



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/).

Vea una copia de esta licencia en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**Análisis de la resistencia a la compresión del concreto  $F'_c=210 \text{ kg/cm}^2$  con  
adición de vidrio reciclado molido**

**Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil**

**AUTOR:**

**Alexis Paredes Bendezú**

**ASESOR:**

**Ing. M.Sc. Eduardo Pinchi Vásquez**

**Tarapoto – Perú**

**2019**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**Análisis de la resistencia a la compresión del concreto  $F'c=210 \text{ kg/cm}^2$  con  
adición de vidrio reciclado molido**

**AUTOR:**

**Alexis Paredes Bendezú**

**Sustentada y aprobada el día 05 de abril del 2019, ante el honorable jurado:**

  
\_\_\_\_\_  
**Ing. M.Sc. José Evergisto Alarcón Zamora**  
**Presidente**

  
\_\_\_\_\_  
**Ing. Iván Gustavo Reátegui Acedo**  
**Secretario**

  
\_\_\_\_\_  
**Ing. Santiago Chávez Cachay**  
**Vocal**

  
\_\_\_\_\_  
**Ing. M.Sc. Eduardo Pinchi Vásquez**  
**Asesor**

## Declaración de autenticidad

Yo, **Alexis Paredes Bendezú**, identificado con DNI N° 46920318, bachiller de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, con la tesis titulada: “Análisis de la Resistencia a la Compresión del Concreto  $F'c=210 \text{ kg/cm}^2$  con Adición de Vidrio Reciclado Molido”.

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. He respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas. Por tanto, la tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente.
3. La tesis no ha sido auto plagiado; es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados que se presenten en la tesis se constituirá en aportes a la realidad investigada.

De considerar que el trabajo cuenta con una falta grave, como el hecho de contar con datos fraudulentos, demostrar indicios y plagio (al no citar la información con sus autores), plagio (al presentar información de otros trabajos como propios), falsificación (al presentar la información e ideas de otras personas de forma falsa), en otros, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Tarapoto, 05 de abril del 2019



Alexis Paredes Bendezú

DNI N°: 46920318



## Declaración jurada

Yo, **Alexis Paredes Bendezú**, identificado con DNI N° 46920318, con domiciliado legal en el Pasaje Santa Rosa N° 150 - Tarapoto, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, **DECLARO BAJO JURAMENTO**, que todos los documentos, datos e información de la presente tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como la información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las Normas Académicas de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Tarapoto, 05 de abril del 2019



Alexis Paredes Bendezú

DNI N°: 46920318





**Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis.**

**1. Datos del autor:**

Apellidos y nombres: Paredes Bendezo Alex's	
Código de alumno : 113158	Teléfono: 954 692864
Correo electrónico : alexsparedesb@gmail.com	DNI: 46920318

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

**2. Datos Académicos**

Facultad de: Ingeniería Civil y Arquitectura
Escuela Profesional de: Ingeniería Civil

**3. Tipo de trabajo de investigación**

Tesis	(X)	Trabajo de investigación	( )
Trabajo de suficiencia profesional	( )		

**4. Datos del Trabajo de investigación**

Título: Análisis de la resistencia a la compresión del concreto $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ con adición de vidrio reciclado molido
Año de publicación: 2019

**5. Tipo de Acceso al documento**

Acceso público *	(X)	Embargo	( )
Acceso restringido **	( )		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:


**6. Originalidad del archivo digital.**

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

## 7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI “**Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA**”.



.....  
Firma del Autor

---

## 8. Para ser llenado en la Oficina de Repositorio Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso Abierto de la UNSM – T.

Fecha de recepción del documento:

19, 06, 2019



.....  
Firma del Responsable de Repositorio  
Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso  
Abierto de la UNSM – T.

\* **Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

\*\* **Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

## Dedicatoria

*A mis amados abuelitos, **Vivian y Segundo**, quienes con su amor, confianza, ejemplo y esfuerzo incondicional en medio de tantas dificultades, creyeron en mí todos estos años. Tanto soy, tanto tengo, tanto se lo debo a ustedes.*

*A mi querida madre **Kathiana**, por su amor, trabajo, esfuerzo y conocimientos impartidos desde siempre, para convertirme en un gran profesional y persona, por enseñarme a no rendirme ante los problemas.*

*A mis queridas hermanitas, **Valeria Alexandra y Fransceska**, por su cariño incondicional y alegría contagiante; alegría que fue de mucha ayuda en los momentos grises.*

*A una persona en especial, mi **Leidy Karito**, por su apoyo desinteresado, por sus palabras de aliento, por creer en mí y darme las fuerzas necesarias para alcanzar la meta de ser profesional; por su tolerancia y por compartir el día a día a mi lado.*

**Alexis Paredes Bendezú**



## Agradecimiento

*Definitivamente a **Dios**, por estar siempre presente.*

*A **mi familia**, por darme la estabilidad emocional, económica y sentimental para poder llegar hasta este logro, que definitivamente no hubiese podido ser realidad sin su ayuda.*

*A la **Universidad Nacional de San Martín**, por permitir convertirme en ser un profesional en lo que tanto me apasiona, y a los docentes de la **Escuela Profesional de Ingeniería Civil**, que me brindaron los conocimientos necesarios y que fueron partícipes en mi formación académica.*

*El trabajo de investigación recibió el apoyo financiero del **Instituto de Investigación y Desarrollo de la UNSM-T**, concurso de proyectos de tesis de pregrado, periodo 2018.*

**Alexis Paredes Bendezú**

## Índice general

<b>Dedicatoria</b>	<b>vi</b>
<b>Agradecimiento</b>	<b>vii</b>
<b>Índice general</b>	<b>viii</b>
<b>Índice de tablas</b>	<b>x</b>
<b>Índice de figuras</b>	<b>xiii</b>
<b>Resumen</b>	<b>xiv</b>
<b>Abstract</b>	<b>xv</b>
<b>Introducción</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	<b>3</b>
<b>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>3</b>
1.1. Planteamiento del problema	3
1.2. Formulación del problema	3
1.3. Objetivos	4
1.4. Justificación de la investigación	4
1.5. Limitaciones	5
1.6. Antecedentes de la investigación	5
1.7. Bases teóricas	8
1.8. Marco conceptual	32
1.9. Hipótesis y variables	34
1.10. Sistema de variables	35
<b>CAPÍTULO II</b>	<b>36</b>
<b>MATERIAL Y MÉTODOS</b>	<b>36</b>
2.1. Tipo y nivel de investigación	36
2.2. Población y muestra	36
2.3. Diseño del método de investigación	37

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	38
<b>CAPÍTULO III</b>	<b>69</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>69</b>
3.1. Resultados	69
3.2. Discusión	110
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>113</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>114</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>115</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>118</b>

## Índice de tablas

<b>Tabla 1</b> Clases de mezclas según su asentamiento	9
<b>Tabla 2</b> Granulometría del agregado fino	19
<b>Tabla 3</b> Composición química de la arena	21
<b>Tabla 4</b> Requisito granulométrico del agregado grueso	23
<b>Tabla 5</b> Límites químicos opcionales para el agua de mezcla combinada	28
<b>Tabla 6</b> Composición química del vidrio	29
<b>Tabla 7</b> Cantidad de muestra a ensayar	37
<b>Tabla 8</b> Peso mínimo de la muestra de ensayo	42
<b>Tabla 9</b> Cantidad mínima de la muestra de agregado grueso	44
<b>Tabla 10</b> Capacidad de los recipientes	46
<b>Tabla 11</b> Carga según la granulometría de la muestra	48
<b>Tabla 12</b> Gradación de las muestras de ensayo	48
<b>Tabla 13</b> Abertura de tamices normalizados	51
<b>Tabla 14</b> Tamices normalizados para agregado grueso	53
<b>Tabla 15</b> Peso mínimo de la muestra	55
<b>Tabla 16</b> Tamices a utilizar para la separación de las partículas	55
<b>Tabla 17</b> Resistencia a la compresión requerida	58
<b>Tabla 18</b> Asentamientos recomendados para diversos tipos de estructuras	59
<b>Tabla 19</b> Requerimientos aproximados de agua de mezclado y de contenido de aire para diferentes valores de asentamiento y tamaños máximos nominales de .agregados	60
<b>Tabla 20</b> Correspondencia entre la relación agua/cemento y la resistencia a la compresión	60
<b>Tabla 21</b> Volumen de agregado grueso por volumen de concreto	61
<b>Tabla 22</b> Distribución t-Student	68
<b>Tabla 23</b> Granulometría del agregado fino	69
<b>Tabla 24</b> Granulometría del agregado grueso	70
<b>Tabla 25</b> Granulometría del vidrio reciclado molido	71
<b>Tabla 26</b> Granulometría de 15% vidrio reciclado molido + 85% arena	72
<b>Tabla 27</b> Granulometría de 20% vidrio reciclado molido + 80% arena.	73
<b>Tabla 28</b> Granulometría de 25% vidrio reciclado molido + 75% arena	74

<b>Tabla 29</b> Peso específico y absorción del agregado fino	75
<b>Tabla 30</b> Peso específico y absorción del agregado grueso	75
<b>Tabla 31</b> Peso específico y absorción del vidrio reciclado molido	75
<b>Tabla 32</b> Densidad de masa (peso unitario) suelta del agregado fino	76
<b>Tabla 33</b> Densidad de masa (peso unitario) compactada del agregado fino	76
<b>Tabla 34</b> Densidad de masa (peso unitario) suelta del agregado grueso	76
<b>Tabla 35</b> Densidad de masa (peso unitario) compactada del agregado grueso	76
<b>Tabla 36</b> Densidad de masa (peso unitario) suelta del vidrio reciclado molido	77
<b>Tabla 37</b> Densidad de masa (peso unitario) compactada del vidrio reciclado molido	77
<b>Tabla 38</b> Degradación por abrasión del agregado grueso	77
<b>Tabla 39</b> Arcilla en terrones y partículas desmenuzables (friables) en el agregado fino	78
<b>Tabla 40</b> Arcilla en terrones y partículas desmenuzables (friables) en el agregado grueso	78
<b>Tabla 41</b> Durabilidad del agregado fino por medio de sulfato de magnesio	79
<b>Tabla 42</b> Durabilidad del agregado grueso por medio de sulfato de magnesio	79
<b>Tabla 43</b> Resistencia a la compresión del concreto de control (patrón) a los 7 días	88
<b>Tabla 44</b> Resistencia a la compresión del concreto con adición del 15% de vidrio reciclado molido a los 7 días	89
<b>Tabla 45</b> Resistencia a la compresión del concreto con adición del 20% de vidrio reciclado molido a los 7 días	89
<b>Tabla 46</b> Resistencia a la compresión del concreto con adición del 25% de vidrio reciclado molido a los 7 días	90
<b>Tabla 47</b> Resistencia a la compresión del concreto de control (patrón) a los 14 días	90
<b>Tabla 48</b> Resistencia a la compresión del concreto con adición del 15% de vidrio reciclado molido a los 14 días	91
<b>Tabla 49</b> Resistencia a la compresión del concreto con adición del 20% de vidrio reciclado molido a los 14 días	91
<b>Tabla 50</b> Resistencia a la compresión del concreto con adición del 25% de vidrio reciclado molido a los 14 días	92
<b>Tabla 51</b> Resistencia a la compresión del concreto de control (patrón) a los 28 días	92
<b>Tabla 52</b> Resistencia a la compresión del concreto con adición del 15% de vidrio reciclado molido a los 28 días	93
<b>Tabla 53</b> Resistencia a la compresión del concreto con adición del 20% de vidrio reciclado molido a los 28 días	94



<b>Tabla 54</b> Resistencia a la compresión del concreto con adición del 25% de vidrio reciclado molido a los 28 días	95
<b>Tabla 55</b> Control estadístico del concreto de control (patrón)	98
<b>Tabla 56</b> Control estadístico del concreto con adición del 15% de vidrio reciclado molido	100
<b>Tabla 57</b> Control estadístico del concreto con adición del 20% de vidrio reciclado molido	102
<b>Tabla 58</b> Control estadístico del concreto con adición del 25% de vidrio reciclado molido	104
<b>Tabla 59</b> T-Student de Concreto de control (patrón) y concreto con adición del 15% de vidrio reciclado molido	106
<b>Tabla 60</b> T-Student de Concreto de control (patrón) y concreto con adición del 20% de vidrio reciclado molido	108
<b>Tabla 61</b> T-Student de Concreto de control (patrón) y concreto con adición del 25% de vidrio reciclado molido	109

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Curva de resistencia a la compresión en función del tiempo	13
<b>Figura 2.</b> Curva granulométrica del agregado fino	69
<b>Figura 3.</b> Curva granulométrica del agregado grueso	71
<b>Figura 4.</b> Curva granulométrica del vidrio reciclado molido	71
<b>Figura 5.</b> Curva granulométrica de 15% vidrio reciclado molido + 85 % arena	72
<b>Figura 6.</b> Curva granulométrica de 20% vidrio reciclado molido + 80 % arena	73
<b>Figura 7.</b> Curva granulométrica de 25% vidrio reciclado molido + 75 % arena	74
<b>Figura 8.</b> Evolución de la resistencia a la compresión de los concretos a los 7 días	96
<b>Figura 9.</b> Evolución de la resistencia a la compresión de los concretos a los 14 días	97
<b>Figura 10.</b> Evolución de la resistencia a la compresión de los concretos a los 28 días	97
<b>Figura 11.</b> Evolución de la resistencia a la compresión promedio de los concretos a través del tiempo	98
<b>Figura 12.</b> Desviación estándar (dispersión) de las resistencias a la compresión del concreto de control (patrón)	100
<b>Figura 13.</b> Desviación estándar (dispersión) de las resistencias a la compresión del concreto con adición de 15% de vidrio reciclado molido	102
<b>Figura 14.</b> Desviación estándar (dispersión) de las resistencias a la compresión del concreto con adición de 20% de vidrio reciclado molido	104
<b>Figura 15.</b> Desviación estándar (dispersión) de las resistencias a la compresión del concreto con adición de 25% de vidrio reciclado molido	106

## Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo principal analizar 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.

**Palabras Clave:** Vidrio Reciclado, Agregado Fino, Probeta de Concreto, Diseño de mezcla, Resistencia a la Compresión.

## Abstract

The following investigation had as main objective to analyze the compressive strength of  $F'c = 210 \text{ Kg} / \text{cm}^2$  concrete with the addition of ground recycled glass, by partial replacement in weight of the fine aggregate in percentages of 15%, 20% and 25%, with the purpose of establishing a comparison between a conventional concrete and another with ground recycled glass and. The research began with the analysis of the physical and chemical properties of aggregates and the preparation of conventional concrete specimens, and with the participation in the order of 5%, 10%, 15%, 20%, 25% and 30% of replacement in weight of the fine aggregate, to obtain three percentages of the most suitable addition, according to the amount of glass and the similarity of the compressive strength with conventional concrete. Next, it proceeded to break the concrete specimens mentioned, obtaining 15%, 20% and 25% as the most suitable percentages of glass addition. Subsequently, the test specimens of conventional and modified concrete are made with 15%, 20% and 25% of ground recycled glass, and the compressive strength tests are carried out at 7, 14 and 28 days of curing. At the end of the compression strength tests, it was concluded that using 15% of the addition of ground recycled glass as weight replacement of the fine aggregate, greater compressive strength was obtained compared to the conventional concrete and the other percentages of addition studied.

**Keywords:** Recycled Glass, Fine Aggregate, Concrete Specimens, Mix Design, Compressive Strength.



## 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 uso de vidrio de desecho reciclado en el concreto ha despertado gran interés en todo el mundo y se han realizado numerosas investigaciones que muestran la posibilidad de usar el vidrio de desecho como material de construcción al reemplazarlo parcialmente en las mezclas de concreto. Se ha utilizado el vidrio como reemplazo parcial del agregado fino, agregado grueso e incluso del cemento.

La presente investigación se centra en analizar la resistencia a la compresión del concreto  $F'_c=210 \text{ kg/cm}^2$  con adición de vidrio reciclado molido, mediante series de prueba 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, teniendo la hipótesis que mediante la adición de vidrio, la resistencia a la compresión del concreto se incrementará con respecto al concreto de control.

Metodológicamente, el diseño de la mezcla del concreto, se realizó siguiendo las especificaciones dadas por las Normas Técnicas Peruanas y siguiendo la secuencia metodológica propuesta por el Comité ACI 211.1 e investigaciones realizadas a nivel nacional e internacional.

Todos los ensayos que intervinieron en la creación de los concretos realizados en esta investigación fueron realizados en el Laboratorio de Mecánica de Suelos, Pavimentos y Concreto de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, iniciándose con la obtención de las propiedades físicas y químicas de los agregados fino y grueso provenientes de las canteras del río Cumbaza (Sector 3 de octubre) y río Huallaga (Sector Buenos Aires – Picota) respectivamente, con cuyos datos se procedió a realizar inicialmente, un diseño de mezcla de control y diseños adicionando vidrio reciclado molido, así se obtuvo las proporciones tentativas de los materiales, los cuales se usaron y se ajustaron para realizar el diseño final.



**La tesis contiene los siguientes capítulos:****En el capítulo I:**

Se contempla el planteamiento del problema, formulación del problema, objetivos, justificación de la investigación y limitaciones. Así como los aspectos teóricos relacionados con el título, investigaciones internacionales y nacionales, términos y conceptos que permiten ver el por qué y el cómo de la investigación.; finalmente, se presenta la hipótesis.

**En el capítulo II:**

Se abordó los materiales y la metodología que se utilizó, así como la población y muestra, proveyendo suficiente información para que el experimento pueda repetirse y de esa manera la presente investigación pueda validarse.

**En el capítulo III:**

Se indica de manera precisa y sin comentarios los resultados obtenidos destacando sólo los aspectos más relevantes, dando respuesta a los problemas y objetivos, lo que sería el motor de esta investigación.

# CAPÍTULO I

## REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### **1.1. Planteamiento del problema**

Actualmente, en diferentes países del mundo, se han desarrollado investigaciones para lograr un aprovechamiento del uso de materiales de desecho en lugar de los recursos naturales para hacer que la industria del concreto sea más sostenible, en términos de proteger el medio ambiente y reducir el costo del concreto. Estudios previos han analizado el efecto, en mezclas de concreto, de agregados como: fibras de polipropileno, viruta de acero, escoria de fundición, bagazo de caña, estopa de coco y escombros; aprovechando materiales que anteriormente eran desechados y a su vez mejorando las propiedades del concreto.

Uno de los elementos investigados es el vidrio, como reemplazo parcial del cemento o los agregados pétreos. Actualmente, se viene generando una enorme cantidad de residuos de vidrio en todo el mundo. De acuerdo al Sistema de Información para la Gestión de Residuos Sólidos (SIGERSOL) del Ministerio del Ambiente (MINAM), en el año 2015, en el distrito de Tarapoto, provincia de San Martín, se recolectó mensualmente 2,156.00 Tn de residuos sólidos, de los cuales aproximadamente 0.40 Tn eran residuos de vidrio.

Si el agregado fino es reemplazado por vidrio de desecho en un porcentaje específico y en un rango de tamaño específico, disminuiría el uso del agregado fino y, por lo tanto, reduciría los efectos nocivos del dragado de los ríos, haciendo que la industria manufacturera de concreto sea sostenible, sin embargo para ello se deben llevar a cabo ensayos de laboratorio de prueben que el reemplazo es viable.

### **1.2. Formulación del problema**

A través del tiempo se ha incrementado la necesidad de lograr una mayor resistencia a la compresión en los elementos de concreto debido a las exigencias del mundo moderno. Por ello, hoy en día se estudia la posibilidad de agregar diferentes tipos de aditivos o sustitutos con el objeto de incrementar la durabilidad o resistencia de este material. Por lo que nace la tecnología del diseño de concreto con vidrio reciclado molido con buenos resultados a nivel nacional e internacional sobre las resistencias alcanzadas, sin dejar de lado el beneficio hacia el medio ambiente. Las consideraciones expuestas nos llevan a plantear la siguiente interrogante:

¿Cuál será el comportamiento de la resistencia a la compresión del concreto  $F'c = 210$  kg/cm<sup>2</sup> con adición de vidrio reciclado molido frente a fuerzas de compresión?

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo General**

- Analizar la resistencia a la compresión del concreto  $F'c = 210$  kg/cm<sup>2</sup> con adición de vidrio reciclado molido.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Determinar las propiedades física-mecánicas y químicas de los agregados pétreos.
- Determinar las propiedades físicas del vidrio reciclado molido.
- Diseñar la mezcla del concreto de control  $F'c = 210$  kg/cm<sup>2</sup>.
- Diseñar la mezcla de los concreto  $F'c = 210$  kg/cm<sup>2</sup> con adición del 15, 20 y 25% de vidrio reciclado molido, en reemplazo del agregado fino.
- Determinar la resistencia a la compresión del concreto de control y los concretos con adición del 15, 20 y 25% de vidrio reciclado molido, en reemplazo del agregado fino, a los 7, 14 y 28 días de curado.
- Analizar la resistencia a la compresión de los concretos con adición de vidrio reciclado molido tomando como base la mezcla de control.

### **1.4. Justificación de la investigación**

#### **1.4.1. Justificación teórica**

Esta investigación aportará al conocimiento existente los resultados del análisis de la resistencia a la compresión del concreto  $F'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> con adición de vidrio reciclado molido, el cual constituye un aporte teórico importante para la comunidad dedicada a la ingeniería e investigación de materiales alternativos para la elaboración de concreto.

#### **1.4.2. Justificación práctica**

Esta investigación busca convertirse en un referente para los futuros diseños de mezclas concreto con técnicas alternativas, ya que es posible superar la resistencia a la compresión en comparación con un concreto convencional, de acuerdo a los resultados obtenidos.

### **1.4.3. Justificación metodológica**

En esta investigación se utilizará el vidrio reciclado como agregado en el diseño de concreto, se analizará el comportamiento de la resistencia a la compresión del concreto  $F'_c=210$  kg/cm<sup>2</sup> con adición de distintos porcentajes de vidrio reciclado molido y tiempos establecidos, mediante los cuales se procederá a la recolección de datos. Una vez que sea demostrada su validez y confiabilidad, el resultado de esta investigación podrá proponer un nuevo método de diseño de concreto y ser usado en otras investigaciones.

### **1.4.4. Justificación de viabilidad**

Esta investigación busca el desarrollo y difusión de una nueva técnica en el diseño de concreto mediante el uso de materiales alternativos, de fácil adquisición y abundancia local.

### **1.4.5. Justificación social**

Esta investigación beneficiará a la comunidad en general dedicada a la construcción brindando una alternativa en el diseño de concreto. Se beneficiará a la población brindando un concreto que contribuirá con la conservación del medio ambiente usando materiales residuales.

## **1.5. Limitaciones**

- La investigación está limitada al análisis de la resistencia a la compresión del concreto  $F'_c=210$  kg/cm<sup>2</sup> con adición de vidrio reciclado molido en tres porcentajes diferentes.
- Las adiciones de vidrio reciclado molido están el orden del 15, 20 y 25% de peso, como reemplazo del agregado fino.
- Uso del vidrio proveniente de botellas recolectadas en el distrito de Tarapoto.
- Uso de agregado fino proveniente de la cantera del río Cumbaza.
- Uso de agregado grueso de la cantera del río Huallaga.

## **1.6. Antecedentes de la investigación**

### **1.6.1. Nivel internacional:**

**Tomas Ucol Ganiron Jr. (2013)**, investigó el uso de botellas de vidrio reciclado como agregados finos en la mezcla de concreto, concluyendo que de acuerdo con los experimentos realizados, la resistencia a la compresión promedio del concreto convencional (Control) obtenida a partir del día 28 de curado alcanzó 25.54 MPa (260.44 kg/cm<sup>2</sup>), mientras que la

resistencia a la compresión de las muestras con una relación de botella triturada y arena de 25%, 50%, 75%, 100% son 10.96 MPa (111.76 kg/cm<sup>2</sup>), 11.6 MPa (118.29 kg/cm<sup>2</sup>), 12.08 MPa (123.18 kg/cm<sup>2</sup>) y 10.12 MPa (103.20 kg/cm<sup>2</sup>) respectivamente, evidenciando una significativa disminución en la resistencia a la compresión.

**Sadoon Abdallah y Mizi Fan (2014)**, llevaron a cabo un estudio sobre las características del concreto con reemplazo de vidrio desechado como agregado fino, concluyendo que la resistencia a la compresión del concreto con reemplazo parcial de arena por vidrio desechado finamente molido a los 28 días es 5.28% más alta para el 20% de reemplazo comparado con el concreto de control.

**Aaron Lim (2014)**, en su trabajo de investigación indica que, mediante las diversas pruebas realizadas, una mezcla de concreto hecha con un 10% de agregado fino sustituido con vidrio de desecho no mejorará ni degradará la resistencia a la compresión de la mezcla hasta un grado notable, ya que la diferencia entre resistencia a la compresión de la mezcla control y la mezcla con vidrio, a los 270 días de curado, fue del 3.8%.

**Matthew Adaway y Ying Wang (2015)**, desarrollaron un estudio experimental para identificar los efectos de implementar vidrio desechado como un reemplazo parcial por agregado fino en concreto de grado estructural, concluyendo que el óptimo porcentaje de reemplazo de arena con agregado fino de vidrio fue determinado al 30%, siendo 6% más alto que el concreto de control.

**Daniela Alejandra Peñafiel Carrillo (2016)**, desarrolló un trabajo experimental que tuvo como objetivo principal analizar la resistencia a compresión de probetas cilíndricas de hormigón dosificadas para un F'c de 210 kg/cm<sup>2</sup> empleando en su composición vidrio reciclado molido en granulometrías adecuadas reemplazando parcialmente al agregado fino. Concluye que, a los 28 días las muestras ensayadas permiten determinar que las mezclas cuyo porcentaje de vidrio añadido en reemplazo parcial de la arena es de 10, 20 y 30% alcanzan una resistencia ligeramente menor a la resistencia obtenida con las probetas de hormigón (concreto) común, mientras que en el hormigón elaborado con 40% de vidrio en reemplazo de la arena se obtuvo una resistencia mayor a la del concreto de control, logrando 111.8% de la resistencia de diseño.



**A.W. Otunyo y B.N Okechukwu (2017)**, en su estudio de investigación concluyen que la resistencia a la compresión del concreto a los 7 y 28 días aumentó a medida que el nivel de reemplazo de vidrio de desecho aumentó a los valores de 15% de reemplazo, siendo 7% más alta que la resistencia a la compresión de la mezcla de control.

**Abdullah Saand, Manthar Ali keerio, Rabnawaz Juj, Salim Khoso y Daddan khan Bangwar (2017)**, estudiaron la utilización del vidrio de desecho como reemplazo parcial del agregado fino en el concreto concluyendo que la resistencia a la compresión del hormigón (concreto) aumenta con la sustitución del agregado fino por vidrio de desecho de 4%-12%. La máxima resistencia a la compresión del hormigón fue observada a los 12% de reemplazo de arena con agregado fino de vidrio de desecho.

### **1.6.2. Nivel nacional:**

**Anddy Santiago Obando Paredes (2016)**, evaluó la resistencia mecánica del concreto incorporando vidrio reciclado como agregado fino y llegó a la conclusión que incorporando el 20% de vidrio reciclado al concreto, se obtiene una resistencia de 22.15 MPa (225.87 kg/cm<sup>2</sup>) a los 28 días de curado a comparación de la muestra de control que tiene una resistencia promedio de 20.83 MPa (212.41 kg/cm<sup>2</sup>), lo que significa que la resistencia a compresión del concreto incorporando vidrio reciclado es 6.00% más resistente que el concreto tradicional; no obstante, al agregar 30% de vidrio reciclado molido y tamizado, la resistencia mecánica es de 20.57 MPa (209.76 kg/cm<sup>2</sup>) disminuyendo en 1.50% con respecto a la muestra de control.

**Luis Miguel Ochoa Tapia (2018)**, evaluó la influencia del vidrio reciclado molido como reductor de agregado fino para el diseño de mezclas de concreto en pavimentos urbanos, en porcentajes de 10%, 20% y 30%, y determinó que incorporando un 30% de vidrio reciclado molido en la mezclas de concreto se obtiene una mayor resistencia a la compresión a los 28 días, obteniéndose para un  $F'c=175.00$  kg/cm<sup>2</sup>, 196.90 kg/cm<sup>2</sup>; para un  $F'c =210.00$  kg/cm<sup>2</sup>, 233.54 kg/cm<sup>2</sup> y para un  $F'c =280.00$  kg/cm<sup>2</sup>, 311.37 kg/cm<sup>2</sup>.

### **1.6.3. Nivel local:**

**Roger Meléndez Ganoza (1996)**, en su tesis de pregrado compara los diseños de mezclas de concreto con agregados de los ríos Cumbaza y Huallaga, concluyendo que el agregado grueso del río Huallaga tiene mayor dureza y es más denso que el agregado grueso del río

Cumbaza. Al mismo tiempo, el agregado fino del río Huallaga no es apto para ser utilizado en ningún tipo de concreto, ya que su módulo de fineza de 0.46 lo descarta, requiriendo según normas un mínimo de 2.20. Por otro lado, el agregado fino del río Cumbaza se encuentra en condiciones óptimas para dosificación de concretos de bajas resistencias (M.F. = 2.4), pero no es apropiado para concretos de alta resistencias (M.F. entre 2.80 y 3.20).

## **1.7. Bases teóricas**

### **1.7.1. Concreto**

Según **Flavio Abanto Castillo (2009)**, el concreto es una mezcla de cemento Portland, agregado fino, agregado grueso, aire y agua en proporciones adecuadas para obtener ciertas propiedades prefijadas, especialmente la resistencia.

CONCRETO = CEMENTO PORTLAND + AGREGADOS + AIRE + AGUA

El cemento y el agua reaccionan químicamente uniendo las partículas de los agregados, constituyendo un material heterogéneo. Algunas veces se añaden ciertas sustancias, llamadas aditivos, que mejoran o modifican algunas propiedades del concreto.

#### **1.7.1.1. Propiedades del concreto en estado fresco**

##### **1.7.1.1.1. Trabajabilidad**

**Enrique Pasquel Carbajal (1998)**, menciona que está definida por la mayor o menor dificultad para el mezclado, transporte, colocación y compactación del concreto. Su evaluación es relativa, por cuanto depende realmente de las facilidades manuales o mecánicas de que se disponga durante las etapas del proceso, ya que un concreto que puede ser trabajable bajo ciertas condiciones de colocación y compactación, no necesariamente resulta tal si dichas condiciones cambian.

Está influenciada principalmente por la pasta, el contenido de agua y el equilibrio adecuado entre gruesos y finos, que produce en el caso óptimo una suerte de continuidad en el desplazamiento natural y/o inducido de la masa.

##### **1.7.1.1.2. Consistencia**

**Johana Belén Almeida Beltrán y Carolina Rebeca Trujillo Vivas (2017)**, la definen como la mayor o menor facilidad que tiene el concreto fresco para deformarse por acción de su propio peso. Esto depende del grado de fluidez que tenga la mezcla de hormigón y comprende desde la mezcla más seca hasta la mezcla más fluida, los factores que influyen

para determinar la calidad de la mezcla son la cantidad de agua, la forma y tamaño de los agregados, y su granulometría.

#### 1.7.1.1.2.1. Ensayo de consistencia del concreto

El ensayo de consistencia, llamado también de revenimiento o "slump test", es utilizado para caracterizar el comportamiento del concreto fresco. Esta prueba, desarrollada por Duft Abrams; fue adoptada en 1921 por el ASTM y revisada finalmente en 1978.

El ensayo consiste en consolidar una muestra de concreto fresco en un molde troncocónico, midiendo el asiento de la mezcla luego de desmoldeado. El comportamiento del concreto en la prueba indica su "consistencia" o sea su capacidad para adaptarse al encofrado o molde con facilidad, manteniéndose homogéneo con un mínimo de vacíos.

**Tabla 1**

*Clases de mezclas según su asentamiento*

Consistencia	Slump	Trabajabilidad	Método de Compactación
Seca	0" a 2"	Poco trabajable	Vibración normal
Plástica	3" a 4"	Trabajable	Vibración ligera chuseado
Fluida	>5"	Muy trabajable	Chuseado

Fuente: ABANTO F. (2009), "Tecnología del concreto, Lima, Perú, p. 49

#### Limitaciones de Aplicación

El ensayo de Abrams sólo es aplicable en concretos plásticos, con asentamiento normal (mezclas ricas y con un correcto dosaje de agua). No tiene interés en las siguientes condiciones:

- En el caso de concretos sin asentamiento, de muy alta resistencia.
- Cuando el contenido de agua es menor de 160 lt por m<sup>3</sup> de mezcla.
- En concretos con contenido de cemento inferior a 250 kg/m<sup>3</sup>
- Cuando existe un contenido apreciable de agregado grueso de tamaño máximo que sobrepasa las 2.5".
- Cuando el concreto contenga aditivos.

#### 1.7.1.1.3. Segregación

El **Instituto del Concreto (1997)**, la define como la tendencia de separación de las partículas gruesas de la fase mortero del concreto y la colección de esas partículas deficientes de

mortero en el perímetro del concreto colocado, esto por su falta de cohesividad, con lo cual su distribución y comportamiento deja de ser uniforme y homogéneo.

#### **1.7.1.1.4. Exudación**

**Enrique Pasquel Carbajal (1998)**, menciona que es una propiedad por la cual una parte del agua de mezcla se separa de la masa y sube hacia la superficie del concreto. Es un caso típico de sedimentación en que los sólidos se asientan dentro de la masa plástica. El fenómeno está gobernado por las leyes físicas del flujo de un líquido en un sistema capilar, antes que el efecto de la viscosidad y la diferencia de densidades.

#### **1.7.1.1.5. Contenido de aire**

El **Instituto del Concreto (1997)**, señala que este elemento está presente en todos los tipos de concreto, localizado en los poros no saturables de los agregados y formando burbujas entre los componentes del concreto, bien sea por que es atrapado durante el mezclado o al ser intencionalmente incorporado por medio del uso de agentes inclusores, tales como cementos o aditivos incorporadores de aire.

El contenido de aire de un concreto sin agentes inclusores normalmente está entre el 1% y el 2% del volumen de la mezcla, mientras que en un concreto con inclusores pueden obtenerse contenidos de aire entre el 4% y el 8%.

### **1.7.1.2. Propiedades del concreto en estado endurecido**

#### **1.7.1.2.1. Impermeabilidad**

Para **Flavio Abanto Castillo (2009)**, es una importante propiedad del concreto que puede mejorarse, con frecuencia, reduciendo la cantidad de agua en la mezcla. El exceso de agua deja vacíos y cavidades después de la evaporación y, si están interconectadas, el agua puede penetrar o atravesar el concreto. La inclusión de aire (burbujas diminutas) así como un curado adecuado por tiempo prolongado, suelen aumentar la impermeabilidad.

