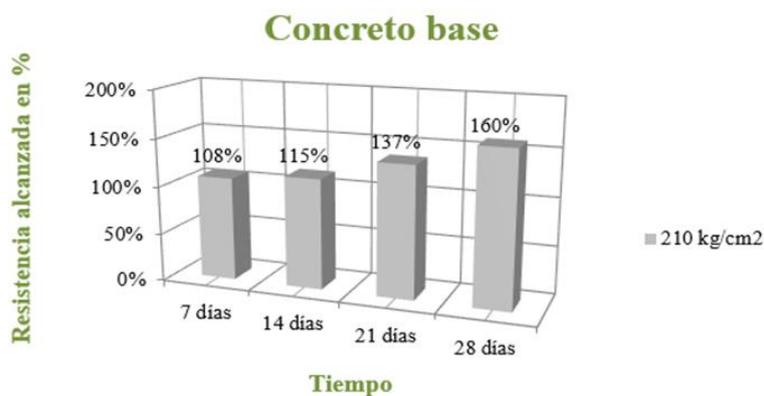


Se observa en los resultados el incremento de la resistencia conforme aumenta el tiempo de curado, elevándose de un 87 % hasta un 129 %, superando el 100 % a los 14 días, lo cual corrobora que hubo una buena selección de materiales y correcta dosificación.

**Figura 20**

Resistencia alcanzada del concreto base para  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$

Resistencia	7 días	14 días	21 días	28 días
210 kg/cm <sup>2</sup>	108%	115%	137%	160%



Se observa que hay un incremento de la resistencia, superando el 100 % a los 07 días, donde se nota que el curado es de vital importancia para obtener resistencias a la compresión óptimas.

**Figura 21**

Resistencia alcanzada del concreto base para  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$

Resistencia	7 días	14 días	21 días	28 días
280 kg/cm <sup>2</sup>	95%	104%	119%	130%



Para el periodo de curado de 28 días, se observa que las probetas adquieren una mayor ganancia en resistencia a la compresión, sin embargo, se puede apreciar que el comportamiento de la resistencia en general se mantiene en la misma orden por tiempo de curado.

**Figura 22**

Resistencia alcanzada del concreto con 40 % de vidrio molido para  $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$

Resistencia	7 días	14 días	21 días	28 días
175 kg/cm <sup>2</sup>	102%	117%	138%	165%



En comparación con la resistencia alcanzada del concreto base para  $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$  se aprecia un incremento notorio de la resistencia para las diferentes edades, superando el 100 % a los 07 días y llegando hasta un 165 % a los 28 días.

**Figura 23**

*Resistencia alcanzada del concreto con 40 % de vidrio molido para  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$*

Resistencia	7 días	14 días	21 días	28 días
210 kg/cm <sup>2</sup>	111%	125%	144%	165%



De manera similar en esta figura se puede apreciar el incremento de la resistencia a la compresión en comparación con la resistencia alcanzada del concreto base para  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ , alcanzando un 65 % más de lo esperado, a los 28 días.

**Figura 24**

*Resistencia alcanzada del concreto con 40 % de vidrio molido para  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$*

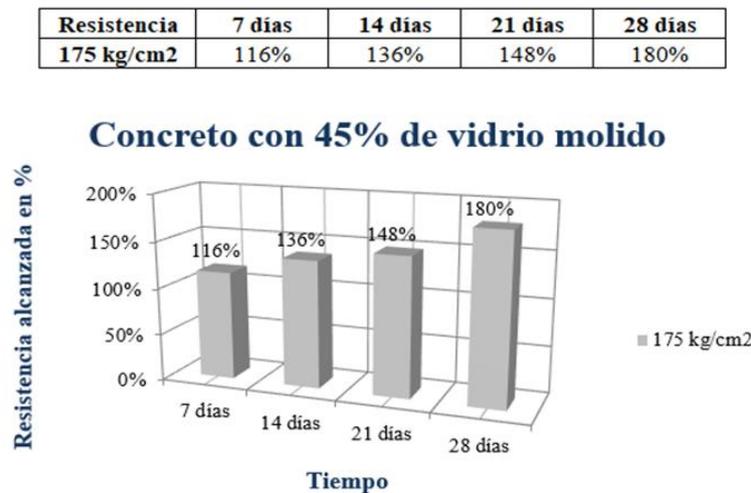
Resistencia	7 días	14 días	21 días	28 días
280 kg/cm <sup>2</sup>	98%	119%	128%	139%



Tanto en esta figura como en la del concreto base para  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ , el incremento de la resistencia es notoria; de donde podemos deducir que hubo una buena distribución granulométrica, forma y textura de los agregados también influyen.

**Figura 25**

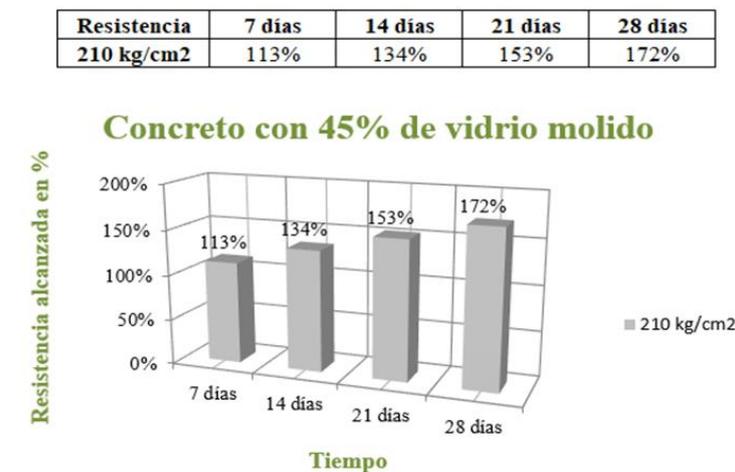
*Resistencia alcanzada del concreto con 45 % de vidrio molido para  $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$*



Se observa que al hacer un incremento en el porcentaje de vidrio molido la resistencia a la compresión sigue aumentando, lo que indica que el vidrio molido ayuda a soportar mayor carga por unidad de área.

**Figura 26**

*Resistencia alcanzada del concreto con 45 % de vidrio molido para  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$*



En esta figura también hay un incremento de resistencia a la compresión concluyendo también que es de vital importancia cumplir con todos los requerimientos presentes en las normas, pues como se visualiza la resistencia del concreto se encuentra influenciada por muchas variables tanto internas como externas.

**Figura 27**

*Resistencia alcanzada del concreto con 45 % de vidrio molido para  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$*

<b>Resistencia</b>	<b>7 días</b>	<b>14 días</b>	<b>21 días</b>	<b>28 días</b>
<b>280 kg/cm<sup>2</sup></b>	105%	122%	132%	152%



De manera similar en esta figura se puede apreciar el incremento de la resistencia a la compresión en comparación con la resistencia alcanzada del concreto base para  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$  y concreto con 40 % de vidrio molido para  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ , alcanzando un 22 % más de lo esperado, a los 28 días.

**Figura 28**

*Resistencia alcanzada del concreto con 50 % de vidrio molido para  $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$*

Resistencia	7 días	14 días	21 días	28 días
175 kg/cm <sup>2</sup>	118%	135%	147%	175%



En la figura, haciendo una comparación con el concreto con 45% de vidrio molido para  $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$  se puede apreciar que ya no hay un aumento significativo de la resistencia, empezando a disminuir, llegando a la conclusión de que si se supera el 50 % de incremento de vidrio molido la resistencia empieza a disminuir, esto debido a que el vidrio posee una superficie lisa que dificulta la adherencia de la pasta de cemento con esta partícula.

**Figura 29**

*Resistencia alcanzada del concreto con 50 % de vidrio molido para  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$*

Resistencia	7 días	14 días	21 días	28 días
210 kg/cm <sup>2</sup>	110%	132%	149%	167%



En esta figura también se observa la disminución de la resistencia a la compresión al hacer la comparación con el concreto con 45 % de vidrio molido para  $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ , corroborando una vez más que al aumentar más del 45 % de vidrio molido la resistencia ya no aumenta.

