



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE CUENCA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE  $f'c = 240 \text{ KG/CM}^2$  ENTRE UN  
HORMIGÓN CONVENCIONAL Y UN HORMIGÓN CON MEZCLA DE VIDRIO MOLIDO  
EN REEMPLAZO PARCIAL DEL ÁRIDO FINO

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
título de Ingeniera Civil

AUTORAS: JOSSELINE ESTEFANIA NARVÁEZ DOMINGUEZ

VERÓNICA MARISOL ORELLANA ANGAMARCA

TUTOR: ING. NELSON EDUARDO AVILÉS DÍAZ, MSc.

Cuenca - Ecuador

2024

## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotras, Josseline Estefania Narváez Dominguez con documento de identificación N° 0150281848 y Verónica Marisol Orellana Angamarca con documento de identificación N° 0150665396; manifestamos que:

Somos las autoras y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación

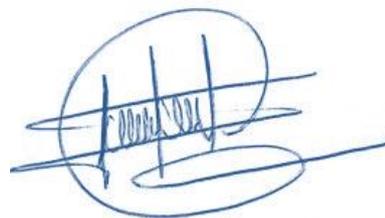
Cuenca, 22 de enero del 2024

Atentamente,



---

Josseline Estefania Narváez Dominguez  
0150281848



---

Verónica Marisol Orellana Angamarca  
0150665396

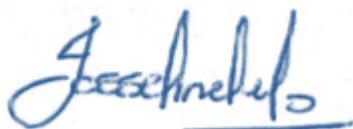
## **CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotras, Josseline Estefania Narváez Dominguez con documento de identificación N° 0150281848 y Verónica Marisol Orellana Angamarca con documento de identificación N° 0150665396, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autoras del Proyecto de investigación: “Análisis de la resistencia a la compresión de  $f'c= 240 \text{ kg/cm}^2$  entre un hormigón convencional y un hormigón con mezcla de vidrio molido en reemplazo parcial del árido fino”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera Civil, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 22 de enero del 2024

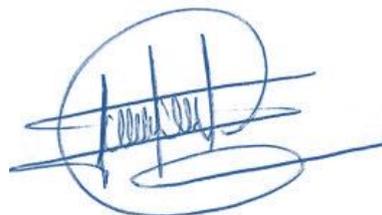
Atentamente,



---

Josseline Estefania Narváez Dominguez

0150281848



---

Verónica Marisol Orellana Angamarca

0150665396

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Nelson Eduardo Avilés Díaz con documento de identificación N° 0102007028, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE F'C= 240 KG/CM2 ENTRE UN HORMIGÓN CONVENCIONAL Y UN HORMIGÓN CON MEZCLA DE VIDRIO MOLIDO EN REEMPLAZO PARCIAL DEL ÁRIDO FINO, realizado por Josseline Estefania Narváez Dominguez con documento de identificación N° 0150281848 y por Verónica Marisol Orellana Angamarca con documento de identificación N° 0150665396, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto de investigación que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 22 de enero del 2024

Atentamente,



---

Ing. Nelson Eduardo Avilés Díaz, MSc.

0102007028

## **DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTO**

**Autora: Josseline Estefania Narváez Dominguez**

### **DEDICATORIA**

A mis padres Saúl Narváez y Mariana Dominguez cuyas palabras de aliento resonaron constantemente en mi mente, recordándome que la perseverancia y el esfuerzo son la clave para alcanzar los sueños. A mi amado bisabuelo, Isaac Antonio Guiracocha Barbecho, quien, desde lo más alto observa con orgullo cada logro que alcanzo, este trabajo es también un tributo a la sabiduría y los valores que compartiste conmigo. A mi abuela la señora María Isabel Guiracocha, fuente inagotable de fortaleza, cuyo amor y apoyo han sido mi ancla en los momentos de incertidumbre. Tus palabras de ánimo y tu ejemplo de resiliencia han sido la luz que me han guiado en los momentos oscuros agradezco la inspiración constante que me has brindado

### **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradezco a Dios por brindarme fortaleza, sabiduría y la guía durante todo este viaje académico. A mis padres quienes han sido mi fuente inagotable de apoyo y motivación, les agradezco porque a pesar de la distancia en la que nos encontramos siempre están pendiente de mi salud, mi educación y gracias a ellos por los sacrificios y constante aliento, sin su respaldo este logro no hubiera sido posible.