#### **1.7.1.2.2. Durabilidad**

**Flavio Abanto Castillo (2009)**, indica que el concreto debe ser capaz de resistir la intemperie, acción de productos químicos y desgaste, a los cuales estará sometido en el servicio. Gran parte de los daños por intemperie sufrido por el concreto pueden atribuirse a

los ciclos de congelación y descongelación. La resistencia del concreto a esos daños puede mejorarse aumentando la impermeabilidad incluyendo de 2 a 6% de aire con un agente inclusor de aire, o aplicando un revestimiento protector a la superficie. Los agentes químicos, como ácidos inorgánicos, ácidos acético y carbónico y los sulfatos de calcio, sodio, magnesio, potasio, aluminio y hierro desintegran o dañan el concreto.

### **1.7.1.2.3. Resistencia**

**Enrique Rivva López (1992)**, menciona que la resistencia del concreto está definida como el máximo esfuerzo que puede ser soportado por dicho material sin romperse. Dado que el concreto está destinado principalmente a tomar esfuerzos de compresión, es la medida de su resistencia a dichos esfuerzos la que se utiliza como índice de su calidad

En general, prácticamente todas las propiedades del concreto endurecido están asociadas a la resistencia y, en muchos casos, en función del valor de ella que se las cuantifica o cualifica. Sin embargo, debe siempre recordarse al diseñar una mezcla de concreto que muchos factores ajenos a la resistencia pueden afectar otras propiedades.

#### **1.7.1.2.3.1. Factores que inciden en la resistencia**

- **Relación agua – cemento**

La relación agua/cemento (a/c) en una mezcla de mortero o concreto se describe como la cantidad de agua en masa, sin incluir el agua absorbida por los agregados, sobre la cantidad de cemento en masa.

La resistencia del concreto está estrechamente relacionada con la relación a/c, de tal manera, que entre mayor sea el contenido de agua de mezclado, mayor será la cantidad que no se cambia con el cemento, y por consiguiente, al disiparse la parte de agua evaporable la pasta será más porosa y la resistencia del concreto disminuirá.

- **Cantidad y tipo de cemento**

El contenido y tipo de cemento utilizado tiene gran influencia en la resistencia que finalmente conseguirá el concreto, debido a que el cemento es el material químicamente “activo” en la mezcla.

Lo más importante en lo que respecta al cemento es la cantidad dentro del concreto, porque en la medida que se aumenta se consiguen mayores resistencias. Esta afirmación se debe

aplicar con precaución porque sólo es válida hasta un límite, a partir del cual, la cantidad de cemento por encima de éste no se hidrata totalmente y por tanto pasa a formar parte del concreto como un material inerte de relleno. Por otro lado, se ha demostrado que para mezclas con una baja relación agua/cemento, en los cuales se incrementa el contenido de este material a valores superiores a  $470 \text{ kg/m}^3$ , se origina una disminución de la resistencia, en especial cuando se utiliza agregados de gran tamaño.

- **Características de los agregados**

#### **Textura y forma**

En general se puede decir que para una misma relación agua/cemento, las partículas de agregado con textura rugosa o de forma angular forman concretos más resistentes que otras redondeadas o lisas, debido a que hay más trabazón entre los granos gruesos y el mortero.

#### **Granulometría**

Una masa de agregados cuya granulometría sea continua, permite elaborar mezclas de alta compacidad, mucho más densas y por lo tanto se consiguen mayores resistencias.

#### **Resistencia**

Este factor y la rigidez propia de los grano de agregado, también influyen en la resistencia del concreto.

#### **Influencia del tamaño máximo**

En general, la diferencia en tamaño máximo de un mismo tipo de agregado bien graduado tiene dos efectos opuestos en la resistencia a la compresión del concreto. En primer lugar para una consistencia dada y para igual contenido de cemento, la utilización de tamaños mayores requiere menos agua de mezclado que los agregados de tamaño máximo menores. Por otro lado, mezclas con la misma consistencia e igual relación agua/cemento, presentan resistencias más bajas cuando se utilizan agregados de tamaño máximo mayor.

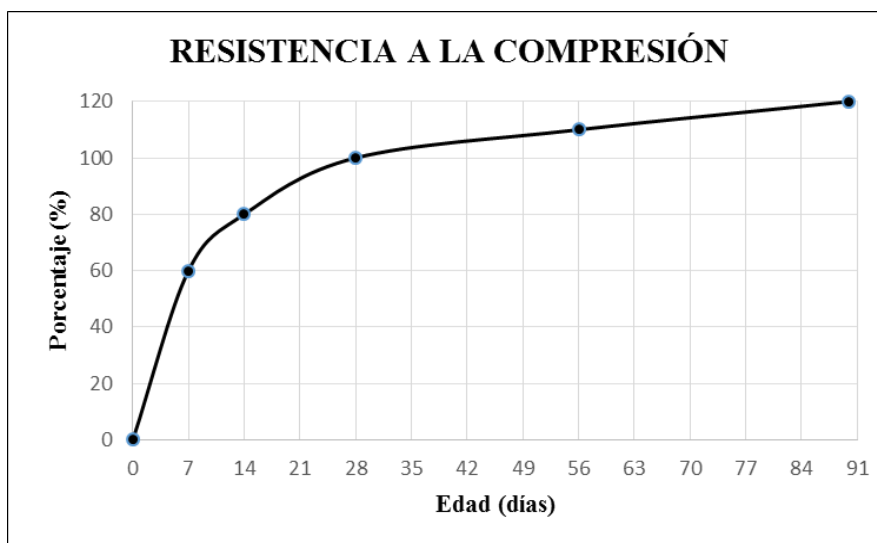
#### **1.7.1.2.3.2. Resistencia a la compresión**

Para **Manuel Uriel Aspilcueta Asencios (2015)**, la resistencia a la compresión del concreto se puede definir como su capacidad para resistir esfuerzos axiales de compresión sin fallar. Este esfuerzo se genera por medio de la aplicación gradual de una fuerza de compresión al

concreto. Llegará un momento en el cual las fuerzas internas del concreto alcancen un valor máximo que ya no puedan soportar la fuerza externa de compresión, es decir se encuentre a punto de fallar. Dicha máxima fuerza interna dividida entre el área del concreto expuesta a la carga externa se conoce como la resistencia a la compresión.

$$F'c = \frac{P}{A} \text{ (kg/cm}^2\text{)}, \text{ Resistencia a la compresión}$$

$$A = \frac{\pi(\phi)^2}{4}, \text{ Área de contacto}$$



**Figura 1.** Curva de resistencia a la compresión en función del tiempo. (Fuente: Recuperado de Instituto del concreto (1997) “*Tecnología y propiedades*”, Bogotá, Colombia. p. 135)

## 1.7.2. Cemento Portland

**Roger Meléndez Ganoza (1996)**, menciona que el Cemento Portland se define en la norma como el producto obtenido por la pulverización del Clinker Portland con la adición eventual de Sulfato de Calcio, admitiéndose la adición de otros productos que no excedan de 1 % en peso del total, siempre que la norma correspondiente establezca que su inclusión no afecta las propiedades del cemento resultante; todos los productos adicionados deberán ser pulverizados conjuntamente con el Clinker.

### 1.7.2.1. Principales compuestos químicos

Cada uno de los cuatro compuestos principales del cemento portland contribuye en el comportamiento del cemento, cuando pasa del estado plástico al endurecido después de la hidratación.

#### **1.7.2.1.1. Silicato Tricálcico ( $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2 \rightarrow \text{C}_3\text{S} \rightarrow \text{Alita}$ )**

- Se hidrata y endurece rápidamente.
- Es el más importante de los compuestos del cemento.
- Determina la rapidez o velocidad de fraguado.
- Determina la resistencia inicial del cemento.
- Libera gran cantidad de calor de hidratación es equivalente a 120 cal/gr. Este compuesto tiene mucha importancia en el calor de hidratación de los cementos.
- Contribuye una buena estabilidad de volumen.
- Contribuye a la resistencia al intemperismo.

#### **1.7.2.1.2. Silicato Dicálcico ( $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2 \rightarrow \text{C}_2\text{S} \rightarrow \text{Belita}$ )**

- Contribuye con las resistencias a edades mayores a una semana.
- Por su porcentaje en el Clinker es el segundo en importancia.
- Se hidrata y endurece con lentitud.
- Alcanza elevada resistencia a la compresión a largo plazo (después de prolongado endurecimiento).
- El valor de hidratación es equivalente a 63 cal/gr.
- Contribuye a la resistencia al intemperismo junto al  $\text{C}_3\text{S}$ .
- Su contribución a la estabilidad de volumen es regular.

#### **1.7.2.1.3. Aluminato Tricálcico ( $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{C}_3\text{A} \rightarrow \text{Celita}$ )**

- Es el primero en hidratarse, o sea fragua con mucha rapidez (hidratación violenta).
- Libera gran cantidad de calor durante los primeros días de la hidratación.
- Incide levemente en la resistencia mecánica.
- Tiene baja resistencia al intemperismo (acción del hielo y deshielo).
- Escasa resistencia a la acción del ataque de los sulfatos y ataques químicos.
- Calor de hidratación equivalente a 207 cal /gr.

#### **1.7.2.1.4. Alumino-Ferrito Tetracálcico ( $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{C}_4\text{AF} \rightarrow \text{Felita}$ )**

- Reduce la temperatura de formación del Clinker.
- Rápida velocidad de hidratación.
- El calor de hidratación es equivalente a 100 cal/gr (moderado).
- En la resistencia mecánica no está definida su influencia.



- La estabilidad de volumen es mala.
- Influye en el color final del cemento.

**Nota:** El Silicato Tricálcico ( $C_3S$ ) y el Silicato Dicálcico ( $C_2S$ ) constituyen el 75% del cemento, por eso la resistencia mecánica se debe a estos dos compuestos.

En menor proporción, el cemento contiene los siguientes compuestos:

#### 1.7.2.1.5. Óxido de Magnesio ( $MgO$ )

Pese a ser un componente menor, tiene importancia pues para contenidos mayores del 5% trae problemas de expansión en la pasta hidratada y endurecida.

#### 1.7.2.1.6. Óxidos de Potasio y Sodio ( $K_2O$ , $Na_2O \rightarrow$ Alcalis)

Tienen importancia para casos especiales de reacciones químicas con ciertos agregados, y los solubles en agua contribuyen a producir eflorescencias con agregados calcáreos.

#### 1.7.2.1.7. Óxidos de Manganeso y Titanio ( $Mn_2O_3$ , $TiO_2$ )

El primero no tiene significación especial en las propiedades del cemento, salvo en su coloración, que tiende a ser marrón si se tienen contenidos mayores del 3%. Se ha observado que en casos donde los contenidos superan el 5% se obtiene disminución de resistencia a largo plazo. El segundo influye en la resistencia, reduciéndola para contenidos superiores a 5%. Para contenidos menores, no tiene mayor trascendencia.

### 1.7.2.2. Tipos de cemento Portland

Según **José Luis Leandro Espinoza (2010)**, en el mercado peruano existe variedad de cementos para ser empleados por el usuario, siendo en su totalidad cementos Portland que cumplen con los requisitos que especifica la Norma ASTM C- 150, o cementos combinados que cumplen con lo indicado en la norma ASTM C-595.

- **Cemento Portland Tipo I:** Para construcciones de concreto y mortero de uso general y cuando no se requiera propiedades específicas, se utiliza en concretos que no estén sujetos al ataque de factores agresivos como podría ser la presencia de sulfatos en el suelo o en el agua.

- **Cemento Portland Tipo II:** Uso general y de moderada resistencia a los sulfatos, es el cemento portland destinado a obras de concreto en general y obras expuestas a la acción moderada de sulfatos o donde se requiere moderado calor de hidratación. Se recomienda en edificaciones, estructuras industriales, puentes, obras portuarias, perforaciones y en general en todas aquellas estructuras de volumen considerable, y en climas cálidos
- **Cemento Portland Tipo III:** Es el cemento Portland de alto calor de hidratación, alcanza la resistencia  $F'c$  muy rápido y baja resistencia a los sulfatos. Para uso en clima frío o en los casos en que se necesita adelantar la puesta en servicio de las estructuras.
- **Cemento Portland Tipo IV:** Para Estructuras se requiera bajo calor de hidratación, caso de represas, centrales hidroeléctricas y obras de grandes masas de concreto, también debe tenerse en cuenta que este cemento desarrolla resistencias a una velocidad inferior a la de los otros cementos.
- **Cemento Portland Tipo V:** Además de las cualidades del Tipo II, es recomendado para ambientes muy agresivos y obras donde se requiera elevada resistencia a los sulfatos. Es el caso de obras portuarias expuesta al agua de mar. También en canales, alcantarillas, túneles, suelos con alto contenido de sulfatos, estos cementos desarrollan resistencias más lentamente que los cementos tipo I, incrementan su resistencia a los sulfatos.

Adicionalmente detallaremos los tipos de cementos Portland puzolánico y de escoria, de acuerdo a la norma ASTM C – 595.

- **Cemento Portland Puzolánico Tipo IP:** Producido mediante molienda conjunta de Clinker y puzolana (15% - 40%)
- **Cemento Portland Puzolánico Modificado Tipo I (PM):** Producido mediante molienda conjunta de Clinker y puzolana (contenido de puzolana: menor del 15%).

Estos cementos cuya adición viene a ser la puzolana tienen uso similar al del Tipo I, y se recomienda en obras masivas o con ataques de aguas agresivas, aguas negras, en cimentaciones en todo terreno, son cementos de moderado calor de hidratación y de moderada resistencia a los sulfatos.

- **Cemento Portland Puzolánico Tipo P:** Para su uso en la construcción cuando no se requieren altos valores de resistencia.
- **Cemento Portland Compuesto Tipo ICo:** Es un cemento Portland obtenido por la pulverización conjunta del Clinker Portland, materiales calizas y/o inertes hasta un máximo de 30%. Corresponde al cemento tipo I mejorado con mayor plasticidad, se puede utilizar en obras de concreto y de concreto armado en general, morteros en general, especialmente para tarrajeo y asentado de unidades de albañilería, pavimentos y cimentaciones.
- **Cemento Portland de Escoria Tipo IS:** Producido mediante molienda conjunta de Clinker y escoria (contenido de escoria: 25% - 70%)
- **Cemento Portland de Escoria Modificado Tipo I (SM):** Producido mediante molienda conjunta de Clinker y escoria (contenido de escoria: < 25%). Son elementos adicionados de escorias se puede emplear en todo tipo de construcciones de concreto son resistentes a la agresión química, se puede utilizar en estructuras en ambientes y suelos húmedos-salinosos, para estructuras en cimientos y pisos. En general se puede decir que tienen moderada resistencia a los sulfatos y moderado calor de hidratación.

### 1.7.2.3. Hidratación del cemento

Para **Enrique Pascal Carvajal (1998)**, se denomina hidratación al conjunto de reacciones químicas entre el agua y los componentes del cemento, que llevan consigo el cambio del estado plástico al endurecido, con las propiedades inherentes a los nuevos productos formados. Los componentes ya mencionados anteriormente, al reaccionar con el agua forman hidróxidos e hidratos de Calcio complejos. La velocidad con que se desarrolla la hidratación es directamente proporcional a la finura del cemento e inversamente proporcional al tiempo, por lo que inicialmente es muy rápida y va disminuyendo paulatinamente con el transcurso de los días, aunque nunca se llega a detener.

Contrariamente a lo que se creía hace años, la reacción con el agua no une las partículas de cemento sino que cada partícula se dispersa en millones de partículas de productos de hidratación desapareciendo los constituyentes iniciales. El proceso es exotérmico generando un flujo de calor hacia el exterior denominado calor de hidratación. Durante el proceso de hidratación, el volumen externo de la pasta se mantiene relativamente constante, sin

embargo, internamente el volumen de sólidos se incrementa constantemente con el tiempo, causando la reducción permanente de la porosidad, que está relacionada de manera inversa con la resistencia de la pasta endurecida y en forma directa con la permeabilidad.

Para que se produzca la hidratación completa se necesita la suficiente cantidad de agua para la reacción química y proveer la estructura de vacíos o espacio para los productos de hidratación, la temperatura adecuada y tiempo, desprendiéndose de aquí el concepto fundamental del curado, que consiste en esencia en procurar estos tres elementos para que el proceso se complete.

#### **1.7.2.4. Calor de hidratación**

Durante el proceso de endurecimiento se producen reacciones que generan calor. Cuando las secciones son pequeñas y el calor puede liberarse, el calor de hidratación no es importante, pero al vaciar grandes volúmenes de concreto y cuando el calor no puede liberarse fácilmente, resulta un factor a tenerse muy en cuenta; la temperatura que genera la hidratación llega a los 50°C en presas, algunos investigadores han observado temperaturas mayores. Como la temperatura ambiente es menor se producen descensos bruscos de ésta, ocasionando contracciones y en consecuencia rajaduras.

En el vaciado de grandes volúmenes es indispensable controlar este efecto si no se desea sufrir desagradables sorpresas. Se debe usar cemento de bajo calor de hidratación y/o puzolanas. El calor de hidratación del cemento se mide en calorías gramo, cuanto menor sea el calor de hidratación del cemento menor será la temperatura a que se eleve el concreto.

Los calores de hidratación son:

- $C_3S = 120$  cal/gr
- $C_2S = 62$  cal/gr
- $C_3A = 107$  cal/gr
- $C_4AF = 100$  cal/gr

#### **1.7.3. Agregados**

De acuerdo al **Instituto del Concreto (1997)**, son cualquier sustancia sólida o partículas añadidas intencionalmente al concreto que ocupan un espacio rodeado por pasta de cemento de tal forma, que en combinación con ésta proporcionan resistencia mecánica, al mortero o concreto en estado endurecido y controlan los cambios volumétricos que normalmente

tienen lugar durante el fraguado del cemento, así como las que se producen por las variaciones en el contenido de humedad de las estructuras.

La calidad de los agregados está determinada por el origen, por su distribución granulométrica, densidad, forma y superficie. Se han clasificado en agregado grueso y agregado fino, fijando un valor en tamaño de 4.75 mm a 0.075 mm para el fino o arena, y de 4.75 mm en adelante para el grueso. La selección del tamaño de agregado grueso para concreto reforzado está en función del tipo de estructura y separación de la armadura.

Los agregados en el concreto ocupan alrededor de las tres cuartas partes del volumen, de ahí la justificación para su adecuada selección, además que, agregados débiles podrían limitar la resistencia del concreto, por otro parte, son estos elemento los que proporcionan una estabilidad volumétrica al concreto y durabilidad.

### 1.7.3.1. Tipos de agregados

#### 1.7.3.1.1. Agregado finos

El agregado fino consiste en arena natural, arena manufacturada o una combinación de ellas., que pasan el tamiz normalizado 9.5 mm (3/8 pulg) y queda retenido en el tamiz normalizado 75  $\mu\text{m}$  (N° 200); deberá cumplir con los límites establecidos en la NTP. 400.037. Dentro de las arenas naturales la más abundante y usada es la arena silícea.

##### 1.7.3.1.1.1. Granulometría

La granulometría es la distribución por tamaños de las partículas de arena. La distribución del tamaño de partículas se determina por separación con una serie de tamices normalizados. El agregado fino deberá tener la gradación según los límites de la **Tabla 2**.

**Tabla 2**

*Granulometría del agregado fino.*

Tamiz	Porcentaje que pasa
9.5 mm (3/8 pulg)	100
4.75 mm (N° 4)	95 a 100
2.36 mm (N° 8)	80 a 100
1.18 mm (N° 16)	50 a 85
600 $\mu\text{m}$ ( N° 30)	25 a 60
300 $\mu\text{m}$ ( N° 50)	10 a 30
150 $\mu\text{m}$ ( N° 100)	2 a 10

Fuente: Norma Técnica Peruana 400.037 (2014), "AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en concreto", Lima, Perú, p.8.

El agregado no deberá retener más del 45% en dos tamices consecutivos cualesquiera.

El porcentaje indicado para las mallas N° 50 y 100 podrá ser reducido a 5% y 0% respectivamente; si el agregado es empleado en concretos con aire incorporado cuyo contenido de cemento es mayor de 225 Kg/m<sup>3</sup>, o en concretos sin aire incorporado cuyo contenido de cemento es mayor de 300 Kg/m<sup>3</sup>; esta posición se explica porque el mayor contenido de cemento contribuye a la plasticidad del concreto y la compacidad de la pasta, función que cumple el agregado más fino.

#### **1.7.3.1.1.2. Módulo de fineza**

Es un factor empírico que permite estimar el grosor predominante del agregado, es de mucha importancia como parámetro en el diseño de mezclas, puesto que la base experimental que apoya al concepto módulo de fineza, es que granulometrías que tengan igual M.F. independientemente de la gradación individual, requieren la misma cantidad de agua para producir mezclas de concreto de similar plasticidad y resistencia, lo que lo convierte en un parámetro ideal para el diseño y control de mezclas.

El módulo de fineza se calcula sumando los porcentajes acumulativos retenidos en la serie de tamices estándar: 3/8", N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50 y N° 100, y dividiendo entre 100. Se recomienda que el módulo de fineza de las arenas no debe ser menor de 2.30 ni mayor de 3.10, las arenas que estén comprendidas entre 2.30 y 2.80 de módulo de fineza producen concretos de buena trabajabilidad y reducida segregación, y los que se encuentran entre 2.80 y 3.10 son las más favorables para concretos de alta resistencia.

#### **1.7.3.1.1.3. Composición química de la arena**

El análisis químico se realiza para conocer la calidad de la arena, pues es importante que contenga en su mayor proporción sílice y no contenga óxidos que puedan afectar las propiedades del concreto, como el caso de ocasionar reacciones con álcalis. La composición química de la arena se determina mediante la norma internacional ASTM C149, la determinación de SiO<sub>2</sub> se lleva a cabo por espectrofotometría UV visible y para determinación de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, CaO y MgO por absorción atómica.

**Tabla 3**  
*Composición química de la arena*

<b>Componente</b>	<b>Porcentaje según revisión bibliográfica</b>	<b>Porcentaje según ensayos de laboratorio</b>
SiO <sub>2</sub>	94.00 – 100.00	96.80
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.14 – 1.30	1.50
Na <sub>2</sub> O	0.04 – 0.09	0.01
K <sub>2</sub> O	0.01 – 0.012	0.10
CaO	0.01 – 0.80	0.05
MgO	0.01 – 0.05	0.02

Fuente: Recuperado de Sánchez Y., Oviedo A., Novoa M., (2015), “Análisis de propiedades de adhesivos tipo mortero para baldosas de cerámica con reemplazo del agregado fino (arena) por vidrio plano molido reciclado”, Bogotá, Colombia, p.8.

#### **1.7.3.1.2. Agregado grueso**

Es el agregado retenido en el tamiz normalizado 4.75 mm (N° 4) proveniente de la desintegración natural o mecánica de la roca, deberá cumplir con los límites establecidos en la NTP. 400.037. Sus partículas deben tener un perfil angular o semiangular, ser duras y resistentes, y tener una superficie preferentemente rugosa para una mejor adherencia con el mortero. Adicionalmente, las partículas deben ser químicamente estables y estar libres de escamas, tierra, polvo, limo, humus, materia orgánica, sales u otras sustancias dañinas.

##### **1.7.3.1.2.1. Granulometría**

La granulometría es la distribución por tamaños de las partículas del agregado grueso. La distribución del tamaño de partículas se determina por separación con una serie de tamices normalizados.

El agregado grueso deberá tener la gradación según los límites de la **Tabla 4**.

##### **1.7.3.1.2.2. Tamaño Máximo (TM)**

Se define como la abertura del menor tamiz por el cual pasa el 100% de la muestra.

El tamaño máximo de los agregados gruesos en el concreto armado se fija por la exigencia de que pueda entrar fácilmente en los encofrados y entre las barras de la armadura.

En ningún caso el tamaño máximo del agregado grueso deberá ser mayor que:

- 1/5 de la menor dimensión, entre caras de encofrados.
- 1/3 de la altura de las losas.

- 3/4 del espacio libre entre las barras o alambres individuales de refuerzo, paquetes de barras, cables o duetos de presfuerzo.

Estas limitaciones están dirigidas a que las barras de refuerzo queden convenientemente recubiertas y no se presenten cavidades de las llamadas "cangrejas". Sin embargo, pueden omitirse por excepción, si el ingeniero responsable comprueba que los métodos de puesta en obra y la trabajabilidad del concreto lo permiten.

Se considera que, cuando se incrementa el tamaño máximo del agregado, se reducen los requerimientos del agua de mezcla, incrementándose la resistencia del concreto. En general este principio es válido con agregados hasta 1 1/2. En tamaños mayores, sólo es aplicable a concretos con bajo contenido de cemento.

#### **1.7.3.1.2.3. Tamaño Máximo Nominal (TMN)**

Es otro parámetro que se deriva del análisis granulométrico y es el que corresponde al menor tamiz de la serie utilizada que produce el primer retenido entre 5 % y 10 %.



**Tabla 4**  
*Requisito granulométrico del agregado grueso*

Huso	Tamaño Máximo Nominal	Porcentaje que pasa por los tamices normalizados													
		100 mm (4 pulg)	90 mm (3 1/2 pulg)	75 mm (3 pulg)	63 mm (2 1/2 pulg)	50 mm (2 pulg)	37.5 mm (1 1/2 pulg)	25.0 mm (1 pulg)	19.0 mm (3/4 pulg)	12.5 mm (1/2 pulg)	9.5 mm (3/8 pulg)	4.75 mm (N° 4)	2.36 mm (N° 8)	1.18 mm (N° 16)	300 µm (N° 50)
1	90 mm a 37.5 mm (3 1/2 pulg a 1 1/2 pulg)	100	90 a 100	-	25 a 60	-	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-	
2	63 mm a 37.5 mm (2 1/2 pulg a 1 1/2 pulg)	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-	
3	50 mm a 25.0 mm (2 pulg a 1 pulg)	-	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	
357	50 mm a 4.72 mm (2 pulg a N° 4)	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	-	0 a 5	-	-	
4	37.5 mm a 19.0 mm (1 1/2 pulg a 3/4 pulg)	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 5	-	0 a 5	-	-	-	
467	37.5 mm a 4.75 mm (1 1/2 pulg a N° 4)	-	-	-	-	100	95 a 100	90 a 100	35 a 70	-	10 a 30	0 a 5	-	-	
5	25.0 mm a 12.5 mm (1 pulg a 1/2 pulg)	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-	-	
56	25.0 mm a 9.5 mm (1 pulg a 3/8 pulg)	-	-	-	-	-	100	95 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	-	-	
57	25.0 mm a 4.75 mm (1 pulg a N° 4)	-	-	-	-	-	100	100	-	25 a 60	-	0 a 10	0 a 5	-	
6	19.0 mm a 9.5 mm (3/4 pulg a N° 4)	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	-	-	
67	19.0 mm a 4.75 mm (3/4 pulg a N° 4)	-	-	-	-	-	-	-	90 a 100	-	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	
7	12.5 mm a 4.75 mm (1/2 pulg a N° 4)	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	-	
8	9.5 mm a 2.36 mm (3/8 pulg a N° 8)	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	
89	12.5 mm a 9.5 mm (1/2 pulg a 3/8 pulg)	-	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	
9 <sup>A</sup>	4.75 mm a 1.18 mm (N° 4 a N° 16)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	

Fuente: Recuperado de Norma Técnica Peruana 400.037 (2014), “AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en concreto”, Lima, Perú, p.13.

### **1.7.3.2. Propiedades físicas**

#### **1.7.3.2.1. Contenido de humedad**

Se define como la cantidad de agua superficial retenida en un momento determinado por las partículas de agregado. Es una característica importante que se debe tomar en cuenta pues altera la cantidad de agua en el concreto, razón por cual se debe tomar en cuenta conjuntamente con la absorción para efectuar las correcciones necesarias en el proporcionamiento de las mezclas de diseño.

#### **1.7.3.2.2. Absorción**

Es la capacidad de los agregados de llenar con agua los vacíos al interior de las partículas, es decir, es la cantidad de agua que un agregado necesita para pasar de la condición seca a la condición de saturado superficialmente; se expresa generalmente en porcentaje.

El fenómeno se produce por capilaridad, no llegándose a llenar absolutamente sus poros pues siempre queda aire atrapado. Tiene importancia pues se refleja en el concreto reduciendo el agua de mezcla, con influencia en las propiedades resistentes y en la trabajabilidad, por lo que es necesario tenerla siempre en cuenta para hacer las correcciones necesarias.

#### **1.7.3.2.3. Densidad de masa (Peso unitario)**

La densidad de masa o peso unitario, es el peso del agregado requerido para llenar un recipiente con un volumen unitario determinado, es decir la masa neta del agregado en el recipiente, dividida entre su volumen. El peso unitario depende de lo compactado que esté el agregado y de la distribución de formas y tamaños de las partículas. Por ello, para propósitos de prueba, debe especificarse el grado de compactación.

La norma NTP. 400.017 reconoce dos formas: suelto y compactado.

##### **1.7.3.2.3.1. Densidad de masa (Peso unitario) suelta**

Cuando el agregado seco se coloca con cuidado en un recipiente de diámetro y profundidad prescrita que depende del tamaño máximo del agregado hasta que rebose y después es nivelado pasando la varilla por la superficie.

#### **1.7.3.2.3.2. Densidad de masa (Peso unitario) compactada o varillada**

Cuando el recipiente se llena en tres capas, se apisona cada tercio del volumen del recipiente con 25 golpes con la varilla compactadora de punta semiesférica de 5/8" de diámetro, y se remueve de nuevo lo que sobresalga.

#### **1.7.3.2.4. Peso específico**

El peso específico de un agregado es la relación de su peso respecto al peso de un volumen absoluto igual de agua (agua desplazada por inmersión) a una temperatura determinada. El valor del peso específico para agregados normales oscila entre 2.50 y 2.75 g/cm<sup>3</sup> y se puede expresar en tres estados:

- **Peso Específico de Masa**

Se refiere al volumen del material sólido, incluido todos los poros.

- **Peso Específico de Masa Saturado Superficialmente Seco**

Se refiere al volumen del material cuando todos los poros del agregado están llenos de agua.

- **Peso Específico Aparente**

Se refiere al volumen del material sólido, incluido los poros impermeables, aunque no los capilares.

#### **1.7.3.3. Propiedades mecánicas**

##### **1.7.3.3.1. Dureza**

Es la resistencia al desgaste por la acción de unas partículas sobre otras, o por agentes externos, lo cual depende de la constitución mineralógica, estructuración y procedencia de los agregados. Generalmente se cuantifica indirectamente por medio del ensayo de la resistencia a la abrasión en la máquina de Los Ángeles.

##### **1.7.3.3.2. Resistencia**

Es la capacidad de resistir esfuerzos internos (compresión, corte, tracción y flexión); normalmente se mide por medio de la resistencia en compresión. La resistencia en compresión está inversamente relacionada con la porosidad y la absorción y directamente con el peso específico. Agregados normales con Peso específico entre 2.50 a 2.70, tienen

resistencias en compresión del orden de 750 a 1,200 Kg/cm<sup>2</sup>. Agregados ligeros con peso específico entre 1.60 a 2.50 usualmente manifiestan resistencias de 200 a 750 Kg/cm<sup>2</sup>.

#### **1.7.3.3.3. Adherencia**

Es la interacción existente entre los agregados y el mortero, la cual es producida por fuerzas de origen físico y químico. Mientras mayor sea la adherencia entre los agregados y el mortero en estado endurecido, mayor será la resistencia del concreto. Esta propiedad depende en gran medida del tamaño, forma, rigidez y rugosidad superficial de las partículas de los agregados.

#### **1.7.3.4. Sustancias perjudiciales**

##### **1.7.3.4.1. Suelos finos**

Está referido a partículas que pasan el tamiz N° 200 (75 µm), pudiendo estar presente como polvo o estar recubriendo al agregado. Incluso cuando delgadas capas de estas partículas cubran al agregado, puede existir peligro trascendiendo en la adherencia entre los agregados y el mortero en estado endurecido, lo cual podría causar incremento en la demanda de agua en el concreto, bajas resistencias a la compresión y durabilidad reducida.

##### **1.7.3.4.2. Partículas deleznable**

Son materiales que se desmoronan fácilmente, están compuestas principalmente por madera, carbón, lignito, terrones de arcilla, partículas blandas y otros, los cuales se confunden con el agregado grueso debido a su forma. Estos materiales son puntos débiles en la masa del concreto ya que afectan la resistencia y la durabilidad, en el caso de estar expuesto a la abrasión.

##### **1.7.3.4.3. Materia orgánica**

La materia orgánica suele consistir por lo general en productos de la descomposición de materia vegetal (sobre todo ácido tánico o húmico, derivado de la abundancia de follaje) y se manifiesta en forma de humus o margas orgánicas. La materia orgánica puede interferir las reacciones químicas de hidratación del cemento, así también puede resultar en un concreto de menor resistencia y puede afectar la velocidad de la reacción del cemento, retrasando el fraguado y el endurecimiento del concreto.

#### **1.7.4. Agua**

Es un componente fundamental e indispensable en la elaboración del concreto, tanto para la hidratación del cemento como para el desarrollo de sus propiedades, estando relacionado con la resistencia, trabajabilidad y propiedades del concreto endurecido, por lo tanto este componente debe cumplir ciertos requisitos para llevar a cabo su función en la combinación química, sin ocasionar problemas colaterales si tiene ciertas sustancias que pueden dañar al concreto.

##### **1.7.4.1. Agua de mezcla**

El agua de mezcla cumple dos funciones muy importantes, reaccionar con el cemento para hidratarlo y actuar como lubricante para contribuir a la trabajabilidad del concreto. De todo el agua que se emplea en la preparación del concreto, parte hidrata el cemento, el resto no presenta ninguna alteración y con el tiempo se evapora; como ocupaba un espacio dentro de la mezcla, al evaporarse deja vacíos los cuales disminuyen la resistencia y la durabilidad del mortero o del concreto.

El problema principal del agua de mezcla reside en las impurezas y la cantidad de éstas, que ocasionan reacciones químicas que alteran el comportamiento normal de la pasta de cemento. Las aguas potables y aquellas que no tengan sabores u olores pueden ser utilizadas para preparar concreto, sin embargo algunas aguas no potables también pueden ser usadas si cumplen con algunos requisitos, en nuestro país es frecuente trabajar con aguas no potables sobre todo cuando se tratan de obras en las afueras de las ciudades.

##### **1.7.4.2. Agua de curado**

El aumento de la resistencia del concreto continuará con el pasar del tiempo mientras se encuentre cemento sin hidratar, con la condición de que el concreto permanezca húmedo o tenga una humedad relativa superior a aproximadamente el 80%, y permanezca favorablemente su temperatura, por lo que una vez que el concreto haya fraguado, es necesario el suministro de agua para garantizar la completa hidratación de las partículas de cemento.

El objeto del curado es mantener el concreto saturado, o lo más próximo posible a la saturación, hasta que los espacios que inicialmente estaban saturados de agua se llenen hasta un nivel deseado con los productos de la hidratación del cemento. Si se vuelve a saturar el concreto luego de un periodo de secado, la hidratación se reanuda y la resistencia vuelve a

augmentar. Sin embargo lo mejor es aplicar el curado húmedo al concreto de manera continua desde el momento en que se ha colocado hasta cuando haya alcanzado la calidad deseada debido a que el concreto es difícil de resaturar.