**Figura 30**

*Resistencia alcanzada del concreto con 50 % de vidrio molido para  $f'_c=280 \text{ kg/cm}^2$*

Resistencia	7 días	14 días	21 días	28 días
280 kg/cm <sup>2</sup>	102%	119%	128%	147%



En esta figura también se observa una disminución gradual e importante de la resistencia a la compresión; lo que nos permite deducir que, para altos porcentajes de sustitución, el efecto benéfico de la adición del vidrio molido es anulado por la deficiencia en la adherencia entre la pasta de cemento y el vidrio.

**Tabla 17**

*Tabla resumen de resultados para  $f'_c=175 \text{ kg/cm}^2$*

TIPO DE CONCRETO	7 DÍAS ( % )	14 DÍAS ( % )	21 DÍAS ( % )	28 DÍAS ( % )
Concreto base	87	103	117	129
Concreto con 40 % de vidrio molido	102	117	138	165
Concreto con 45 % de vidrio molido	116	136	148	180
Concreto con 50 % de vidrio molido	118	135	147	175

**Tabla 18**

Tabla resumen de resultados para  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$

TIPO DE CONCRETO	7 DÍAS (%)	14 DÍAS (%)	21 DÍAS (%)	28 DÍAS (%)
Concreto base	108	115	137	160
Concreto con 40 % de vidrio molido	111	125	144	165
Concreto con 45 % de vidrio molido	113	134	153	172
Concreto con 50 % de vidrio molido	110	132	149	167

**Tabla 19**

Tabla resumen de resultados para  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$

TIPO DE CONCRETO	7 DÍAS (%)	14 DÍAS (%)	21 DÍAS (%)	28 DÍAS (%)
Concreto base	95	104	119	130
Concreto con 40 % de vidrio molido	98	119	128	139
Concreto con 45 % de vidrio molido	105	122	132	152
Concreto con 50 % de vidrio molido	102	119	128	147

### 3.1.3 Cálculo del análisis de costos unitarios

Partida	01.03.03.01.08 CONCRETO $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$						
Rendimiento	m3/DIA	MO. 20.0000	EQ. 20.0000	Costo unitario directo por : m3			512.41
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
<b>Mano de Obra</b>							
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	0.4000	24.29	9.72	
0101010004	OFICIAL	hh	1.0000	0.4000	19.20	7.68	
0101010005	PEON	hh	10.0000	4.0000	17.36	69.44	
							<b>86.84</b>
<b>Materiales</b>							
02010300010002	GASOLINA 90 OCTANOS	gal		0.5200	10.59	5.51	
0207010001	PIEDRA CHANCADA	m3		0.5600	137.12	76.79	
02070200010002	ARENA GRUESA	m3		0.5400	115.93	62.60	
0213010001	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)	bol		8.4300	31.50	265.55	
							<b>410.45</b>
<b>Equipos</b>							
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	86.84	4.34	
03012900010002	VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 1.25"	hm	0.2500	0.1000	9.75	0.98	
0301290003	MEZCLADORA DE CONCRETO	hm	1.0000	0.4000	24.50	9.80	
							<b>15.12</b>

Partida	01.03.03.03.11		CONCRETO f <sub>c</sub> =175 kg/cm <sup>2</sup> CON 40% DE VIDRIO MOLIDO				
Rendimiento	m3/DIA	MO. 20.0000	EQ. 20.0000	Costo unitario directo por : m3			<b>487.37</b>
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
<b>Mano de Obra</b>							
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	0.4000	24.29	9.72	
0101010004	OFICIAL	hh	1.0000	0.4000	19.20	7.68	
0101010005	PEON	hh	10.0000	4.0000	17.36	69.44	
							<b>86.84</b>
<b>Materiales</b>							
02010300010002	GASOLINA 90 OCTANOS	gal		0.5200	10.59	5.51	
0207010001	PIEDRA CHANCADA	m3		0.5600	137.12	76.79	
02070200010002	ARENA GRUESA	m3		0.3240	115.93	37.56	
0213010002	VIDRIO MOLIDO	m3		0.2160	0.00	0.00	
0213010001	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)	bol		8.4300	31.50	265.55	
							<b>385.41</b>
<b>Equipos</b>							
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	86.84	4.34	
03012900010002	VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 1.25"	hm	0.2500	0.1000	9.75	0.98	
0301290003	MEZCLADORA DE CONCRETO	hm	1.0000	0.4000	24.50	9.80	
							<b>15.12</b>

Partida	01.03.03.03.11		CONCRETO f <sub>c</sub> =175 kg/cm <sup>2</sup> CON 45% DE VIDRIO MOLIDO				
Rendimiento	m3/DIA	MO. 20.0000	EQ. 20.0000	Costo unitario directo por : m3			<b>484.24</b>
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
<b>Mano de Obra</b>							
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	0.4000	24.29	9.72	
0101010004	OFICIAL	hh	1.0000	0.4000	19.20	7.68	
0101010005	PEON	hh	10.0000	4.0000	17.36	69.44	
							<b>86.84</b>
<b>Materiales</b>							
02010300010002	GASOLINA 90 OCTANOS	gal		0.5200	10.59	5.51	
0207010001	PIEDRA CHANCADA	m3		0.5600	137.12	76.79	
02070200010002	ARENA GRUESA	m3		0.2970	115.93	34.43	
0213010002	VIDRIO MOLIDO	m3		0.2430	0.00	0.00	
0213010001	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)	bol		8.4300	31.50	265.55	
							<b>382.28</b>
<b>Equipos</b>							
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	86.84	4.34	
03012900010002	VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 1.25"	hm	0.2500	0.1000	9.75	0.98	
0301290003	MEZCLADORA DE CONCRETO	hm	1.0000	0.4000	24.50	9.80	
							<b>15.12</b>

Partida	01.03.03.03.11		CONCRETO f <sub>c</sub> =175 kg/cm <sup>2</sup> CON 50% DE VIDRIO MOLIDO				
Rendimiento	m3/DIA	MO. 20.0000	EQ. 20.0000	Costo unitario directo por : m3			<b>481.11</b>
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
<b>Mano de Obra</b>							
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	0.4000	24.29	9.72	
0101010004	OFICIAL	hh	1.0000	0.4000	19.20	7.68	
0101010005	PEON	hh	10.0000	4.0000	17.36	69.44	
							<b>86.84</b>
<b>Materiales</b>							
02010300010002	GASOLINA 90 OCTANOS	gal		0.5200	10.59	5.51	
0207010001	PIEDRA CHANCADA	m3		0.5600	137.12	76.79	
02070200010002	ARENA GRUESA	m3		0.2700	115.93	31.30	
0213010002	VIDRIO MOLIDO	m3		0.2700	0.00	0.00	
0213010001	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)	bol		8.4300	31.50	265.55	
							<b>379.15</b>
<b>Equipos</b>							
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	86.84	4.34	
03012900010002	VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 1.25"	hm	0.2500	0.1000	9.75	0.98	
0301290003	MEZCLADORA DE CONCRETO	hm	1.0000	0.4000	24.50	9.80	
							<b>15.12</b>

Partida	01.03.01.03.04		CONCRETO f'c=210 kg/cm2				
Rendimiento	m3/DIA	MO. 18.0000	EQ. 18.0000	Costo unitario directo por : m3			624.74
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
<b>Mano de Obra</b>							
0101010003	OPERARIO	hh	2.0000	0.8889	24.29	21.59	
0101010004	OFICIAL	hh	3.0000	1.3333	19.20	25.60	
0101010005	PEON	hh	10.0000	4.4444	17.36	77.15	
<b>124.34</b>							
<b>Materiales</b>							
02010300010002	GASOLINA 90 OCTANOS	gal		0.5200	10.59	5.51	
0207010001	PIEDRA CHANCADA	m3		0.7600	137.12	104.21	
02070200010002	ARENA GRUESA	m3		0.5300	115.93	61.44	
0213010001	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)	bol		9.8400	31.50	309.96	
<b>481.12</b>							
<b>Equipos</b>							
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	124.34	6.22	
03012900010002	VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 1.25"	hm	0.5000	0.2222	9.75	2.17	
0301290003	MEZCLADORA DE CONCRETO	hm	1.0000	0.4444	24.50	10.89	
<b>19.28</b>							