Agradezco a la empresa Hormi CENTER CIA LTDA por brindarme la oportunidad de realizar este proyecto de tesis en su entorno, la experiencia adquirida a sido invaluable y estoy agradecida por el apoyo recibido por parte de todos los miembros del equipo. Finalmente, mi agradecimiento especial va dirigido a mi tutor, Ing. Nelson Eduardo Avilés Díaz por su orientación experta, paciencia infinita y dedicación incansable

**Autora: Verónica Marisol Orellana Angamarca**

## **DEDICATORIA**

A mis abuelitos Juan José Angamarca y Zoila Salvadora Angamarca por ser personas, honoríficas, entregados a todos quienes aman, por haberme enseñado que para lograr una meta se debe trabajar muy duro y nunca quitar la mirada de Dios, gracias por haberme entregado todo el amor que tenían.

A mis padres Mercy Esperanza Angamarca y Elmo Rolando Angamarca, por haber sido mi apoyo incondicional durante toda mi vida. Gracias por confiar en mí, por sus consejos, por su paciencia, por su amor, por todo el tiempo que han invertido para que yo me convierta en un buen ser humano, gracias por estar siempre para mí.

A mis hermanos Kevin, Karla y Juan Pablo que con su amor me han enseñado a salir adelante, gracias por preocuparse por mí, por las risas, por las peleas, gracias por compartir sus vidas conmigo. Los amo con todo mi corazón.

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero agradecer en primer lugar a Dios por haberme regalado vida para cumplir esta meta. Al Ing. Nelson Avilés por su orientación constante y valiosas sugerencias durante el desarrollo de este trabajo. Agradezco a cada uno de mis docentes por haberme compartido sus conocimientos y brindarme una educación integral. Además, quiero expresar mi gratitud a todos quienes me apoyaron durante el desarrollo de la tesis, sus palabras de aliento, guía y apoyo incondicional fueron un pilar fundamental en los momentos más desafiantes. También, quiero agradecer a la empresa Hormi Center Cia. Ltda. Por habernos abierto las puertas de su organización y permitir que este trabajo fuera un éxito.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>II. CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....</b>	<b>2</b>
<b>III. CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.....</b>	<b>3</b>
<b>IV. CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....</b>	<b>4</b>
<b>V. DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>5</b>
<b>I. RESUMEN.....</b>	<b>14</b>
<b>II. ABSTRACT.....</b>	<b>16</b>
<b>III. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>18</b>
<b>IV. PROBLEMA .....</b>	<b>20</b>
<b>V. ANTECEDENTES.....</b>	<b>21</b>
<b>VI. IMPORTANCIA Y ALCANCES.....</b>	<b>22</b>
<b>VII. DELIMITACIÓN .....</b>	<b>23</b>
Temporal.....	24
Sectorial o Institucional.....	24
<b>VIII. OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS.....</b>	<b>24</b>
Objetivo General.....	24
Objetivos específicos .....	24
<b>IX. HIPÓTESIS .....</b>	<b>25</b>
Hipótesis General.....	25
Hipótesis específicas .....	25
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>26</b>
<b>MARCOTEÓRICO.....</b>	<b>26</b>
1. Áridos .....	26
1.1. Árido Fino (Arena).....	26
1.2. Árido grueso (Grava – Ripio).....	27
2. Propiedades de los Áridos .....	27
2.1. Granulometría de los agregados .....	27
2.2. Curva granulométrica de los agregados .....	31
2.3. Módulo de finura del agregado fino.....	31
2.4. Tamaño Nominal máximo .....	32
2.5. Densidades .....	32
2.6. Absorción y Humedad de los agregados.....	35
3. Cemento.....	37
3.1. Cemento Hidráulico .....	38
3.2. Hidratación del Cemento.....	39

4.	Agua.....	39
4.1.	Agua de Amasado .....	39
4.2.	Agua de Curado.....	39
4.3.	Relación Agua- Cemento .....	40
5.	Vidrio.....	40
5.1.	Propiedades Mecánicas del Vidrio .....	40
5.2.	Tipos de vidrio .....	41
5.3.	Reciclaje del Vidrio.....	42
5.4.	Manipulación Segura del Vidrio.....	43
5.5.	Recomendaciones Para La Manipulación de Vidrio .....	43
5.6.	Vidrio en la Construcción.....	44
5.7.	Vidrio Como Agregado.....	45
6.	Hormigón.....	45
6.1.	Propiedades del Concreto en Estado Fresco .....	46
6.2.	Propiedades del Concreto en Estado Endurecido .....	47
7.	Ensayo de Resistencia a la Compresión .....	48
8.	Influencia del Vidrio Triturado- Molido en el Hormigón .....	49
8.1.	Indagación I .....	49
8.2.	Indagación II .....	50
8.3.	Indagación III.....	51
8.4.	Indagación IV.....	52
9.	Diseño de Hormigón por Guía del Método ACI 211.1 .....	53
9.1.	Relación Agua/Cemento.....	54
9.2.	Asentamiento .....	55
9.3.	Dosificación .....	56
9.4.	Prueba del Cono de Abraham (normas INEN) .....	57
9.5.	Fraguado y Curado.....	57
9.6.	Ensayo a Compresión INEN 1573.....	58
<b>CAPÍTULO II.....</b>		<b>60</b>
<b>MARCO METODOLÓGICO.....</b>		<b>60</b>
1.	Investigación Aplicada.....	60
2.	Investigación de Laboratorio.....	60
3.	Plan de Procesamiento .....	61
4.	Origen de los Agregados .....	61
4.1.	Agregado Fino.....	61
4.2.	Cemento .....	62
4.3.	Vidrio Molido .....	62