### 1.7.4.3. Requisitos de calidad

El agua que ha de ser empleada en la preparación y curado del concreto deberá cumplir con los requisitos de la Norma NTP 339.088 y ser, de preferencia potable. No existen criterios uniformes en cuanto a los límites permisibles para las sales y sustancias presentes en el agua que va a emplearse.

**Tabla 5**

*Límites químicos opcionales para el agua de mezcla combinada.*

	<b>Límite</b>
A. Cloruro como Cl <sup>-</sup> , ppm	
1. En concreto pretensado, tableros de puentes, o designados de otra manera	500 <sup>B</sup>
2. Otros concretos reforzados en ambientes húmedos o que contengan aluminio embebido o metales diversos o con formas metálicas galvanizadas permanentes	1,000 <sup>B</sup>
B. Sulfatos como SO <sub>4</sub> , ppm	3,000
C. Álcalis como (Na <sub>2</sub> O + 0.658 K <sub>2</sub> O), ppm	600
D. Sólidos totales por masa, ppm	50,000

<sup>B</sup> Cuando el productor pueda demostrar que estos límites para el agua de mezcla pueden ser excedidos, los requerimientos para el concreto del código ACI 318 regirán. Para condiciones que permiten utilizar cloruro de calcio (CaCl<sub>2</sub>) como aditivo acelerador, se permitirá que el comprador pueda prescindir de la limitación del cloruro

Fuente: Recuperado de Norma Técnica Peruana 339.088 (2006), "AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en concreto", Lima, Perú, p.10.

### 1.7.5. Vidrio

Según **Carlos Javier Catalán Arteaga (2013)**, el vidrio es un material de apariencia dura, frágil y generalmente transparente, aunque se comporta como un sólido, es un fluido de muy alta viscosidad. Está compuesto por una mezcla de óxidos metálicos, siendo su componente principal el óxido de sílice, conocido como silicio (SiO<sub>2</sub>). Si bien a simple vista pareciera ser muy similar a un cristal, la diferencia con éste radica en el ordenamiento que tienen las moléculas que lo componen, donde los enlaces Si -O están distribuidos de manera irregular, sin un patrón determinado, siendo por definición, un material amorfo. Según para la fabricación del vidrio se utiliza arena de sílice (SiO<sub>2</sub>), carbonato sódico (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) y caliza

(CaCO<sub>3</sub>), como materiales principales, la arena de sílice o arcilla es un material abundante en la corteza terrestre por lo que su obtención no requiere de mayor energía.

**Tabla 6**  
*Composición química del vidrio*

<b>Componente</b>	<b>Porcentaje según revisión bibliográfica</b>	<b>Porcentaje según ensayos de laboratorio</b>
SiO <sub>2</sub>	70.00 – 75.00	71.50
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.50 - 3.10	0.75
Na <sub>2</sub> O	15.00 – 17.00	14.00
K <sub>2</sub> O	0.60 - 0.80	0.32
CaO	4.60 - 9.70	10.50
MgO	0.30 - 4.30	0.83
Otros	-	0.21

Fuente: Recuperado de Sánchez Y., Oviedo A. Novoa M. (2015), “Análisis de propiedades de adhesivos tipo mortero para baldosas de cerámica con reemplazo del agregado fino (arena) por vidrio plano molido reciclado”, Bogotá, Colombia, p.8.

### **1.7.5.1. Propiedades mecánicas**

#### **1.7.5.1.1. Fragilidad**

Ocasionado debido a tensiones localizadas generadas por fisuras imperceptibles en la superficie, induciendo a la disminución de su resistencia mecánica.

#### **1.7.5.1.2. Dureza**

Su dureza se considera alrededor de 6 a 7 en las escala de Mohs, se usa el mismo valor tanto para vidrio recocido, crudo o templado.

#### **1.7.5.1.3. Elasticidad**

Al ser frágil solo presenta un comportamiento plástico cuando está a altas temperaturas, se deforma plásticamente desde los 600 °C y se funde a los 1000°C.

#### **1.7.5.1.4. Peso específico**

Para el vidrio comercial se una generalmente 2.59 g/cm<sup>3</sup>.

#### **1.7.5.1.5. Resistencia a la tracción**

Está en función de las micro fisuras presentes en la superficie, teóricamente se considera cinco veces más resistente que el acero  $70000 \text{ kg/cm}^2$ , en la práctica está estimada en alrededor de  $1000 \text{ kg/cm}^2$  para vidrio templado y  $400 \text{ kg/cm}^2$  para vidrio recocido.

#### **1.7.5.1.6. Resistencia a la flexión**

Es similar a la resistencia a la tracción. Las fuerzas aplicadas en el vidrio se concentran en los defectos superficiales y pueden propagarse efectivamente debido a que es un material homogéneo.

#### **1.7.5.1.7. Resistencia a la compresión**

Esta alrededor de los  $10000 \text{ kg/cm}^2$ . Lo que indica su alta resistencia a fuerzas que tienden a comprimirlo.

### **1.7.5.2. Tipos de vidrios**

#### **1.7.5.2.1. Vidrio Sodocálcico o sódico-cálcico**

Es el tipo de vidrio más utilizado para fabricar todo tipo de contenedores (botellas, cristalerías de mesa, ampollitas, vidrios para ventanas y vidrios laminados), los recipientes hechos a partir de vidrio sodocálcico son prácticamente inertes, de modo que no contaminan el contenido del mismo. Son poco resistentes al choque térmico.

#### **1.7.5.2.2. Vidrio al Plomo**

Es el resultado de fórmulas que combinan óxidos de potasio con óxido de plomo, y es también conocido como cristal al plomo. El vidrio al plomo es pesado y tiene un alto índice de refracción, por lo que es útil para proteger al personal en instalaciones nucleares.

#### **1.7.5.2.3. Vidrio de Borosilicato**

Este vidrio contiene óxido bórico entre sus ingredientes fundamentales, junto con sílice y álcali. Destaca por su durabilidad, resistencia a los ataques químicos y choques térmicos, por lo que se utiliza en muchos utensilios de cocina, aparatos de laboratorio y equipos para procesos químicos. Existen otros tipos de vidrio menos masivos, como la sílice vítrea, que en su composición es casi completamente sílice, o el vidrio de aluminosilicato, entre otros.



### **1.7.5.3. Manipulación segura del vidrio**

El riesgo de lesiones en la recolección, almacenamiento, manejo y desecho de productos de vidrio o vidrios dañados existe en la mayoría de los lugares de trabajo. Los vidrios rotos pueden ocasionar laceraciones, cortaduras y heridas por piquete que pueden resultar en arterias o tendones cortados, amputaciones, lesiones a los ojos o exposición a enfermedades. En situaciones que involucren vidrios rotos, los trabajadores deben conocer los procedimientos seguros de manejo, la necesidad de usar equipos de protección y la importancia de obtener primeros auxilios rápidos y efectivos en caso de recibir lesiones.

#### **1.7.5.3.1. Medidas preventivas en la manipulación del vidrio**

- Examinar las piezas antes de utilizarlas y desechar las que presentan el más mínimo defecto.
- Desechar el material que haya sufrido un golpe aunque no presente grietas o roturas.
- Nunca se deben tirar artículos de vidrio, estén rotos o no, en recipientes abiertos; siempre existe el peligro de que salte un pedazo de vidrio por el impacto.
- Se deben usar guantes gruesos, mascarillas y protección para los ojos; las gafas de seguridad deben ser requeridas cerca de maquinaria donde pueden romperse vidrios o donde es posible que existan peligros porque salten pedazos de vidrios rotos.
- Durante el proceso de molienda del vidrio, utilizar placas protectoras que aseguren la salud del personal que opera la maquinaria; siempre existe el peligro de que salte un pedazo de vidrio por la fuerza del proceso.
- Donde ocurran roturas de vidrios ocasionalmente, la forma segura de recoger los vidrios rotos es con pedazos de cartón, papel grueso o escoba y recogedor; nunca debe hacerse con las manos. Los pedazos más pequeños deben recogerse con varias capas de toallas de papel húmedas y desecharse; no se deben usar servilletas, toallas de tela, esponjas ni trapeadores normales para limpiar vidrios rotos porque pueden retener las partículas de vidrio.
- El lavado de material debe realizarse por personal adiestrado e informado del riesgo de cortes y con guantes adecuados.
- Vaciar completamente los recipientes antes de lavarlos.

## 1.8. Marco conceptual

- **Aditivos**

Material que se añade al crudo, al Clinker o al cemento, durante la fabricación del mismo o bien al mortero o concreto durante el amasado, con el objeto de modificar alguna de sus propiedades.

- **Aglomerante**

Es el material capaz de unir partículas de material inerte por efectos físicos y/o transformaciones físicas.

- **Agregados**

Es el material pétreo, natural o artificialmente dividido en trozos o partículas resistentes de forma y tamaño estable, cuya función específica es actuar como material inerte en morteros y concretos.

- **Árido pétreo**

Material pétreo granulado que se utiliza como materia prima en la construcción, principalmente.

- **Asentamiento**

Es la diferencia entre la altura del recipiente que sirvió de molde de una probeta de concreto fresco y la de la probeta fuera de mole, medida en el eje expresado en centímetros.

- **ASTM**

Es una organización de normas internacionales que desarrolla y publica acuerdos voluntarios de normas técnicas para una amplia gama de materiales, productos, sistemas y servicios.

- **Cantera**

Es una explotación minera, generalmente a cielo abierto, en la que se obtienen rocas industriales y áridas; es la fuente principal de materiales pétreos los cuales se constituyen en uno de los insumos fundamentales en el sector de la construcción de obras civiles

- **Conglomerante.**

Se denomina conglomerante al material capaz de unir fragmentos de uno o varios materiales y dar cohesión al conjunto mediante transformaciones químicas en su masa que originan nuevos compuestos. Los conglomerantes son utilizados como medio de ligazón, formando pastas llamadas morteros o argamasas. Los conglomerantes más utilizados son el yeso, la cal. y el cemento.

- **Curado**

Procedimiento que asegura la temperatura y humedad necesarias para que se cumplan los procesos de fraguado y endurecimiento en condiciones óptimas.

- **Clinker**

Sustancia que se obtiene como resultado de la calcinación en horno, de mezclas de calizas arcillosas preparadas artificialmente con adición eventual de otras materias.

- **Diseño de mezcla**

Proceso mediante el cual se proyecta el diseño de una determinada mezcla, para una resistencia determinada.

- **Dosificación**

Es la proporción en peso y en volumen de los distintos elementos integrantes de una mezcla.

- **Durabilidad.**

Es la propiedad que tienen los morteros y/o concretos de resistir la acción de agentes destructivos.

- **Escoria**

Es un subproducto de la fundición de la mena para purificar los metales. Se pueden considerar como una mezcla de óxidos metálicos; sin embargo, pueden contener sulfuros de metal y átomos de metal en forma de elemento. Se añade como adición en la fabricación del cemento después de la sinterización y molienda del Clinker Portland.

- **Exotérmico**

Es aquella reacción química en la cual se desprende energía, ya sea como luz o calor.

- **Factibilidad**

Se refiere a la disponibilidad de los recursos necesarios para llevar a cabo los objetivos o metas señaladas. Generalmente la factibilidad se determina sobre un proyecto.

- **Fisura**

Las fisuras son fracturas de longitud, ancho, profundidad y características variables, que se presentan en los distintos elementos de las estructuras a diferentes intervalos de separación entre sí. Son causadas por múltiples orígenes y tienen diversos niveles de peligrosidad para la edificación.

- **Fluencia**

Deformación anormal que se produce en los cuerpos sólidos sometidos durante bastante tiempo a fuerzas permanentes,

- **Fraguado**

Es fundamentalmente un proceso de hidratación de los distintos componentes de un conglomerante hidráulico por el cual este adquiere una mayor consistencia puesta en evidencias por ensayos tipificados,

- **Granulometría**

Es la técnica que tiene por objeto la medida y la determinación de la forma y tamaño del agregado.

- **Grieta**

Son fisuras de mayor tamaño, generalmente cuando una fisura tiene un ancho mayor a 3 milímetros, se le llama grieta. Tienen formas diversas y pueden ser causadas por muchas razones. Las grietas habitualmente representan problemas que afectan la estabilidad de las estructuras o sin miembros.

- **Mortero**

Mezcla homogénea constituida por arena, cal o cemento en proporciones convenientes para asegurar una resistencia apropiada.

- **Permeabilidad**

Fracción del área de aberturas en una superficie respecto al área total de la misma. La relación de área efectiva es el complemento de la permeabilidad

- **Probeta**

Parte de una porción de lo que se va a analizar o ensayar, que puede tener forma de un prisma, un cilindro, un cubo, etc.

- **Resistencia**

Es la capacidad de una estructura o de alguno de sus miembros, para soportar sin romperse, bajo la acción de cualquier carga a la que pueda ser sometida.

- **Trabajabilidad**

Es la mayor o menor facilidad que presenta un concreto o mortero, de ser mezclado, transportado y colocado.

## 1.9. Hipótesis y variables

### 1.9.1. Hipótesis

La resistencia a la compresión del concreto  $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  con adición de vidrio reciclado molido se incrementará frente a fuerzas de compresión con respecto al concreto de control.

**1.10. Sistema de variables****1.10.1. Variable independiente**

Adición de vidrio reciclado molido.

**1.10.2. Variable dependiente**

La resistencia a la compresión del concreto  $F'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$

**1.10.3. Variable interviniente**

El porcentaje de humedad de los agregados.

## **CAPÍTULO II**

### **MATERIAL Y MÉTODOS**

#### **2.1. Tipo y nivel de investigación**

##### **2.1.1. Tipo**

La investigación a realizarse es de tipo **experimental** ya que tiene como propósito determinar una característica importante en el concreto simple empleando materiales de reciclaje en su composición, de tal manera que permita establecer la finalidad práctica y factible de su uso, considerándolo como material alternativo para futuras obras civiles.

##### **2.1.2. Nivel**

La investigación es **explicativa** debido a que se necesita ejecutar ensayos de compresión en diversas probetas de concreto simple dosificadas cuidadosamente en laboratorio con varios porcentajes de vidrio reciclado molido en reemplazo parcial del agregado fino respectivamente, determinando los porcentajes óptimos cuyas influencias en la resistencia del concreto a varias edades sea el admisible. Estos son estudios poco analizados en el medio actualmente y con este informe se da paso a posibles perfeccionamientos y aplicaciones futuras.

#### **2.2. Población y muestra**

##### **2.2.1. Población**

En la presente investigación, se consideró como población a la cantidad de probetas de control con concreto  $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ , y los concretos con adición de 15, 20 y 25 % de vidrio reciclado molido elaboradas, con un tiempo de curado de 7, 14 y 28 días, siendo 45 probetas por cada diseño de mezcla, lo cual hace un total de 180 probetas.

##### **2.2.2. Muestra**

La muestra contiene 45 probetas de concreto por cada diseño de mezcla de concreto, coincidiendo con la población, al ser este una población relativamente baja, siendo la muestra de tipo censal.

### 2.2.3. Método de muestreo

El método es no probabilístico porque se fabricó las mezclas de concreto con diferentes porcentajes de adición de vidrio reciclado molido y tiempos de curado.

Según **Roberto Hernández Sampieri, Carlos Fernández Collado y María del Pilar Baptista Lucio (2014)**, en las muestras no probabilísticas, la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o los propósitos del investigador.

### 2.2.4. Criterios de evaluación de la muestra

Se elaboraron 180 probetas de concreto para ser evaluados, las cuales fueron repartidas en 4 grupos de 40 probetas cada uno. En cada grupo se ensayaron probetas a 7, 14 y 28 días de curado, con una distribución de 10, 10 y 20 probetas respectivamente.

Según la norma **ASTM C 192**, usualmente se moldean 3 o más probetas para cada edad y condiciones de ensayo.

**Tabla 7**

*Cantidad de muestra a ensayar*

% de vidrio reciclado molido	Tiempo de curado			Sub total de probetas
	7 días	14 días	28 días	
<b>0 (control)</b>	10	10	25	45
<b>15</b>	10	10	25	45
<b>20</b>	10	10	25	45
<b>25</b>	10	10	25	45
<b>Total</b>				<b>180</b>

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, (2019)

### 2.3. Diseño del método de investigación

El siguiente esquema representa un diseño experimental debido a que existe manipulación de la variable independiente y que mediante graduaciones produce un efecto en la variable dependiente, a la vez, se comparan los grupos manipulados con un grupo de control.

<b>G<sub>0</sub></b>	<b>Y<sub>0</sub></b>	<b>X<sub>1</sub></b>	<b>Y<sub>1</sub></b>	<b>G<sub>1</sub></b>
<b>G<sub>0</sub></b>	<b>Y<sub>0</sub></b>	<b>X<sub>2</sub></b>	<b>Y<sub>2</sub></b>	<b>G<sub>2</sub></b>
<b>G<sub>0</sub></b>	<b>Y<sub>0</sub></b>	<b>X<sub>3</sub></b>	<b>Y<sub>3</sub></b>	<b>G<sub>3</sub></b>
<b>G<sub>0</sub></b>	<b>Y<sub>0</sub></b>	—	<b>Y<sub>4</sub></b>	<b>G<sub>4</sub></b>

Donde:

**G<sub>0</sub>**: Grupo experimental compuesto por la variable dependiente.

**Y<sub>0</sub>**: Medición en primera instancia de la variable dependiente.

**X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, X<sub>3</sub>**: Aplicación de la variable independiente en diferentes porcentajes.

**Y<sub>1</sub>, Y<sub>2</sub>, Y<sub>3</sub>**: Medición de la variable dependiente luego de ser manipulada.

**Y<sub>4</sub>**: Medición de la variable dependiente sin ser manipulada.

**G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub>, G<sub>3</sub>**: Grupo experimental compuesto por la variable dependiente luego de ser manipulada.

**G<sub>4</sub>**: Grupo experimental compuesto por la variable dependiente sin ser manipulada, el cual será comparado con **G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub>, G<sub>3</sub>**.

## **2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Se presentan todos los métodos y procedimientos utilizados en el desarrollo de la investigación para la obtención de información.

### **2.4.1. Metodología para la molienda del vidrio reciclado**

#### **2.4.1.1. Ubicación de puntos de recolección**

Esta etapa consistió en la ubicación de lugares estratégicos donde se encontrase la mayor cantidad de botellas de vidrio, es decir ubicar puntos donde este tipo de material sea desechado por diversas formas. Siendo el resultado, las discotecas y avenidas concurridas en horario nocturno, lugares donde más residuos de vidrio son desechados.

#### **2.4.1.2. Recolección y selección de botellas de vidrio**

Luego de haber identificado los lugares donde se encontraría la mayor concentración de botellas de vidrio desechadas, se procedió a separar las botellas intactas de las fracturadas, sin discriminarlas por el color o transparencias.

#### **2.4.1.3. Limpieza de las botellas de vidrio**

La Limpieza consistió en realizar un lavado con agua caliente y detergente con el propósito de eliminar cualquier residuo en el interior de la botella y también con la finalidad de sacar



las etiquetas de las botellas. En algunos casos, se utilizó vinagre para retirar la pintura de las botellas y así poder evitar alguna posible reacción con el cemento. Finalmente se procedió a secar las botellas para evitar inconvenientes al momento de realizar el proceso de molienda.

#### **2.4.1.4. Trituración preliminar**

Consistió en llevar las botellas de vidrio limpias a un menor tamaño mediante herramientas artesanales como martillos de goma y metal, teniendo en cuenta el adecuado uso de equipos de protección personal como guantes especiales, gafas, mascarillas y protectores auditivos.

#### **2.4.1.5. Proceso de molienda**

Una vez triturado el vidrio, se procedió a realizar la molienda con un molino manual, ya que en el medio no se encontró maquinaria especial para este proceso. El molino manual fue graduado para la obtención de partículas de cierta granulometría, no obstante, se obtuvo una cantidad considerable de partículas finas. Cabe recalcar que este proceso fue el más duradero y tedioso de llevar a cabo por el poco avance que se obtuvo con el molino manual. Al igual que en la trituración preliminar, se tuvo cuenta la colocación de equipos de protección personal.

#### **2.4.1.6. Separación de partículas finas**

Una vez obtenido el vidrio molido, se procedió a tamizarlo con instrumentos artesanales como mallas de metal de distinta abertura, para así separar y descartar las partículas finas ( $< N^{\circ} 200$ ).

#### **2.4.1.7. Tamizado del vidrio reciclado molido**

Luego de obtener el vidrio reciclado molido sin partículas menores al tamiz  $N^{\circ} 200$ , éste fue tamizado mediante tamizadores especiales de Tungsteno, y así evitar el daño de los tamizadores convencionales. Mediante este tamizado se obtuvo las características granulométricas del vidrio molido, y también la del vidrio molido mezclado, en porcentajes de 15, 20 y 25%, con el agregado fino.

#### **2.4.2. Ensayos de los agregados**

Los agregados utilizados en esta investigación forman en promedio un 75% del volumen total de las mezclas de concreto; participando en mayor proporción que cualquier otro material, otorgando muchas de las propiedades al concreto, haciendo indispensable los estudios físicos y químicos de este material previo al diseño.

#### **2.4.2.1. Peso específico y absorción del agregado fino (NTP 400.022)**

Esta norma establece un método de ensayo para determinar el peso específico de la masa, el peso específico saturado superficialmente seco, el peso específico aparente y el porcentaje de absorción (después de saturarse 24 horas en el agua) del agregado fino.

##### **Materiales:**

- Balanza con sensibilidad de 0.1 g o menos y con capacidad de 1 Kg a más.
- Frasco volumétrico de 500 cm<sup>3</sup> de capacidad, calibrado hasta  $\pm 0.1$  cm<sup>3</sup> a 20°C.
- Molde metálico con forma de tronco de cono de 40 mm  $\pm$  3 mm de diámetro en la parte superior, 90 mm  $\pm$  3 mm de diámetro en la parte inferior, y 75 mm  $\pm$  3 mm de altura.
- Barra compactadora de metal de 340 gramos  $\pm$  15 gramos de peso con un extremo de superficie plana circular de 25 mm  $\pm$  3 mm de diámetro.
- Estufa capaz de mantener una temperatura de 110°C  $\pm$  5°C.

##### **Preparación de la muestra:**

Se colocó aproximadamente 1000 gramos del agregado fino, obtenido del agregado que se desea ensayar por el método del cuarteo, en un envase adecuado. Después se secó a peso constante a una temperatura de 110°C  $\pm$  5°C. Se cubrió la muestra con agua y se dejó en reposo durante 24 horas  $\pm$  4 horas.

Se extendió sobre una superficie plana expuesta a una corriente suave de aire caliente y se removió con frecuencia para garantizar un secado uniforme. Se continuó esta operación hasta que los granos del agregado fino no se adhieran marcadamente entre sí. Luego se procedió a colocar el agregado fino en forma suelta en un molde cónico, golpeó la superficie suavemente 25 veces con el pisón de metal y se levanta el molde verticalmente.

Si existe humedad libre, el cono del agregado fino mantendrá su forma. Se siguió secando, revolviendo constantemente y se probó a intervalos frecuentes hasta que el cono se derrumbe al quitar el molde. Esto indica que el agregado fino ha alcanzado una condición superficialmente seca.

##### **Procedimiento:**

Se introdujo en el frasco una muestra de 500g  $\pm$  10 g del material en condición saturado superficialmente seco, llenó de agua hasta alcanzar aproximadamente el 90% de su

capacidad, a una temperatura de  $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ . Luego se hizo rodar el frasco sobre una superficie plana para eliminar todas las burbujas de aire, después del cual se colocó en un baño a temperatura constante de  $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ .

Después de aproximadamente  $1 \text{ h} \pm 1/2 \text{ h}$ , se llenó el frasco con agua hasta su capacidad de calibración, y se determinó el peso total del agua introducida en el frasco con aproximación. Se sacó el agregado fino del frasco se seca hasta peso constante a una temperatura de  $100^{\circ}\text{C}$  a  $110^{\circ}\text{C}$ , se enfrió a temperatura ambiente en un secador durante media hora a una hora y media, y se pesó.

### Expresión de resultados:

- Peso específico de masa

$$\text{Peso específico de masa} = \frac{w_{seca}}{v_f - v_a}$$

- Peso específico de masa saturada superficialmente seca

$$\text{Peso específico de masa s. s. s} = \frac{w_{sss}}{v_f - v_a}$$

- Peso específico aparente

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{w_{seca}}{(v_f - v_a) - (w_{sss} - w_{seca})}$$

- Absorción

$$\text{Absorción (\%)} = \frac{w_{sss} - w_{seca}}{w_{seca}} \times 100$$

Donde:

$w_{seco}$  = Peso en el aire de la muestra secada en la estufa.

$w_{sss}$  = Peso en el aire de la muestra saturada superficialmente seca.

$v_f$  = Volumen del volumenómetro usado hasta la marca de calibración (fiola).

$v_a$  = Volumen de agua añadida al volumenómetro, hasta la marca de calibración, luego de ser añadida la muestra.

#### 2.4.2.2. Peso específico y absorción del agregado grueso (NTP 400.021)

Esta Norma establece un método de ensayo para determinar el peso específico de masa, el peso específico saturado superficialmente seco, el peso específico aparente y el porcentaje de absorción (después de saturarse 24 horas en agua) del agregado grueso.

**Materiales:**

- Balanza con sensibilidad de 0.5 g y con capacidad de 5,000 g o más. La balanza estará equipada con un dispositivo capaz de suspender la muestra en la cesta con malla de alambre en el recipiente con agua desde del centro de la plataforma de pesado.
- Cesta con malla de alambre, con abertura correspondiente al tamiz N° 6, o menor, o un recipiente de aproximadamente igual ancho y altura con capacidad de 4 L a 7 L.
- Depósito estanco adecuado para sumergir la cesta de alambre en agua y un dispositivo para suspenderla del centro de la escala de la balanza.
- Estufa, capaz de mantener una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

**Preparación de la muestra:**

Se mezcló la muestra y se redujo aproximadamente a la cantidad necesaria usando el método del cuarteo descrito en la norma ASTM C 702, y luego descartó todo material que pasó por el tamiz 4.75 mm (N° 4). El peso mínimo para el ensayo se detalla en la **Tabla 8**.

**Tabla 8**

*Peso mínimo de la muestra de ensayo.*

<b>Tamaño Máximo Nominal mm (pulg)</b>	<b>Peso Mínimo de la Muestra de Ensayo kg (lb)</b>
12.5 (1/2) o menos	2 (4.4)
19.0 (3/4)	3 (6.6)
25.0 (1)	4 (8.8)
37.5 (1 1/2)	5 (11.0)
50.0 (2)	8 (18.0)
63.0 (2 1/2)	12 (26.0)
75.0 (3)	18 (40.0)
90.0 (3 1/2)	25 (55.0)
100.0 (4)	40 (88.0)
112 (4 1/2)	50 (110.0)
125.0 (5)	75 (165.0)
150 (6)	125 (276.0)

Fuente: Recuperado de Norma Técnica Peruana 400.021 (2002), "AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso", Lima, Perú, p.8.

**Procedimiento:**

Se secó la muestra en la estufa a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ , ventiló en un lugar fresco por 1 a 3 horas hasta que el agregado se haya enfriado a una temperatura que sea cómoda al tacto. Inmediatamente se sumergió la muestra del agregado en agua por  $24 \text{ h} \pm 4 \text{ h}$ .

Luego, se removió la muestra del agua e hizo rodar sobre un paño absorbente quitando toda la película de agua visible en la superficie. Posteriormente, se procedió a pesar la muestra en condiciones de saturación con superficie seca, y se colocó de inmediato en la cesta de alambre y determinó el peso en agua.

**Expresión de resultados:**

- Peso específico de masa

$$\text{Peso específico de masa} = \frac{W_{seca}}{W_{sss} - W_{sss-agua}}$$

- Peso específico de masa saturada superficialmente seca

$$\text{Peso específico de masa s. s. s} = \frac{W_{sss}}{W_{sss} - W_{sss-agua}}$$

- Peso específico aparente

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{W_{seca}}{W_{seca} - W_{sss-agua}}$$

- Absorción

$$\text{Absorción (\%)} = \frac{W_{sss} - W_{seca}}{W_{seca}} \times 100$$

Donde:

$W_{seca}$  = Peso en el aire de la muestra secada en la estufa.

$W_{sss}$  = Peso en el aire de la muestra saturada superficialmente seca.

$W_{sat-agua}$  = Peso en el agua de la muestra saturada superficialmente seca.

**2.4.2.3. Análisis granulométrico del agregado fino y grueso (NTP 400.012)**

Esta Norma establece un método de ensayo para determinar la distribución por tamaño de las partículas del agregado fino y grueso.

### Materiales:

- Balanzas: Para agregado fino, con aproximación de 0.1 gr. y exacta a 0.1 gr. ó 0.1% de la masa de la muestra. Para el agregado grueso, con aproximación y exacta a 0.5 gr. ó 0.01% de la masa de la muestra; para ambos agregados, cualquiera que sea mayor, dentro del rango de uso.
- Tamices: Estarán montados sobre armaduras construidas de manera que se prevea pérdida de material durante el tamizado.
- Agitador Mecánico de Tamices: Para impartir un movimiento vertical o un movimiento lateral al tamiz, causando que las partículas tiendan a saltar y girar presentando así diferentes orientaciones a la superficie del tamizado.
- Horno: Capaz de mantener una temperatura uniforme de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

### Preparación de la muestra:

Se tomó la muestra del agregado según la NTP 400.010. El tamaño de la muestra debió ser la cantidad indicada en la NTP 400.010 ó cuatro veces la cantidad requerida en el cuadro que se presenta para el agregado grueso.

Para el agregado fino, la cantidad de la muestra de ensayo, luego del secado, fue de 390 gramos como mínimo. Mientras que para el agregado grueso se detalla en la **Tabla 9**.

**Tabla 9**

*Cantidad mínima de la muestra de agregado grueso.*

<b>Tamaño Máximo Nominal mm (pulg)</b>	<b>Cantidad de la Muestra de Ensayo, Mínimo kg (lb)</b>
9.5 (3/8)	1 (2)
12.5 (1/2)	2 (4)
19.0 (3/4)	5 (11)
25.0 (1)	10 (22)
37.5 (1 1/2)	15 (33)
50.0 (2)	20 (44)
63.0 (2 1/2)	35 (77)
75.0 (3)	60 (130)
90.0 (3 1/2)	100 (220)
100.0 (4)	150 (330)
125.0 (5)	300 (660)

Fuente: Recuperado de Norma Técnica Peruana 400.012 (2001), "AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global", Lima, Perú, p.5.

**Procedimiento:**

Primero, se procedió a secar la muestra a peso constante a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ . Luego, se seleccionaron los tamaños adecuados de tamices para proporcionar la información requerida por las especificaciones que cubran el material al ser ensayado, encajándolos en orden de abertura decreciente desde la tapa hasta el fondo y colocar la muestra sobre el tamiz superior. Agitó los tamices por medio del agitador mecánico por un periodo suficiente aproximadamente de 10 minutos.

Se limitó la cantidad de material sobre el tamiz utilizado de tal manera que todas las partículas tengan la oportunidad de alcanzar la abertura del tamiz un número de veces durante la operación del tamizado.

**Expresión de resultados:**

Calcular el porcentaje que pasa, los porcentajes totales retenidos, o los porcentajes sobre cada tamiz, aproximadamente al 0.1% más cercano de la masa seca inicial de la muestra.

Por lo que el reporte incluirá lo siguiente:

- Porcentaje total que pasa cada tamiz.
- Porcentaje total retenido en cada tamiz.
- Porcentaje retenido entre tamices consecutivos.
- Reportar el módulo de fineza cuando se solicite.

**2.4.2.4. Densidad de masa (Peso unitario) del agregado fino y grueso (NTP 400.017)**

Mediante este método de ensayo se determina las relaciones masa/volumen del agregado y el recipiente, en condiciones de suelto y compactado y el cálculo del porcentaje de vacíos entre las partículas del agregado basados en la densidad de masa determinada.

**Materiales:**

- Balanzas: Con una exactitud dentro el 0,1% de la carga de ensayo en cualquier punto del rango de uso, con graduación al menos de 0,05 kg.
- Varilla de apisonado: Una varilla recta y lisa de acero, redondeada de 16 mm de diámetro y aproximadamente 600 mm de longitud, teniendo un extremo o ambos extremos de forma redondeada tipo semiesférica, con 16 mm de diámetro.

- Recipiente: De forma cilíndrica, de metal, preferiblemente provisto de asas. Será hermético a prueba de agua, con bordes superior e inferior firmes y parejos con precisión en sus dimensiones interiores y suficientemente rígidas para mantener su forma en condiciones severas de uso. El recipiente tendrá una altura aproximadamente igual al diámetro, pero en ningún caso tendrá una altura de menos del 80 % ni más del 150 % del diámetro. La capacidad del recipiente estará de conformidad con los límites de la **Tabla 10**, para el tamaño del agregado a ser ensayado.

**Tabla 10***Capacidad de los recipientes.*

<b>Tamaño Máximo Nominal mm (pulg)</b>	<b>Cantidad de la Muestra de Ensayo, Mínimo m<sup>3</sup> (pie<sup>3</sup>)</b>
12.5 (1/2)	0.0028 (1/10)
25.0 (1)	0.0093 (1/3)
37.5 (1 1/2)	0.0140 (1/2)
75.0 (3)	0.0280 (1)
100.0 (4)	0.0700 (2 1/2)
125.0 (5)	0.1000 (3 1/2)

Fuente: Recuperado de Norma Técnica Peruana 400.017 (2011), "AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso Unitario") y los vacíos en los agregados", Lima, Perú, p.4.

- Cucharón: De un tamaño conveniente para llenar el recipiente con el agregado.

### **Preparación de la muestra:**

El tamaño de la muestra fue aproximadamente de 125 % a 200 % la cantidad requerida para llenar el recipiente, y fue manipulada de manera de evitar la segregación. Se debió secar la muestra de agregado esencialmente a masa constante, preferiblemente en una estufa a 110 °C ± 5 °C .

### **Procedimiento:**

- **Compactado:** Se llenó el recipiente a 1/3 del total y niveló la superficie con los dedos. Luego, se apisonó la capa de agregado con 25 golpes con la varilla lisa uniformemente distribuido sobre la superficie. Se llenó el recipiente a los 2/3 del total y nuevamente niveló y apisonó como anteriormente. Finalmente, se llenó el recipiente, apisonó



nuevamente de la forma indicada y niveló la superficie del agregado con una espátula de manera que cualquier proyección leve de las partículas más grandes del agregado grueso aproximadamente haya equilibrado los vacíos mayores en la superficie por debajo de la parte superior del recipiente.

Finalmente, determinó la masa del recipiente más su contenido, y la masa del recipiente vacío, y registró los valores con exactitud de 0,05 kg .