Partida	01.03.02.03.03		CONCRETO f'c=210 kg/cm2 CON 40% DE VIDRIO MOLIDO				
Rendimiento	m3/DIA	MO. 18.0000	EQ. 18.0000	Costo unitario directo por : m3			600.17
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
<b>Mano de Obra</b>							
0101010003	OPERARIO	hh	2.0000	0.8889	24.29	21.59	
0101010004	OFICIAL	hh	3.0000	1.3333	19.20	25.60	
0101010005	PEON	hh	10.0000	4.4444	17.36	77.15	
<b>124.34</b>							
<b>Materiales</b>							
02010300010002	GASOLINA 90 OCTANOS	gal		0.5200	10.59	5.51	
0207010001	PIEDRA CHANCADA	m3		0.7600	137.12	104.21	
02070200010002	ARENA GRUESA	m3		0.3180	115.93	36.87	
0213010002	VIDRIO MOLIDO	m3		0.2120	0.00	0.00	
0213010001	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)	bol		9.8400	31.50	309.96	
<b>456.55</b>							
<b>Equipos</b>							
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	124.34	6.22	
03012900010002	VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 1.25"	hm	0.5000	0.2222	9.75	2.17	
0301290003	MEZCLADORA DE CONCRETO	hm	1.0000	0.4444	24.50	10.89	
<b>19.28</b>							

Partida	01.03.02.03.03		CONCRETO f'c=210 kg/cm2 CON 45% DE VIDRIO MOLIDO				
Rendimiento	m3/DIA	MO. 18.0000	EQ. 18.0000	Costo unitario directo por : m3			596.92
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
<b>Mano de Obra</b>							
0101010003	OPERARIO	hh	2.0000	0.8889	24.29	21.59	
0101010004	OFICIAL	hh	3.0000	1.3333	19.20	25.60	
0101010005	PEON	hh	10.0000	4.4444	17.36	77.15	
<b>124.34</b>							
<b>Materiales</b>							
02010300010002	GASOLINA 90 OCTANOS	gal		0.5200	10.59	5.51	
0207010001	PIEDRA CHANCADA	m3		0.7600	137.12	104.21	
02070200010002	ARENA GRUESA	m3		0.2900	115.93	33.62	
0213010002	VIDRIO MOLIDO	m3		0.2400	0.00	0.00	
0213010001	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)	bol		9.8400	31.50	309.96	
<b>453.30</b>							
<b>Equipos</b>							
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	124.34	6.22	
03012900010002	VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 1.25"	hm	0.5000	0.2222	9.75	2.17	
0301290003	MEZCLADORA DE CONCRETO	hm	1.0000	0.4444	24.50	10.89	
<b>19.28</b>							

Partida	01.03.02.03.03		CONCRETO $f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup> CON 50% DE VIDRIO MOLIDO				
Rendimiento	m3/DIA	MO. 18.0000	EQ. 18.0000	Costo unitario directo por : m3			594.02
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
<b>Mano de Obra</b>							
0101010003	OPERARIO	hh	2.0000	0.8889	24.29	21.59	
0101010004	OFICIAL	hh	3.0000	1.3333	19.20	25.60	
0101010005	PEON	hh	10.0000	4.4444	17.36	77.15	
						<b>124.34</b>	
<b>Materiales</b>							
02010300010002	GASOLINA 90 OCTANOS	gal		0.5200	10.59	5.51	
0207010001	PIEDRA CHANCADA	m3		0.7600	137.12	104.21	
02070200010002	ARENA GRUESA	m3		0.2650	115.93	30.72	
0213010002	VIDRIO MOLIDO	m3		0.2650	0.00	0.00	
0213010001	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)	bol		9.8400	31.50	309.96	
						<b>450.40</b>	
<b>Equipos</b>							
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	124.34	6.22	
03012900010002	VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 1.25"	hm	0.5000	0.2222	9.75	2.17	
0301290003	MEZCLADORA DE CONCRETO	hm	1.0000	0.4444	24.50	10.89	
						<b>19.28</b>	

### 3.2 Discusiones

En relación con los antecedentes, tenemos lo siguiente:

Se realizó una comparación de los resultados obtenidos de ensayos de resistencia a la compresión a los 07, 14, 21 y 28 días de un concreto  $f'c=175$  kg/cm<sup>2</sup>,  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> y  $f'c=280$  kg/cm<sup>2</sup> tradicional con un concreto  $f'c=175$  kg/cm<sup>2</sup>,  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> y  $f'c=280$  kg/cm<sup>2</sup> sustituyendo en 40 %, 45 % y 50 % el agregado fino por vidrio molido reciclado, de los cuales nos permite las deducciones del estudio en cuestión.

El ensayo a compresión de las probetas de concreto a los 07, 14, 21 y 28 días para  $f'c=175$  kg/cm<sup>2</sup>,  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> y  $f'c=280$  kg/cm<sup>2</sup> tanto para concreto base, concreto con 40 % y 45 % de vidrio molido; permite identificar que, conforme incrementa el porcentaje de vidrio como sustituto parcial del agregado fino la resistencia aumenta, alcanzando los siguientes valores:

Tabla 20

Concreto base para  $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$

N°	ESPECIMEN LUGAR	F'c Kg/cm2	AREA cm2	Fecha Moldeo	EDAD DIAS	Fecha de Rotura	LECTURA Dial	FUERZA CORREGIDA(Kg)	RESISTENCIA		PROMEDIO	FECHA 05-Oct-19	CURADO EN AGUA
									Kg/cm2.	%			
1	DISEÑO	175	79	07/09/2019	7	14-Set-19	11952	11793	152	87			EN LABORATORIO
2	DISEÑO	175	79	07/09/2019	7	14-Set-19	11718	11559	149	85	87		EN LABORATORIO
3	DISEÑO	175	79	07/09/2019	7	14-Set-19	12153	11994	155	88			EN LABORATORIO
4	DISEÑO	175	79	07/09/2019	14	21-Set-19	14792	14632	188	108			EN LABORATORIO
5	DISEÑO	175	79	07/09/2019	14	21-Set-19	14782	14622	188	108	103		EN LABORATORIO
6	DISEÑO	175	79	07/09/2019	14	21-Set-19	12988	12829	165	94			EN LABORATORIO
7	DISEÑO	175	79	07/09/2019	21	28-Set-19	15939	15779	203	116			EN LABORATORIO
8	DISEÑO	175	79	07/09/2019	21	28-Set-19	16105	15945	205	117	117		EN LABORATORIO
9	DISEÑO	175	79	07/09/2019	21	28-Set-19	16201	16041	206	118			EN LABORATORIO
10	DISEÑO	175	79	07/09/2019	28	05-Oct-19	17002	16842	216	124			EN LABORATORIO
11	DISEÑO	175	79	07/09/2019	28	05-Oct-19	18536	18376	236	135	129		EN LABORATORIO
12	DISEÑO	175	79	07/09/2019	28	05-Oct-19	17756	17596	226	129			EN LABORATORIO