4.4. Agua.....	62
5. Caracterización de los Áridos.....	63
5.1. Granulometría de Árido Fino y Grueso .....	63
5.2. Densidad y Absorción .....	63
6. Caracterización del Material Reciclado.....	64
7. Diseño de Hormigones .....	65
7.1. Diseño de Mezcla para un Hormigón Convencional y para Hormigón con Sustitución de Vidrio Molido en Reemplazo Parcial del Árido Fino con Resistencia a la Compresión de 240 kg/cm <sup>2</sup> .....	66
8. Elaboración de probetas cilíndricas de hormigón .....	71
9. Ensayo de Resistencia a la Compresión .....	74
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>75</b>
<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>75</b>
1. Interpretación de Resultados .....	84
1.1. Ensayos realizados a los agregados .....	84
1.2. Ensayos realizados al Vidrio Reciclado.....	84
1.3. Ensayo de Compresión de Probetas Cilíndricas de Hormigón.....	84
2. Verificación de Hipótesis .....	84
<b>CAPITULO IV .....</b>	<b>86</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>86</b>
Conclusiones.....	86
Recomendaciones .....	87
<b>CAPÍTULO V .....</b>	<b>88</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>88</b>
<b>CAPÍTULO VI.....</b>	<b>92</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>92</b>
Foto1. Hormi CENTER CIA. LTDA. fábrica de hormigón premezclado .....	98
Foto 2. Recolección de material grueso para ensayos de caracterización .....	98
Foto 3. Recolección de material fino para ensayos de caracterización .....	98
Foto 4. Granulometría para árido grueso (TAMICES).....	98
Foto 5. Ensayo de granulometría del árido grueso .....	99
Foto 6. Toma de pesos de cada muestra tamizada del árido grueso.....	99
Foto 7. Granulometría para árido fino.....	99
(Tamices).....	99
Foto 8. Ensayo de granulometría del árido fino.....	99
Foto 9. Toma de pesos de cada muestra tamizada del árido fino .....	100
Foto 10. Condición Saturada Superficialmente Seca del árido grueso para hallar densidad .....	100
Foto11. Densidad real del árido grueso .....	100

Foto 12. Humedad del árido grueso en condiciones naturales .....	100
Foto 13. Condición Saturada Superficialmente Seca del árido fino para hallar la densidad.....	101
Foto 14. Densidad real del árido Fino .....	101
Foto15. Contenido de humedad del árido fino.....	101
Foto 16. Recolección de botellas recicladas .....	101
Foto 17. Trituración manual de las botellas de vidrio .....	102
Foto 18. Obtención del material de vidrio molido .....	102
Foto 19. Granulometría del material de cristal molido en base a la norma NTE INEN 696 del árido fino .....	102
Foto 20. Muestra del vidrio molido en estado saturado superficialmente seco .....	102
Foto 21. Densidad real del vidrio molido .....	103
Foto 22. Humedad del vidrio molido .....	103
Foto23. Muestras de material para el diseño del hormigón .....	103
Foto 24. Mezcla de todos los materiales a partir de los datos del diseño elaborado.....	103
Foto 25. Limpieza y ensarmiento de las probetas cilíndricas.....	104
Foto 26. Ensayo de asentamiento de la mezcla de hormigón.....	104
Foto 27. Probetas de hormigón .....	104
Foto 28. Secado de probetas para su respectivo ensayo a compresión.....	104
Foto 29. Ensayo de resistencia a la compresión .....	105
Foto 30. Tipos de rupturas en algunas muestras .....	105