- **Suelto:**

Se llenó el recipiente hasta el reboce con el cucharón, teniendo cuidado a fin de prevenir, como sea posible, la segregación del tamaño de partículas que constituyen la muestra, luego, se niveló la superficie del agregado con una espátula de manera que cualquier proyección leve de las partículas más grandes del agregado grueso aproximadamente haya equilibrado los vacíos mayores en la superficie por debajo de la parte superior del recipiente. Finalmente, se determinó la masa del recipiente más su contenido, y la masa del recipiente vacío, y registró los valores con exactitud de 0,05 kg .

**Expresión de resultados:**

- Densidad de masa (Peso unitario) en condición seca.

$$\text{Densidad de masa} = M = \frac{w_{rm} - w_r}{V_r}$$

- Densidad de masa (Peso unitario) en condición saturada superficialmente seca.

$$\text{Densidad de masa sss} = M * \left(1 + \frac{A}{100}\right)$$

- Contenido de vacíos.

$$\% \text{ de vacíos} = 100 * \left(\frac{S * W - M}{S * W}\right)$$

Donde:

$w_{rm}$  = Peso del recipiente más el agregado.

$w_r$  = Peso del recipiente.

$V_r$  = Volumen del recipiente.

$A$  = Porcentaje de absorción del agregado.

$S$  = Peso específico de masa.

$W$  = Densidad del agua (998 kg/m<sup>3</sup>).

#### 2.4.2.5. Ensayo de degradación del agregado grueso (NTP 400.019)

Mediante esta norma se establece el procedimiento para ensayar agregados gruesos de tamaños menores a 1 1/2 pulg., para determinar la resistencia a la degradación en la máquina de Los Ángeles.

##### Materiales:

- Máquina de Los Ángeles: Consiste en un cilindro hueco de acero, cerrado en ambos extremos, con un diámetro interior de 711 mm  $\pm$  5 mm y una longitud interior de 508 mm  $\pm$  5 mm. El cilindro será montado sobre ejes salientes de sus costados, no pasantes, de tal manera que pueda rotar con el eje en posición horizontal, con una tolerancia en la inclinación de 1 en 100.
- Balanza: con una exactitud al 0.1 % de la carga de ensayo.
- Carga: Consistirá en esferas de acero de aproximadamente 46.8 mm de diámetro y, entre 390g y 445g de masa cada una.

**Tabla 11**

*Carga según la granulometría de la muestra.*

Gradación	Número de esferas	Masa de la carga (g)
A	12	5.000 $\pm$ 25
B	11	4.584 $\pm$ 25
C	8	3.330 $\pm$ 20
D	6	2.500 $\pm$ 15

Fuente: Recuperado de Norma Técnica Peruana 400.019 (2002), "AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles", Lima, Perú, p.9.

**Tabla 12**

*Gradación de las muestras de ensayo.*

Medida del tamiz (Aberturas cuadradas)		Masa de los tamaños indicados, g			
Pasa	Retenido	Gradación			
		A	B	C	D
37.50mm (1 1/2 pulg)	25.00 mm (1 pulg)	1250 $\pm$ 25	-	-	-
25.00 mm (1 pulg)	19.00 mm (3/4 pulg)	1250 $\pm$ 25	-	-	-
19.00 mm (3/4 pulg)	12.50 mm (1/2 pulg)	1250 $\pm$ 10	2500 $\pm$ 10	-	-
12.50 mm (1/2 pulg)	9.50 mm (3/8 pulg)	1250 $\pm$ 10	2500 $\pm$ 10	-	-
9.50 mm (3/8 pulg)	6.30 mm (1/4 pulg)	-	-	2500 $\pm$ 10	-
6.30 mm (1/4 pulg)	4.75 mm (N°4)	-	-	2500 $\pm$ 10	-
4.75 mm (N°4)	2.36 mm (N° 8)	-	-	-	5000 $\pm$ 10
<b>Total</b>		5000 $\pm$ 10	5000 $\pm$ 10	5000 $\pm$ 10	5000 $\pm$ 10

Fuente: Recuperado de Norma Técnica Peruana 400.019 (2002), "AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de Los Angeles", Lima, Perú, p.10.

### **Preparación de la muestra:**

Se debió lavar y secar en el horno la muestra reducida, a  $110\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$  hasta peso constante, se separó en fracciones y volvió a combinar hasta obtener la granulometría de la **Tabla 12**, más cercana al rango de medida de los agregados proporcionados para el trabajo.

### **Procedimiento:**

Se colocó la muestra y la carga en la máquina de ensayo Los Angeles e hizo girar la máquina a una velocidad de 30 rpm a 33 rpm durante 500 revoluciones. A continuación, se descargó el material de la máquina e hizo una separación preliminar de la muestra sobre el tamiz 1.70 mm (Nº 12). Tamizó la porción más fina que 1.70 mm de acuerdo a la NTP 400.012. Se lavó el material más grueso que 1.70 mm y secó en el horno a  $110\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ , hasta peso constante y se determinó el peso aproximándolo al gramo más cercano.

### **Expresión de resultados:**

- Porcentaje de degradación del agregado grueso.

$$\% \text{ degradación} = \frac{w_0 - w_f}{w_0} \times 100$$

$$\% \text{ degradación} < 50 \%$$

Donde:

$w_0$  = Peso original.

$w_f$  = Peso final.

#### **2.4.2.6. Azul de metileno (AASHTO TP 57)**

Esta norma indica el procedimiento para determinar la cantidad de material potencialmente dañino (incluyendo arcilla y material orgánico) presente en la fracción fina de un agregado mediante la determinación del Valor de Azul de Metileno. Un valor significativo indica una gran cantidad de arcilla o de materia orgánica presentes en la muestra.

**Materiales:**

- Bureta: De color ámbar de por lo menos 50 ml de capacidad con graduaciones de 0.1 ml.
- Agitador magnético: Con varilla revolvedora.
- Balanza: De 200g de capacidad y 0.001g de sensibilidad.
- Varilla de vidrio: De aproximadamente 250 mm (10") de largo y 8 mm (0.3") de diámetro.
- Cronómetro.
- Platón y tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (N° 200).
- Matraz volumétrico: Con capacidad de 1000 ml.
- Papel filtro.
- Tres vasos de precipitado de 500 ml.
- Azul de Metileno: De grado reactivo, fechado y almacenado por un tiempo inferior a cuatro meses en un frasco color café envuelto con papel de aluminio y colocado en un gabinete oscuro a la temperatura del laboratorio.
- Agua destilada: A la temperatura del laboratorio.
- Horno: Capaz de mantener la temperatura de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$

**Preparación de la muestra:**

Se preparó una muestra representativa del agregado fino que se quiso evaluar, secó hasta una masa constante a una temperatura de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , y tamizó por la malla de 75  $\mu\text{m}$  (N° 200). Se utilizó el pasante para la prueba y descartó el retenido.

**Procedimiento**

Se colocó 10.0 g ( $\pm 0.05\text{g}$ ) de material pasante del tamiz 75 m m (No 200), seco hasta una masa constante, en un vaso de precipitado de 500 ml. Luego, se adicionó 30 ml de agua destilada y batió con el agitador hasta tener una lechada. Se Agregó con la bureta a la lechada de suelo, 0.50 ml de solución de Azul de Metileno (5g de Azul de metileno en 1 litro de agua) y agitó durante un minuto.

Se sacó con la varilla agitadora de vidrio una gota de lechada y dejó caer sobre el papel filtro. Se observó la gota en el papel filtro; si no se ha formado alrededor de la gota un anillo o aureola azul, se continuó el ensayo adicionando a la lechada de suelo incrementos de 0.50

ml de solución de Azul de Metileno, agitando durante un minuto para cada incremento y realizando de nuevo la prueba en el papel filtro hasta que se observe el aro azul alrededor de la gota. Si se continúa presentando el aro azul se da por terminada la titulación y se procede a realizar el cálculo de Valor de Azul. Si, por el contrario, desaparece el aro, se debe continuar con la titulación.

#### Expresión de resultados:

- Azul de metileno.

$$\text{Azul de metileno} = \frac{C * V}{W}$$

Donde:

*Azul de metileno*: En mg/g

*C* = Concentración de la solución de azul de metileno, en mg de azul por ml de solución.

*V* = mililitros de solución de Azul de Metileno requerida en la titulación.

*W* = gramos de material seco utilizado en la prueba.

- El límite máximo aceptable de Azul de Metileno es 0.05 mg/g.

#### 2.4.2.7. Durabilidad del agregado por medio de sulfato de magnesio (NTP 400.016)

Mediante esta norma se establece un método de ensayo para determinar la resistencia de los agregados a la desintegración por medio de soluciones saturadas de sulfato de magnesio. Suministra información útil para juzgar la alterabilidad de los agregados sometidos a la acción de la intemperie, particularmente cuando no se dispone de información adecuada sobre el comportamiento del material expuesto a condiciones atmosféricas reales.

#### Materiales:

- Tamices: Se usarán con aberturas cuadradas de los siguientes tamaños.

**Tabla 13**

*Abertura de tamices normalizados.*

Abertura serie fina		Abertura serie gruesa
Nominal	Tamiz normalizado	Tamiz normalizado
N° 100	150 μm	8.00 mm (5/16")
		9.50 mm (3/8")
N° 50	300 μm	12.5 mm (1/2")
		16.0 mm (5/8")

N° 30	600 $\mu\text{m}$	19.0 mm (3/4") 25.0 mm (1")
N° 16	1.18 mm	31.5 mm (1 1/4")
N° 8	2.36 mm	37.5 mm (1 1/2") 50.0 mm (2")
N° 5	4.00 mm	63.0 mm (2 1/2")
N° 4	4.75 mm	Tamaños mayores aumentan en 12.5 mm(1/2")

Fuente: Recuperado de Norma Técnica Peruana 400.016 (2011), "AGREGADOS. Determinación de la inalterabilidad de agregados por medio de sulfato de sodio o sulfato de magnesio", Lima, Perú, p.3.

- Envases: Utilizados para sumergir las muestras de agregados en la solución, tendrán perforaciones que permiten un libre acceso de la solución a la muestra y el drenaje sin pérdida de agregado.
- Balanzas: Se usará una balanza con sensibilidad de por lo menos 0,1 g para pesar el agregado fino. Se usará una balanza con sensibilidad de por lo menos 0,1% ó 1g , para pesar el agregado grueso, sobre el rango requerido para esta prueba.
- Horno: Será tal, que se pueda calentar continuamente entre  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- Medida del peso específico: Hidrómetros de acuerdo a los requerimientos o una combinación apropiada de recipientes graduados de vidrio y balanzas, capaces de medir el peso específico de la solución dentro  $\pm 0,001$ .
- Reactivo (Solución de sulfato de magnesio): Se prepara una solución saturada de sulfato de magnesio grado USP o similar, disolviendo la sal en agua a una temperatura de  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Se agrega 350 g de sal anhidra ( $\text{MgSO}_4$ ) ó 1,230 g del heptahidrato ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) (Sales de Epsom) por litro de agua, para la saturación de la solución a  $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ , para asegurar no sólo la saturación sino también la presencia de cristales en exceso, cuando la solución esté lista para ser usada en los ensayos.

### **Preparación de la muestra:**

La muestra a ensayar tuvo que ser lavada completamente y secada en horno hasta peso constante a  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , luego se separó en diferentes tamaños, según correspondió para agregado fino y agregado grueso.

### **Procedimiento:**

Se introdujeron las muestras en la solución de sulfato de magnesio, durante no menos de 16 horas, ni más de 18 horas, de manera que la solución las haya cubierto a una profundidad de

por lo menos 1.5 cm. Se taparon los envases para disminuir la evaporación y evitar la adición accidental de sustancias extrañas. Las muestras sumergidas en la solución se mantuvieron a una temperatura de  $21\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante el período de inmersión.

Después del período de inmersión, se sacó la muestra de agregado de la solución, dejó escurrir durante  $15\text{ min} \pm 5\text{ min}$  y colocó en el horno de secar a  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta obtener un peso constante. Después de haber conseguido el peso constante, se enfrió la muestra a la temperatura ambiente y luego sumergió nuevamente en la solución hasta conseguir el número de ciclos requeridos. Después de completar el ciclo final y enfriado la muestra a temperatura ambiente, se lavó cada fracción por separado para eliminar el sulfato magnesio.

Los últimos lavados fueron hechos con agua destilada y mediante la reacción con cloruro de bario (BaCl) pudo comprobarse si el agua de lavado estuvo libre del sulfato. Se tamizó el agregado fino a través del mismo tamiz en el cual estaba retenido antes del ensayo.

### **Expresión de resultados:**

El método y duración del tamizado del agregado fino fue el mismo de la preparación de la muestra. El tamizado del agregado grueso fue realizado a mano, con una agitación suficiente solamente para asegurar que el material de menor medida pase la malla.

Se pesó el material retenido en cada malla y registró. La diferencia entre cada una de estas cantidades y el peso inicial de la fracción ensayada significó la pérdida de peso y fue expresada como porcentaje del peso inicial utilizado.

**Tabla 14**

*Tamices normalizados para agregado grueso*

<b>Tamaño del agregado</b>	<b>Tamiz normalizado usado para determinar la pérdida</b>
100 mm (4") a 90 mm (3 1/2")	75 mm (3")
90 mm (3 1/2") a 75 mm (3")	63 mm (2 1/2")
75 mm (3") a 63 mm (2 1/2")	50 mm (2")
63 mm (2 1/2") a 37.5 mm (1 1/2")	31.5 mm (1 1/4")
37.5 mm (1 1/2") a 19.0 mm (3/4")	16.0 mm (5/8")
19.0 mm (3/4") a 9.5 mm (3/8")	8.0 mm (5/16")
9.5 mm (3/8") a 4.75 mm (N° 4)	4.0 mm (N° 5)

Fuente: Recuperado de Norma Técnica Peruana 400.016 (2011), "AGREGADOS.

*Determinación de la inalterabilidad de agregados por medio de sulfato de sodio o sulfato de magnesio", Lima, Perú, p.9.*

Para obtener los porcentajes de pérdida, se efectuaron las siguientes anotaciones:

- Porcentaje retenido en cada una de las mallas correspondientes.
- Peso de cada fracción antes del ensayo
- Porcentaje de pérdidas de cada tamaño después del ensayo
- Porcentaje de pérdidas corregidas que se obtienen multiplicando la gradación original por el porcentaje de pérdida total y dividiendo entre 100.
- El total de pérdidas corresponde a la suma de los porcentajes de pérdidas corregidas.
- El porcentaje máximo permisible de pérdida por ataque de sulfato de magnesio para el agregado fino es de 15%, y para el agregado grueso es 18%.

#### **2.4.2.8. Porcentaje de arcilla en terrones y partículas desmenuzables (friables) en agregados (MTC E-212)**

Mediante este método de ensayo se determina aproximadamente el porcentaje de terrones de arcilla y partículas desmenuzables (friables) en los agregados.

##### **Materiales:**

- Balanza: Con una exactitud dentro del 0.1% de la masa de la muestra de ensayo.
- Recipientes: Deben ser resistentes a la oxidación y de una forma y tamaño que permita la extensión de la muestra en una capa delgada en el fondo.
- Tamices
- Horno de secado: Que proporcione una circulación libre de aire y sea capaz de mantener una temperatura constante de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

##### **Preparación de la muestra:**

Las muestras de agregado consistieron en el material restante después de haber completado el ensayo para la determinación de los materiales más finos que el tamiz 75  $\mu\text{m}$  (No. 200), fue necesario combinar el material restante de más de un ensayo.

Se secó el agregado hasta obtener peso constante, a una temperatura de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , las muestras de agregado fino consistieron en las partículas más gruesas que el tamiz de 1.18mm (No. 16) y tuvieron una masa no menor de 25g., mientras que las muestras para el ensayo del agregado grueso, se separaron en diferentes tamaños, empleando los siguientes tamices: 4.75 mm (No. 4), 9.5 mm (3/8"), 19.0 mm (3/4"), y 37.5 mm (1 1/2"). Para el ensayo no debieron pesar menos de lo que se indica en la tabla siguiente:



**Tabla 15***Peso mínimo de la muestra*

<b>Tamaño de las partículas entre los tamices de:</b>	<b>Tamiz a utilizar para la separación de los terrones de arcilla y partículas desmenuzables</b>
4.74 mm – 9.5 mm (N° 4 – 3/8 pulg)	1,000
9.5 mm – 19.0 mm (3/8 pulg – 3/4 pulg)	2,000
19.0 mm – 37.5 mm (3/4 pulg – 1 1/2 pulg)	3,000
Mayor que 37.5 mm (1 1/2 pulg)	5,000

Fuente: Recuperado de Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016), “Manual de ensayo de materiales”, Lima, Perú, p.347.

**Procedimiento:**

Se pesó la muestra de ensayo con la exactitud especificada y esparció en una capa fina sobre el fondo del recipiente, se cubrió con agua destilada, y puso en remojo durante un periodo de 24 h  $\pm$  4 h. Se desmenuzó los terrones de arcilla y las partículas deleznable por compresión y deslizamiento entre los dedos pulgar e índice. Después que todos los terrones de arcilla y las partículas desmenuzables perceptibles han sido disgregados, se separó las partículas de la muestra restante por tamizado húmedo, sobre el tamiz prescrito en la **Tabla 16:**

**Tabla 16***Tamices a utilizar para la separación de las partículas*

<b>Tamaño de las partículas entre los tamices de:</b>	<b>Peso mínimo de la muestra de ensayo (g)</b>
Agregado fino retenido sobre el tamiz de 1.18 mm (N°16)	850 $\mu$ m (N° 20)
4.74 mm – 9.5 mm (N° 4 – 3/8 pulg)	2.36 mm (N° 8)
9.5 mm – 19.0 mm (3/8 pulg – 3/4 pulg)	4.75 mm (N° 4)
19.0 mm – 37.5 mm (3/4 pulg – 1 1/2 pulg)	4.75 mm (N° 4)
Mayor que 37.5 mm (1 1/2 pulg)	4.75 mm (N° 4)

Fuente: Recuperado de Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016), “Manual de ensayo de materiales”, Lima, Perú, p.347.

Se realizó el tamizado húmedo haciendo pasar agua sobre la muestra a través del tamiz mientras se agitaba manualmente el tamiz, hasta que todo el material de menor tamaño haya sido removido. Finalmente, se removió cuidadosamente las partículas retenidas en el tamiz, secó hasta peso constante a la temperatura de 110 °C  $\pm$  5 °C, enfrió, y pesó con una aproximación del 0.1 % de la masa de la muestra de ensayo.

**Expresión de resultados:**

- Porcentaje de partículas desmenuzables y terrones de arcilla.

$$\% \text{ de partículas desmenuzables y terrones de arcilla} = \frac{M - R}{M} \times 100$$

Donde:

$M$  = Masa de la muestra de ensayo (para el agregado fino la masa de las partículas retenidas en el tamiz normalizado de 1,18mm (N° 16).

$R$  = Masa de las partículas retenidas sobre el tamiz designado.

El porcentaje de partículas desmenuzables y terrones de arcilla para el agregado grueso es el promedio ponderado de los porcentajes de partículas desmenuzables y terrones de arcilla obtenidos entre los distintos tamaños en que se dividió la muestra.

El porcentaje máximo permisible de partículas desmenuzables y terrones de arcilla en el agregado fino y el agregado grueso es de 3%.

**2.4.2.9. Porcentaje de carbón y lignito en agregados (MTC E-215)**

Se refiere al procedimiento para la determinación aproximada de carbón y lignito en el análisis rutinario de laboratorio de arenas. Este método separa junto con el carbón y lignito otras partículas de bajo peso específico, como pedazos pequeños de madera, material vegetal, etc.

**Materiales:**

- Balanza: Con una capacidad por los menos de 200 grs. y sensible a 0.01 gr.
- Recipiente: Adecuado para sacar la muestra.
- Vasos de precipitados: Dos vasos rebordeados de forma alargada de 400 ml.
- Gasa de alambre.
- Horno: Capaz de mantener una temperatura constante de  $110 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

**Procedimiento:**

Se secó más de 200 gramos de la muestra húmeda a peso constante a una temperatura de  $110 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Luego, pesó una muestra seca de 200 gramos con aproximación de 0.01 gramos. La muestra se vació lentamente dentro de 250 mililitros de un líquido que tenga un peso específico de 2.0, contenido en uno de los vasos de precipitados de 400 mililitros. El líquido se vació luego en el segundo vaso de precipitado pasándolo a través de la gasa

metálica. Se cuidó que solamente las partículas que estuvieran flotando se vacíen con el líquido sin que la arena se decante dentro de la gasa. El líquido recogido en el segundo vaso de precipitado regresó luego al otro que contiene la arena, después de agitar nuevamente la muestra, se repitió el proceso de decantación descrito antes, hasta que la muestra quede libre de partículas flotantes. Las partículas decantadas contenidas sobre la gasa se lavaron en tetracloruro de carbono hasta que se retire el líquido flotante.

Las partículas se secaron rápidamente en el horno a  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  por unos pocos minutos. Las partículas decantadas se cepillaron en el platillo de la balanza y se pesaron exactamente con aproximación de 0.01 gramos. El líquido citado atrás se preparó de una mezcla apropiada de tetracloruro de carbono y bromoformo con monobromobenceno (nacional).

### **Expresión de resultados:**

- Porcentaje aproximado de carbón y lignito.

$$\% \text{ de carbón y lignito} = \frac{D}{M} \times 100$$

Donde:

$D$  = Peso de partículas decantadas.

$M$  = Peso de la muestra (200 gramos).

El porcentaje máximo permisible de carbón y lignito en el agregado fino y el agregado grueso es de 0.5%.

### **2.4.3. Metodología para el diseño de mezclas (A.C.I 211.1)**

El método A.C.I. es un método de dosificación para el diseño de mezclas de concreto; se basa en medir los materiales (cemento, agua, agregado fino y grueso) en peso y volumen, y se diseña tanto para una mezcla en estado fresco como endurecido.

### **Preparación de los datos:**

Antes de diseñar la mezcla, se debió tener datos previos de los materiales que se van a usar, como:

- Análisis granulométrico de los agregados.
- Módulo de finura del agregado fino.
- Peso unitario compactado de los agregados (fino y grueso).
- Peso específico de los agregados (fino y grueso).

- Contenido de humedad y porcentaje de absorción de los agregados (fino y grueso).
- Tipo y peso específico del cemento.

### Procedimiento:

Se resume el procedimiento de diseño de mezclas de concreto, en 9 pasos que son:

- Determinación de la resistencia requerida.
- Elección del asentamiento, revenimiento o Slump.
- Elección del tamaño máximo nominal de agregado grueso.
- Cálculo del agua de mezclado y el contenido de aire.
- Selección de la relación agua/cemento (a/c).
- Cálculo del contenido de cemento.
- Estimación del contenido de agregado grueso.
- Estimación del contenido de agregado fino.
- Ajuste por humedad del agregado.
- Ajustes en las mezclas de prueba.

#### 2.4.3.1. Determinación de la resistencia requerida.

Existen tres casos para determinar la resistencia requerida de la mezcla de concreto:

**Caso 1:** Si se cuenta con datos estadísticos de producción en obra así como resultados de la rotura de probetas.

**Caso 2:** No se cuenta con suficientes datos estadísticos (entre 15 y 30 resultados).

**Caso 3:** Se cuenta con escasos (menos de 15 ensayos) o ningún dato estadístico.

Se determinó la resistencia requerida en función a la disponibilidad de información que se tuvo, por lo que se utilizó el Caso 3.

**Tabla 17**

*Resistencia a la compresión requerida*

<b>F'c especificado (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>F'c requerido (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>
< 210	F'c + 70
210 a 350	F'c + 84
> 350	F'c + 98

Fuente: Recuperado de Ana Torre Carrillo (2004), "Curso básico de tecnología del concreto", Lima, Perú, p.93.

### 2.4.3.2. Elección del asentamiento, revenimiento o Slump.

El asentamiento requerido fue seleccionado para que el concreto tuviese una consistencia plástica, el cual está entre 3" y 4". El asentamiento también puede ser seleccionado según el tipo de estructura a realizar, según la **Tabla 18**:

**Tabla 18**

*Asentamientos recomendados para diversos tipos de estructuras*

Tipo de estructura	Slump máx.	Slump mín.
Zapatas y muros de cimentación reforzados	3"	1"
Cimentaciones simples y calzaduras	3"	1"
Vigas y muros armados	4"	1"
Columnas	4"	2"
Muros y pavimentos	3"	1"
Concreto ciclópeo	2"	1"

Fuente: Recuperado de Ana Torre Carrillo (2004), "*Curso básico de tecnología del concreto*", Lima, Perú, p.102.

### 2.4.3.3. Elección del tamaño máximo nominal de agregado grueso

Se eligió una adecuada granulometría teniendo en cuenta que se debe obtener una masa compacta y con menos vacíos, a la vez, debe ser económicamente compatible con las dimensiones de la estructura; en la medida en que el tamaño máximo nominal del agregado grueso nunca será mayor de:

- 1/5 de la dimensión más angosta entre caras del encofrado.
- 1/3 del espesor de las losas.
- 3/4 de la distancia libre entre barras o paquetes de barras o cables pretensores.

### 2.4.3.4. Cálculo del agua de mezclado y el contenido de aire.

La cantidad de agua por unidad de volumen de concreto necesaria para obtener el asentamiento deseado, depende del tamaño máximo nominal, perfil, textura y granulometría de los agregados, así como de la cantidad de aire incorporado, no siendo apreciablemente afectada por la cantidad de cemento. La **Tabla 19** proporcionó la cantidad de agua (en kg/m<sup>3</sup> de concreto) y el porcentaje de aire atrapado en función de las siguientes variables:

- Tipo de concreto
- Asentamiento
- Tamaño máximo nominal del agregado

**Tabla 19**

Requerimientos aproximados de agua de mezclado y de contenido de aire para diferentes valores de asentamiento y tamaños máximos nominales de agregados.

Asentamiento o Slump (pulg)	Agua, kg/m <sup>3</sup> de concreto para los tamaños máximos nominales de agregado indicados								
	3/8	1/2	3/4	1	1 1/2	2	3	6	
<i>Concreto sin aire incluido</i>									
1 a 2	207	199	190	179	166	154	130	113	
3 a 4	228	216	205	193	181	169	145	124	
6 a 7	243	228	216	202	190	178	160	-	
<b>Cantidad aproximada de aire atrapado en el concreto sin aire incluido, %</b>	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2	
<i>Concreto con aire incluido</i>									
1 a 2	181	175	168	160	150	142	122	107	
3 a 4	202	193	184	175	165	157	133	119	
6 a 7	216	205	197	184	174	166	154	-	
<b>Contenido promedio total de aire, para el nivel de exposición, %</b>									
<b>Exposición</b>	<b>Ligera</b>	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
	<b>Moderada</b>	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
	<b>Severa</b>	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

Fuente: Recuperado de José Frank Rojas Luján (2015), "Estudio experimental para incrementar la resistencia de un concreto de  $F'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> adicionando un porcentaje de vidrio sódico cálcico", Lima, Perú, p.29.

#### 2.4.3.5. Selección de la relación agua/cemento (a/c).

Una vez determinado el valor de la resistencia requerida ( $F'cr$ ) y si el concreto será con o sin inclusión de aire, se procedió a determinar la relación a/c según la **Tabla 20**, suponiendo un tamaño máximo de agregado de 3/4" a 1":

**Tabla 20**

Correspondencia entre la relación agua/cemento y la resistencia a la compresión.

Resistencia a compresión a 28 días, kg/cm <sup>2</sup>	Relación agua/cemento, por peso	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
420	0.41	-
350	0.48	0.40
280	0.57	0.48
210	0.68	0.59
140	0.82	0.74

Fuente: Recuperado de José Frank Rojas Luján (2015), "Estudio experimental para incrementar la resistencia de un concreto de  $F'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> adicionando un porcentaje de vidrio sódico cálcico", Lima, Perú, p.30.

### 2.4.3.6. Cálculo del contenido de cemento

El cemento requerido es igual al contenido estimado de agua de mezclado dividido entre la relación a/c.

$$\text{Contenido de cemento (en kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{Agua de mezclado (kg/m}^3\text{)}}{\text{Relación a/c (para F'cr)}}$$

### 2.4.3.7. Estimación del contenido de agregado grueso

El método A.C.I. fue usado ya que los agregados cumplen con las recomendaciones granulométricas ASTM C33, y este consiste en hallar el volumen de agregado grueso por metro cúbico de concreto; para esto se hizo uso de la **Tabla 21**, que muestra el volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto, con base a la densidad de masa (peso unitario) compactada o varillada seca, para un m<sup>3</sup> de concreto. Este volumen se convierte a peso seco del agregado grueso requerido en un m<sup>3</sup> de concreto, multiplicándolo por la densidad de masa (peso unitario) compactada en seco por m<sup>3</sup> de agregado grueso.

$$\text{Contenido de agregado grueso (en } \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\text{)} = \left(\frac{b}{b_o}\right) \times \text{densidad de masa seca y compactada}$$

Donde:

$b$  = Volumen absoluto o sólido del agregado grueso, por unidad de volumen de concreto.

$b_o$  = Volumen absoluto o sólido del agregado grueso, por unidad de volumen compactada de agregado grueso.

$\frac{b}{b_o}$  = Volumen compactado de agregado grueso, por unidad de volumen de concreto.

**Tabla 21**

*Volumen de agregado grueso por volumen de concreto*

TMN del agregado grueso	Volumen del agregado grueso seco y compactado por unidad de volumen de concreto para diversos módulos de fineza del fino (b/b <sub>o</sub> )			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.6
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.7
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.81	0.79	0.77	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: Recuperado de Ana Torre Carrillo (2004), "Curso básico de tecnología del concreto",

Lima, Perú, p.103.

#### 2.4.3.8. Estimación del contenido de agregado fino

Existen dos métodos para la determinación del contenido de agregado fino, el método de los pesos y el método de los volúmenes absolutos, ambos métodos basados en conocer todos los ingredientes, a excepción del agregado fino, por metro cúbico, pudiendo hallarse el mismo por diferencia.

Según **Flavio Abanto Castillo (2009)**, el método de los volúmenes absolutos es el procedimiento más exacto para el cálculo de la cantidad de agregado fino por metro cúbico de concreto, el cual implica el empleo de los volúmenes desplazados por los ingredientes o volúmenes absolutos de los mismos, es decir, el volumen absoluto del agregado fino es igual a la diferencia entre el volumen unitario del concreto y la suma de los volúmenes absolutos de los ingredientes ya conocidos (cemento, agua, aire, agregado grueso)

$$Volumen (m^3) = \frac{Peso\ seco}{Peso\ específico}$$

#### 2.4.3.9. Ajuste por humedad del agregado.

- **Corrección por humedad del diseño de mezcla en estado seco.**

Se tuvo en cuenta la humedad de los agregados para pesarlos correctamente ya que generalmente los agregados están húmedos y a su peso seco debe sumarse el peso del agua que contienen, tanto absorbida como superficial.

$$Peso\ agregado\ húmedo = Peso\ agregado\ seco (1 + Cont.\ humedad\ del\ agregado\ (%))$$

- **Determinación del agua efectiva**

El agua a utilizarse en la mezcla de prueba debe incrementarse o reducirse en una cantidad igual a la humedad libre que contiene el agregado, esto es, humedad total menos absorción.

Para esto se utilizará la siguiente fórmula:

$$Aporte\ de\ humedad\ de\ los\ agregados = Peso\ agregado\ seco (\% Cont.\ de\ humedad - \% absorción)$$

Entonces:

$$Agua\ efectiva = Agua\ de\ diseño - Aporte\ de\ humedad\ de\ los\ agregados$$

#### 2.4.3.10. Ajuste en la mezcla de prueba

Finalmente, luego de obtener todos los datos para el diseño de mezcla del concreto, se procede a graduarlos a las unidades requeridas.



#### 2.4.4. Validez y confiabilidad de la metodología

Para los fines de validación, se utilizan normalmente ciertas mediciones estadísticas, que nos ayudan a establecer si el método se encuentra dentro de un parámetro aceptable, normalmente se determinan las siguientes:

##### 2.4.4.1. Media

Conocida también como media aritmética o promedio, es la cantidad total de la variable (muestra o medida) distribuida a partes iguales entre cada observación. En términos matemáticos, es igual a la suma de todos sus valores dividida entre el número de sumandos.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Donde:

$x_i$  = valor de una lectura.

$n$  = número de lecturas

##### 2.4.4.2. Mediana

Es el valor que ocupa el lugar central de un conjunto de lecturas, ubicado luego de ordenar las lecturas en orden ascendente.

$$M_e = \frac{n + 1}{2} \text{ para lecturas impares}$$

$$M_e = \frac{n}{2} \text{ para lecturas pares}$$

Donde:

$M_e$  = Posición del valor o de los valores centrales.

$n$  = número de lecturas

Cuando existían dos valores centrales, estos deberán sumarse y dividirse entre dos para determinar un único valor central, el cual será el valor de la Mediana.

##### 2.4.4.3. Moda

Es el valor de la variable con mayor frecuencia. Podrá existir más de un valor para la Moda.

#### 2.4.4.4. Desviación estándar ( $\sigma$ , S)

Es el promedio de lejanía de los valores obtenidos (lecturas) respecto del promedio.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

Donde:

$x_i$  = valor de una lectura.

$\bar{X}$  = Promedio de la totalidad de lecturas.

$n$  = número de lecturas.

#### 2.4.4.5. Coeficiente de Variación (CV)

Es la desviación estándar dividida por la media. También es conocida como desviación estándar relativa. El coeficiente de variación puede ser expresado en porcentaje:

$$\%CV = \frac{S}{\bar{X}} * 100$$

Donde:

$S$  = Desviación estándar de las lecturas.

$\bar{X}$  = Promedio de la totalidad de lecturas.

#### 2.4.4.6. Varianza

Es una medida de dispersión definida como el cuadrado de la desviación estándar.

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n - 1}$$

Donde:

$x_i$  = valor de una lectura.

$\bar{X}$  = Promedio de la totalidad de lecturas.

$n$  = número de lecturas.

#### 2.4.4.7. Asimetría

El coeficiente de asimetría permite identificar la distribución de los datos alrededor del punto central (Media). La asimetría presenta tres estados diferentes, cada uno definiendo de manera concisa la distribución de los datos respecto al eje de asimetría.

$$g_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^3}{n * S^3}$$

Donde:

$x_i$  = valor de una lectura.

$\bar{X}$  = Promedio de la totalidad de lecturas.

$n$  = número de lecturas.

$S$  = Desviación estándar de las lecturas.

Si  $g_1 > 0$ , la distribución será asimétrica positiva o a derechas (desplazada hacia la derecha).

Si  $g_1 = 0$ , la distribución será simétrica.

Si  $g_1 < 0$ , la distribución será asimétrica negativa o a izquierdas (desplazada hacia la izquierda).

#### 2.4.4.8. Curtosis o apuntamiento

El Coeficiente de Curtosis o Apuntamiento de Fischer pretende comparar la curva de una distribución con la curva de la distribución normal, en función de la cantidad de valores extremos y la distribución. Basándose en el dato de que en una distribución normal se verifica que:

$$\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^4}{n * S^4} = 3$$

Se define el Coeficiente de Curtosis de Fisher como:

$$K = g_2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^4}{n * S^4} - 3$$

Donde:

$x_i$  = valor de una lectura.