Tabla 21

Concreto base para  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

N°	ESPECIMEN LUGAR	F'c Kg/cm2	AREA cm2	Fecha Moldeo	EDAD DIAS	Fecha de Rotura	LECTURA Dial	FUERZA CORREGIDA(Kg)	RESISTENCIA		PROMEDIO	FECHA 30-Set-19	CURADO EN AGUA
									Kg/cm2.	%			
1	DISEÑO	210	79	02/09/2019	7	09-Set-19	15924	15764	203	97			EN LABORATORIO
2	DISEÑO	210	79	02/09/2019	7	09-Set-19	18324	18164	233	111	108		EN LABORATORIO
3	DISEÑO	210	79	02/09/2019	7	09-Set-19	19002	18842	242	115			EN LABORATORIO
4	DISEÑO	210	79	02/09/2019	14	16-Set-19	19624	19464	250	119			EN LABORATORIO
5	DISEÑO	210	79	02/09/2019	14	16-Set-19	18934	18774	241	115	115		EN LABORATORIO
6	DISEÑO	210	79	02/09/2019	14	16-Set-19	18436	18276	235	112			EN LABORATORIO
7	DISEÑO	210	79	02/09/2019	21	23-Set-19	22935	22775	292	139			EN LABORATORIO
8	DISEÑO	210	79	02/09/2019	21	23-Set-19	21659	21499	276	131	137		EN LABORATORIO
9	DISEÑO	210	79	02/09/2019	21	23-Set-19	23357	23197	297	142			EN LABORATORIO
10	DISEÑO	210	79	02/09/2019	28	30-Set-19	26927	26767	343	163			EN LABORATORIO
11	DISEÑO	210	79	02/09/2019	28	30-Set-19	25648	25488	327	156	160		EN LABORATORIO
12	DISEÑO	210	79	02/09/2019	28	30-Set-19	26809	26649	341	163			EN LABORATORIO

Tabla 22

Concreto base para  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$

N°	ESPECIMEN LUGAR	F'c Kg/cm2	AREA cm2	Fecha Moldeo	EDAD DIAS	Fecha de Rotura	LECTURA Dial	FUERZA CORREGIDA(Kg)	RESISTENCIA		PROMEDIO	FECHA 09-Oct-19	CURADO EN AGUA
									Kg/cm2.	%			
1	DISEÑO	175	79	11/09/2019	7	18-Set-19	15132	14972	193	110			EN LABORATORIO
2	DISEÑO	175	79	11/09/2019	7	18-Set-19	13458	13299	171	98	102		EN LABORATORIO
3	DISEÑO	175	79	11/09/2019	7	18-Set-19	13627	13468	174	99			EN LABORATORIO
4	DISEÑO	175	79	11/09/2019	14	25-Set-19	15634	15474	199	114			EN LABORATORIO
5	DISEÑO	175	79	11/09/2019	14	25-Set-19	15937	15777	203	116	117		EN LABORATORIO
6	DISEÑO	175	79	11/09/2019	14	25-Set-19	16827	16667	214	122			EN LABORATORIO
7	DISEÑO	175	79	11/09/2019	21	02-Oct-19	19350	19190	246	141			EN LABORATORIO
8	DISEÑO	175	79	11/09/2019	21	02-Oct-19	18492	18332	235	135	138		EN LABORATORIO
9	DISEÑO	175	79	11/09/2019	21	02-Oct-19	19064	18904	243	139			EN LABORATORIO
10	DISEÑO	175	79	11/09/2019	28	09-Oct-19	19978	19818	254	145			EN LABORATORIO
11	DISEÑO	175	79	11/09/2019	28	09-Oct-19	23982	23822	305	174	165		EN LABORATORIO
12	DISEÑO	175	79	11/09/2019	28	09-Oct-19	24068	23908	306	175			EN LABORATORIO

Tabla 23

Concreto con 40 % de vidrio molido para  $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$

N°	ESPECIMEN LUGAR	F'c Kg/cm2	AREA cm2	Fecha Moldeo	EDAD DIAS	Fecha de Rotura	LECTURA Dial	FUERZA CORREGIDA(Kg)	RESISTENCIA		PROMEDIO	FECHA	CURADO
									Kg/cm2.	%		02-Oct-19	EN AGUA
1	DISEÑO	280	79	04/09/2019	7	11-Set-19	19826	19666	252	90	95		EN LABORATORIO
2	DISEÑO	280	79	04/09/2019	7	11-Set-19	21732	21572	277	99			
3	DISEÑO	280	79	04/09/2019	7	11-Set-19	21034	20874	268	96			EN LABORATORIO
4	DISEÑO	280	79	04/09/2019	14	18-Set-19	22961	22801	292	104	104		EN LABORATORIO
5	DISEÑO	280	79	04/09/2019	14	18-Set-19	21930	21770	279	100			
6	DISEÑO	280	79	04/09/2019	14	18-Set-19	23821	23661	303	108			EN LABORATORIO
7	DISEÑO	280	79	04/09/2019	21	25-Set-19	25931	25771	330	118	119		EN LABORATORIO
8	DISEÑO	280	79	04/09/2019	21	25-Set-19	26308	26148	335	120			
9	DISEÑO	280	79	04/09/2019	21	25-Set-19	26049	25889	332	118			EN LABORATORIO
10	DISEÑO	280	79	04/09/2019	28	02-Oct-19	27960	27800	356	127	130		EN LABORATORIO
11	DISEÑO	280	79	04/09/2019	28	02-Oct-19	28997	28837	369	132			
12	DISEÑO	280	79	04/09/2019	28	02-Oct-19	28706	28546	365	131			EN LABORATORIO

Tabla 24

Concreto con 40 % de vidrio molido para  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

N°	ESPECIMEN LUGAR	F'c Kg/cm2	AREA cm2	Fecha Moldeo	EDAD DIAS	Fecha de Rotura	LECTURA Dial	FUERZA CORREGIDA(Kg)	RESISTENCIA		PROMEDIO	FECHA	CURADO
									Kg/cm2.	%		12-Oct-19	EN AGUA
1	DISEÑO	210	79	14/09/2019	7	21-Set-19	16520	16360	210	100	111		EN LABORATORIO
2	DISEÑO	210	79	14/09/2019	7	21-Set-19	18954	18794	241	115			
3	DISEÑO	210	79	14/09/2019	7	21-Set-19	19524	19364	249	118			EN LABORATORIO
4	DISEÑO	210	79	14/09/2019	14	28-Set-19	19925	19765	254	121	125		EN LABORATORIO
5	DISEÑO	210	79	14/09/2019	14	28-Set-19	21065	20905	268	128			
6	DISEÑO	210	79	14/09/2019	14	28-Set-19	20891	20731	266	127			EN LABORATORIO
7	DISEÑO	210	79	14/09/2019	21	05-Oct-19	24590	24430	313	149	144		EN LABORATORIO
8	DISEÑO	210	79	14/09/2019	21	05-Oct-19	23471	23311	299	142			
9	DISEÑO	210	79	14/09/2019	21	05-Oct-19	23054	22894	294	140			EN LABORATORIO
10	DISEÑO	210	79	14/09/2019	28	12-Oct-19	26981	26821	344	164	165		EN LABORATORIO
11	DISEÑO	210	79	14/09/2019	28	12-Oct-19	27631	27471	352	168			
12	DISEÑO	210	79	14/09/2019	28	12-Oct-19	26897	26737	342	163			EN LABORATORIO

Tabla 25

Concreto con 40 % de vidrio molido para  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$