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Serie de tamices para áridos finos y gruesos normalizados .....	28
<b>Tabla 2.</b> Asentamiento máximo método ACI 211.1 .....	56
<b>Tabla 3.</b> Requerimientos para el diseño de un hormigón con resistencia a la compresión de $f_c=240$ kg/cm <sup>2</sup> . .....	66
<b>Tabla 4.</b> Valores de para hormigones aireados y no aireados.....	67
<b>Tabla 5.</b> Volumen de árido grueso y módulo de finura del árido fino.....	67
<b>Tabla 6.</b> Porcentaje de aire según el TMN .....	68
<b>Tabla 7.</b> Cantidad de agua aproximada en función del asentamiento y TMN.....	69
<b>Tabla 8 .</b> Reducción de agua en base a la forma del árido .....	69
<b>Tabla 9 .</b> Dosificación para un hormigón con resistencia a la compresión de $f_c=240$ kg/cm <sup>2</sup> .....	70
<b>Tabla 10.</b> Dosificación para un hormigón convencional con resistencia de $f_c=240$ kg/cm <sup>2</sup> ..	71
<b>Tabla 11.</b> Consistencia del hormigón en base al ensayo de trabajabilidad.....	73
<b>Tabla 12 .</b> Resistencia a la compresión de un hormigón a los 3 días de edad.....	76
<b>Tabla 13 .</b> Resistencia a la compresión a los 7 días de edad .....	77
<b>Tabla 14 .</b> Resistencia a la compresión a los 28 días de edad.....	78
<b>Tabla 15.</b> Granulometría árido fino.....	92
<b>Tabla 16.</b> Granulometría Árido Fino.....	94
<b>Tabla 17.</b> Densidad de los agregados .....	95
<b>Tabla 18.</b> Capacidad de absorción.....	96
<b>Tabla 19.</b> Dosificación con distintos porcentajes de vidrio molido en reemplazo parcial del árido fino.....	96
<b>Tabla 20.</b> Ensayo de asentamiento .....	97

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ubicación de la Empresa HORMI center CIA.LTDA.....	23
<b>Figura 2.</b> Gradación del árido fino normalizado.....	29
<b>Figura 3</b> Requisitos de gradación para áridos gruesos normalizados .....	30
<b>Figura 4.</b> Estados de saturación del agregado.....	35
<b>Figura 5.</b> Esquema de los modelos típicos de rotura.....	49
<b>Figura 6.</b> Análisis a la resistencia a la compresión a las distintas edades de las probetas .....	50
<b>Figura 7.</b> impacto al añadir vidrio fragmentado.....	51
<b>Figura 8.</b> Curva de resistencia vs edad del hormigón .....	53
<b>Figura 9.</b> Ensayo de asentamiento .....	72
<b>Figura 10 .</b> Curva de Resistencia a la compresión del Hormigón a los 3 días de Edad vs. Porcentaje de Vidrio Molido .....	79
<b>Figura 11.</b> Curva de Resistencia a la compresión del Hormigón a los 7 días de Edad vs. Porcentaje de Vidrio Molido .....	80
<b>Figura 12 .</b> Curva de resistencia a la compresión del hormigón a los 28 días de edad vs porcentaje de vidrio molido .....	81
<b>Figura 13.</b> Resistencia a la compresión del hormigón vs Edad del Hormigón.....	82
<b>Figura 14.</b> Curva de resistencia a la compresión del hormigón vs Edad del hormigón.....	83

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1.</b> Densidad relativa (Gravedad específica).....	33
<b>Ecuación 2.</b> Densidad Relativa (Gravedad específica) .....	33
<b>Ecuación 3.</b> Densidad relativa aparente .....	33
<b>Ecuación 4.</b> Densidad seca al horno.....	33
<b>Ecuación 5.</b> Densidad en condiciones SSS .....	33
<b>Ecuación 6.</b> Densidad aparente del árido fino.....	33
<b>Ecuación 7.</b> Densidad relativa (Gravedad específica).....	34
<b>Ecuación 8.</b> Densidad relativa (gravedad específica) .....	34
<b>Ecuación 9.</b> Densidad relativa aparente (SSS).....	34
<b>Ecuación 10.</b> Densidad seca al horno (SH).....	34
<b>Ecuación 11.</b> Densidad en condiciones SSS .....	34
<b>Ecuación 12.</b> Densidad aparente en condiciones SSS.....	34
<b>Ecuación 13.</b> Absorción del árido fino.....	36
<b>Ecuación 14.</b> Absorción del árido grueso.....	36
<b>Ecuación 15.</b> Humedad de los agregados.....	37
<b>Ecuación 16.</b> Determinación de $f^c$ .....	48