$\bar{X}$  = Promedio de la totalidad de lecturas.

$n$  = número de lecturas.

$S$  = Desviación estándar de las lecturas.

Si  $g_2 > 0$ , la distribución será leptocúrtica o más apuntada que lo normal.

Si  $g_2 = 0$ , la distribución será mesocúrtica o normal.

Si  $g_2 < 0$ , la distribución será platicúrtica o menos apuntada que lo normal.

#### **2.4.4.9. Distribución normal**

Distribución continua conocida también como distribución Gaussiana, la distribución de una variable normal está completamente determinada por dos parámetros, su media y su desviación estándar, denotadas generalmente por  $\mu$  y  $\sigma$ . La distribución normal se caracteriza por tener una única moda, que coincide con su media y su mediana. Su expresión gráfica es una curva normal, cuya forma es similar a los histogramas con forma de campana, es conocida como campana de gauss que es simétrica respecto a su media y asintótica al eje de abscisas, esto hace que cualquier valor entre  $-\infty$  y  $+\infty$  es teóricamente posible.

#### **2.4.4.10. Nivel de significancia ( $\alpha$ )**

Es un umbral que permite determinar si el resultado de un estudio se puede considerar estadísticamente significativo después de realizar las pruebas estadísticas planificadas. Esto representa la probabilidad de rechazar la hipótesis nula cuando es verdadera.

#### **2.4.4.11. Grados de libertad**

Los grados de libertad están dados por el número de valores que pueden ser asignados de forma arbitraria, antes de que el resto de las variables tomen un valor automáticamente, producto de establecerse las que son libres, esto, con el fin de compensar e igualar un resultado el cual se ha conocido previamente. Se encuentran mediante la fórmula  $n - r$  donde  $n$  es el número de lecturas en la muestra que pueden tomar un valor y  $r$  es el número de sujetos cuyo valor dependerá del que tomen los miembros de la muestra que son libres, por lo que sólo se podrá tomar  $n - 1$  lecturas de manera libre, por lo que:

$$\text{grado de libertad} = v = n - 1$$

Donde:

$n$  = número de lecturas.

#### 2.4.4.12. Prueba t-Student

Esta prueba permite comparar las medias de dos grupo de datos y determinar si entre estos parámetros las diferencias es estadísticamente significativas. Se basa en dos premisas; la primera: en la distribución de normalidad, y la segunda: en que las muestras sean independientes. Permite comparar muestras,  $n \leq 30$  y/o establece la diferencia entre las medias de las muestras. El análisis matemático y estadístico de la prueba con frecuencia se minimiza para  $n > 30$ , utilizando pruebas no paramétricas, cuando la prueba tiene suficiente poder estadístico.

En la prueba t, se procede a determinar el valor “t” de Student calculado, obtenido de la experiencia analítica, y este valor posteriormente se compara con el llamado valor crítico, este valor critico se obtiene de la tabla de t-Student para un determinado porcentaje de confiabilidad (normalmente se utiliza el 95% de confianza, es decir, un valor  $\alpha$  de 0,05). Si existen diferencias significativas entre 2 grupos, el “t” calculado debería ser superior al “t” crítico.

La primera presunción es formular la hipótesis nula y la hipótesis alternativa, que establece que no hay diferencias en la media de las dos muestras independientes y que de existir esta diferencia, sólo se debe al azar. Si la “t” calculada que se origina de las dos muestras es desmesurada (valor de p que se encuentra en las tablas respectivas), entonces se rechazaría la hipótesis nula (error tipo I). Es importante mencionar que este valor depende del nivel de significancia establecido con anterioridad de lo que se quiere probar, para la diferencia entre las medias de las dos muestras. Este nivel de significancia es la probabilidad de rechazar erróneamente la hipótesis nula.

Se define “t calculada” como:

$$t_{calc} = \frac{|\bar{X}_1 - \bar{X}_2|}{\sqrt{\frac{S_1^2(n_1 - 1) + S_2^2(n_2 - 1)}{n_1 + n_2 - 2} * \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$$

Donde:

$\bar{X}_1$  y  $\bar{X}_2$  = Promedio de la totalidad de lecturas, de las muestras 1 y 2.

$n_1$  y  $n_2$  = Número de lecturas, de las muestras 1 y 2.

$S_1^2$  y  $S_2^2$  = Varianza de las lecturas, de las muestras 1 y 2.

Para el cálculo de la “t crítica”, se hace uso del nivel de significancia ( $\alpha$ ), determinada con anterioridad, y la tabla de distribución t-Student.

**Tabla 22**  
*Distribución t-Student*

$\alpha/2$ v	0.6	0.75	0.9	0.95	0.975	0.99	0.995	0.9975	0.999	0.9995
1	0.325	1	3.078	6.314	12.706	31.821	63.656	127.321	318.289	636.578
2	0.289	0.816	1.886	2.92	4.303	6.965	9.925	14.089	22.328	31.6
3	0.277	0.765	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	7.453	10.214	12.924
4	0.271	0.741	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	5.598	7.173	8.61
5	0.267	0.727	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	4.773	5.894	6.869
6	0.265	0.718	1.44	1.943	2.447	3.143	3.707	4.317	5.208	5.959
7	0.263	0.711	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	4.029	4.785	5.408
8	0.262	0.706	1.397	1.86	2.306	2.896	3.355	3.833	4.501	5.041
9	0.261	0.703	1.383	1.833	2.262	2.821	3.25	3.69	4.297	4.781
10	0.26	0.7	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	3.581	4.144	4.587
11	0.26	0.697	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	3.497	4.025	4.437
12	0.259	0.695	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	3.428	3.93	4.318
13	0.259	0.694	1.35	1.771	2.16	2.65	3.012	3.372	3.852	4.221
14	0.258	0.692	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	3.326	3.787	4.14
15	0.258	0.691	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	3.286	3.733	4.073
16	0.258	0.69	1.337	1.746	2.12	2.583	2.921	3.252	3.686	4.015
17	0.257	0.689	1.333	1.74	2.11	2.567	2.898	3.222	3.646	3.965
18	0.257	0.688	1.33	1.734	2.101	2.552	2.878	3.197	3.61	3.922
19	0.257	0.688	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.174	3.579	3.883
20	0.257	0.687	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.153	3.552	3.85
21	0.257	0.686	1.323	1.721	2.08	2.518	2.831	3.135	3.527	3.819
22	0.256	0.686	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.119	3.505	3.792
23	0.256	0.685	1.319	1.714	2.069	2.5	2.807	3.104	3.485	3.768
24	0.256	0.685	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.091	3.467	3.745
25	0.256	0.684	1.316	1.708	2.06	2.485	2.787	3.078	3.45	3.725
$\infty$	0.256	0.684	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.067	3.435	3.707

Fuente: Recuperado de Boris Duffau, Fabiola Rojas, Isabel Guerrero, Luis Roa, Luis Rodríguez (2010), “Aspectos generales de la validación de métodos”, Santiago de Chile, Chile, p.69.

#### 2.4.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

En esta investigación se utilizó, principalmente, el software Microsoft Excel 2013 para el análisis de las lecturas obtenidas a partir de las roturas de probetas de concreto en los periodos determinados. Mediante el software mencionado, se desarrollaron análisis mecánicos y estadísticos, siendo éste último, aplicado para determinar la validez y confiabilidad de las lecturas.

## CAPÍTULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Resultados

##### 3.1.1. Ensayos físicos y mecánicos en los agregados

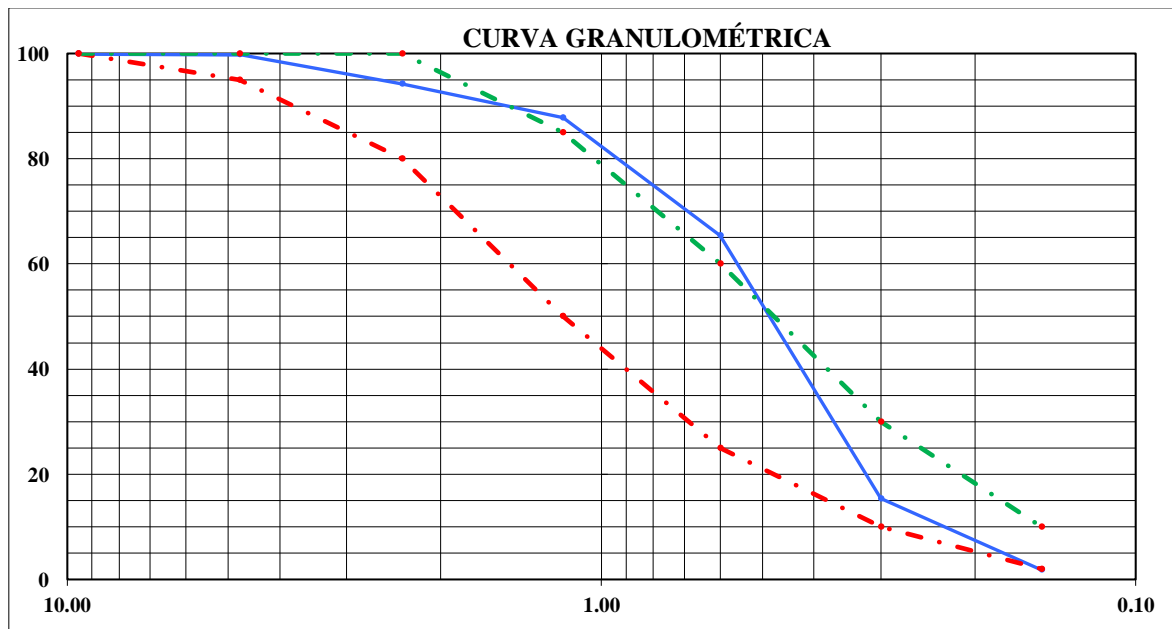
##### 3.1.1.1. Granulometría

**Tabla 23**

*Granulometría del agregado fino*

Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje acumulado que pasa (%)	Especificaciones Técnicas ASTM C-33	
3/8"	9.525	-	-	-	-		100
N° 4	4.760	1.05	0.20	0.20	99.80	95	100
N° 8	2.360	28.00	5.60	5.80	94.20	80	100
N° 16	1.180	32.00	6.40	12.20	87.80	50	85
N° 30	0.600	111.90	22.40	34.60	65.40	25	60
N° 50	0.300	250.00	50.00	84.60	15.40	10	30
N° 100	0.150	68.20	13.60	98.20	1.80	2	10
<N° 100	0.000	8.85	1.80	100.00	0.00		
<b>Total</b>		<b>500.00</b>	<b>100.00</b>				
<b>Tamaño máximo nominal</b>			<b>2.36 mm &gt; 5% retenido</b>				
<b>Módulo de finura</b>				<b>2.40</b>			

Fuente: Elaboración propia (2019).



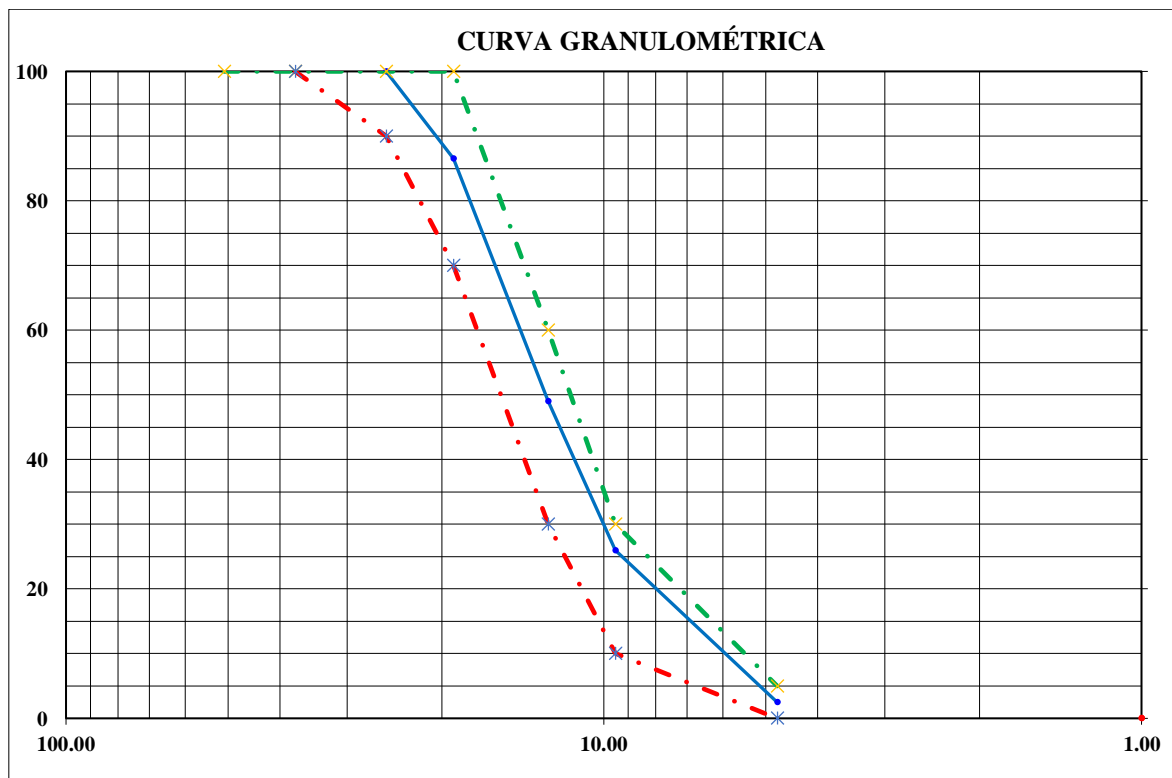
**Figura 2.** Curva granulométrica del agregado fino. (Fuente: Elaboración propia. (2019))

\* Comentario: Presenta segmento fuera el huso debido al mayor porcentaje acumulado que pasa en los tamices N° 16 y N° 30, es decir, mayor presencia de finos.

**Tabla 24**  
*Granulometría del agregado grueso*

Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje acumulado que pasa (%)	Especificaciones Técnicas ASTM C-33	
2"	50.800	-	-	-	-	-	-
1 1/2"	37.500	-	-	-	-	-	-
1"	25.400	-	-	-	100.00	-	100
3/4"	19.050	780.00	13.50	13.50	86.50	70	100
1/2"	12.700	2170.00	37.50	51.00	49.00	30	60
3/8"	9.525	1328.00	23.00	74.00	26.00	10	30
N° 4	4.760	1360.00	23.50	97.50	2.50	0	5
< N° 4	0.000	142.00	2.50	100.00	0.00		
<b>Total</b>		<b>5,780.00</b>	<b>100.00</b>				
<b>Tamaño máximo nominal</b>			<b>3/4"</b>				

Fuente: Elaboración propia (2019).





**Figura 3.** Curva granulométrica del agregado grueso. (Fuente: Elaboración propia. (2019))

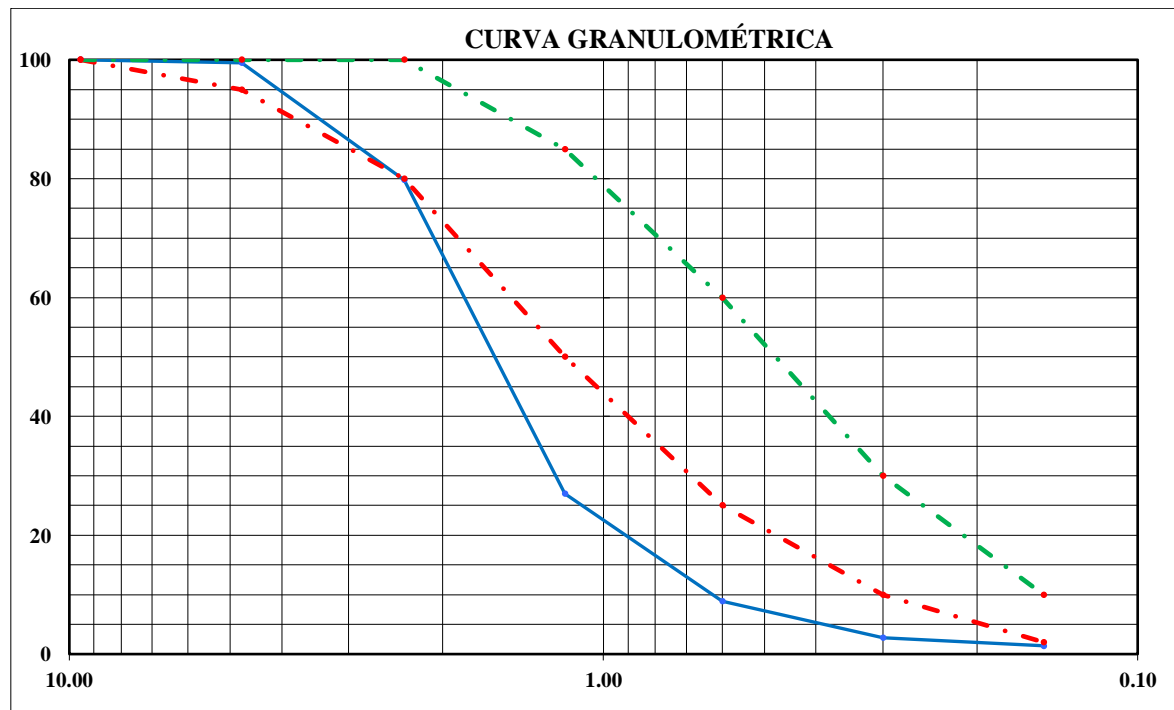
\* Comentario: Se encuentra dentro del huso debido a la muy buena graduación en las partículas que presenta.

**Tabla 25**

*Granulometría del vidrio reciclado molido*

Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje acumulado que pasa (%)	Especificaciones Técnicas ASTM C-33	
3/8"	9.525	-	-	-	-	100	
N° 4	4.760	2.27	0.50	0.50	99.50	95	100
N° 8	2.360	98.52	19.70	20.20	79.80	80	100
N° 16	1.180	264.22	52.80	73.00	27.00	50	85
N° 30	0.600	90.29	18.10	91.10	8.90	25	60
N° 50	0.300	30.50	6.10	97.20	2.80	10	30
N° 100	0.150	7.00	1.40	98.60	1.40	2	10
<N° 100	0.000	7.20	1.40	100.00	0.00		
<b>Total</b>		<b>500.00</b>	<b>100.00</b>				
<b>Tamaño máximo nominal</b>			<b>2.36 mm &gt; 5%retenido</b>				
<b>Módulo de finura</b>				<b>3.80</b>			

Fuente: Elaboración propia (2019).



**Figura 4.** Curva granulométrica del vidrio reciclado molido. (Fuente: Elaboración propia. (2019))

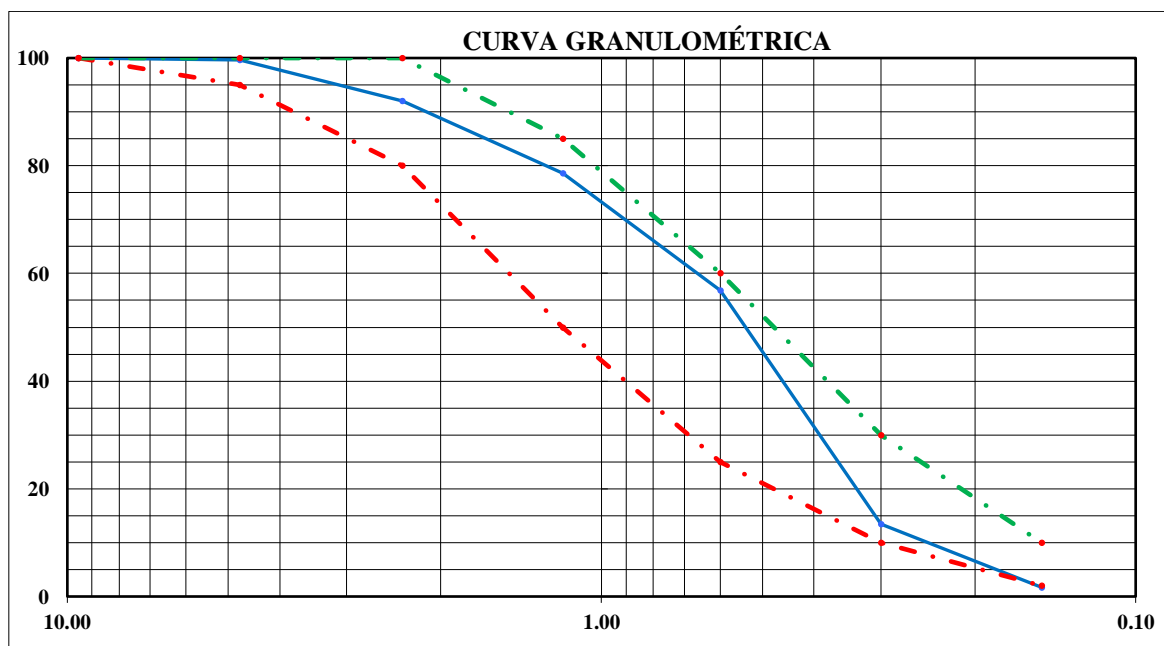
\* Comentario: Presenta segmento fuera el huso debido al menor porcentaje acumulado que pasa en los tamices N° 8, N° 16 y N° 30, N° 50 y N° 100, es decir, mayor presencia de partículas gruesas.

**Tabla 26**

*Granulometría de 15% vidrio reciclado molido + 85% arena.*

Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje acumulado que pasa (%)	Especificaciones Técnicas ASTM C-33	
3/8"	9.525	-	-	-	-		100
N° 4	4.760	2.50	0.30	0.30	99.70	95	100
N° 8	2.360	77.16	7.70	8.00	92.00	80	100
N° 16	1.180	133.67	13.40	21.40	78.60	50	85
N° 30	0.600	217.32	21.70	43.10	56.90	25	60
N° 50	0.300	434.15	43.40	86.50	13.50	10	30
N° 100	0.150	118.04	11.80	98.30	1.70	2	10
<N° 100	0.000	17.16	1.70	100.00	0.00		
<b>Total</b>		<b>1,000.00</b>	<b>100.00</b>				
<b>Tamaño máximo nominal</b>			<b>2.36 mm &gt; 5% retenido</b>				
<b>Módulo de finura</b>				<b>2.60</b>			

Fuente: Elaboración propia (2019).



**Figura 5.** Curva granulométrica de 15% vidrio reciclado molido + 85 % arena. (Fuente: Elaboración propia. (2019))

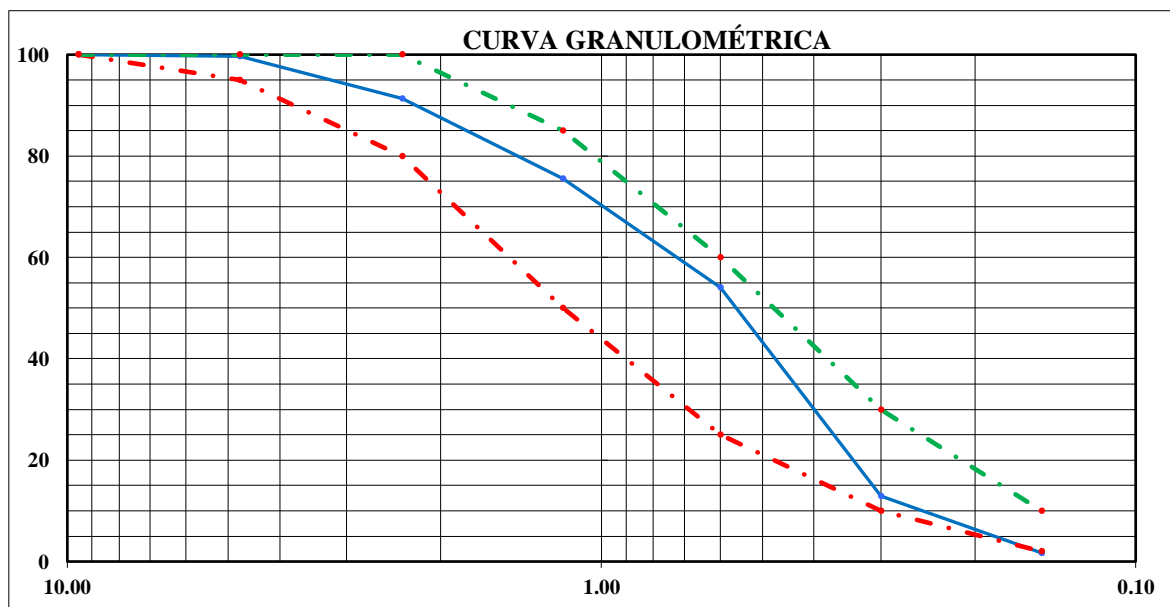
\* Comentario: Se encuentra dentro del huso debido a la muy buena graduación en las partículas que presenta.

**Tabla 27**

*Granulometría de 20% vidrio reciclado molido + 80% arena.*

Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje acumulado que pasa (%)	Especificaciones Técnicas ASTM C-33	
3/8"	9.525	-	-	-	-	100	
N° 4	4.760	2.59	0.30	0.30	99.70	95	100
N° 8	2.360	84.21	8.40	8.70	91.30	80	100
N° 16	1.180	156.89	15.70	24.40	75.60	50	85
N° 30	0.600	215.16	21.50	45.90	54.10	25	60
N° 50	0.300	412.20	41.20	87.10	12.90	10	30
N° 100	0.150	111.92	11.20	98.30	1.70	2	10
<N° 100	0.000	17.03	1.70	100.00	0.00		
<b>Total</b>		<b>1,000.00</b>	<b>100.00</b>				
<b>Tamaño máximo nominal</b>			<b>2.36 mm &gt; 5% retenido</b>				
<b>Módulo de finura</b>				<b>2.60</b>			

Fuente: Elaboración propia (2019).



**Figura 6.** Curva granulométrica de 20% vidrio reciclado molido + 80 % arena. (Fuente: Elaboración propia. (2019))

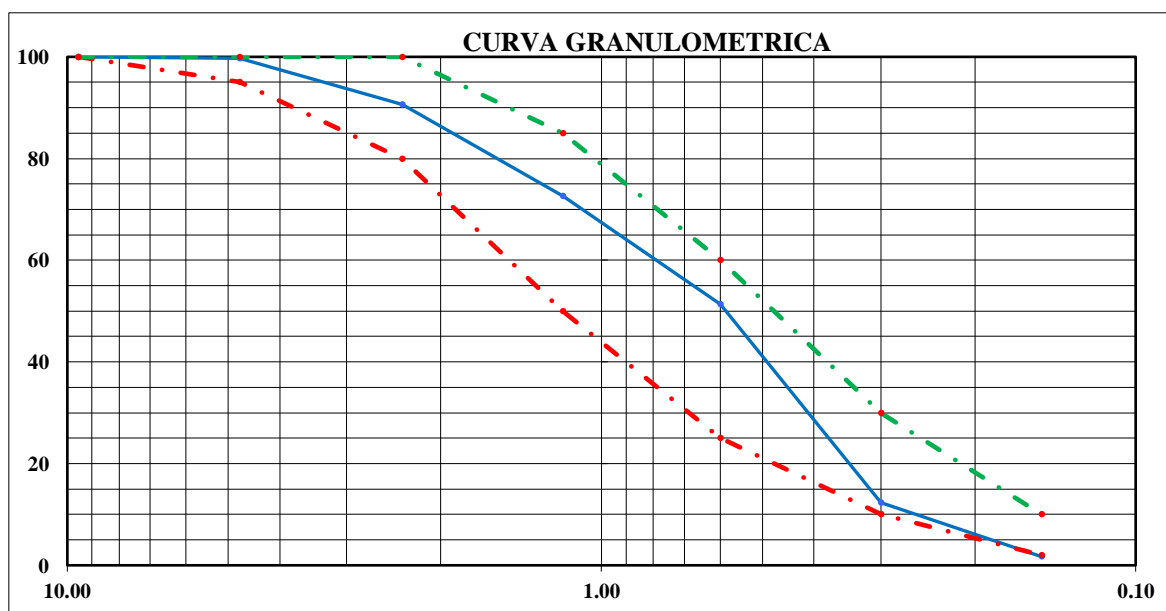
\* Comentario: Se encuentra dentro del huso debido a la buena graduación en las partículas que presenta.

**Tabla 28**

*Granulometría de 25% vidrio reciclado molido + 75% arena.*

Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje acumulado que pasa (%)	Especificaciones Técnicas ASTM C-33	
3/8"	9.525	-	-	-	-		100
N° 4	4.760	2.71	0.30	0.30	99.70	95	100
N° 8	2.360	91.26	9.10	9.40	90.60	80	100
N° 16	1.180	180.11	18.00	27.40	72.60	50	85
N° 30	0.600	213.00	21.30	48.70	51.30	25	60
N° 50	0.300	390.25	39.00	87.70	12.30	10	30
N° 100	0.150	105.80	10.60	98.30	1.70	2	10
<N° 100	0.000	16.87	1.70	100.00	0.00		
<b>Total</b>		<b>1,000.00</b>	<b>100.00</b>				
<b>Tamaño máximo nominal</b>			<b>2.36 mm &gt; 5% retenido</b>				
<b>Módulo de finura</b>				<b>2.70</b>			

Fuente: Elaboración propia (2019).



**Figura 7.** Curva granulométrica de 25% vidrio reciclado molido + 75 % arena. (Fuente: Elaboración propia. (2019))

\* Comentario: Se encuentra dentro del huso debido a la muy buena graduación en las partículas que presenta.

### 3.1.1.2. Peso específico y absorción

**Tabla 29**

*Peso específico y absorción del agregado fino.*

Procedimiento	Resultados
1. Peso de arena s.s.s. + Fiola + peso del agua	999.58 g
2. Peso de arena s.s.s. + peso de Fiola	689.55 g
3. Peso Agua	310.03 g
4. Peso de arena secada al horno + Fiola	686.00 g
5. Peso de la Fiola	192.00 g
6. Peso de arena secada al horno	494.00 g
7. Peso de arena saturada superficialmente seca	500.00 g
8. Volumen de Fiola	500.00 cm <sup>3</sup>
<b>Peso específico de masa</b>	<b>2.60 g/cm<sup>3</sup></b>
<b>Peso específico de masa saturada superficialmente seca</b>	<b>2.63 g/cm<sup>3</sup></b>
<b>Peso específico aparente</b>	<b>2.69 g/cm<sup>3</sup></b>
<b>Porcentaje de absorción</b>	<b>1.21 %</b>

Fuente: Elaboración propia (2019).

**Tabla 30**

*Peso específico y absorción del agregado grueso.*

Procedimiento	Resultados
1. Peso de muestra secada al horno	3190.0 g
2. Peso de muestra saturada con superficie seca	3217.0 g
3. Peso de muestra saturada dentro del agua	2029.0 g
<b>Peso específico de masa</b>	<b>2.69 g/cm<sup>3</sup></b>
<b>Peso específico de masa saturada superficialmente seca</b>	<b>2.71 g/cm<sup>3</sup></b>
<b>Peso específico aparente</b>	<b>2.75 g/cm<sup>3</sup></b>
<b>Porcentaje de absorción</b>	<b>0.85 %</b>

Fuente: Elaboración propia (2019).

**Tabla 31**

*Peso específico y absorción del vidrio reciclado molido.*

Procedimiento	Resultados
1. Peso de vidrio molido + Fiola + peso del agua	992.00 g
2. Peso de vidrio molido + peso de Fiola	692.00 g
3. Peso Agua	300.00 g
4. Peso de la Fiola	192.00 g
5. Peso de vidrio molido	500.00 g
6. Volumen de Fiola	500.00 cm <sup>3</sup>
<b>Peso específico de masa</b>	<b>2.60 g/cm<sup>3</sup></b>

**Porcentaje de absorción** **0.00 %**

Fuente: Elaboración propia (2019).

### 3.1.1.3. Densidad de masa (peso unitario)

**Tabla 32**

*Densidad de masa (peso unitario) suelta del agregado fino.*

Procedimiento	Densidad de masa (P.u) suelta	
	Muestra 1	Muestra 2
1. Peso molde + material	6.098 kg	6.095 kg
2. Peso molde	1.703 kg	1.703 kg
3. Peso del material	4.395 kg	4.392 kg
4. Volumen del molde	0.0028 m <sup>3</sup>	0.0028 m <sup>3</sup>
5. Peso Unitario	1570.00 kg/m <sup>3</sup>	1569.00 kg/ m <sup>3</sup>
<b>Peso Unitario Promedio</b>	<b>1570.00 kg/ m<sup>3</sup></b>	

Fuente: Elaboración propia (2019).

**Tabla 33**

*Densidad de masa (peso unitario) compactada del agregado fino.*

Procedimiento	Densidad de masa (P.u) compactada	
	Muestra 1	Muestra 2
1. Peso molde + material	6.515 kg	6.519 kg
2. Peso molde	1.703 kg	1.703 kg
3. Peso del material	4.812 kg	4.816 kg
4. Volumen del molde	0.0028 m <sup>3</sup>	0.0028 m <sup>3</sup>
5. Peso Unitario	1719.00 kg/m <sup>3</sup>	1720.00 kg/ m <sup>3</sup>
<b>Peso Unitario Promedio</b>	<b>1720.00 kg/ m<sup>3</sup></b>	

Fuente: Elaboración propia (2019).

**Tabla 34**

*Densidad de masa (peso unitario) suelta del agregado grueso.*

Procedimiento	Densidad de masa (P.u) suelta	
	Muestra 1	Muestra 2
1. Peso molde + material	18.295 kg	18.295 kg
2. Peso molde	5.156 kg	5.156 kg
3. Peso del material	13.139 kg	13.139 kg
4. Volumen del molde	0.0092 m <sup>3</sup>	0.0092 m <sup>3</sup>
5. Peso Unitario	1,428.00 kg/m <sup>3</sup>	1,428.00kg/m <sup>3</sup>
<b>Peso Unitario Promedio</b>	<b>1,428.00 kg/m<sup>3</sup></b>	

Fuente: Elaboración propia (2019).

**Tabla 35**

*Densidad de masa (peso unitario) compactada del agregado grueso.*

Procedimiento	Densidad de masa (P.u) compactada	
	Muestra 1	Muestra 2
1. Peso molde + material	19.750 kg	19.749 kg
2. Peso molde	5.156 kg	5.156 kg
3. Peso del material	14.594 kg	14.593 kg
4. Volumen del molde	0.0092 m <sup>3</sup>	0.0092 m <sup>3</sup>

5. Peso Unitario	1,586.00kg/m <sup>3</sup>	1,586.00 kg/m <sup>3</sup>
<b>Peso Unitario Promedio</b>	<b>1,586.00 kg/m<sup>3</sup></b>	

Fuente: Elaboración propia (2019).