N°	ESPECIMEN LUGAR	F'c Kg/cm2	AREA cm2	Fecha Moldeo	EDAD DIAS	Fecha de Rotura	LECTURA Dial	FUERZA CORREGIDA(Kg)	RESISTENCIA		PROMEDIO	FECHA	CURADO
									Kg/cm2.	%		17-Oct-19	EN AGUA
1	DISEÑO	280	79	19/09/2019	7	26-Set-19	23156	22996	295	105	98		EN LABORATORIO
2	DISEÑO	280	79	19/09/2019	7	26-Set-19	19520	19360	249	89			
3	DISEÑO	280	79	19/09/2019	7	26-Set-19	21945	21785	279	100			EN LABORATORIO
4	DISEÑO	280	79	19/09/2019	14	03-Oct-19	26458	26298	337	120	119		EN LABORATORIO
5	DISEÑO	280	79	19/09/2019	14	03-Oct-19	25930	25770	330	118			
6	DISEÑO	280	79	19/09/2019	14	03-Oct-19	26039	25879	332	118			EN LABORATORIO
7	DISEÑO	280	79	19/09/2019	21	10-Oct-19	27736	27576	353	126	128		EN LABORATORIO
8	DISEÑO	280	79	19/09/2019	21	10-Oct-19	28619	28459	364	130			
9	DISEÑO	280	79	19/09/2019	21	10-Oct-19	28097	27937	358	128			EN LABORATORIO
10	DISEÑO	280	79	19/09/2019	28	17-Oct-19	31267	31107	398	142	139		EN LABORATORIO
11	DISEÑO	280	79	19/09/2019	28	17-Oct-19	29960	29800	381	136			
12	DISEÑO	280	79	19/09/2019	28	17-Oct-19	30627	30467	390	139			EN LABORATORIO

Tabla 26

Concreto con 45 % de vidrio molido para  $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$

N°	ESPECIMEN LUGAR	F'c Kg/cm2	AREA cm2	Fecha Moldeo	EDAD DIAS	Fecha de Rotura	LECTURA Dial	FUERZA CORREGIDA(Kg)	RESISTENCIA		PROMEDIO	FECHA	21-Oct-19
									Kg/cm2.	%			CURADO EN AGUA
1	DISEÑO	175	79	23/09/2019	7	30-Set-19	17026	16866	217	124			EN LABORATORIO
2	DISEÑO	175	79	23/09/2019	7	30-Set-19	14692	14532	187	107	116		EN LABORATORIO
3	DISEÑO	175	79	23/09/2019	7	30-Set-19	15967	15807	203	116			EN LABORATORIO
4	DISEÑO	175	79	23/09/2019	14	07-Oct-19	17490	17330	223	127			EN LABORATORIO
5	DISEÑO	175	79	23/09/2019	14	07-Oct-19	19924	19764	254	145	136		EN LABORATORIO
6	DISEÑO	175	79	23/09/2019	14	07-Oct-19	18624	18464	237	136			EN LABORATORIO
7	DISEÑO	175	79	23/09/2019	21	14-Oct-19	21950	21790	279	160			EN LABORATORIO
8	DISEÑO	175	79	23/09/2019	21	14-Oct-19	18462	18302	235	134	148		EN LABORATORIO
9	DISEÑO	175	79	23/09/2019	21	14-Oct-19	20462	20302	261	149			EN LABORATORIO
10	DISEÑO	175	79	23/09/2019	28	21-Oct-19	23157	22997	295	168			EN LABORATORIO
11	DISEÑO	175	79	23/09/2019	28	21-Oct-19	26540	26380	338	193	180		EN LABORATORIO
12	DISEÑO	175	79	23/09/2019	28	21-Oct-19	24359	24199	310	177			EN LABORATORIO

Tabla 27

Concreto con 45 % de vidrio molido para  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

N°	ESPECIMEN LUGAR	F'c Kg/cm2	AREA cm2	Fecha Moldeo	EDAD DIAS	Fecha de Rotura	LECTURA Dial	FUERZA CORREGIDA(Kg)	RESISTENCIA		PROMEDIO	FECHA	25-Oct-19
									Kg/cm2.	%			CURADO EN AGUA
1	DISEÑO	210	79	27/09/2019	7	04-Oct-19	18465	18305	235	112			EN LABORATORIO
2	DISEÑO	210	79	27/09/2019	7	04-Oct-19	18364	18204	234	111	113		EN LABORATORIO
3	DISEÑO	210	79	27/09/2019	7	04-Oct-19	18972	18812	242	115			EN LABORATORIO
4	DISEÑO	210	79	27/09/2019	14	11-Oct-19	19645	19485	250	119			EN LABORATORIO
5	DISEÑO	210	79	27/09/2019	14	11-Oct-19	23648	23488	301	143	134		EN LABORATORIO
6	DISEÑO	210	79	27/09/2019	14	11-Oct-19	22942	22782	292	139			EN LABORATORIO
7	DISEÑO	210	79	27/09/2019	21	18-Oct-19	23498	23338	299	142			EN LABORATORIO
8	DISEÑO	210	79	27/09/2019	21	18-Oct-19	25648	25488	327	156	153		EN LABORATORIO
9	DISEÑO	210	79	27/09/2019	21	18-Oct-19	26541	26381	338	161			EN LABORATORIO
10	DISEÑO	210	79	27/09/2019	28	25-Oct-19	28361	28201	361	172			EN LABORATORIO
11	DISEÑO	210	79	27/09/2019	28	25-Oct-19	27950	27790	356	169	172		EN LABORATORIO
12	DISEÑO	210	79	27/09/2019	28	25-Oct-19	28635	28475	365	174			EN LABORATORIO

Tabla 28

Concreto con 45 % de vidrio molido para  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$

N°	ESPECIMEN LUGAR	F'c Kg/cm2	AREA cm2	Fecha Moldeo	EDAD DIAS	Fecha de Rotura	LECTURA Dial	FUERZA CORREGIDA(Kg)	RESISTENCIA		PROMEDIO	FECHA	31-Oct-19
									Kg/cm2.	%			CURADO EN AGUA
1	DISEÑO	280	79	03/10/2019	7	10-Oct-19	24358	24198	310	111			EN LABORATORIO
2	DISEÑO	280	79	03/10/2019	7	10-Oct-19	21168	21008	270	96	105		EN LABORATORIO
3	DISEÑO	280	79	03/10/2019	7	10-Oct-19	23542	23382	300	107			EN LABORATORIO
4	DISEÑO	280	79	03/10/2019	14	17-Oct-19	26198	26038	334	119			EN LABORATORIO
5	DISEÑO	280	79	03/10/2019	14	17-Oct-19	26395	26235	336	120	122		EN LABORATORIO
6	DISEÑO	280	79	03/10/2019	14	17-Oct-19	27652	27492	352	126			EN LABORATORIO
7	DISEÑO	280	79	03/10/2019	21	24-Oct-19	29984	29824	382	136			EN LABORATORIO
8	DISEÑO	280	79	03/10/2019	21	24-Oct-19	28625	28465	364	130	132		EN LABORATORIO
9	DISEÑO	280	79	03/10/2019	21	24-Oct-19	28154	27994	358	128			EN LABORATORIO
10	DISEÑO	280	79	03/10/2019	28	31-Oct-19	34265	34105	436	156			EN LABORATORIO
11	DISEÑO	280	79	03/10/2019	28	31-Oct-19	31859	31699	406	145	152		EN LABORATORIO
12	DISEÑO	280	79	03/10/2019	28	31-Oct-19	33872	33712	431	154			EN LABORATORIO

Tabla 29

Concreto con 50 % de vidrio molido para  $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$