## RESUMEN

El propósito de este estudio investigativo es examinar las características del hormigón empleando vidrio molido como sustituto parcial del árido fino. El vidrio molido usado en este análisis se obtuvo reciclando botellas y fragmentos de vidrio, que se trituraron hasta obtener partículas con el tamaño adecuado. Así también, se realizó la caracterización de materiales de manera que se pueda verificar que cada uno de ellos sea apto para la realización de hormigones según lo establecido en las Normativas Ecuatorianas. Para los ensayos a compresión, se prepararon 32 probetas de concreto: 2 probetas convencionales sin vidrio molido y 2 para cada porcentaje de sustitución del 10%, 20%, 30%, 40% y 60% de vidrio molido. Estas probetas fueron sometidas a un proceso de curado de 3, 7 y 28 días, para evaluar el efecto del tiempo en las propiedades del concreto, además que fueron fundamentales para determinar cómo el vidrio molido reciclado afecta a la capacidad de compresión del concreto examinando las variaciones en la resistencia a la compresión en función del porcentaje de sustitución de vidrio y del tiempo de curado. Con este ensayo se determinó que el hormigón que posee el 30% y 40% de vidrio molido logró obtener propiedades similares a un hormigón con resistencia a la compresión  $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$  demostrando la viabilidad y factibilidad de utilizar vidrio molido reciclado como material de reemplazo parcial en la fabricación de concreto.

***Palabras Claves:*** hormigón convencional, vidrio molido, resistencia, compresión, sostenibilidad.

## ABSTRACT

The purpose of this investigative study is to examine the characteristics of concrete using ground glass as a partial substitute for fine aggregate. The ground glass used in this analysis was obtained by recycling bottles and glass fragments, which were crushed until obtaining particles of the appropriate size. Likewise, the characterization of materials was carried out so that it can be verified that each of them is suitable for the production of concrete according to what is established in the Ecuadorian Regulations. For the compression tests, 32 concrete specimens were prepared: 2 conventional specimens without ground glass and 2 for each replacement percentage of 10%, 20%, 30%, 40% and 60% of ground glass. These specimens were subjected to a curing process of 3, 7 and 28 days, to evaluate the effect of time on the properties of the concrete, in addition, they were fundamental to determine how the recycled ground glass affects the compressive capacity of the concrete by examining the variations in compressive strength depending on the percentage of glass replacement and curing time. With this test, it was determined that the concrete that has 30% and 40% ground glass managed to obtain properties similar to concrete with compressive strength  $f'_c=240 \text{ kg/cm}^2$ , demonstrating the viability and feasibility of using recycled ground glass as partial replacement material in concrete manufacturing.

**Key Words:** conventional concrete, ground glass, resistance, compression, sustainability.

## I. INTRODUCCIÓN

La resistencia a la compresión es una propiedad clave que determina la capacidad de un material para soportar cargas de aplastamiento sin sufrir deformaciones o fallas catastróficas. En el contexto de la cimentación, es crucial asegurar que los elementos estructurales, como columnas, vigas y losas, tengan una resistencia adecuada para soportar las cargas esperadas durante su vida útil (Carrillo, 2019).

El hormigón convencional, compuesto principalmente por cemento, agregados finos y gruesos, y agua, se ha utilizado en la construcción por su resistencia a la compresión. Sin embargo, en la última década, ha despertado un interés creciente por mejorar las propiedades del hormigón tradicional y reducir su impacto ambiental. En este sentido, la incorporación de adiciones y sustituciones en la mezcla de hormigón ha surgido como una estrategia prometedora (Armijos & Chabla, 2021).

Una de las adiciones estudiadas es el vidrio molido, que se obtiene a partir del reciclaje de envases de vidrio. La fusión de vidrio en el concreto tiene el potencial de mejorar algunas propiedades, como la resistencia mecánica, la durabilidad y la trabajabilidad. (González, 2020). Además, su uso contribuye a la reducción de residuos y al fomento de prácticas sostenibles.

El estudio de la resistencia de un hormigón con mezcla de vidrio molido implica la evaluación de la capacidad de este material para soportar cargas de compresión (Montalvo, 2021). Esto se logra mediante la fabricación de muestras de ensayos para pruebas, mismos que se moldean y curan según los estándares y normas nacionales e internacionales. Estos especímenes se someten a ensayos de compresión, donde se aplican fuerzas graduales hasta que se produce la falla del material. La carga máxima soportada por el hormigón antes de la falla se registra como la fuerza a la compresión.

Además, es importante destacar que el análisis comparativo entre el hormigón convencional y el hormigón con mezcla de vidrio molido implica la realización de pruebas en ambos tipos de hormigón en condiciones controladas y utilizando las mismas metodologías. Esto asegura la objetividad y la veracidad de los resultados obtenidos.

Por otro lado, la incorporación de vidrio pulverizado en la dosificación de hormigón no solo podría mejorar las propiedades mecánicas, sino también reducir la cantidad de residuos generados por la industria del vidrio y promover una economía circular (Peñafiel, 2016). Al utilizar un material reciclado como el vidrio molido, se contribuiría a la disminución de la extracción de recursos naturales y a la reducción de la huella de carbono asociada a la fabricación del material de concreto.