**Tabla 36**

*Densidad de masa (peso unitario) suelta del vidrio reciclado molido.*

Procedimiento	Densidad de masa (P.u) suelta	
	Muestra 1	Muestra 2
1. Peso molde + material	5.349 kg	5.347 kg
2. Peso molde	1.703 kg	1.703 kg
3. Peso del vidrio molido	3.646 kg	3.644 kg
4. Volumen del molde	0.0028 m <sup>3</sup>	0.0028 m <sup>3</sup>
5. Peso Unitario	1,302.00 kg/m <sup>3</sup>	1,301.00 kg/m <sup>3</sup>
<b>Peso Unitario Promedio</b>	<b>1,302.00 kg/ m<sup>3</sup></b>	

Fuente: Elaboración propia (2019).

**Tabla 37**

*Densidad de masa (peso unitario) compactada del vidrio reciclado molido.*

Procedimiento	Densidad de masa (P.u) compactada	
	Muestra 1	Muestra 2
1. Peso molde + material	5.769 kg	5.768 kg
2. Peso molde	1.703 kg	1.703 kg
3. Peso del vidrio molido	4.066 kg	4.065 kg
4. Volumen del molde	0.0028 m <sup>3</sup>	0.0028 m <sup>3</sup>
5. Peso Unitario	1,452.00 kg/m <sup>3</sup>	1,452.00 kg/m <sup>3</sup>
<b>Peso Unitario Promedio</b>	<b>1,452.00 kg/ m<sup>3</sup></b>	

Fuente: Elaboración propia (2019).

### 3.1.1.4. Degradación por abrasión del agregado grueso en la máquina de Los Ángeles

**Tabla 38**

*Degradación por abrasión del agregado grueso.*

Pasa	Retiene	Peso de la fracción ensayada (g)	Tamiz de retención (N°)	Peso retenido total después del ensayo (g)	Degradación total (%)
1 1/2"	1"	-	-	-	-
1"	3/4"	1255.00	12	-	-
3/4"	1/2"	1250.00	12	-	-
1/2"	3/8"	1250.00	12	-	-

3/8"	N° 4	-	-	-
<b>Total</b>		<b>3755.00</b>		<b>3094.12</b>
				<b>17.60</b>

Fuente: Elaboración propia (2019).

### 3.1.1.5. Arcilla en terrones y partículas desmenuzables (friables) en los agregados

**Tabla 39**

*Arcilla en terrones y partículas desmenuzables (friables) en el agregado fino.*

Pasa	Retiene	Gradación original (%)	Peso de la muestra ensayada (g)	Peso mínimo (g)	Tamiz de lavado (N°)	Peso retenido después del ensayo (g)	Pérdida total (%)	Pérdida corregida (%)
		100	1002.50	1000	16	1001.2	0.130	<b>0.130</b>
N° 4	N° 16	100	1002.40	1000	16	1001.02	0.138	<b>0.138</b>
		100	1002.50	1000	16	1001.18	0.132	<b>0.132</b>
<b>Promedio Total</b>								<b>0.133</b>

Fuente: Elaboración propia (2019).

**Tabla 40**

*Arcilla en terrones y partículas desmenuzables (friables) en el agregado grueso.*

Pasa	Retiene	Gradación original (%)	Peso de la muestra ensayada (g)	Peso mínimo (g)	Tamiz de lavado (N°)	Peso retenido después del ensayo (g)	Pérdida total (%)	Pérdida corregida (%)
2"	1 1/2"	-	-	-	-	-	-	-
1 1/2"	3/4"	49.88	3015.00	3000	4	3014.26	0.02	0.05 <b>0.002</b>
3/4"	3/8"	33.33	2015.00	2000	4	2014.87	0.01	0.02 <b>0.001</b>
3/8"	N° 4	16.79	1015.00	1000	8	1013.92	0.11	0.63 <b>0.062</b>
<b>Promedio Total</b>		100.00	6045.00	-	-	6043.05	-	0.70 <b>0.065</b>

Fuente: Elaboración propia (2019).

### 3.1.2. Ensayos químicos en los agregados

#### 3.1.2.1. Azul de Metileno en el agregado fino

- Peso de arena a ensayar : 200 g
- Concentración de la solución: 10 mg/ml
- Volumen de AM : 15.025 ml



$$\text{Azul de metileno} = \frac{10 * 15.025}{200}$$

$$\text{Azul de metileno} = 0.751 \text{ mg/g}$$

### 3.1.2.2. Durabilidad del agregado por medio de sulfato de magnesio

**Tabla 41**

*Durabilidad del agregado fino por medio de sulfato de magnesio.*

Pasa	Retiene	Gradación original (%)	Peso de la fracción ensayada (g)	Peso retenido después del ensayo (g)	Pérdida total (%)	Pérdida corregida (%)
3/4"	N° 4	16.66	100.00	92.87	7.13	<b>1.19</b>
N° 4	N° 8	16.66	100.00	93.98	6.02	<b>1.00</b>
N° 8	N° 16	16.67	100.00	95.65	4.35	<b>0.73</b>
N° 16	N° 30	16.67	100.00	95.21	4.79	<b>0.80</b>
N° 30	N° 50	16.67	100.00	91.25	8.75	<b>1.46</b>
N° 50	N° 100	16.67	100.00	90.68	9.32	<b>1.55</b>
N° 100	-	-	-	-	-	-
<b>Total</b>		<b>100.00</b>	<b>600.00</b>			<b>6.73</b>

Fuente: Elaboración propia (2019).

**Tabla 42**

*Durabilidad del agregado grueso por medio de sulfato de magnesio.*

Pasa	Retiene	Gradación original (%)	Peso de la fracción ensayada (g)	Peso retenido después del ensayo (g)	Pérdida total (%)	Pérdida corregida (%)
2 1/2"	2"	-	-	-	-	-
2"	1 1/2"	-	-	-	-	-
1 1/2"	1"	-	-	-	-	-
1"	3/4"	53.89	1525	1467	3.80	<b>2.05</b>
3/4"	1/2"	24.03	680	662	2.65	<b>0.64</b>
1/2"	3/8"	11.48	325	313	3.69	<b>0.42</b>
3/8"	N° 4	10.6	300	276.5	7.83	<b>0.83</b>
<b>Total</b>		<b>100</b>	<b>2830</b>	<b>2718.5</b>		<b>3.94</b>

Fuente: Elaboración propia (2019).

### 3.1.2.3. Carbón y lignito

- Agregado fino**

- Peso de partículas decantadas : 0.256 g

- Peso de la muestra seca : 200 g

$$\% \text{ carbón y lignito} = \frac{0.256}{200} * 100$$

$$\% \text{ carbón y lignito} = 0.128 \%$$

- **Agregado grueso**

- Peso de partículas decantadas : 0.065 g
- Peso de la muestra seca : 200 g

$$\% \text{ carbón y lignito} = \frac{0.065}{200} * 100$$

$$\% \text{ carbón y lignito} = 0.033 \%$$

### 3.1.3. Diseño de la mezcla de concreto de control

#### 3.1.3.1. Materiales

- **Cemento:**
  - Inka Ultra resistente Portland tipo ICO.
  - Peso específico: 3.08 g/cm<sup>3</sup>.
- **Agua:**
  - Potable, de la red de servicio público de Tarapoto.
- **Agregado fino:**
  - De la cantera sector 03 de octubre – prov. San Martín.
  - Peso específico de masa: 2.60 g/cm<sup>3</sup>.
  - Absorción: 1.21%.
  - Contenido de humedad: 5.80%.
  - Módulo de fineza: 2.40
  - Densidad de masa (Peso unitario) suelta: 1,570.00 kg/m<sup>3</sup>.
  - Densidad de masa (Peso unitario) compactada: 1,720.00 kg/m<sup>3</sup>.
- **Agregado grueso:**
  - De la cantera del río Huallaga, sector Buenos Aires – prov. Picota.
  - Peso específico de masa: 2.69 g/cm<sup>3</sup>.
  - Absorción: 0.85%.
  - Contenido de humedad: 0.73%.
  - Densidad de masa (Peso unitario) suelta: 1,428.00 kg/m<sup>3</sup>.
  - Densidad de masa (Peso unitario) compactada: 1,586.00 kg/m<sup>3</sup>.

#### 3.1.3.2. Determinación de la resistencia requerida

Según el Caso N° 3, F'c requerido: F'c +84 = 294 kg/cm<sup>2</sup>.

### 3.1.3.3. Elección del asentamiento, revenimiento o Slump

Se requiere que la mezcla tenga una consistencia plástica, por lo que el asentamiento corresponde a 4 pulgadas.

### 3.1.3.4. Elección del tamaño máximo nominal

De acuerdo a la mayoría de estructuras posibles a desarrollar, el TMN más conveniente es 3/4 pulgada.

### 3.1.3.5. Cálculo del agua de mezclado y el contenido de aire

De acuerdo a la **Tabla 19**, para una mezcla de concreto sin aire incluido con agregado grueso de TMN de 3/4 pulg. y asentamiento de 4 pulg. la cantidad de agua es 205 kg/m<sup>3</sup>, y la cantidad aproximada de aire atrapado es 2.00%.

Asentamiento o Slump (pulg)	Agua, kg/m <sup>3</sup> de concreto para los tamaños máximos nominales de agregado indicados							
	3/8	1/2	3/4	1	1 1/2	2	3	6
<i>Concreto sin aire incluido</i>								
1 a 2	207	199	190	179	166	154	130	113
3 a 4	228	216	205	193	181	169	145	124
6 a 7	243	228	216	202	190	178	160	-
Cantidad aproximada de aire atrapado en el concreto sin aire incluido, %	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2

### 3.1.3.6. Relación agua/cemento (a/c)

De acuerdo a la **Tabla 20**, para determinar la relación a/c de una mezcla de concreto sin aire incluido, con F'c requerido 294 kg/cm<sup>2</sup>, se debe interpolar entre los valores de 280 kg/cm<sup>2</sup> y 350 kg/cm<sup>2</sup>, obteniendo el valor a/c = 0.55.

Resistencia a compresión a 28 días, kg/cm <sup>2</sup>	Relación agua/cemento, por peso	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
420	0.41	-
350	0.48	0.40
280	0.57	0.48
210	0.68	0.59
140	0.82	0.74

### 3.1.3.7. Contenido de cemento

$$\text{Contenido de cemento (en kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{Agua de mezclado (kg/m}^3\text{)}}{\text{Relación a/c (para F'cr)}}$$

$$\text{Contenido de cemento (en kg/m}^3\text{)} = \frac{205 \text{ kg/m}^3}{0.55}$$

$$\text{Contenido de cemento} = 372.73 \text{ kg/m}^3$$

$$* \text{Factor cemento} = 372.73/42.5 = 8.77 \text{ bolsas}$$

### 3.1.3.8. Contenido de agregado grueso

De acuerdo a la **Tabla 21**, para un TMN de 3/4 pulg. y un módulo de fineza 2.40, el valores del coeficiente  $\left(\frac{b}{b_0}\right)$  es 0.66.

TMN del agregado grueso	Volumen del agregado grueso seco y compactado por unidad de volumen de concreto para diversos módulos de fineza del fino (b/b <sub>0</sub> )			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	<b>0.66</b>	0.64	0.62	0.6
1"	0.71	0.69	0.67	0.65

$$\text{Contenido de agregado grueso (en } \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\text{)} = \left(\frac{b}{b_0}\right) \times \text{densidad de masa seca y compactada}$$

$$\text{Contenido de agregado grueso} = 0.66 \times 1,586.00 = 1,046.76 \text{ kg/m}^3$$

### 3.1.3.9. Contenido de agregado fino

Según el método de los volúmenes absolutos:

$$\text{Volumen (m}^3\text{)} = \frac{\text{Peso seco}}{\text{Peso específico}}$$

$$*\text{Volumen de agua} : 205 / (1.00 \times 1000) = 0.205 \text{ m}^3$$

$$*\text{Volumen sólido de cemento} : 372.73 / (3.08 \times 1000) = 0.121 \text{ m}^3$$

$$*\text{Volumen sólido de agregado grueso: } 1,046.76 / (2.69 \times 1000) = 0.389 \text{ m}^3$$

$$*\text{Volumen de aire atrapado (2\%)} : 2/100 = 0.020 \text{ m}^3$$

$$*\text{Volumen sólido de los ingredientes excepto agregado fino: } \underline{= 0.735 \text{ m}^3}$$

$$*\text{Volumen sólido de agregado fino requerido: } 1 - 0.735 = 0.265 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso requerido de agregado fino: } 0.265 \times 2.60 \times 1000 = 689 \text{ kg/m}^3$$

### 3.1.3.10. Ajuste por humedad

- **Corrección por humedad del diseño de mezcla en estado seco.**

*Peso agregado húmedo = Peso agregado seco (1 + Cont. humedad del agregado (%))*

*Agregado fino húmedo = 689 (1 + 5.80/100) = 728.96 kg por m<sup>3</sup> de concreto*

*Agregado grueso húmedo = 1,046.76 (1 + 0.73/100) = 1,054.40 kg por m<sup>3</sup> de concreto*

- **Determinación del agua efectiva**

*Aporte de humedad de los agregados = Peso agregado seco (% Cont. de humedad – % absorción)*

\* *Agregado fino = 689  $\left(\frac{5.80 - 1.21}{100}\right) = 31.63$  kg por m<sup>3</sup> de concreto*

\* *Agregado grueso = 1,046.76  $\left(\frac{0.73 - 0.85}{100}\right) = -1.26$  kg por m<sup>3</sup> de concreto*

*Agua efectiva = 205 – 31.63 – (-1.26) = 174.63 kg por m<sup>3</sup> de concreto*

- Agua a ser añadida : 174.63 kg
- Cemento : 372.73 kg
- Agregado grueso (húmedo) : 1,054.40 kg
- Agregado fino (húmedo) : 728.96 kg
- **Total : 2330.72 kg**

### 3.1.3.11. Ajustes en la mezcla de prueba

- **Determinación de la dosificación, en peso, del diseño de mezcla**

$\frac{\text{peso de cemento}}{\text{peso de cemento}}; \frac{\text{peso de A. fino húmedo}}{\text{peso de cemento}}; \frac{\text{peso de A. grueso húmedo}}{\text{peso de cemento}} / \frac{\text{agua efectiva}}{\text{peso de cemento}}$   
42.5

$\frac{372.73}{372.73}; \frac{728.96}{372.73}; \frac{1054.4}{372.73} / \frac{174.63 * 42.5}{372.73}$  ( $\frac{\text{litros}}{\text{bolsa}}$ )

**1: 2.00: 2.80/19.90** ( $\frac{\text{litros}}{\text{bolsa}}$ )

- \* **Para mezcla con 15 % VRM**

*Peso de VRM = 728.96 x  $\frac{15}{100} = 109.34$  kg*

*Peso de arena = 728.96 – 109.34 = 619.62 kg*

$\frac{\text{peso de Arena humeda}}{\text{peso de cemento}}; \frac{\text{peso de VRM}}{\text{peso de cemento}}$  ...

$\frac{619.62}{372.73}; \frac{109.34}{372.73}$  ... = ... 1.70; 0.30

**1: 1.70; 0.30: 2.80/19.90** ( $\frac{\text{litros}}{\text{bolsa}}$ )

\* **Para mezcla con 20 % VRM**

$$\text{Peso de VRM} = 728.96 \times \frac{20}{100} = 145.79 \text{ kg}$$

$$\text{Peso de arena} = 728.96 - 145.79 = 583.17 \text{ kg}$$

$$\dots \frac{\text{peso de Arena humeda}}{\text{peso de cemento}}; \frac{\text{peso de VRM}}{\text{peso de cemento}} \dots$$

$$\dots \frac{583.17}{372.73}; \frac{145.79}{372.73} \dots = \dots 1.60; 0.40$$

$$\mathbf{1: 1.60; 0.40: 2.80/19.90} \left( \frac{\text{litros}}{\text{bolsa}} \right)$$

\* **Para mezcla con 25 % VRM**

$$\text{Peso de VRM} = 728.96 \times \frac{25}{100} = 182.24 \text{ kg}$$

$$\text{Peso de arena} = 728.96 - 182.24 = 546.72 \text{ kg}$$

$$\dots \frac{\text{peso de Arena humeda}}{\text{peso de cemento}}; \frac{\text{peso de VRM}}{\text{peso de cemento}} \dots$$

$$\dots \frac{546.72}{372.73}; \frac{182.24}{372.73} \dots = \dots 1.50; 0.50$$

$$\mathbf{1: 1.50; 0.50: 2.80/19.90} \left( \frac{\text{litros}}{\text{bolsa}} \right)$$

• **Determinación de la dosificación, en volumen, del diseño de mezcla**

Densidad de masa (Peso unitario) de los agregados

$$\text{arena} = 1,570 (1 + 5.80/100) = 1,661.00 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agregado grueso} = 1,428.00 (1 + 0.73/100) = 1,438.00 \text{ kg/m}^3$$

Pesos por pie cúbico de cada material

$$\text{Agua a ser añadida} : 19.90 \text{ lt/pie}^3$$

$$\text{Cemento} : 42.50 \text{ kg/pie}^3$$

$$\text{Agregado fino} : 1,661.00/35.315 = 47.00 \text{ kg/pie}^3$$

$$\text{Agregado grueso} : 1,438.00/35.315 = 40.70 \text{ kg/pie}^3$$

Pesos por tanda de una bolsa

$$\text{Agua a ser añadida} : 19.90 \text{ lt/bol de cemento}$$

$$\text{Cemento} : 42.50 \text{ kg/bol de cemento}$$

$$\text{Agregado fino} : 2.00 \times 42.50 = 85 \text{ kg/bol de cemento}$$

Agregado grueso :  $2.80 \times 42.50 = 119 \text{ kg/ bol de cemento}$

Pie cúbico por bolsa (Dosificación en volumen)

Agua a ser añadida :  $19.90 \text{ lt/bol de cemento}$

Cemento :  $42.50/42.50 = 1 \text{ pie}^3$

Agregado fino :  $85.00/47.00 = 1.80 \text{ pie}^3$

Agregado grueso :  $119.00 \times 40.70 = 2.90 \text{ pie}^3$

**1: 1. 80: 2. 90/19. 90**  $\left(\frac{\text{litros}}{\text{bolsa}}\right)$

**\* Para mezcla con 15 % VRM**

Densidad de masa (Peso unitario) del Vidrio Reciclado Molido

Arena :  $1,438.00 \text{ kg/m}^3$

VRM :  $1,302.00 \text{ kg/m}^3$

Pesos por pie cúbico de cada material

Arena :  $1,661.00/35.315 = 47.00 \text{ kg/pie}^3$

VRM :  $1,302.00/35.315 = 36.90 \text{ kg/pie}^3$

Pesos por tanda de una bolsa

Arena :  $1.70 \times 42.50 = 72.25 \text{ kg/ bol de cemento}$

VRM :  $0.30 \times 42.50 = 12.75 \text{ kg/ bol de cemento}$

Pie cúbico por bolsa (Dosificación en volumen)

Arena :  $72.25/47.00 = 1.50 \text{ pie}^3$

VRM :  $12.75/36.90 = 0.30 \text{ pie}^3$

**1: 1. 50; 0. 30: 2. 90/19. 90**  $\left(\frac{\text{litros}}{\text{bolsa}}\right)$

**\* Para mezcla con 20 % VRM**

Densidad de masa (Peso unitario) del Vidrio Reciclado Molido

Arena :  $1,438.00 \text{ kg/m}^3$

VRM :  $1,302.00 \text{ kg/m}^3$

Pesos por pie cúbico de cada material

Arena :  $1,661.00/35.315 = 47.00 \text{ kg/pie}^3$

VRM :  $1,302.00/35.315 = 36.90 \text{ kg/pie}^3$

Pesos por tanda de una bolsa

Arena :  $1.60 \times 42.50 = 68.00 \text{ kg/ bol de cemento}$

VRM :  $0.40 \times 42.50 = 17.00$  kg/ bol de cemento

Pie cúbico por bolsa (Dosificación en volumen)

Arena :  $68.00/47.00 = 1.40$  pie<sup>3</sup>

VRM :  $17.00/36.90 = 0.40$  pie<sup>3</sup>

1: 1.40; 0.40; 2.90/19.90  $\left(\frac{\text{litros}}{\text{bolsa}}\right)$

\* Para mezcla con 25 % VRM

Densidad de masa (Peso unitario) del Vidrio Reciclado Molido

Arena : 1,438.00 kg/m<sup>3</sup>

VRM : 1,302.00 kg/m<sup>3</sup>

Pesos por pie cúbico de cada material

Arena :  $1,661.00/35.315 = 47.00$  kg/pie<sup>3</sup>

VRM :  $1,302.00/35.315 = 36.90$  kg/pie<sup>3</sup>

Pesos por tanda de una bolsa

Arena :  $1.50 \times 42.50 = 63.75$  kg/ bol de cemento

VRM :  $0.50 \times 42.50 = 21.25$  kg/ bol de cemento

Pie cúbico por bolsa (Dosificación en volumen)

Arena :  $63.75/47.00 = 1.30$  pie<sup>3</sup>

VRM :  $21.25/36.90 = 0.50$  pie<sup>3</sup>

1: 1.30; 0.50; 2.90/19.90  $\left(\frac{\text{litros}}{\text{bolsa}}\right)$

### 3.1.4. Elaboración de probetas de concreto

#### 3.1.4.1. Volumen de probeta de concreto

$$Vol. probeta = \frac{\pi * diámetro^2 * altura}{4} = \frac{\pi * 15.24^2 * 30.48}{4}$$

$$Vol. probeta = 5,560.028 \text{ cm}^3 \approx 0.00556 \text{ m}^3$$

#### 3.1.4.2. Dosificación

- Diseño efectivo de laboratorio
  - Cemento : 372.73 kg/m<sup>3</sup>
  - Agua : 174.63 kg/m<sup>3</sup>
  - Arena : 728.96 kg/m<sup>3</sup>



- Piedra :  $\underline{1,054.40 \text{ kg/m}^3}$
- **Peso unitario :  $2,330.72 \text{ kg/m}^3$**
- Proporción por espécimen
  - Cemento :  $372.73 \times 0.00556 = 2.07 \text{ kg}$
  - Agua :  $174.63 \times 0.00556 = 0.97 \text{ kg}$
  - Arena :  $728.96 \times 0.00556 = 4.05 \text{ kg}$
  - Piedra :  $\underline{1,054.40 \times 0.00556 = 5.86 \text{ kg}}$
  - **Peso :  $2,330.72 \times 0.00556 = 12.96 \text{ kg}$**
- Desperdicio

Se recomienda adicionar un 30% como desperdicio

- Cemento :  $2.07 \times 1.30 = 2.69 \text{ kg}$
- Agua :  $0.97 \times 1.30 = 1.26 \text{ kg}$
- Arena :  $4.05 \times 1.30 = 5.27 \text{ kg}$
- Piedra :  $5.86 \times 1.30 = 7.62 \text{ kg}$

### 3.1.4.3. Cantidad total de material total

En la presente investigación, de elaboraron 45 probetas de concreto por cada dosificación de concreto, según el porcentaje de vidrio molido:

- Concreto de control (patrón).
  - Cemento :  $2.69 \times 45 = 121.05 \text{ kg}$
  - Agua :  $1.26 \times 45 = 56.70 \text{ kg}$
  - Arena :  $5.27 \times 45 = 237.15 \text{ kg}$
  - Piedra :  $5.86 \times 45 = 342.90 \text{ kg}$
- Concreto con adición del 15% de vidrio reciclado molido en reemplazo de la arena.
  - Cemento :  $2.69 \times 45 = 121.05 \text{ kg}$
  - Agua :  $1.26 \times 45 = 56.70 \text{ kg}$
  - Arena :  $5.27 \times 45 \times 0.85 = 201.58 \text{ kg}$
  - Vidrio :  $5.27 \times 45 \times 0.15 = 35.57 \text{ kg}$
  - Piedra :  $5.86 \times 45 = 342.90 \text{ kg}$
- Concreto con adición del 20% de vidrio reciclado molido en reemplazo de la arena.
  - Cemento :  $2.69 \times 45 = 121.05 \text{ kg}$

- Agua :  $1.26 \times 45 = 56.70 \text{ kg}$
  - Arena :  $5.27 \times 45 \times 0.80 = 189.72 \text{ kg}$
  - Vidrio :  $5.27 \times 45 \times 0.20 = 47.43 \text{ kg}$
  - Piedra :  $5.86 \times 45 = 342.90 \text{ kg}$
- Concreto con adición del 25% de vidrio reciclado molido en reemplazo de la arena.
    - Cemento :  $2.69 \times 45 = 121.05 \text{ kg}$
    - Agua :  $1.26 \times 45 = 56.70 \text{ kg}$
    - Arena :  $5.27 \times 45 \times 0.75 = 177.86 \text{ kg}$
    - Vidrio :  $5.27 \times 45 \times 0.25 = 59.29 \text{ kg}$
    - Piedra :  $5.86 \times 45 = 342.90 \text{ kg}$

Por lo tanto, las cantidades totales utilizadas en la presente investigación son:

- Cemento :  $484.20 \text{ kg}$
- Agua :  $226.80 \text{ kg}$
- Arena :  $806.31 \text{ kg}$
- Vidrio :  $142.29 \text{ kg}$
- Piedra :  $1,371.60 \text{ kg}$

### 3.1.5. Cálculo de la resistencia a la compresión

- **Resistencia a la compresión a los 7 días:**

**Tabla 43**

*Resistencia a la compresión del concreto de control (patrón) a los 7 días.*

N° de cilindro	Descripción	Slump (Pulg.)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Carga (Kg-f)	Área (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	% Obtenido
1.00	Concreto Patrón M-1	3.50	2.33	31,380.00	182.41	<b>172.03</b>	81.92
2.00	Concreto Patrón M-2	3.50	2.31	31,190.00	182.41	<b>170.98</b>	81.42
3.00	Concreto Patrón M-3	3.50	2.32	31,320.00	182.41	<b>171.70</b>	81.76
4.00	Concreto Patrón M-4	3.50	2.33	31,380.00	182.41	<b>172.03</b>	81.92
5.00	Concreto Patrón M-5	3.50	2.30	31,120.00	182.41	<b>170.60</b>	81.24
6.00	Concreto Patrón M-6	3.50	2.32	31,260.00	182.41	<b>171.37</b>	81.60
7.00	Concreto Patrón M-7	3.50	2.33	31,360.00	182.41	<b>171.92</b>	81.86

8.00	Concreto Patrón M-8	3.50	2.32	31,260.00	182.41	<b>171.37</b>	81.60
9.00	Concreto Patrón M-9	3.50	2.34	31,430.00	182.41	<b>172.30</b>	82.05
10.00	Concreto Patrón M-10	3.50	2.31	31,170.00	182.41	<b>170.87</b>	81.37

Fuente: Elaboración propia (2019).

**Tabla 44**

*Resistencia a la compresión del concreto con adición del 15% de vidrio reciclado molido a los 7 días.*

N° de cilindro	Descripción	Slump (Pulg.)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Carga (Kg-f)	Área (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	% Obtenido
1.00	Concreto M15% - 1	5.00	2.31	33,580.00	182.41	<b>184.09</b>	87.66
2.00	Concreto M15% - 2	5.00	2.30	33,460.00	182.41	<b>183.43</b>	87.35
3.00	Concreto M15% - 3	5.00	2.32	33,620.00	182.41	<b>184.31</b>	87.76
4.00	Concreto M15% - 4	5.00	2.33	33,730.00	182.41	<b>184.91</b>	88.05
5.00	Concreto M15% - 5	5.00	2.31	33,600.00	182.41	<b>184.20</b>	87.71
6.00	Concreto M15% - 6	5.00	2.32	33,650.00	182.41	<b>184.47</b>	87.84
7.00	Concreto M15% - 7	5.00	2.33	33,720.00	182.41	<b>184.85</b>	88.03
8.00	Concreto M15% - 8	5.00	2.32	33,660.00	182.41	<b>184.52</b>	87.87
9.00	Concreto M15% - 9	5.00	2.35	33,850.00	182.41	<b>185.57</b>	88.36
10.00	Concreto M15% - 10	5.00	2.33	33,720.00	182.41	<b>184.85</b>	88.03

Fuente: Elaboración propia (2019).

**Tabla 45**

*Resistencia a la compresión del concreto con adición del 20% de vidrio reciclado molido a los 7 días.*

N° de cilindro	Descripción	Slump (Pulg.)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Carga (Kg-f)	Área (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	% Obtenido
1.00	Concreto M20% - 1	5.50	2.32	32,900.00	182.41	<b>180.36</b>	85.88
2.00	Concreto M20% - 2	5.50	2.32	32,850.00	182.41	<b>180.08</b>	85.75
3.00	Concreto M20% - 3	5.50	2.32	32,920.00	182.41	<b>180.47</b>	85.94
4.00	Concreto M20% - 4	5.50	2.33	32,850.00	182.41	<b>180.08</b>	85.75
5.00	Concreto M20% - 5	5.50	2.31	32,660.00	182.41	<b>179.04</b>	85.26
6.00	Concreto M20% - 6	5.50	2.32	32,840.00	182.41	<b>180.03</b>	85.73

7.00	Concreto M20% - 7	5.50	2.32	32,750.00	182.41	<b>179.54</b>	85.49
8.00	Concreto M20% - 8	5.50	2.31	32,840.00	182.41	<b>180.03</b>	85.73
9.00	Concreto M20% - 9	5.50	2.31	32,730.00	182.41	<b>179.43</b>	85.44
10.00	Concreto M20% - 10	5.50	2.32	32,870.00	182.41	<b>180.19</b>	85.81

Fuente: Elaboración propia (2019).

**Tabla 46**

*Resistencia a la compresión del concreto con adición del 25% de vidrio reciclado molido a los 7 días.*

N° de cilindro	Descripción	Slump (Pulg.)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Carga (Kg-f)	Área (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	% Obtenido
1.00	Concreto M25% - 1	6.00	2.34	31,920.00	182.41	174.99	<b>83.33</b>
2.00	Concreto M25% - 2	6.00	2.34	31,960.00	182.41	175.21	<b>83.43</b>
3.00	Concreto M25% - 3	6.00	2.34	31,930.00	182.41	175.04	<b>83.35</b>
4.00	Concreto M25% - 4	6.00	2.32	31,890.00	182.41	174.82	<b>83.25</b>
5.00	Concreto M25% - 5	6.00	2.31	31,854.00	182.41	174.62	<b>83.15</b>
6.00	Concreto M25% - 6	6.00	2.34	31,920.00	182.41	174.99	<b>83.33</b>
7.00	Concreto M25% - 7	6.00	2.34	31,930.00	182.41	175.04	<b>83.35</b>
8.00	Concreto M25% - 8	6.00	2.34	31,950.00	182.41	175.15	<b>83.40</b>
9.00	Concreto M25% - 9	6.00	2.31	31,870.00	182.41	174.71	<b>83.20</b>
10.00	Concreto M25% - 10	6.00	2.31	31,760.00	182.41	174.11	<b>82.91</b>

Fuente: Elaboración propia (2019).

• **Resistencia a la compresión a los 14 días:**

**Tabla 47**

*Resistencia a la compresión del concreto de control (patrón) a los 14 días.*

N° de cilindro	Descripción	Slump (Pulg.)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Carga (Kg-f)	Área (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	% Obtenido
1.00	Concreto Patrón M-1	3.50	2.33	35,590.00	182.41	195.10	<b>92.91</b>
2.00	Concreto Patrón M-2	3.50	2.32	35,560.00	182.41	194.94	<b>92.83</b>
3.00	Concreto Patrón M-3	3.50	2.31	35,510.00	182.41	194.67	<b>92.70</b>
4.00	Concreto Patrón M-4	3.50	2.33	35,620.00	182.41	195.27	<b>92.99</b>
5.00	Concreto Patrón M-5	3.50	2.32	35,540.00	182.41	194.83	<b>92.78</b>
6.00	Concreto Patrón M-6	3.50	2.33	35,590.00	182.41	195.10	<b>92.91</b>

7.00	Concreto Patrón M-7	3.50	2.32	35,580.00	182.41	195.05	<b>92.88</b>
8.00	Concreto Patrón M-8	3.50	2.33	35,630.00	182.41	195.32	<b>93.01</b>
9.00	Concreto Patrón M-9	3.50	2.34	35,960.00	182.41	197.13	<b>93.87</b>
10.00	Concreto Patrón M-10	3.50	2.32	35,540.00	182.41	194.83	<b>92.78</b>

Fuente: Elaboración propia (2019).

**Tabla 48**

*Resistencia a la compresión del concreto con adición del 15% de vidrio reciclado molido a los 14 días.*

N° de cilindro	Descripción	Slump (Pulg.)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Carga (Kg-f)	Área (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	% Obtenido
1.00	Concreto M15% - 1	5.00	2.33	39,760.00	182.41	217.96	<b>103.79</b>
2.00	Concreto M15% - 2	5.00	2.32	39,680.00	182.41	217.53	<b>103.58</b>
3.00	Concreto M15% - 3	5.00	2.32	39,750.00	182.41	217.91	<b>103.77</b>
4.00	Concreto M15% - 4	5.00	2.31	39,650.00	182.41	217.36	<b>103.51</b>
5.00	Concreto M15% - 5	5.00	2.31	39,660.00	182.41	217.42	<b>103.53</b>
6.00	Concreto M15% - 6	5.00	2.35	39,880.00	182.41	218.62	<b>104.11</b>
7.00	Concreto M15% - 7	5.00	2.32	39,750.00	182.41	217.91	<b>103.77</b>
8.00	Concreto M15% - 8	5.00	2.32	39,690.00	182.41	217.58	<b>103.61</b>
9.00	Concreto M15% - 9	5.00	2.33	39,870.00	182.41	218.57	<b>104.08</b>
10.00	Concreto M15% - 10	5.00	2.33	39,780.00	182.41	218.07	<b>103.85</b>

Fuente: Elaboración propia (2019).

**Tabla 49**

*Resistencia a la compresión del concreto con adición del 20% de vidrio reciclado molido a los 14 días.*

N° de cilindro	Descripción	Slump (Pulg.)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Carga (Kg-f)	Área (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	% Obtenido
1.00	Concreto M20% - 1	5.50	2.31	38,450.00	182.41	210.78	<b>100.37</b>
2.00	Concreto M20% - 2	5.50	2.30	38,360.00	182.41	210.29	<b>100.14</b>
3.00	Concreto M20% - 3	5.50	2.31	38,390.00	182.41	210.45	<b>100.22</b>
4.00	Concreto M20% - 4	5.50	2.32	38,630.00	182.41	211.77	<b>100.84</b>
5.00	Concreto M20% - 5	5.50	2.33	38,660.00	182.41	211.93	<b>100.92</b>

6.00	Concreto M20% - 6	5.50	2.30	38,350.00	182.41	210.24	<b>100.11</b>
7.00	Concreto M20% - 7	5.50	2.31	38,420.00	182.41	210.62	<b>100.29</b>
8.00	Concreto M20% - 8	5.50	2.31	38,450.00	182.41	210.78	<b>100.37</b>
9.00	Concreto M20% - 9	5.50	2.31	38,420.00	182.41	210.62	<b>100.29</b>
10.00	Concreto M20% - 10	5.50	2.31	38,380.00	182.41	210.40	<b>100.19</b>

Fuente: Elaboración propia (2019).