N°	ESPECIMEN LUGAR	F'c Kg/cm2	AREA cm2	Fecha Moldeo	EDAD DIAS	Fecha de Rotura	LECTURA Dial	FUERZA CORREGIDA(Kg)	RESISTENCIA		PROMEDIO	FECHA 04-Nov-19	CURADO EN AGUA
									Kg/cm2.	%			
1	DISEÑO	175	79	07/10/2019	7	14-Oct-19	18326	18166	233	133		EN LABORATORIO	
2	DISEÑO	175	79	07/10/2019	7	14-Oct-19	14528	14368	185	106	118	EN LABORATORIO	
3	DISEÑO	175	79	07/10/2019	7	14-Oct-19	15685	15525	200	114		EN LABORATORIO	
4	DISEÑO	175	79	07/10/2019	14	21-Oct-19	19625	19465	250	143		EN LABORATORIO	
5	DISEÑO	175	79	07/10/2019	14	21-Oct-19	18440	18280	235	134	135	EN LABORATORIO	
6	DISEÑO	175	79	07/10/2019	14	21-Oct-19	17623	17463	224	128		EN LABORATORIO	
7	DISEÑO	175	79	07/10/2019	21	28-Oct-19	22165	22005	282	161		EN LABORATORIO	
8	DISEÑO	175	79	07/10/2019	21	28-Oct-19	18352	18192	234	134	147	EN LABORATORIO	
9	DISEÑO	175	79	07/10/2019	21	28-Oct-19	19982	19822	254	145		EN LABORATORIO	
10	DISEÑO	175	79	07/10/2019	28	04-Nov-19	22840	22680	291	166		EN LABORATORIO	
11	DISEÑO	175	79	07/10/2019	28	04-Nov-19	24931	24771	317	181	175	EN LABORATORIO	
12	DISEÑO	175	79	07/10/2019	28	04-Nov-19	24562	24402	313	179		EN LABORATORIO	

Tabla 30

Concreto con 50 % de vidrio molido para  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

N°	ESPECIMEN LUGAR	F'c Kg/cm2	AREA cm2	Fecha Moldeo	EDAD DIAS	Fecha de Rotura	LECTURA Dial	FUERZA CORREGIDA(Kg)	RESISTENCIA		PROMEDIO	FECHA 06-Nov-19	CURADO EN AGUA
									Kg/cm2.	%			
1	DISEÑO	210	79	09/10/2019	7	16-Oct-19	18253	18093	232	111		EN LABORATORIO	
2	DISEÑO	210	79	09/10/2019	7	16-Oct-19	17635	17475	225	107	110	EN LABORATORIO	
3	DISEÑO	210	79	09/10/2019	7	16-Oct-19	18539	18379	236	112		EN LABORATORIO	
4	DISEÑO	210	79	09/10/2019	14	23-Oct-19	18936	18776	241	115		EN LABORATORIO	
5	DISEÑO	210	79	09/10/2019	14	23-Oct-19	23415	23255	298	142	132	EN LABORATORIO	
6	DISEÑO	210	79	09/10/2019	14	23-Oct-19	22860	22700	291	139		EN LABORATORIO	
7	DISEÑO	210	79	09/10/2019	21	30-Oct-19	22960	22800	292	139		EN LABORATORIO	
8	DISEÑO	210	79	09/10/2019	21	30-Oct-19	24931	24771	317	151	149	EN LABORATORIO	
9	DISEÑO	210	79	09/10/2019	21	30-Oct-19	25859	25699	329	157		EN LABORATORIO	
10	DISEÑO	210	79	09/10/2019	28	06-Nov-19	27970	27810	356	170		EN LABORATORIO	
11	DISEÑO	210	79	09/10/2019	28	06-Nov-19	26598	26438	339	161	167	EN LABORATORIO	
12	DISEÑO	210	79	09/10/2019	28	06-Nov-19	28165	28005	359	171		EN LABORATORIO	

Tabla 31

Concreto con 50 % de vidrio molido para  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$

N°	ESPECIMEN LUGAR	F'c Kg/cm2	AREA cm2	Fecha Moldeo	EDAD DIAS	Fecha de Rotura	LECTURA Dial	FUERZA CORREGIDA(Kg)	RESISTENCIA		PROMEDIO	FECHA 11-Nov-19	CURADO EN AGUA
									Kg/cm2.	%			
1	DISEÑO	280	79	14/10/2019	7	21-Oct-19	23961	23801	305	109		EN LABORATORIO	
2	DISEÑO	280	79	14/10/2019	7	21-Oct-19	20964	20804	267	95	102	EN LABORATORIO	
3	DISEÑO	280	79	14/10/2019	7	21-Oct-19	22654	22494	288	103		EN LABORATORIO	
4	DISEÑO	280	79	14/10/2019	14	28-Oct-19	26249	26089	334	119		EN LABORATORIO	
5	DISEÑO	280	79	14/10/2019	14	28-Oct-19	26540	26380	338	121	119	EN LABORATORIO	
6	DISEÑO	280	79	14/10/2019	14	28-Oct-19	25960	25800	331	118		EN LABORATORIO	
7	DISEÑO	280	79	14/10/2019	21	04-Nov-19	27470	27310	350	125		EN LABORATORIO	
8	DISEÑO	280	79	14/10/2019	21	04-Nov-19	28731	28571	366	131	128	EN LABORATORIO	
9	DISEÑO	280	79	14/10/2019	21	04-Nov-19	27962	27802	356	127		EN LABORATORIO	
10	DISEÑO	280	79	14/10/2019	28	11-Nov-19	31765	31605	404	144		EN LABORATORIO	
11	DISEÑO	280	79	14/10/2019	28	11-Nov-19	33621	33461	428	153	147	EN LABORATORIO	
12	DISEÑO	280	79	14/10/2019	28	11-Nov-19	31465	31305	401	143		EN LABORATORIO	

Se observa que las muestras para concreto base adquieren una resistencia a la compresión dentro de los límites admisibles, pero sin embargo las muestras con sustituciones de vidrio adquieren una resistencia a la compresión por encima de los límites admisibles a los 07, 14, 21 y 28 días.

En la investigación realizada por Vargas, D. (2015), quien evaluó el uso del vidrio plano desechado como parte del agregado fino para la realización de concretos y morteros de cemento para ser utilizado en el sector de la construcción, concluyó que la resistencia a la compresión obtenida para las muestras de concreto con vidrios planos a los 28 días fueron mayores en comparación con las muestras patrón (V-E con un valor de  $307 \text{ kg/cm}^2$ , V-R con  $308 \text{ kg/cm}^2$ , V-I con  $313 \text{ kg/cm}^2$  y Patrón con  $311 \text{ kg/cm}^2$ ).

Este resultado es similar a la presente investigación ya que a los 28 días para  $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$  se alcanza las resistencias  $314 \text{ kg/cm}^2$  (180 %) y  $307 \text{ kg/cm}^2$  (175 %) para un concreto con 45 % y 50 % de vidrio molido.

En la investigación realizada por Paredes, A. (2019), quien analizó la resistencia a la compresión del concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  con adición de vidrio reciclado molido, mediante el reemplazo parcial en peso del agregado fino en porcentajes del 15 %, 20 % y 25 %, concluyó que a los 28 días de curado el concreto de control (patrón) obtuvo en promedio  $213.34 \text{ kg/cm}^2$ , el concreto con 15 % de adición de VRM  $252.42 \text{ kg/cm}^2$  (18.32 % superior), con 20 % de adición de VRM,  $228.20 \text{ kg/cm}^2$  (6.97 % superior) y con 25 % de adición de VRM,  $217.60 \text{ kg/cm}^2$  (2.00 % superior); usando el 15 % de adición de vidrio reciclado molido como reemplazo en peso del agregado fino se obtiene mayor resistencia a la compresión en comparación con el concreto convencional y los demás porcentajes de adición estudiados.

Este resultado es similar a la presente investigación ya que a los 28 días para  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  se alcanza las resistencias  $337 \text{ kg/cm}^2$  (160 %),  $346 \text{ kg/cm}^2$  (165 %),  $361 \text{ kg/cm}^2$  (172

%) y  $351 \text{ kg/cm}^2$  (167 %) para un concreto base, concreto con 40 %, 45 % y 50 % de vidrio molido; donde; permite identificar que, si se supera el 45 % de adición de vidrio molido, la resistencia disminuye.

En la investigación realizada por Codina, R. (2018), quien determino los efectos que tendrá la resistencia a la compresión de un concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  cuando se sustituye el agregado fino en un 5 % y 10 % por vidrio molido reciclado, concluyó que el ensayo a compresión de las probetas de concreto a los 7 días conforme incrementa el porcentaje de vidrio en sustitución parcial de la arena, la resistencia aumenta, donde alcanza las siguientes resistencias; para patrón, 5 % y 10 % de vidrio;  $145.90 \text{ kg/cm}^2$ ,  $169.27 \text{ kg/cm}^2$  y  $196.03 \text{ kg/cm}^2$  respectivamente.