Además, el uso de vidrio molido en el hormigón podría proporcionar beneficios estéticos, ya que este material puede agregar un aspecto distintivo al hormigón, en función del tamaño y color de vidrio utilizado (Peñafiel, 2016). Esto podría ser especialmente relevante en proyectos arquitectónicos donde se busca crear diseños innovadores y atractivos, sin embargo, es importante considerar que el estudio de la resistencia estructural del hormigón con mezcla de vidrio molido debe abordar también posibles desafíos y limitaciones. Algunos de estos desafíos podrían estar relacionados con la influencia de la cantidad y características del vidrio reciclado en la resistencia estructural del hormigón, así como la necesidad de optimizar las proporciones de la mezcla para lograr un equilibrio adecuado entre resistencia y trabajabilidad.

## **II. PROBLEMA**

El campo de la construcción se enfrenta a la necesidad de encontrar alternativas más respetuosas con el medio ambiente y sostenibles a largo plazo, para reducir el impacto que tiene con el entorno en un futuro. Durante los últimos años se ha dado realce a las investigaciones que buscan contrarrestar las ramificaciones ambientales, en especial a aquellas que emplean material reciclado como agregado para la elaboración de concreto reforzado. La adopción de vidrio regenerado como componente en la construcción ha generado interés entre profesionales de la edificación y la Ingeniería civil, por su capacidad potencial para minimizar la generación de residuos y atenuar la huella de carbono. No obstante, es crucial emprender un análisis exhaustivo de la viabilidad y eficacia de la incorporación del vidrio reciclado como sustituto parcial de materiales convencionales en el proceso de fabricación del hormigón.

### III. ANTECEDENTES

Un estudio publicado en la revista *Journal of Cleaner Production*, Almedia y Wang, (2023), señala que el uso de vidrio molido reciclado en la mezcla de hormigón puede mejorar su resistencia a la compresión y reducir su impacto ambiental. Los resultados del estudio mostraron que el uso de vidrio molido reciclado en la mezcla de hormigón aumentó la resistencia a la compresión en un 6,7 % y redujo la huella de carbono del concreto en un 14,3%.

Otra investigación llevada a cabo por Topcu y Karakurt (2018), se evaluó la resistencia a la compresión del hormigón que contiene diferentes porcentajes de vidrio reciclado. Los resultados mostraron que el uso de cristal reciclado como remplazo parcial del agregado grueso disminuyó la resistencia a la compresión, sin embargo, cuando se utilizó como reemplazo parcial del agregado fino, se logró una resistencia de aplastamiento similar a la del hormigón convencional. Los investigadores concluyeron que el vidrio reciclado puede usarse como agregado fino en el hormigón sin afectar su resistencia a la compresión, lo que puede ayudar a reducir el impacto ambiental de la construcción.

Por lo tanto, se considera que los estudios presentados demuestran la viabilidad y pertinencia de la incorporación de partículas de vidrio molido en el proceso de confección de concreto. El incremento observado en la resistencia a la compresión y el fortalecimiento de la durabilidad contribuyen ventajas sustanciales que ostentan el potencial de optimizar la calidad y conservación de las estructuras edificadas. Asimismo, la utilización de material reciclado se establece como una estrategia eficaz para minimizar la generación de desechos y contribuir al fomento de la sostenibilidad ambiental en la industria de la construcción.

#### IV. IMPORTANCIA Y ALCANCES

El hormigón es un material de construcción muy utilizado en todo el mundo por su resistencia, durabilidad y eficiencia en la producción, no obstante, se ha generado una creciente inquietud en torno a su producción convencional, la cual consume una cantidad sustancial de recursos naturales, lo que ha impulsado una mayor atención hacia sus impactos medioambientales. En esta perspectiva, la integración de materiales reciclados, como el vidrio molido, en la composición del hormigón, se presenta como una alternativa de sostenibilidad con el potencial de reducir las emisiones de carbono asociadas a la industria de la construcción.

Cuando se aborda al diseño y la construcción de estructuras de hormigón, resulta imperativo tomar en cuenta la propiedad mecánica primordial que es la resistencia a la compresión. En este sentido, incluir vidrio molido en la composición del hormigón es una alternativa atractiva y sostenible que mejora sustancialmente los aspectos relacionados con la estabilidad ante la compresión, la permeabilidad y la durabilidad del material, además, el uso de vidrio molido como componente en la mezcla de concreto es aplicable a varios tipos de hormigón incluyendo el prefabricado y el autocompactante.

El propósito de este estudio, que adopta un enfoque descriptivo, explicativo y correlacional, consiste en una minuciosa valoración del proceso de producción de hormigón convencional de resistencia a la compresión  $f^c = 240 \text{ kg/cm}^2$  con adición de vidrio molido en reemplazo parcial del árido fino, su objetivo principal es analizar la resistencia a la compresión de las probetas resultantes determinando la cantidad óptima de vidrio triturado que debe agregarse para lograr el mejor rendimiento en términos de resistencia a la compresión.