**Tabla 50**

*Resistencia a la compresión del concreto con adición del 25% de vidrio reciclado molido a los 14 días.*

N° de cilindro	Descripción	Slump (Pulg.)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Carga (Kg-f)	Área (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	% Obtenido
1.00	Concreto M25% - 1	6.00	2.34	36,050.00	182.41	197.63	<b>94.11</b>
2.00	Concreto M25% - 2	6.00	2.33	35,910.00	182.41	196.86	<b>93.74</b>
3.00	Concreto M25% - 3	6.00	2.33	35,910.00	182.41	196.86	<b>93.74</b>
4.00	Concreto M25% - 4	6.00	2.30	35,790.00	182.41	196.20	<b>93.43</b>
5.00	Concreto M25% - 5	6.00	2.31	35,820.00	182.41	196.37	<b>93.51</b>
6.00	Concreto M25% - 6	6.00	2.32	35,880.00	182.41	196.69	<b>93.66</b>
7.00	Concreto M25% - 7	6.00	2.34	35,960.00	182.41	197.13	<b>93.87</b>
8.00	Concreto M25% - 8	6.00	2.32	35,880.00	182.41	196.69	<b>93.66</b>
9.00	Concreto M25% - 9	6.00	2.31	35,810.00	182.41	196.31	<b>93.48</b>
10.00	Concreto M25% - 10	6.00	2.30	35,790.00	182.41	196.20	<b>93.43</b>

Fuente: Elaboración propia (2019).

- **Resistencia a la compresión a los 28 días:**

**Tabla 51**

*Resistencia a la compresión del concreto de control (patrón) a los 28 días.*

N° de cilindro	Descripción	Slump (Pulg.)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Carga (Kg-f)	Área (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	% Obtenido
1.00	Concreto Patrón M-1	3.50	2.32	38,980.00	182.41	213.69	<b>101.76</b>
2.00	Concreto Patrón M-2	3.50	2.32	38,950.00	182.41	213.52	<b>101.68</b>
3.00	Concreto Patrón M-3	3.50	2.32	38,990.00	182.41	213.74	<b>101.78</b>
4.00	Concreto Patrón M-4	3.50	2.32	38,910.00	182.41	213.31	<b>101.57</b>
5.00	Concreto Patrón M-5	3.50	2.32	38,970.00	182.41	213.63	<b>101.73</b>
6.00	Concreto Patrón M-6	3.50	2.32	38,990.00	182.41	213.74	<b>101.78</b>

7.00	Concreto Patrón M-7	3.50	2.33	39,100.00	182.41	214.35	<b>102.07</b>
8.00	Concreto Patrón M-8	3.50	2.32	38,950.00	182.41	213.52	<b>101.68</b>
9.00	Concreto Patrón M-9	3.50	2.30	38,480.00	182.41	210.95	<b>100.45</b>
10.00	Concreto Patrón M-10	3.50	2.34	39,150.00	182.41	214.62	<b>102.20</b>
11.00	Concreto Patrón M-11	3.50	2.32	38,970.00	182.41	213.63	<b>101.73</b>
12.00	Concreto Patrón M-12	3.50	2.32	38,910.00	182.41	213.31	<b>101.57</b>
13.00	Concreto Patrón M-13	3.50	2.31	38,890.00	182.41	213.20	<b>101.52</b>
14.00	Concreto Patrón M-14	3.50	2.33	39,050.00	182.41	214.07	<b>101.94</b>
15.00	Concreto Patrón M-15	3.50	2.32	38,930.00	182.41	213.41	<b>101.63</b>
16.00	Concreto Patrón M-16	3.50	2.31	38,870.00	182.41	213.09	<b>101.47</b>
17.00	Concreto Patrón M-17	3.50	2.30	38,690.00	182.41	212.10	<b>101.00</b>
18.00	Concreto Patrón M-18	3.50	2.31	38,810.00	182.41	212.76	<b>101.31</b>
19.00	Concreto Patrón M-19	3.50	2.31	38,850.00	182.41	212.98	<b>101.42</b>
20.00	Concreto Patrón M-20	3.50	2.31	38,860.00	182.41	213.03	<b>101.44</b>
21.00	Concreto Patrón M-21	3.50	2.31	38,870.00	182.41	213.09	<b>101.47</b>
22.00	Concreto Patrón M-22	3.50	2.33	39,010.00	182.41	213.85	<b>101.83</b>
23.00	Concreto Patrón M-23	3.50	2.34	39,110.00	182.41	214.40	<b>102.10</b>
24.00	Concreto Patrón M-24	3.50	2.30	38,750.00	182.41	212.43	<b>101.16</b>
25.00	Concreto Patrón M-25	3.50	2.31	38,870.00	182.41	213.09	<b>101.47</b>

Fuente: Elaboración propia (2019).

**Tabla 52**

*Resistencia a la compresión del concreto con adición del 15% de vidrio reciclado molido a los 28 días.*

N° de cilindro	Descripción	Slump (Pulg.)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Carga (Kg-f)	Área (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	% Obtenido
1.00	Concreto M15% - 1	5.00	2.32	46,010.00	182.41	252.23	<b>120.11</b>
2.00	Concreto M15% - 2	5.00	2.33	46,120.00	182.41	252.83	<b>120.40</b>
3.00	Concreto M15% - 3	5.00	2.32	45,980.00	182.41	252.06	<b>120.03</b>
4.00	Concreto M15% - 4	5.00	2.32	45,970.00	182.41	252.01	<b>120.00</b>
5.00	Concreto M15% - 5	5.00	2.32	45,990.00	182.41	252.12	<b>120.06</b>
6.00	Concreto M15% - 6	5.00	2.32	46,080.00	182.41	252.61	<b>120.29</b>
7.00	Concreto M15% - 7	5.00	2.33	46,130.00	182.41	252.89	<b>120.42</b>
8.00	Concreto M15% - 8	5.00	2.31	45,850.00	182.41	251.35	<b>119.69</b>

9.00	Concreto M15% - 9	5.00	2.32	46,080.00	182.41	252.61	<b>120.29</b>
10.00	Concreto M15% - 10	5.00	2.33	46,110.00	182.41	252.78	<b>120.37</b>
11.00	Concreto M15% - 11	5.00	2.31	45,880.00	182.41	251.51	<b>119.77</b>
12.00	Concreto M15% - 12	5.00	2.32	45,980.00	182.41	252.06	<b>120.03</b>
13.00	Concreto M15% - 13	5.00	2.31	45,960.00	182.41	251.95	<b>119.98</b>
14.00	Concreto M15% - 14	5.00	2.32	46,080.00	182.41	252.61	<b>120.29</b>
15.00	Concreto M15% - 15	5.00	2.31	45,830.00	182.41	251.24	<b>119.64</b>
16.00	Concreto M15% - 16	5.00	2.33	46,250.00	182.41	253.54	<b>120.73</b>
17.00	Concreto M15% - 17	5.00	2.33	46,210.00	182.41	253.32	<b>120.63</b>
18.00	Concreto M15% - 18	5.00	2.32	46,010.00	182.41	252.23	<b>120.11</b>
19.00	Concreto M15% - 19	5.00	2.33	46,130.00	182.41	252.89	<b>120.42</b>
20.00	Concreto M15% - 20	5.00	2.33	46,110.00	182.41	252.78	<b>120.37</b>
21.00	Concreto M15% - 21	5.00	2.31	45,830.00	182.41	251.24	<b>119.64</b>
21.00	Concreto M15% - 22	5.00	2.35	46,320.00	182.41	253.93	<b>120.92</b>
23.00	Concreto M15% - 23	5.00	2.33	46,250.00	182.41	253.54	<b>120.73</b>
24.00	Concreto M15% - 24	5.00	2.32	45,980.00	182.41	252.06	<b>120.03</b>
25.00	Concreto M15% - 25	5.00	2.32	46,010.00	182.41	252.23	<b>120.11</b>

Fuente: Elaboración propia (2019).

**Tabla 53**

*Resistencia a la compresión del concreto con adición del 20% de vidrio reciclado molido a los 28 días.*

N° de cilindro	Descripción	Slump (Pulg.)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Carga (Kg-f)	Área (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	% Obtenido
1.00	Concreto M20% - 1	5.50	2.31	41,530.00	182.41	227.67	<b>108.41</b>
2.00	Concreto M20% - 2	5.50	2.30	41,460.00	182.41	227.28	<b>108.23</b>
3.00	Concreto M20% - 3	5.50	2.32	41,650.00	182.41	228.33	<b>108.73</b>
4.00	Concreto M20% - 4	5.50	2.30	41,460.00	182.41	227.28	<b>108.23</b>
5.00	Concreto M20% - 5	5.50	2.33	41,680.00	182.41	228.49	<b>108.80</b>
6.00	Concreto M20% - 6	5.50	2.33	41,750.00	182.41	228.87	<b>108.99</b>
7.00	Concreto M20% - 7	5.50	2.33	41,680.00	182.41	228.49	<b>108.80</b>
8.00	Concreto M20% - 8	5.50	2.32	41,660.00	182.41	228.38	<b>108.75</b>
9.00	Concreto M20% - 9	5.50	2.34	41,840.00	182.41	229.37	<b>109.22</b>
10.00	Concreto M20% - 10	5.50	2.31	41,550.00	182.41	227.78	<b>108.47</b>
11.00	Concreto M20% - 11	5.50	2.30	41,450.00	182.41	227.23	<b>108.20</b>
12.00	Concreto M20% - 12	5.50	2.31	41,560.00	182.41	227.83	<b>108.49</b>
13.00	Concreto M20% - 13	5.50	2.32	41,630.00	182.41	228.22	<b>108.67</b>
14.00	Concreto M20% - 14	5.50	2.33	41,680.00	182.41	228.49	<b>108.80</b>
15.00	Concreto M20% - 15	5.50	2.30	41,480.00	182.41	227.39	<b>108.28</b>
16.00	Concreto M20% - 16	5.50	2.33	41,690.00	182.41	228.55	<b>108.83</b>
17.00	Concreto M20% - 17	5.50	2.34	41,850.00	182.41	229.42	<b>109.25</b>



18.00	Concreto M20% - 18	5.50	2.32	41,630.00	182.41	228.22	<b>108.67</b>
19.00	Concreto M20% - 19	5.50	2.33	41,750.00	182.41	228.87	<b>108.99</b>
20.00	Concreto M20% - 20	5.50	2.32	41,660.00	182.41	228.38	<b>108.75</b>
21.00	Concreto M20% - 21	5.50	2.30	41,420.00	182.41	227.07	<b>108.13</b>
22.00	Concreto M20% - 22	5.50	2.33	41,690.00	182.41	228.55	<b>108.83</b>
23.00	Concreto M20% - 23	5.50	2.33	41,680.00	182.41	228.49	<b>108.80</b>
24.00	Concreto M20% - 24	5.50	2.31	41,560.00	182.41	227.83	<b>108.49</b>
25.00	Concreto M20% - 25	5.50	2.33	41,690.00	182.41	228.55	<b>108.83</b>

Fuente: Elaboración propia (2019).

#### **Tabla 54**

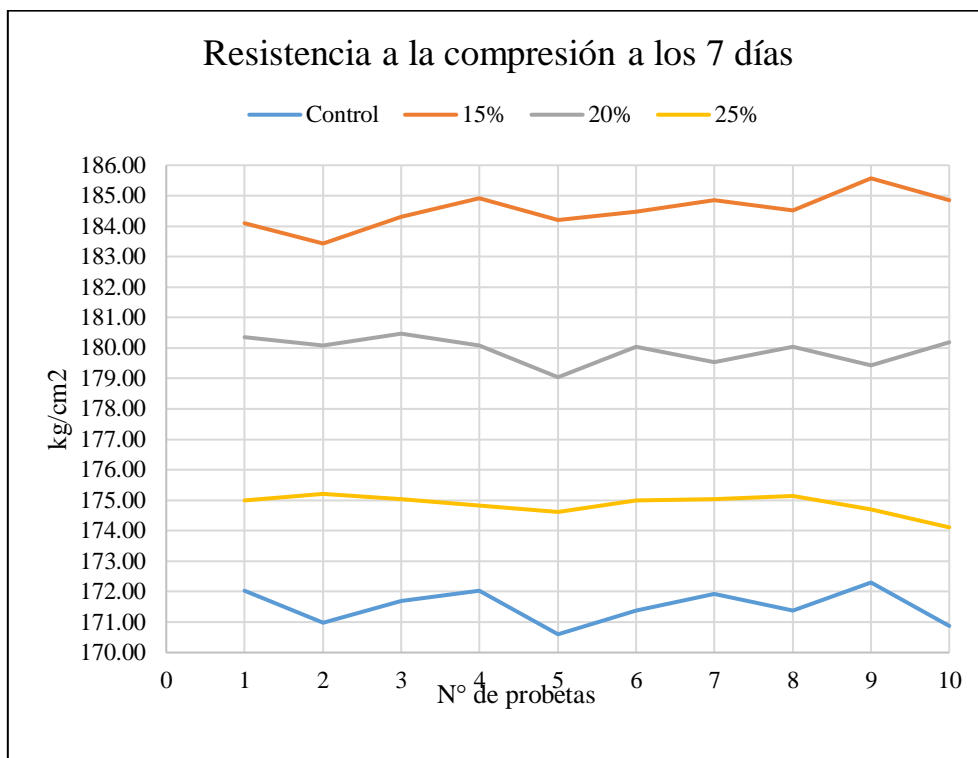
*Resistencia a la compresión del concreto con adición del 25% de vidrio reciclado molido a los 28 días.*

<b>N° de cilindro</b>	<b>Descripción</b>	<b>Slump (Pulg.)</b>	<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Carga (Kg-f)</b>	<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>% Obtenido</b>
1.00	Concreto M25% - 1	6.00	2.33	39,710.00	182.41	217.69	<b>103.66</b>
2.00	Concreto M25% - 2	6.00	2.32	39,680.00	182.41	217.53	<b>103.58</b>
3.00	Concreto M25% - 3	6.00	2.32	39,640.00	182.41	217.31	<b>103.48</b>
4.00	Concreto M25% - 4	6.00	2.33	39,710.00	182.41	217.69	<b>103.66</b>
5.00	Concreto M25% - 5	6.00	2.32	39,610.00	182.41	217.14	<b>103.40</b>
6.00	Concreto M25% - 6	6.00	2.33	39,780.00	182.41	218.07	<b>103.85</b>
7.00	Concreto M25% - 7	6.00	2.32	39,650.00	182.41	217.36	<b>103.51</b>
8.00	Concreto M25% - 8	6.00	2.30	39,520.00	182.41	216.65	<b>103.17</b>
9.00	Concreto M25% - 9	6.00	2.33	39,780.00	182.41	218.07	<b>103.85</b>
10.00	Concreto M25% - 10	6.00	2.30	39,350.00	182.41	215.72	<b>102.72</b>
11.00	Concreto M25% - 11	6.00	2.33	39,710.00	182.41	217.69	<b>103.66</b>
12.00	Concreto M25% - 12	6.00	2.33	39,750.00	182.41	217.91	<b>103.77</b>
13.00	Concreto M25% - 13	6.00	2.32	39,620.00	182.41	217.20	<b>103.43</b>
14.00	Concreto M25% - 14	6.00	2.33	39,750.00	182.41	217.91	<b>103.77</b>
15.00	Concreto M25% - 15	6.00	2.32	39,610.00	182.41	217.14	<b>103.40</b>
16.00	Concreto M25% - 16	6.00	2.34	39,790.00	182.41	218.13	<b>103.87</b>
17.00	Concreto M25% - 17	6.00	2.33	39,740.00	182.41	217.86	<b>103.74</b>
18.00	Concreto M25% - 18	6.00	2.35	39,850.00	182.41	218.46	<b>104.03</b>
19.00	Concreto M25% - 19	6.00	2.33	39,710.00	182.41	217.69	<b>103.66</b>
20.00	Concreto M25% - 20	6.00	2.32	39,650.00	182.41	217.36	<b>103.51</b>

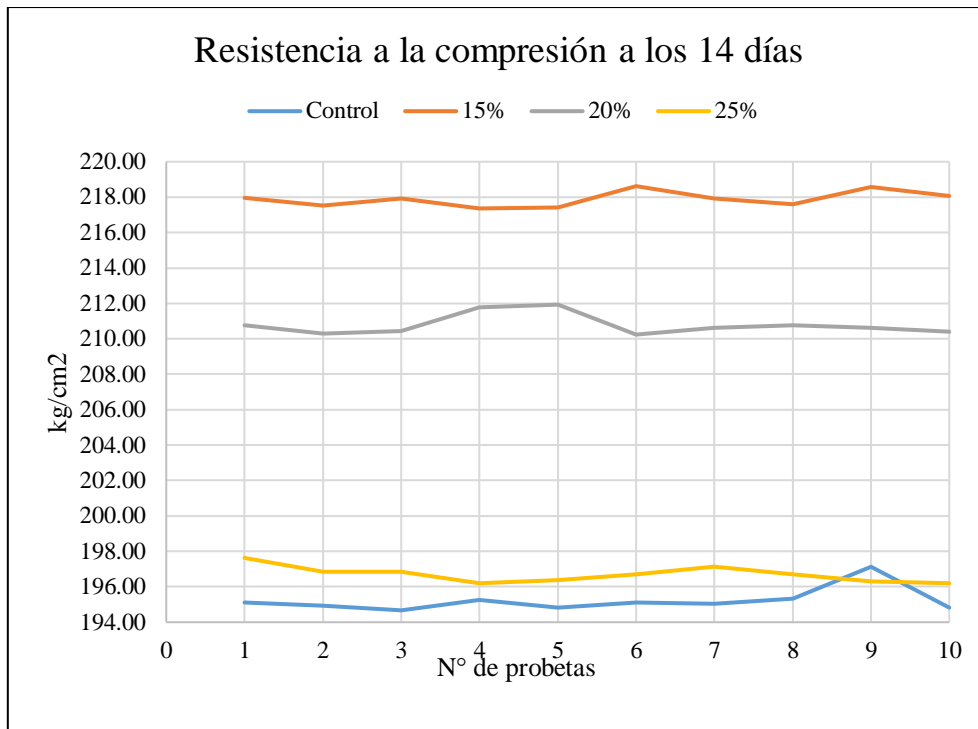
21.00	Concreto M25% - 21	6.00	2.32	39,620.00	182.41	217.20	<b>103.43</b>
22.00	Concreto M25% - 22	6.00	2.33	39,740.00	182.41	217.86	<b>103.74</b>
23.00	Concreto M25% - 23	6.00	2.33	39,710.00	182.41	217.69	<b>103.66</b>
24.00	Concreto M25% - 24	6.00	2.34	39,830.00	182.41	218.35	<b>103.98</b>
25.00	Concreto M25% - 25	6.00	2.34	39,840.00	182.41	218.40	<b>104.00</b>

Fuente: Elaboración propia (2019).

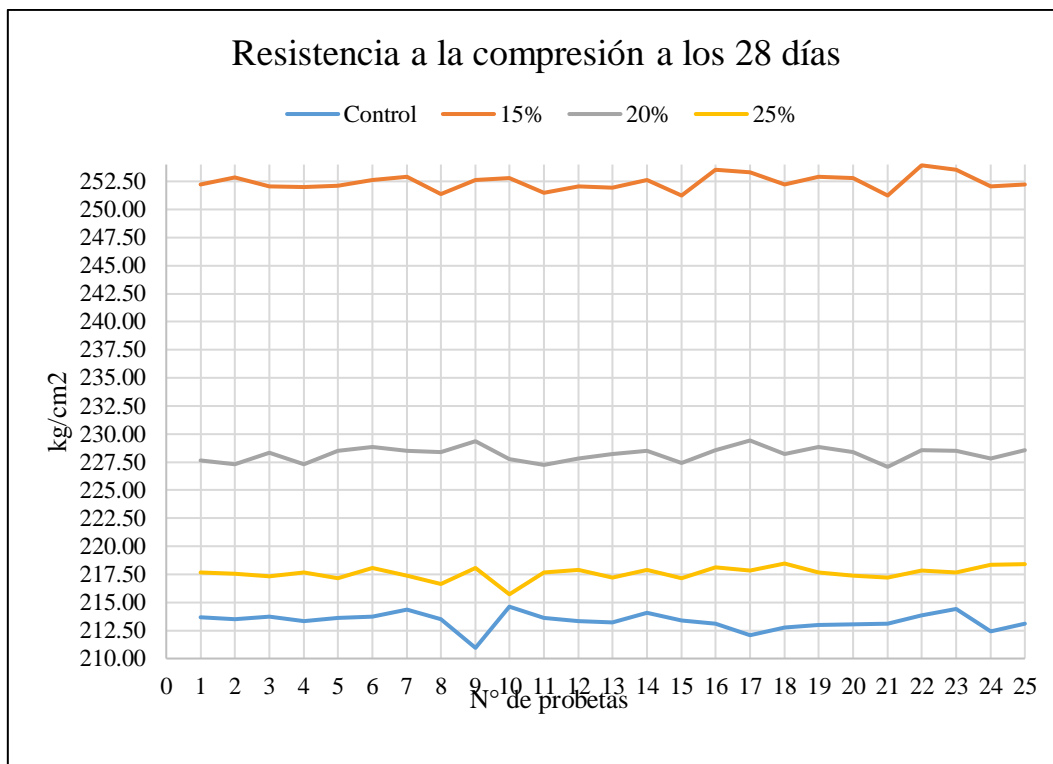
### 3.1.6. Evolución de la resistencia del concreto



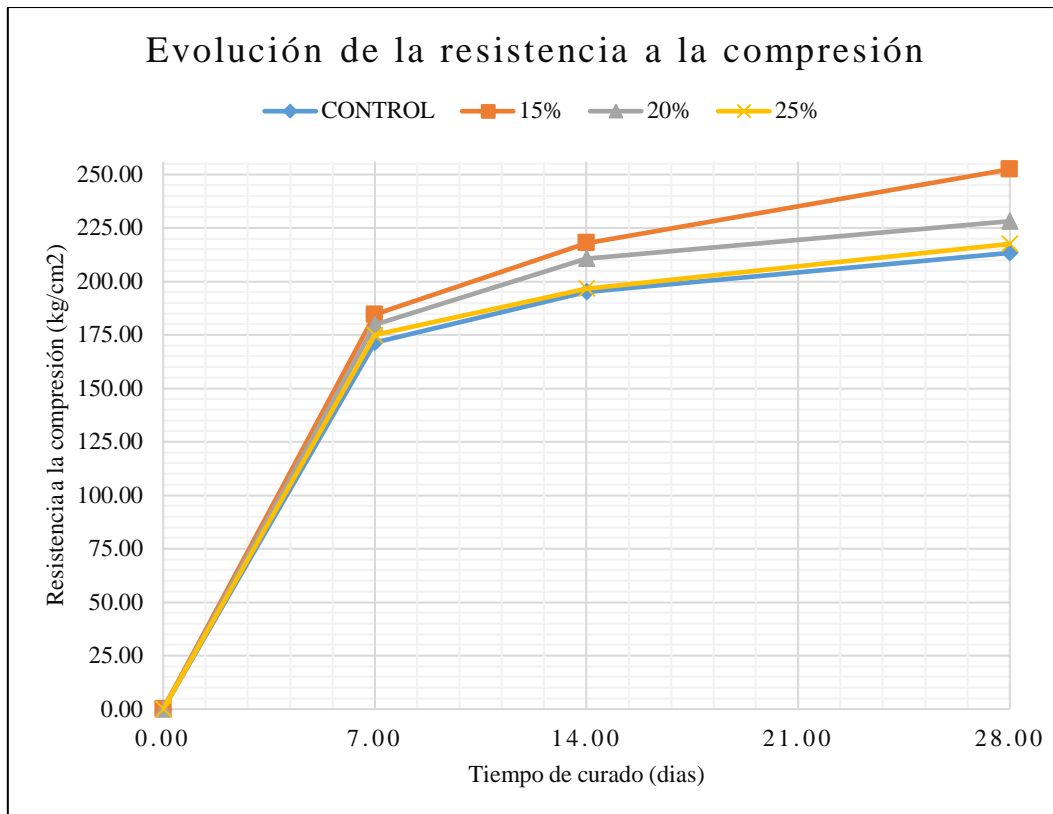
**Figura 8.** Evolución de la resistencia a la compresión de los concretos a los 7 días. (Fuente: Elaboración propia. (2019))



**Figura 9.** Evolución de la resistencia a la compresión de los concretos a los 14 días. (Fuente: Elaboración propia. (2019))



**Figura 10.** Evolución de la resistencia a la compresión de los concretos a los 28 días. (Fuente: Elaboración propia. (2019))



**Figura 11.** Evolución de la resistencia a la compresión promedio de los concretos a través del tiempo. (Fuente: Elaboración propia. (2019))

### 3.1.7. Control estadístico

El control estadístico en el concreto fue desarrollado con los resultados de las roturas de probetas obtenidos a los 28 días.

#### 3.1.7.1. Concreto de control (patrón)

**Tabla 55**

*Control estadístico del concreto de control (patrón).*

$n$	$x_i$	$x_i - \bar{X}$	$(x_i - \bar{X})^2$	$(x_i - \bar{X})^3$	$(x_i - \bar{X})^4$
1	213.69	0.35	0.12	0.04	0.01
2	213.52	0.18	0.03	0.01	0.00
3	213.74	0.40	0.16	0.06	0.03
4	213.31	-0.03	0.00	0.00	0.00
5	213.63	0.29	0.08	0.02	0.01
6	213.74	0.40	0.16	0.06	0.03
7	214.35	1.01	1.02	1.03	1.04
8	213.52	0.18	0.03	0.01	0.00
9	210.95	-2.39	5.71	-13.66	32.65
10	214.62	1.28	1.64	2.10	2.68
11	213.63	0.29	0.08	0.02	0.01
12	213.31	-0.03	0.00	0.00	0.00
13	213.20	-0.14	0.02	0.00	0.00

14	214.07	0.73	0.53	0.39	0.28
15	213.41	0.07	0.00	0.00	0.00
16	213.09	-0.25	0.06	-0.02	0.00
17	212.10	-1.24	1.54	-1.91	2.37
18	212.76	-0.58	0.34	-0.20	0.11
19	212.98	-0.36	0.13	-0.05	0.02
20	213.03	-0.31	0.10	-0.03	0.01
21	213.09	-0.25	0.06	-0.02	0.00
22	213.85	0.51	0.26	0.13	0.07
23	214.40	1.06	1.12	1.19	1.26
24	212.43	-0.91	0.83	-0.75	0.69
25	213.09	-0.25	0.06	-0.02	0.00
<b>Sumatoria</b>	5,333.51	0.00	14.10	-11.58	41.27

Fuente: Elaboración propia (2019).

- Media

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{5,333.51}{25} = 213.34$$

- Mediana

$$M_e = 213.41$$

- Moda

$$M_o = 213.09$$

- Desviación estándar

$$S = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}}{n - 1} = \frac{\sqrt{14.10}}{25 - 1} = 0.77$$

- Coeficiente de variación

$$\%CV = \frac{S}{\bar{X}} * 100 = \frac{0.77}{213.34} * 100 = 0.36\%$$

- Varianza

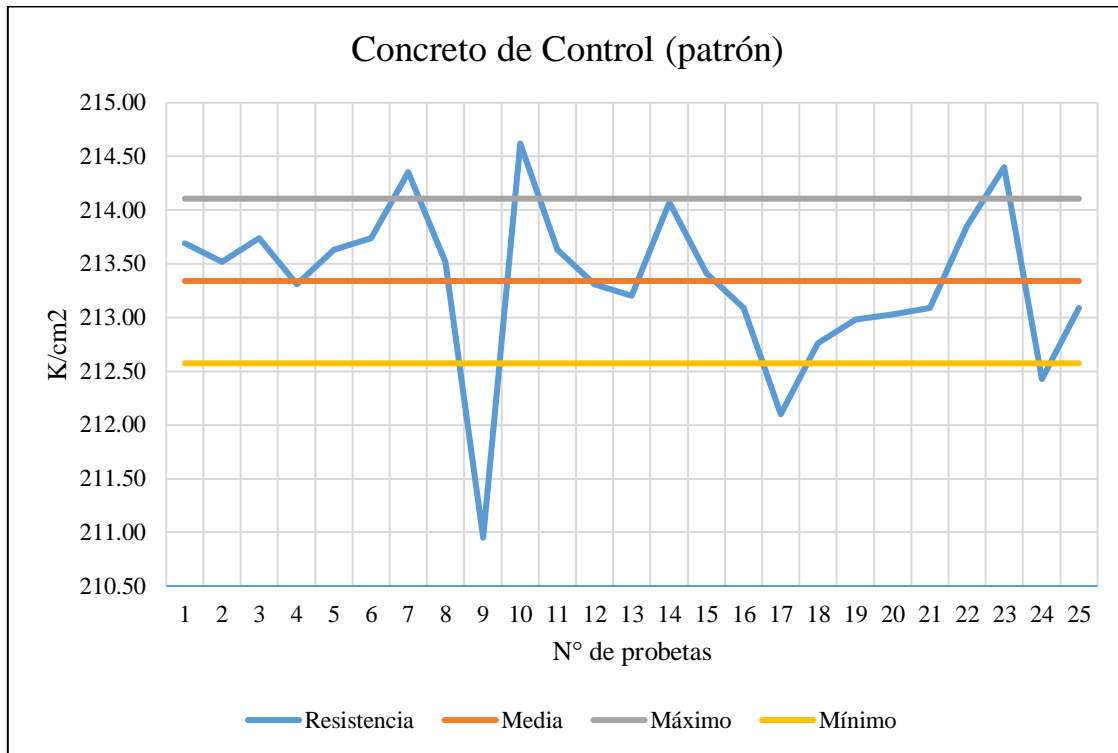
$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n - 1} = \frac{14.10}{25 - 1} = 0.59$$

- Asimetría

$$g_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^3}{n * S^3} = \frac{-11.58}{25 * 0.77^3} = -1.03$$

- Curtosis o apuntamiento

$$g_2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^4}{n * S^4} - 3 = \frac{41.27}{25 * 0.77^4} - 3 = 1.78$$



**Figura 12.** Desviación estándar (dispersión) de las resistencias a la compresión del concreto de control (patrón). (Fuente: Elaboración propia. (2019))

### 3.1.7.2. Concreto con adición del 15% de vidrio reciclado molido

**Tabla 56**

*Control estadístico del concreto con adición del 15% de vidrio reciclado molido.*

$n$	$x_i$	$x_i - \bar{X}$	$(x_i - \bar{X})^2$	$(x_i - \bar{X})^3$	$(x_i - \bar{X})^4$
1	252.23	-0.19	0.04	-0.01	0.00
2	252.83	0.41	0.16	0.07	0.03
3	252.06	-0.36	0.13	-0.05	0.02
4	252.01	-0.41	0.17	-0.07	0.03
5	252.12	-0.30	0.09	-0.03	0.01
6	252.61	0.19	0.03	0.01	0.00
7	252.89	0.47	0.22	0.10	0.05
8	251.35	-1.07	1.16	-1.24	1.33
9	252.61	0.19	0.03	0.01	0.00
10	252.78	0.36	0.13	0.04	0.02
11	251.51	-0.91	0.84	-0.77	0.70
12	252.06	-0.36	0.13	-0.05	0.02
13	251.95	-0.47	0.23	-0.11	0.05
14	252.61	0.19	0.03	0.01	0.00

15	251.24	-1.18	1.40	-1.66	1.97
16	253.54	1.12	1.24	1.39	1.55
17	253.32	0.90	0.80	0.72	0.64
18	252.23	-0.19	0.04	-0.01	0.00
19	252.89	0.47	0.22	0.10	0.05
20	252.78	0.36	0.13	0.04	0.02
21	251.24	-1.18	1.40	-1.66	1.97
22	253.93	1.51	2.27	3.41	5.13
23	253.54	1.12	1.24	1.39	1.55
24	252.06	-0.36	0.13	-0.05	0.02
25	252.23	-0.19	0.04	-0.01	0.00
<b>Sumatoria</b>	<b>6,310.62</b>	<b>0.00</b>	<b>12.31</b>	<b>1.57</b>	<b>15.15</b>

Fuente: Elaboración propia (2019).

- Media

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{6,310.62}{25} = 252.42$$

- Mediana

$$M_e = 252.23$$

- Moda

$$M_o = 252.23$$

- Desviación estándar

$$S = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}}{n - 1} = \frac{\sqrt{12.31}}{25 - 1} = 0.72$$

- Coeficiente de variación

$$\%CV = \frac{S}{\bar{X}} * 100 = \frac{0.72}{252.42} * 100 = 0.28\%$$

- Varianza

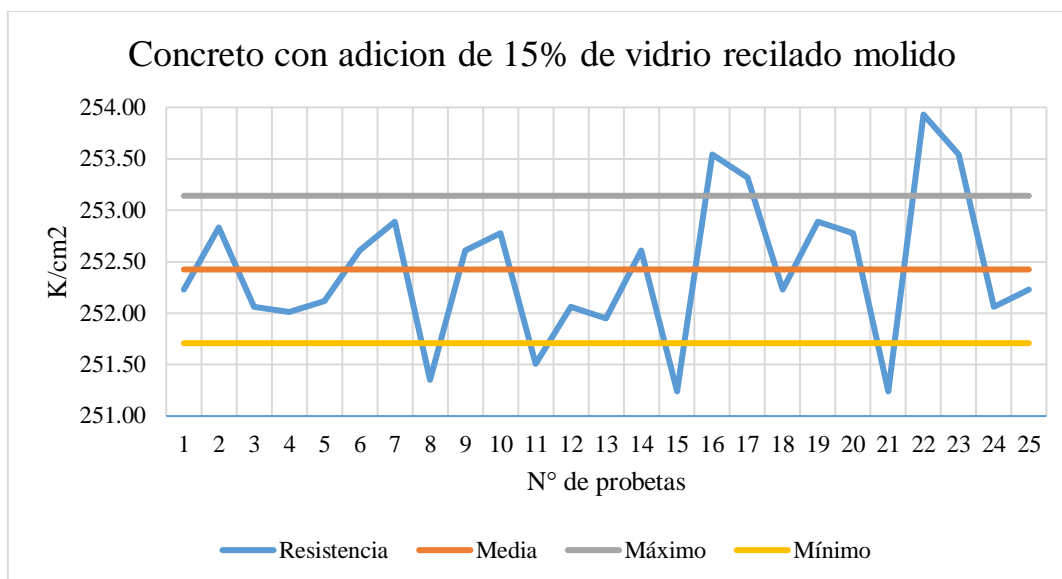
$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n - 1} = \frac{12.31}{25 - 1} = 0.51$$

- Asimetría

$$g_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^3}{n * S^3} = \frac{1.57}{25 * 0.72^3} = 0.17$$

- Curtosis o apuntamiento

$$g_2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^4}{n * S^4} - 3 = \frac{15.15}{25 * 0.72^4} - 3 = -0.70$$



**Figura 13.** Desviación estándar (dispersión) de las resistencias a la compresión del concreto con adición de 15% de vidrio reciclado molido. (Fuente: Elaboración propia. (2019))

### 3.1.7.3. Concreto con adición del 20% de vidrio reciclado molido

**Tabla 57**

*Control estadístico del concreto con adición del 20% de vidrio reciclado molido.*

$n$	$x_i$	$x_i - \bar{X}$	$(x_i - \bar{X})^2$	$(x_i - \bar{X})^3$	$(x_i - \bar{X})^4$
1	227.67	-0.53	0.28	-0.15	0.08
2	227.28	-0.92	0.85	-0.78	0.72
3	228.33	0.13	0.02	0.00	0.00
4	227.28	-0.92	0.85	-0.78	0.72
5	228.49	0.29	0.08	0.02	0.01
6	228.87	0.67	0.45	0.30	0.20
7	228.49	0.29	0.08	0.02	0.01
8	228.38	0.18	0.03	0.01	0.00
9	229.37	1.17	1.37	1.60	1.87
10	227.78	-0.42	0.18	-0.07	0.03
11	227.23	-0.97	0.94	-0.92	0.89
12	227.83	-0.37	0.14	-0.05	0.02
13	228.22	0.02	0.00	0.00	0.00
14	228.49	0.29	0.08	0.02	0.01
15	227.39	-0.81	0.66	-0.53	0.43
16	228.55	0.35	0.12	0.04	0.01
17	229.42	1.22	1.49	1.81	2.21
18	228.22	0.02	0.00	0.00	0.00
19	228.87	0.67	0.45	0.30	0.20
20	228.38	0.18	0.03	0.01	0.00
21	227.07	-1.13	1.28	-1.45	1.64
22	228.55	0.35	0.12	0.04	0.01



23	228.49	0.29	0.08	0.02	0.01
24	227.83	-0.37	0.14	-0.05	0.02
25	228.55	0.35	0.12	0.04	0.01
<b>Sumatoria</b>	5,705.03	0.00	9.84	-0.55	9.10

Fuente: Elaboración propia (2019).