A los 14 días la muestra con 10 % de vidrio aumenta considerablemente su resistencia a  $218.73 \text{ kg/cm}^2$  que es 104.16 % el cual está ligeramente por encima de su diseño, sin embargo, la muestra patrón y la muestra con 5 % de vidrio están por debajo del límite admisible de resistencia para la edad de 14 días.

A los 28 días el concreto ensayado a compresión muestra que al 5 % y 10 % de contenido de vidrio la resistencia aumenta considerablemente a  $325.03 \text{ kg/cm}^2$  y  $335.67 \text{ kg/cm}^2$  respectivamente.

Este resultado es similar a la presente investigación ya que a los 07 días para  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  se alcanza las siguientes resistencias: para un concreto base, concreto con 40 %, 45 % y 50 % de vidrio molido;  $226 \text{ kg/cm}^2$  (108 %),  $233 \text{ kg/cm}^2$  (111 %),  $237 \text{ kg/cm}^2$  (113 %) y  $231 \text{ kg/cm}^2$  (110 %) respectivamente; a los 14 días alcanza las siguientes resistencias: para un concreto base, concreto con 40 %, 45 % y 50 % de vidrio molido;  $242 \text{ kg/cm}^2$  (115 %),  $263 \text{ kg/cm}^2$  (125 %),  $281 \text{ kg/cm}^2$  (134 %) y  $277 \text{ kg/cm}^2$  (132 %) respectivamente y a los 28 días alcanza las siguientes resistencias: para un concreto base, concreto con 40 %, 45 % y

50 % de vidrio molido; 337 kg/cm<sup>2</sup> (160 %), 346 kg/cm<sup>2</sup> (165 %), 361 kg/cm<sup>2</sup> (172 %) y 351 kg/cm<sup>2</sup> (167 %) respectivamente.

## Conclusiones

El reemplazo de un porcentaje del agregado fino (arena gruesa) por vidrio molido provocó un aumento en la resistencia del concreto de acuerdo a la Tabla 23, 24 y 25 pág. 58 y 59 resumen de resultados para  $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$ ,  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ ; debido a la elevada resistencia a la compresión que presenta el vidrio, ya que el peso necesario para romper un cubo de vidrio de 1cm de lado es de  $10000 \text{ kg/cm}^2$ , además que posee una dureza de 6 a 7 en la escala de Mohs, indicado en el Ítem 1.3.1.2 Propiedades generales del vidrio.

El diseño de mezclas de concreto apropiado, incorporando residuos de vidrio como sustituto parcial del agregado fino para  $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$ ,  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$  es:

	<u>175 kg/cm<sup>2</sup></u> Para 12 prob.	<u>210 kg/cm<sup>2</sup></u> Para 12 prob.	<u>280 kg/cm<sup>2</sup></u> Para 12 prob.
Cemento	5.365	6.227	7.265
Agua	3.351	3.354	3.357
Piedra	20.581	20.581	20.581
Arena + 45% de vidrio molido	14.811	14.085	13.21
<b>Peso Total</b>	<b>44.108</b>	<b>44.247</b>	<b>44.413</b>

indicado en la pág. 48 Tabla 14: Resultados de la dosificación de piedra chancada y arena gruesa con distintos porcentajes de vidrio molido para probetas cilíndricas de  $\varnothing 10 \text{ cm}$  y  $20 \text{ cm}$  de altura.

El concreto con 40 % de vidrio molido como sustituto parcial del agregado fino (arena gruesa) para  $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$ ,  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$  aumentó su resistencia a la compresión, superando al concreto base, donde a los 28 días para  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$  alcanza una mayor resistencia  $390 \text{ kg/cm}^2$  (139 %). El concreto con 45 % de vidrio molido como sustituto parcial del agregado fino (arena gruesa) para  $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$ ,  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$  aumentó su resistencia a la compresión, superando al concreto base y al concreto con 40 % de vidrio molido, donde a los 28 días para  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$  alcanza una mayor resistencia  $424 \text{ kg/cm}^2$  (152 %) y el concreto con 50 % de vidrio molido como sustituto parcial del agregado fino (arena gruesa) para  $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$ ,  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  y

$f'c=280$  kg/cm<sup>2</sup> disminuye su resistencia al superar el 45 % de adición de vidrio molido, donde a los 28 días para  $f'c=280$  kg/cm<sup>2</sup> alcanza una menor resistencia 411 kg/cm<sup>2</sup> (147 %).

Se realizó el análisis de costos unitarios del concreto normal y el concreto incorporando residuos de vidrio en reemplazo del agregado fino en un 40, 45 y 50 %, como resultado se obtuvo que hay un ahorro de s/. 25.04, s/. 28.17 y s/. 31.30 respectivamente para  $f'c=175$  kg/cm<sup>2</sup> y también se obtuvo un ahorro de s/. 24.57, s/. 27.82 y s/. 30.72 respectivamente para  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>.

### **Recomendaciones**

Establecer la mejor manera para el proceso de molienda del vidrio, usando siempre un equipo de protección personal como guantes especiales, mascarilla y gafas, para evitar aspirar el polvo proveniente del triturado. Y a la vez, es importante usar guantes durante la elaboración de las probetas debido a que existe manipulación de la mezcla con adición de vidrio.

Realizar estudios referentes a otros parámetros del concreto, con distintos porcentajes de adición y granulometría del vidrio reciclado molido.

Tratar de adaptarse a nuevas tecnologías de materiales existentes, fomentar la investigación e innovar con nuevos insumos para crear materiales alternativos y de otras aplicaciones.

Seguir todos los pasos correctamente desde los ensayos, hasta la rotura de los moldes, para garantizar los resultados.

### Referencias Bibliográficas

- Abanto, F. (2009). *Tecnología del Concreto*. Lima: San Marcos.
- ACEROS AREQUIPA. (2010). *CONSTRUYE SEGURO. Manual del Maestro Constructor*. Lima.
- Aparicio, A., Rivera, G., & Rodríguez, M. (2009). Estudio exploratorio de diseño de mezclas de concreto de peso normal y mortero tipo M y S usando vidrio reciclado como agregado. (*Tesis de pregrado*). Universidad de El Salvador, El Salvador.
- ASOCEM, A. d. (s.f.). *Almacenamiento del Cemento y Agregados en Obra*. Obtenido de Instituto de la Construcción y Gerencia: <http://dev2.construccion.org/biblioteca/articulo/almacenamiento-del-cemento-agregados-obra-cemento-boletin-tecnico-85-713>
- Borrás, C. (15 de febrero de 2018). *¿Cuánto se recicla en el mundo?* Obtenido de Ecología Verde: <https://www.ecologiaverde.com/cuanto-se-recicla-en-el-mundo-590.html>
- Calderón, J. (2010). *El vidrio en la construcción. Tipologías y usos*. Valencia.
- Catalan, C. (2013). Estudio de la Influencia del Vidrio Molido en Hormigones Grado H15, H20 y H30. (*Tesis de pregrado*). Universidad Austral de Chile, Valdivia.
- Ecoticias.com. (16 de abril de 2012). *La importancia de reciclar el vidrio*. Obtenido de Ecoticias.com: <https://www.ecoticias.com/residuos-reciclaje/64446/importancia-reciclar-vidrio>
- Grupo de Investigación de Economía Ecológica. (14 de abril de 2016). *La basura: consecuencias ambientales y desafíos*. Obtenido de Escuela de Gobierno y Administración Pública(EGAP): <https://eco.mdp.edu.ar/institucional/eco-enlaces/1611-la-basura-consecuencias-ambientales-y-desafios>