Por lo tanto, el análisis de resistencia a la compresión de un hormigón con vidrio molido en comparación con un hormigón convencional de resistencia a la compresión es esencial para

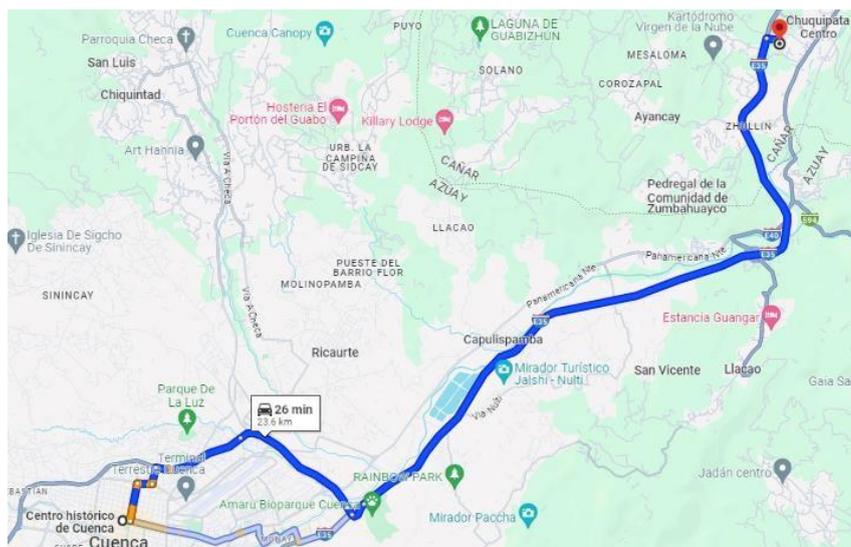
comprender el impacto de esta modificación en las propiedades mecánicas, la sostenibilidad y la eficiencia en la construcción.

## V. DELIMITACIÓN

El proyecto de titulación se llevará a cabo en las instalaciones de la empresa HORMI center CIA. LTDA., ubicada en la Autopista Azogues – Cuenca Km 8, Sector El Cisne.

Parroquia Javier Loyola, siguiendo la representación geográfica que se muestra en la figura adjunta.

**Figura 1.** Ubicación de la Empresa HORMI center CIA.LTDA.



**Nota.** En el mapa se indica la ubicación desde el centro de la ciudad de Cuenca hacia la empresa de construcción HORMI center CIA. LTDA., ubicación donde se realizará el proyecto de titulación.

## **Temporal**

El presente análisis de resistencia a la compresión de  $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$  de un hormigón convencional y un hormigón con mezcla de vidrio molido en reemplazo parcial del árido fino se realizará durante el periodo 63 entre el mes de octubre y finalizando el mes de febrero del 2024.

## **Sectorial o Institucional**

El desarrollo y ejecución del proyecto se llevará a cabo en los laboratorios de HORMI center CIA.LTDA., cuyas sedes se encuentran ubicadas en la Autopista Azogues – Cuenca Km 8, Sector El Cisne. Estas instalaciones, dotadas con infraestructura especializada, proveerán el entorno óptimo para el desarrollo exitoso de todas las fases y actividades planificadas del proyecto.

## **VI. OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS**

### **Objetivo General**

Analizar la resistencia a la compresión de  $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$  entre un hormigón convencional y un hormigón con mezcla de vidrio molido en reemplazo parcial del árido fino.

### **Objetivos específicos**

- Determinar los parámetros iniciales de los componentes del hormigón en base a la normativa NTE INEN para el análisis de la resistencia a la compresión mediante el comportamiento de un hormigón convencional y un hormigón con mezcla de vidrio molido.
- Elaborar probetas para los ensayos de resistencia a la compresión en base a la normativa del Instituto Americano del Concreto ACI 211.1 y NTE INEN para un hormigón convencional y un hormigón con mezcla de vidrio molido en reemplazo parcial del árido fino.

- Evaluar los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión de un hormigón convencional y un hormigón con mezcla de vidrio molido.

## VII. HIPÓTESIS

### **Hipótesis General**

Se analizará la resistencia a la compresión de  $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$  entre un hormigón convencional y un hormigón con mezcla de vidrio molido en reemplazo parcial del árido fino.

### **Hipótesis específicas**

- El prototipo diseñado de hormigón convencional debe cumplir con una resistencia a la compresión de  $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$  a los 28 días.
- Verificar que diseño de hormigón  $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$  con mezcla de vidrio molido en reemplazo parcial de árido fino asemeja sus propiedades de resistencia a un hormigón convencional de  $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$  a los 28 días.