- Media

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{5,705.03}{25} = 228.20$$

- Mediana

$$M_e = 228.38$$

- Moda

$$M_o = 228.49$$

- Desviación estándar

$$S = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}}{n - 1} = \frac{\sqrt{9.84}}{25 - 1} = 0.64$$

- Coeficiente de variación

$$\%CV = \frac{S}{\bar{X}} * 100 = \frac{0.64}{228.20} * 100 = 0.28\%$$

- Varianza

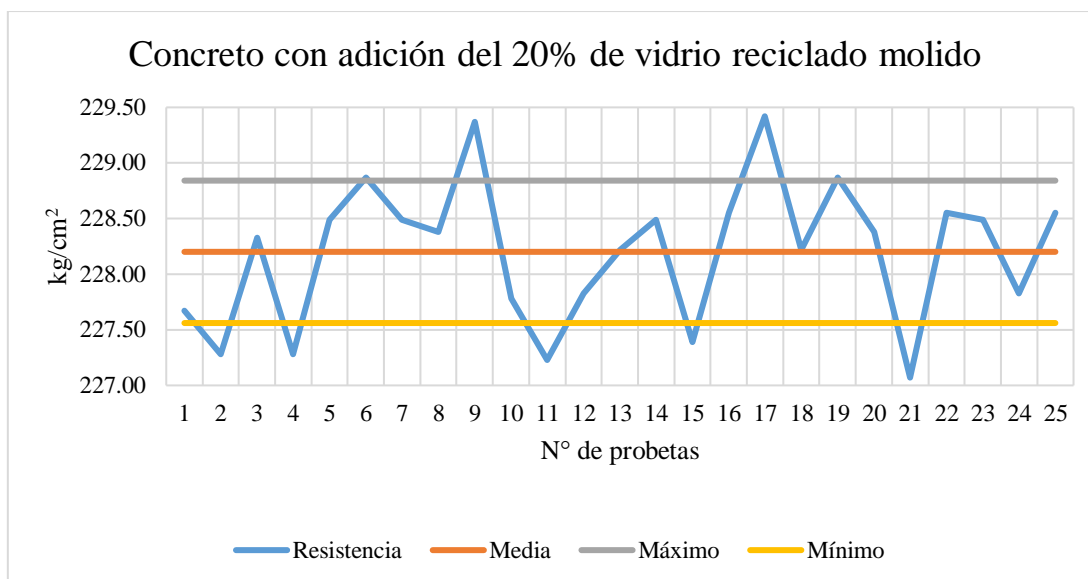
$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n - 1} = \frac{9.84}{25 - 1} = 0.41$$

- Asimetría

$$g_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^3}{n * S^3} = \frac{-0.55}{25 * 0.62^3} = -0.08$$

- Curtosis o apuntamiento

$$g_2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^4}{n * S^4} - 3 = \frac{-0.55}{25 * 0.62^4} - 3 = -0.84$$



**Figura 14.** Desviación estándar (dispersión) de las resistencias a la compresión del concreto con adición de 20% de vidrio reciclado molido. (Fuente: Elaboración propia. (2019))

### 3.1.7.4. Concreto con adición del 25% de vidrio reciclado molido

**Tabla 58**

*Control estadístico del concreto con adición del 25% de vidrio reciclado molido.*

$n$	$x_i$	$x_i - \bar{X}$	$(x_i - \bar{X})^2$	$(x_i - \bar{X})^3$	$(x_i - \bar{X})^4$
1	217.69	0.09	0.01	0.00	0.00
2	217.53	-0.07	0.01	0.00	0.00
3	217.31	-0.29	0.09	-0.03	0.01
4	217.69	0.09	0.01	0.00	0.00
5	217.14	-0.46	0.21	-0.10	0.05
6	218.07	0.47	0.22	0.10	0.05
7	217.36	-0.24	0.06	-0.01	0.00
8	216.65	-0.95	0.91	-0.87	0.83
9	218.07	0.47	0.22	0.10	0.05
10	215.72	-1.88	3.55	-6.68	12.58
11	217.69	0.09	0.01	0.00	0.00
12	217.91	0.31	0.09	0.03	0.01
13	217.20	-0.40	0.16	-0.07	0.03
14	217.91	0.31	0.09	0.03	0.01
15	217.14	-0.46	0.21	-0.10	0.05
16	218.13	0.53	0.28	0.15	0.08
17	217.86	0.26	0.07	0.02	0.00
18	218.46	0.86	0.73	0.63	0.54
19	217.69	0.09	0.01	0.00	0.00
20	217.36	-0.24	0.06	-0.01	0.00
21	217.20	-0.40	0.16	-0.07	0.03
22	217.86	0.26	0.07	0.02	0.00

23	217.69	0.09	0.01	0.00	0.00
24	218.35	0.75	0.56	0.42	0.31
25	218.40	0.80	0.63	0.51	0.40
<b>Sumatoria</b>	5,440.08	0.00	8.42	-5.93	15.01

Fuente: Elaboración propia (2019).

- Media

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{5,440.08}{25} = 217.60$$

- Mediana

$$M_e = 217.69$$

- Moda

$$M_o = 217.69$$

- Desviación estándar

$$S = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}}{n - 1} = \frac{\sqrt{8.42}}{25 - 1} = 0.59$$

- Coeficiente de variación

$$\%CV = \frac{S}{\bar{X}} * 100 = \frac{0.59}{217.60} * 100 = 0.27\%$$

- Varianza

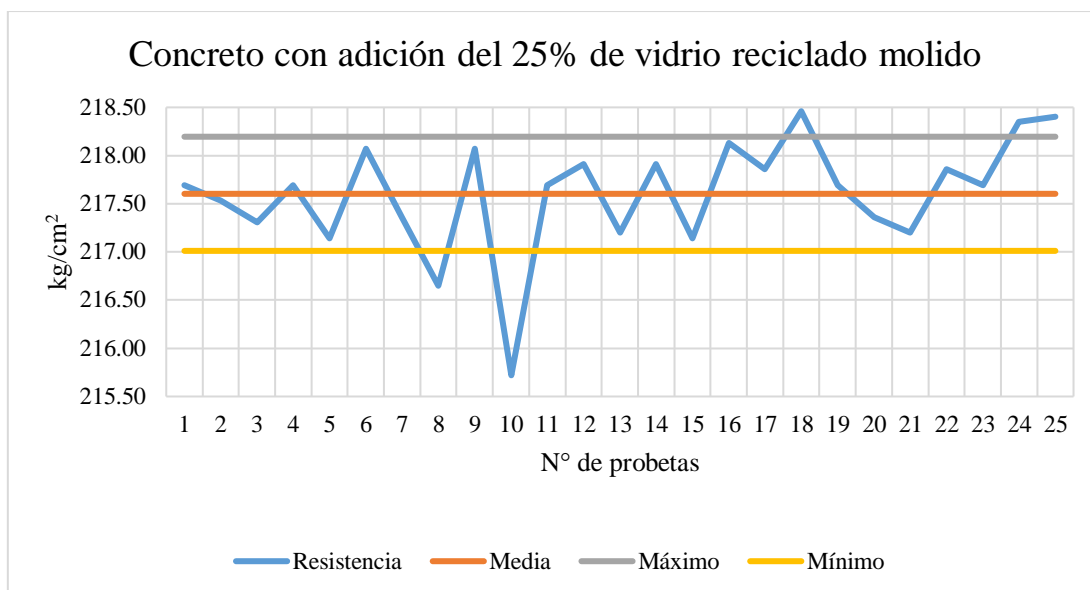
$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n - 1} = \frac{8.42}{25 - 1} = 0.35$$

- Asimetría

$$g_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^3}{n * S^3} = \frac{-5.93}{25 * 0.59^3} = -1.14$$

- Curtosis o apuntamiento

$$g_2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^4}{n * S^4} - 3 = \frac{-5.93}{25 * 0.59^4} - 3 = 1.88$$



**Figura 15.** Desviación estándar (dispersión) de las resistencias a la compresión del concreto con adición de 25% de vidrio reciclado molido. (Fuente: Elaboración propia. (2019))

### 3.1.8. Prueba t-Student

Para todos los casos, el primer paso es establecer la hipótesis nula y la hipótesis alternativa:

**H<sub>0</sub>**= La resistencia a la compresión del concreto  $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  con adición de vidrio reciclado molido se incrementará frente a fuerzas de compresión con respecto a la mezcla de control.

**H<sub>1</sub>**= La resistencia a la compresión del concreto  $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  con adición de vidrio reciclado molido no se incrementará frente a fuerzas de compresión con respecto a la mezcla de control.

Luego se procede a determinar la “t calculada” y la “t crítica”, considerando que las variables a comparar son independientes entre sí.

#### 3.1.8.1. Concreto de control (patrón) y concreto con adición del 15% de vidrio reciclado molido.

**Tabla 59**

*T-Student de Concreto de control (patrón) y concreto con adición del 15% de vidrio reciclado molido.*

Nivel	Grupo/Experiencia	
	1	2
Lecturas		
1	213.69	252.23
2	213.52	252.83

3	213.74	252.06
4	213.31	252.01
5	213.63	252.12
6	213.74	252.61
7	214.35	252.89
8	213.52	251.35
9	210.95	252.61
10	214.62	252.78
11	213.63	251.51
12	213.31	252.06
13	213.20	251.95
14	214.07	252.61
15	213.41	251.24
16	213.09	253.54
17	212.10	253.32
18	212.76	252.23
19	212.98	252.89
20	213.03	252.78
21	213.09	251.24
22	213.85	253.93
23	214.40	253.54
24	212.43	252.06
25	213.09	252.23

Fuente: Elaboración propia (2019).

Experiencia 1:  $n_1=25$ , media  $\bar{X}_1=213.34$ , desv. estándar  $S_1=0.77$ , grados de libertad: 24

Experiencia 2:  $n_2=25$ , media  $\bar{X}_2=252.42$ , desv. estándar  $S_2=0.72$ , grados de libertad: 24

$$t_{calc} = \frac{|\bar{X}_1 - \bar{X}_2|}{\sqrt{\frac{S_1^2(n_1 - 1) + S_2^2(n_2 - 1)}{n_1 + n_2 - 2} * \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$$

$$t_{calc} = \frac{|213.34 - 252.42|}{\sqrt{\frac{0.77(25 - 1) + 0.72(25 - 1)}{25 + 25 - 2} * \left(\frac{1}{25} + \frac{1}{25}\right)}} = 160.48$$

Para calcular el valor de “t crítica” acudimos a la **Tabla 23**, donde se determina:

$$t_{crit} = 2.011$$

Se observa que  $t_{calc} \gg t_{crit}$ , por lo que se concluye que existen diferencias muy significativas. Por lo cual el resultado se acepta.

### 3.1.8.2. Concreto de control (patrón) y concreto con adición del 20% de vidrio reciclado molido.

**Tabla 60**

*T-Student de Concreto de control (patrón) y concreto con adición del 20% de vidrio reciclado molido.*

Nivel Lecturas	Grupo/Experiencia	
	1	2
1	213.69	227.67
2	213.52	227.28
3	213.74	228.33
4	213.31	227.28
5	213.63	228.49
6	213.74	228.87
7	214.35	228.49
8	213.52	228.38
9	210.95	229.37
10	214.62	227.78
11	213.63	227.23
12	213.31	227.83
13	213.20	228.22
14	214.07	228.49
15	213.41	227.39
16	213.09	228.55
17	212.10	229.42
18	212.76	228.22
19	212.98	228.87
20	213.03	228.38
21	213.09	227.07
22	213.85	228.55
23	214.40	228.49
24	212.43	227.83
25	213.09	228.55

Fuente: Elaboración propia (2019).

Experiencia 1:  $n_1=25$ , media  $\bar{X}_1=213.34$ , desv. estándar  $S_1=0.77$ , grados de libertad: 24

Experiencia 2:  $n_2=25$ , media  $\bar{X}_2=228.20$ , desv. estándar  $S_2=0.64$ , grados de libertad: 24

$$t_{calc} = \frac{|\bar{X}_1 - \bar{X}_2|}{\sqrt{\frac{S_1^2(n_1 - 1) + S_2^2(n_2 - 1)}{n_1 + n_2 - 2} * \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$$

$$t_{calc} = \frac{|213.34 - 228.20|}{\sqrt{\frac{0.77(25 - 1) + 0.64(25 - 1)}{25 + 25 - 2} * \left(\frac{1}{25} + \frac{1}{25}\right)}} = 62.64$$

Para calcular el valor de “t crítica” acudimos a la **Tabla 23**, donde se determina:

$$t_{crit} = 2.011$$

Se observa que  $t_{calc} \gg t_{crit}$ , por lo que se concluye que existen diferencias muy significativas. Por lo cual el resultado se acepta.

### 3.1.8.3. Concreto de control (patrón) y concreto con adición del 25% de vidrio reciclado molido.

**Tabla 61**

*T-Student de Concreto de control (patrón) y concreto con adición del 25% de vidrio reciclado molido.*

Nivel	Grupo/Experiencia	
	1	2
Lecturas		
1	213.69	217.69
2	213.52	217.53
3	213.74	217.31
4	213.31	217.69
5	213.63	217.14
6	213.74	218.07
7	214.35	217.36
8	213.52	216.65
9	210.95	218.07
10	214.62	215.72
11	213.63	217.69
12	213.31	217.91
13	213.20	217.20
14	214.07	217.91
15	213.41	217.14
16	213.09	218.13
17	212.10	217.86
18	212.76	218.46
19	212.98	217.69
20	213.03	217.36
21	213.09	217.20
22	213.85	217.86
23	214.40	217.69
24	212.43	218.35
25	213.09	218.40

Fuente: Elaboración propia (2019).

Experiencia 1:  $n_1=25$ , media  $\bar{X}_1=213.34$ , desv. estándar  $S_1=0.77$ , grados de libertad: 24

Experiencia 2:  $n_2=25$ , media  $\bar{X}_2=217.60$ , desv. estándar  $S_2=0.59$ , grados de libertad: 24

$$t_{calc} = \frac{|\bar{X}_1 - \bar{X}_2|}{\sqrt{\frac{S_1^2(n_1 - 1) + S_2^2(n_2 - 1)}{n_1 + n_2 - 2} * \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$$

$$t_{calc} = \frac{|213.34 - 217.60|}{\sqrt{\frac{0.77(25 - 1) + 0.59(25 - 1)}{25 + 25 - 2} * \left(\frac{1}{25} + \frac{1}{25}\right)}} = 18.28$$

Para calcular el valor de “t crítica” acudimos a la **Tabla 23**, donde se determina:

$$t_{crit} = 2.011$$

Se observa que  $t_{calc} \gg t_{crit}$ , por lo que se concluye que existen diferencias muy significativas. Por lo cual el resultado se acepta.

## 3.2. Discusión

### 3.2.1. Molienda del vidrio reciclado

- La molienda del vidrio reciclado generó impactos positivos como: reciclaje y reutilización de un material de desecho, disminución de la cantidad de vidrios desechados que llegan al botadero municipal, limpieza en zonas de concentración de botellas desechada lo cual conlleva a la recuperación de áreas, mejora de la estética y panorama de la zona.
- La molienda del vidrio reciclado generó impactos negativos como: partículas de polvo de vidrio en el aire, ruidos molestos y desgaste del molino manual.

### 3.2.2. Agregados

- En la gráfica de la curva granulométrica del agregado fino se puede visualizar que existe un segmento de la curva que sale del huso correspondiente, esto debido a que los porcentajes acumulados que pasan los tamices correspondientes (N° 16 y N°30), son mayores a los establecidos por la norma NTP 400.012, es decir, existe mayor cantidad de finos.



- Las características granulométricas del agregado grueso han cumplido con los requisitos que exige la norma, encontrándose la curva granulométrica dentro del huso correspondiente.
- En la gráfica de la curva granulométrica del vidrio reciclado molido se puede visualizar que existe un fragmente de la curva que sale del huso correspondiente, esto debido a que los porcentajes acumulados que pasan los tamices correspondientes son menores a los establecidos por la norma NTP 400.012, para el agregado fino, es decir, existe mayor cantidad de partículas gruesas.
- El módulo de fineza del agregado fino es 2.40, recomendado para concretos con buena trabajabilidad.
- El módulo de fineza del vidrio molido es de 3.80, el cual contrarresta el bajo módulo de fineza del agregado fino.
- Las propiedades químicas de los agregados fino y grueso se encuentran dentro de los parámetros admisibles establecidos por las normas correspondientes.

### **3.2.3. Diseño de mezcla de concreto**

- El diseño de mezcla de concreto fue elaborado según los parámetros establecidos por el comité ACI 211-1. Éste establece que para la elaboración de concretos  $F'c$  210 kg/cm<sup>2</sup> se debe usar un factor de seguridad determinado ( $F'c+84$ ), cuando se cuenta con escasos o ningún dato estadístico.

### **3.2.4. Consistencia del concreto**

- El asentamiento o Slump del concreto de control (patrón) fue de 3.50 pulgadas, siendo diseñado para 4 pulgadas. Cuenta con una consistencia plástica, la cual es la deseada de manera general.
- El asentamiento o Slump para los concretos con adición de 15, 20 y 25% de vidrio reciclado molido son 5.00, 5.50 y 6.00 pulgadas respectivamente, contando con una consistencia fluida. Es decir que, a medida que se añadieron mayores cantidades de vidrio, el concreto fresco se volvió más fluido, debido a la impermeabilidad del vidrio, por lo cual se consumió menos agua en el diseño de mezcla.

### **3.2.5. Número de muestras de probetas de concreto**

- Según la norma **ASTM C 192**, usualmente se moldean 3 o más probetas para cada edad y condiciones de ensayo, en esta investigación se elaboraron 45 probetas para cada

diseño de mezcla de concreto, con la finalidad de obtener suficientes datos y poder analizarlos.

### **3.2.6. Peso unitario del concreto**

- Las cuatro mezclas obtuvieron concretos de peso normal. Es decir, de un peso unitario entre 2,250 y 2,450 kg/m<sup>3</sup>. Esto se debe a la semejanza de pesos unitarios entre el agregado fino y el vidrio reciclado molido.

### **3.2.7. Control estadístico**

- La desviación estándar de los resultados obtenidos en la rotura de probetas de concreto, de las cuatro mezclas, es menor a 14.1 kg/cm<sup>2</sup>, considerándose como una clase de operación excelente para concretos en laboratorio.
- La distribución de los datos obtenidos en la rotura de probetas de concreto, de las cuatro mezclas, es aproximadamente igual a una distribución normal, de acuerdo a los parámetros calculados, por lo que las lecturas de la resistencia a la compresión pueden usarse en la prueba t-Student, para determinar la validez y confiabilidad de la metodología.

### **3.2.8. Validez y confiabilidad del método**

- Mediante la aplicación de la prueba t-Student se ha determinado que existe diferencias significativas (en el orden superior) entre los concreto con adición del 15, 20 y 25% de vidrio reciclado molido y el concreto de control (patrón), por lo que el método aplicado demuestra validez y confiabilidad.

### **3.2.9. Contrastación de hipótesis**

- De acuerdo con los resultados obtenidos mediante la rotura de las probetas de concreto de control (patrón) y con adición de vidrio reciclado molido, el control estadístico realizado y la aplicación de la prueba t-Student, que demuestra la validez y confiabilidad del método, se comprueba la hipótesis planteada, debido a que la resistencia a la compresión del concreto con adición del 15, 20 y 25% de vidrio reciclado molido aumenta con respecto a la resistencia a la compresión del concreto de control (patrón).

## CONCLUSIONES

- El agregado fino procedente de la cantera del río Cumbaza, sector tres de octubre, presenta ciertas falencias en su características granulométricas, no obstante, se puede utilizar en el diseño de mezclas de concreto.
- Las propiedades químicas de los agregados pétreos se encuentran dentro de los límites permisibles establecidos por las normas correspondientes, por lo que pueden ser utilizados en el diseño de mezclas de concreto.
- Un metro cúbico ( $m^3$ ) suelto del agregado fino saturado superficialmente seco utilizado tiene un peso de 1,570.00 kg mientras que el mismo volumen de vidrio reciclado molido pesa 1,302.00 kg.
- El diseño de mezcla del concreto de control (patrón) fue desarrollado en base al comité ACI 211.1, sin haber modificado o ajustado algún parámetro establecido, siendo su dosificación en peso 1:2:2.80/19.90 (litros/bolsa), y en volumen 1:1.80:2.90/19.90 (litros/bolsa).
- El diseño de mezcla de los concretos con adición del 15, 20 y 25% de vidrio reciclado molido fue desarrollado en base al diseño de mezcla del concreto patrón, adicionando el porcentaje de vidrio reciclado seleccionado en reemplazo del mismo porcentaje, en peso, del agregado fino.
- Se compararon los resultados obtenidos del concreto adicionado con partículas de vidrio y el concreto de control (patrón), de lo cual se obtiene una disminución del porcentaje de absorción en el concreto conforme aumenta la adición de vidrio reciclado molido, lo cual incrementa la fluidez.
- 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)
- La resistencia a la compresión aumenta hasta cierta cantidad de vidrio añadido, pero al incrementarse más dicha cantidad de vidrio, esta resistencia disminuye, aproximándose a la resistencia del concreto de control (patrón).

## RECOMENDACIONES

- Emplear agregados pétreos que se encuentren en las mismas condiciones de humedad para el diseño de las mezclas de concreto, garantizando así, mínima dispersión en los resultados.
- Establecer la manera más adecuada para el proceso de molienda del vidrio, teniendo siempre presente el uso de 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 el ensayo de asentamiento de los concretos que contengan vidrio reciclado molido, reduciendo la cantidad de agua para conseguir asentamientos similares, esto debido a la impermeabilidad del vidrio.
- Utilizar el diseño de mezcla con adición del 25% de vidrio reciclado molido ya que la resistencia a la compresión del concreto obtenido se asemeja a la resistencia del concreto de control (patrón)  $F'c=210 \text{ kg/cm}^2$ . Esto, a la vez, contribuye con el reciclaje, reutilización y reducción del vidrio desechado, el cual se encuentra en grandes cantidades en nuestra localidad.
- 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.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abanto, F. (2009), *Tecnología del concreto (Teoría y problemas)*, (Segunda Edición) Lima, Perú: Editorial San Marcos E.I.R.L.
- Abdallah, S. & Fan M. (2014), *Characteristics of concrete with waste glass as fine aggregate replacement* [Características del concreto con vidrio desechado como reemplazo del agregado fino]. Londres, Inglaterra: Brunel University.
- Abdullah S., Manthar A., Rabnawaz J., Salim K., Daddan K. (2017), *Utilization of waste glass as partial replacement of fine aggregate in concrete* [Utilización de vidrio desechado como reemplazo parcial del agregado fino en concreto]. Sindh, Pakistan.
- Adaway, M. & Wang Y. (2015), *Recycled glass as a partial replacement for fine aggregate in structural concrete - Effects on compressive strength* [Vidrio reciclado como un reemplazo parcial para el agregado fino en concreto estructural- efectos en esfuerzos de compresión]. Waurm Pound, Australia.
- Almeida, J. & Trujillo, C. (2017), *Principios básicos de la construcción sostenible utilizando vidrio triturado en la elaboración de hormigones (tesis de pregrado)*. Quito, Ecuador: Universidad central del Ecuador.
- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) TP 57 (2006), *Standard method of test for the qualitative detection of harmful clays of the smectite group in aggregates using methylene blue* [Método estándar de prueba para la detección cualitativa de arcillas nocivas del grupo de esmectita en agregados usando azul de metileno]. Washington D.C, Estados Unidos.
- Aspilcueta, M. (2015), *Análisis comparativo de la resistencia a la compresión del concreto estimada a partir de la utilización del método de madurez (tesis de pregrado)*. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Catalán C. (2013), *Estudio de la influencia del vidrio molido en hormigones grado H15, H20 y H30 (tesis de pregrado)*. Valdivia, Chile: Universidad Austral de Chile.
- Duffau, B., Rojas, F., Guerrero, I., Roa, L., Rodríguez, L., Soto, M.,..., Sandoval L., S. (2010), *Aspectos generales de la validación de métodos*. Santiago de Chile, Chile.
- Ganiron, T. (2013), *Use of recycled glass bottles as fine aggregates in concrete mixture* [Uso de botellas de vidrio recicladas como agregado fino en mezclas de concreto]. Manila, Filipinas.

- Gonzales, J. (2003), *Las mezclas de concreto y sus resultados en la ciudad de Tarapoto utilizando el método del agregado global y módulo de finura (tesis de pregrado)*. San Martín, Perú: Universidad Nacional de San Martín.
- Hernández, R., Fernández, C & Baptista, M. (2014), *Metodología de la investigación* (Sexta Edición). México D.F, México: Editorial Mc Graw-Hill / Interamericana Editores.
- Instituto del Concreto (1997), *Tecnología y propiedades*, (segunda Edición). Bogotá, Colombia.
- Leandro J. (2010), *Evaluación del uso de la diatomita como adición mineral en el concreto de alta resistencia (tesis de pregrado)*. Lima, Perú: Universidad Ricardo Palma.
- Lim, A. (2014), *The use of waste glass as a partial substitution for fine aggregate in concrete design* [El uso del vidrio desechado como una sustitución parcial para el agregado fino en el diseño de concreto]. Darwin, Australia: Charles Darwin University.
- Meléndez, R. (1996), *Resultados comparativos de diseño de mezclas de concreto con agregados de los ríos Cumbaza y Huallaga (tesis de pregrado)*. San Martín, Perú: Universidad Nacional de San Martín.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016), *Manual de ensayo de materiales*, Lima, Perú.
- Norma Técnica Peruana 339.088 (2006), *AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en concreto*. Lima, Perú.
- Norma Técnica Peruana 400.012 (2001), *AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global*. Lima, Perú.
- Norma Técnica Peruana 400.016 (2011), *AGREGADOS. Determinación de la inalterabilidad de agregados por medio de sulfato de sodio o sulfato de magnesio*. Lima, Perú.
- Norma Técnica Peruana 400.017 (2011), *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (Peso Unitario) y los vacíos en los agregados*. Lima, Perú.
- Norma Técnica Peruana 400.019 (2002), *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles*. Lima, Perú.

- Norma Técnica Peruana 400.021 (2002), *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso*. Lima, Perú.
- Norma Técnica Peruana 400.022 (2002), *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado fino*. Lima, Perú.
- Norma Técnica Peruana 400.037 (2014), *AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en concreto*. Lima, Perú.
- Obando, A. (2016), *Evaluación de la resistencia mecánica del concreto incorporando vidrio reciclado como agregado fino en muros de defensa ribereña en Trujillo. Región la Libertad 2016 (tesis de pregrado)*. La libertad, Perú: Universidad Cesar Vallejo.
- Ochoa, L. (2018), *Evaluación de la influencia del vidrio reciclado molido como reductor de agregado fino para el diseño de mezclas de concreto en pavimentos urbanos (tesis de pregrado)*. Lambayeque, Perú: Universidad Señor de Sipán.
- Otunyo, A. & Okechukwu, B. (2017), *Performance of concrete with partial replacement of fine Aggregates with crushed waste glass* [Rendimiento del hormigón con reemplazo parcial de agentes agregados finos con vidrio de residuos triturado]. Nsukka, Nigeria: University of Nigeria.
- Pasquel, E. (1998), *Tópicos de tecnología del concreto en el Perú (Segunda Edición)*. Lima, Perú.
- Peñañiel A. (2016), *Análisis de la resistencia a la compresión del hormigón al emplear vidrio reciclado molido en reemplazo parcial del agregado fino (tesis de pregrado)*. Ambato, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.
- Rojas, J. (2015), *Estudio experimental para incrementar la resistencia de un concreto de  $F'c=210 \text{ kg/cm}^2$  adicionando un porcentaje de vidrio sódico cálcico (tesis de pregrado)*. La libertad, Perú: Universidad Privada Antenor Orrego.
- Sánchez Y., Oviedo A. & Novoa M. (2015), *Análisis de propiedades de adhesivos tipo mortero para baldosas de cerámica con reemplazo del agregado fino (arena) por vidrio plano molido reciclado*. Bogotá, Colombia
- Torre, A. (2004), *Curso básico de tecnología del concreto*. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.

## **ANEXOS**



**ANEXO A**  
**MATRIZ DE CONSISTENCIA**

PROBLEMA	LIMITACIONES	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
<p>¿Cuál será el comportamiento de la resistencia a la compresión del concreto <math>F'c = 210 \text{ kg/cm}^2</math> con adición de vidrio reciclado molido frente a fuerzas de compresión?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La investigación está limitada al análisis de la resistencia a la compresión del concreto <math>F'c=210 \text{ kg/cm}^2</math> con adición de vidrio reciclado molido en tres porcentajes diferentes.</li> <li>- Las adiciones de vidrio reciclado molido están el orden del 15, 20 y 25% de peso, como reemplazo del agregado fino.</li> <li>- Uso del vidrio proveniente de botellas recolectadas en el distrito de Tarapoto.</li> <li>- Uso de agregado fino proveniente de la cantera del río Cumbaza.</li> <li>- Uso de agregado grueso de la cantera del río Huallaga.</li> </ul>	<p><b>Objetivo General</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Analizar la resistencia a la compresión del concreto <math>F'c = 210 \text{ kg/cm}^2</math> con adición de vidrio reciclado molido.</li> </ul> <p><b>Objetivos Específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Determinar las propiedades física-mecánicas y químicas de los agregados pétreos.</li> <li>- Determinar las propiedades físicas del vidrio reciclado molido.</li> <li>- Diseñar la mezcla del concreto de control <math>F'c = 210 \text{ kg/cm}^2</math>.</li> <li>- Diseñar la mezcla de los concreto <math>F'c = 210 \text{ kg/cm}^2</math> con adición del 15, 20 y 25% de vidrio reciclado molido, en reemplazo del agregado fino.</li> <li>- Determinar la resistencia a la compresión del concreto de control y los concretos con adición del 15, 20 y 25% de vidrio reciclado molido, en reemplazo del agregado fino, a los 7, 14 y 28 días de curado.</li> <li>- Analizar la resistencia a la compresión de los concretos con adición de vidrio reciclado molido tomando como base la mezcla de control.</li> </ul>	<p>La resistencia a la compresión del concreto <math>F'c = 210 \text{ kg/cm}^2</math> con adición de vidrio reciclado molido se incrementará frente a fuerzas de compresión con respecto al concreto de control.</p>	<p><b>Variable independiente</b> Adición de vidrio reciclado molido.</p> <p><b>Variable dependiente.</b> La resistencia a la compresión del concreto <math>F'c= 210 \text{ kg/cm}^2</math></p> <p><b>Variable interviniente.</b> El porcentaje de humedad de los agregados.</p>	<p><b><u>Tipo y nivel de investigación</u></b></p> <p><i>Tipo:</i> Aplicada <i>Nivel:</i> Explicativa</p> <p><b><u>Población y muestra</u></b></p> <p><b><i>Población</i></b> Conformada por 45 probetas de concreto por cada diseño de mezcla de concreto, haciendo un total de 180 probetas de concreto.</p> <p><b><i>Muestra</i></b> Conformada por 45 probetas de concreto por cada diseño de mezcla de concreto, debido a que la población de cada diseño de mezcla es relativamente pequeña, coincide con la población, siendo la muestra de tipo censal.</p> <p><b><u>Diseño</u></b> Experimental</p>

**ANEXO B**  
**PANEL FOTOGRÁFICO**



*Foto 1:* Ubicación del punto de recolección.



*Foto 2:* Reconocimiento del botadero municipal



*Foto 3:* Recolección y selección de las botellas de vidrio.



*Foto 4:* Almacenamiento de las botellas de vidrio.





*Foto 5:* Botellas recicladas antes del proceso de limpieza.



*Foto 6:* Botellas recicladas durante del proceso de limpieza.





*Foto 7:* Botellas recicladas después del proceso de limpieza.



*Foto 8:* Trituración preliminar





*Foto 9:* Proceso de molienda



*Foto 10:* Separación de partículas finas.





**Foto 11:** Selección del agregado fino: Cantera del río Cumbaza – sector tres de octubre.



**Foto 12:** Selección del agregado grueso: Cantera del río Huallaga – Sector Buenos Aires, prov. Picota.



*Foto 13:* Pesaje del agregado fino para los ensayos correspondientes.



*Foto 14:* Pesaje del agregado grueso para los ensayos correspondientes.





**Foto 15:** Secado de los agregados en el horno.



**Foto 16:** Dosificación de los agregados para la mezcla de concreto.



*Foto 17:* Proceso de mezclado del concreto.



*Foto 18:* Asentamiento del concreto de control (patrón).





**Foto 19:** Asentamiento del concreto con adición del 15% de vidrio reciclado molido.



**Foto 20:** Asentamiento del concreto con adición del 25% de vidrio reciclado molido.



**Foto 21:** Curado de las probetas de concreto en la poza con agua.



**Foto 22:** Probetas de concreto preparadas para la prueba de resistencia a la compresión.





**Foto 23:** Rotura de probetas de concreto.



**Foto 24:** Composición interna de las probetas de concreto con adición del 15% (izquierda) y 25% (derecha) de vidrio reciclado molido

**ANEXO C**  
**FORMATOS PARA RESULTADOS DE PRUEBAS EN LABORATORIO**