- Isan, A. (30 de abril de 2013). *Ventajas del reciclaje de vidrio*. Obtenido de Ecologismos:  
<https://ecologismos.com/ventajas-del-reciclaje-de-vidrio/>
- Martinez, Y. (11 de setiembre de 2014). *El vidrio y el Medio Ambiente*. Obtenido de Prezi:  
<https://prezi.com/u88g-hd66ymb/el-vidrio-y-el-medio-ambiente/>
- Ministerio del Ambiente. (17 de mayo de 2018). *En el Perú solo se recicla el 1.9% del total de residuos sólidos reaprovechables*. Obtenido de Ministerio del Ambiente:  
<http://www.minam.gob.pe/notas-de-prensa/en-el-peru-solo-se-recicla-el-1-9-del-total-de-residuos-solidos-reaprovechables/>
- Ministerio del Ambiente. (26 de abril de 2019). *Se establecen nuevos colores para el almacenamiento de residuos*. Obtenido de Ministerio del Ambiente:  
<https://www.gob.pe/institucion/minam/noticias/27843-se-establecen-nuevos-colores-para-el-almacenamiento-de-residuos>
- Residuos. (13 de mayo de 2004). *Las basuras domésticas: Un gran problema con fáciles soluciones*. Obtenido de Ecologistas en Acción:  
<https://www.ecologistasenaccion.org/189/>
- Rivva, E. (1992). *Diseño de Mezclas*. Lima: Hozlo S.C.R.L.
- Rivva, E. (2000). *Naturaleza y Materiales del Concreto*. Lima.
- SENCICO. (2014). **SERVICIO NACIONAL DE CAPACITACIÓN PARA LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN. *Manual de Preparación, Colocación y cuidados del Concreto***. Lima. twenergy. (28 de octubre de 2019). *¿Vidrio o cristal? Consejos para diferenciarlos y reciclar*. Obtenido de twenergy:  
<https://twenergy.com/ecologia-y-reciclaje/reciclaje/vidrio-o-cristal-como-diferenciarlos/>

Vargas, D. (2015). Reutilización de vidrio plano como agregado fino en la elaboración de morteros de cemento y concretos. (*Tesis de pregrado*). Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago.

**UNSCH**ESCUELA DE  
POSGRADO**CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD 171-2023-UNSCH-EPG/EGAP**

El que suscribe; responsable verificador de originalidad de trabajo de tesis de Posgrado en segunda instancia para la **Escuela de Posgrado - UNSCH**; en cumplimiento a la Resolución Directoral N<sup>º</sup> 198-2021-UNSCH-EPG/D, Reglamento de Originalidad de trabajos de Investigación de la UNSCH, otorga lo siguiente:

**CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD**

<b>AUTOR</b>	Bach. Sandra Leon Juica
<b>DENOMINACIÓN DEL PROGRAMA DE ESTUDIOS</b>	MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL
<b>GRADO ACADÉMICO QUE OTORGA</b>	MAESTRO
<b>DENOMINACIÓN DEL GRADO ACADÉMICO</b>	MAESTRO(A) EN INGENIERÍA AMBIENTAL
<b>TÍTULO DE TESIS</b>	Reutilización de residuos de vidrio, como sustituto parcial del agregado fino para la elaboración de concreto ecológico
<b>EVALUACIÓN DE ORIGINALIDAD</b>	20% de similitud
<b>Nº DE TRABAJO</b>	2199873253
<b>FECHA</b>	19-oct.-2023

Por tanto, según los artículos 12, 13 y 17 del Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación, es procedente otorgar la constancia de originalidad con depósito.

Se expide la presente constancia, a solicitud del interesado para los fines que crea conveniente.

Ayacucho, 19 de octubre del 2023.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN  
CRISTÓBAL DE HUAMANGA  
ESCUELA DE POSGRADO

Ing. Edith Geovana Asto Peña  
Responsable Área Académica

# Reutilización de residuos de vidrio, como sustituto parcial del agregado fino para la elaboración de concreto ecológico

*por* Sandra Leon Juica

---

**Fecha de entrega:** 19-oct-2023 08:14a.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 2199873253

**Nombre del archivo:** Tesis\_LEON\_JUICA\_181023.docx (5.06M)

**Total de palabras:** 15974

**Total de caracteres:** 88995

# Reutilización de residuos de vidrio, como sustituto parcial del agregado fino para la elaboración de concreto ecológico

## INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>20%</b>	<b>21%</b>	<b>1%</b>	<b>10%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>repositorio.unsch.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>7%</b>
<b>2</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>4%</b>
<b>3</b>	<b>repositorio.usanpedro.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>4</b>	<b>core.ac.uk</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>ri.ues.edu.sv</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>repositorio.uancv.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>7</b>	<b>alicia.concytec.gob.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>8</b>	<b>idoc.pub</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>9</b>	<b>repositorio.ucv.edu.pe</b> Fuente de Internet	

		1 %
10	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	1 %
11	www.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
12	repositorio.uap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
13	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	<1 %
14	www.1strediskozalesak.cz Fuente de Internet	<1 %
15	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1 %
16	Submitted to Universidad Andina del Cusco Trabajo del estudiante	<1 %
17	repositorio.uladech.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas  Activo

Excluir bibliografía  Activo

Excluir coincidencias  < 30 words

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR  
AL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO (A) EN INGENIERÍA AMBIENTAL  
RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 00348-2023-UNSCH-EPG/D**

Siendo las 4:00 p. m. de 1 de Junio de 2023 se reunieron en el auditorium de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, el Jurado Examinador y Calificador de tesis, presidido por el **Dr. Emilio Germán RAMÍREZ ROCA** director (e) de la Escuela de Posgrado, el **Dr. Agustín Julián PORTUGUEZ MAURTUA** director de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia, por los siguientes miembros: **MSc. Abel Nilo JUSCAMAYTA TOMASEVICH** y **Mg. Abrahán Fernando TREJO ESPINOZA**; para la sustentación oral y pública de la tesis titulado, **REUTILIZACIÓN DE RESIDUOS DE VIDRIO, COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL AGREGADO FINO PARA LA ELABORACIÓN DE CONCRETO ECOLÓGICO**. En la Ciudad de Ayacucho del 2023, presentada por la **Bach. Sandra LEON JUICA**. Teniendo como asesor al **Dr. Hernán Pedro QUISPE MISAICO**.

Acto seguido se procedió a la exposición de la tesis, con el fin de optar al Grado Académico de **MAESTRO (A) EN INGENIERÍA AMBIENTAL**, Formuladas las preguntas, éstas fueron absueltas por la graduanda.

A continuación el Jurado Examinador y Calificador de tesis procedió a la votación, la que dio como resultado el siguiente calificativo: DIECISEIS (16)

**CALIFICACION (\*)**

Aprobado por unanimidad	X
Aprobado por Mayoría	- -
Desaprobada por Unanimidad	~
Desaprobada por mayoría	~

(\*) Mar: ar con aspa

Luego, el presidente del Jurado recomienda que la Escuela de Posgrado proponga que se le otorgue a la **Bach. Sandra LEON JUICA** el Grado Académico de **MAESTRO (A) EN INGENIERÍA AMBIENTAL**. Siendo las 6:00 p.m. hrs. Se levanta la sesión.

Se extiende el acta en la ciudad de Ayacucho, a las... 6:00 p.m. hrs. Del 01 de junio 2023.

.....  
**Dr. Emilio Germán RAMÍREZ ROCA**  
Director (e) de la Escuela de Posgrado

.....  
**Dr. Agustín Julián PORTUGUEZ MAURTUA**  
Director de la Unidad de Posgrado – FIQM

.....  
**MSc. Abel Nilo JUSCAMAYTA TOMASEVICH**  
Miembro

.....  
**Mg. Abrahán Fernando TREJO ESPINOZA**  
Miembro

.....  
**Dr. Marco Rolando ARONES JARA**  
Secretario Docente

**Observaciones:**

.....

.....