# CAPÍTULO I

## MARCOTEÓRICO

### 1. Áridos

Según la norma INEN 694 los áridos son el material granular como arena, grava, piedra triturada o escoria de altos hornos de hierro que se una con un cementante para la elaboración de hormigones o morteros de cemento hidráulico. Estos se clasifican según el tamaño de los materiales granulares, además, estos deben cumplir con la norma INEN 872 en dónde indica las granulometrías adecuadas para realizar un diseño de hormigón idóneo bajo la normativa ACI 211.

Bendezú (2019) indica que una de las principales funciones que poseen los materiales granulares o agregados es la de transmitir su resistencia a la compresión y abrasión al concreto, por lo cual es necesario que estos sean fuertes, durables y limpios garantizando la adherencia con la pasta de cemento.

Por otro lado, la cantidad de agua presente en los agregados se establece conforme a las regulaciones definidas en la norma INEN 862. Este aspecto adquiere relevancia durante el proceso de endurecimiento, ya que el cemento experimenta una contracción de su volumen, y los agregados desempeñan un papel importante al contrarrestar los cambios en el volumen global.

#### *1.1. Árido Fino (Arena)*

Los áridos finos recomendados son los de tipo silíceo, calizas sólidas y densas, sin embargo, la arena más eficiente es la de río. Según la INEN 694 (2010) es considerado árido fino aquel que pasa por el tamiz de 9,5 mm (3/8") y que además la mayor parte de sus partículas pasan por el tamiz de 4,75 mm (No.4) y son retenidas en su mayoría en el tamiz 75  $\mu$ m (No.200)

o la parte de un árido que pasa por el tamiz de 4,75 mm (No.4) y es retenido en el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (No. 200).

### ***1.2. Árido grueso (Grava – Ripio)***

Es considerado árido grueso aquellos que sobrepasan los 4.75mm. En el caso de este tipo de agregado es recomendable que si lo que se requiere es resistencia el mismo sea triturado ya que favorece el proceso de unión con la pasta.

Al igual que los áridos finos la INEN 694 (2010) define a los áridos gruesos como el árido en que la mayor parte de sus partículas quedan retenidas en el tamiz de 4,75 mm (No. 4) o (2) la porción de un árido retenido sobre el tamiz de 4,75 mm (No. 4). También, la ASTM C 33 hace mención de que el agregado grueso comprende grava, grava triturada, piedra triturada, escoria de alto horno enfriada al aire o concreto de cemento hidráulico triturado o también puede ser una combinación de ellos.

## **2. Propiedades de los Áridos**

### ***2.1. Granulometría de los agregados***

Se trata de una prueba que permite obtener la distribución adecuada de partículas de material granular en función de su tamaño, utilizando una serie de tamices conforme a la serie de Tyler. Este ensayo se ajusta a las pautas establecidas en la norma INEN 696. A través de este procedimiento, se logra una combinación óptima de agregados finos y gruesos para la fabricación de hormigón.

Según las pautas del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN 696) sobre el análisis granulométrico de los áridos fino y grueso, la Figura 3 exhibe la secuencia de tamices establecida por la normativa nacional. Esta serie de tamices, aplicable tanto al árido fino como al grueso, establece su punto de separación a partir del tamiz N° 4.

**Tabla 1.** Serie de tamices para áridos finos y gruesos normalizados

<b>N° de tamices</b>	<b>Abertura tamiz (mm)</b>
<b>2"</b>	50
<b>1 1/2"</b>	37,5
<b>1"</b>	25
<b>3/4"</b>	19
<b>1/2"</b>	12,5
<b>3/8"</b>	9,5
<b>N°4</b>	4,75
<b>N°8</b>	2,38
<b>N°10</b>	2
<b>N°16</b>	1,19
<b>N°20</b>	0,84
<b>N°30</b>	0,59
<b>N°40</b>	0,42
<b>N°50</b>	0,297
<b>N°60</b>	0,246
<b>N°80</b>	0,177
<b>N°100</b>	0,149
<b>N°200</b>	0,074

La normativa ecuatoriana NTE INEN 872 especifica los límites granulométricos que los áridos deben cumplir para su uso en la construcción dentro del país. En la figura 2 se detallan los límites correspondientes al árido fino, mientras que en la figura 3 establece límites más extensos para los áridos gruesos. Esta ampliación se debe a la necesidad de adaptarse a las variadas condiciones de los áridos presentes en diversas regiones del país.

**Figura 2.** Gradación del árido fino normalizado

<b>Tamiz (NTE INEN 154)</b>	<b>Porcentaje que pasa</b>
9,5 mm	100
4,75 mm	95 a 100
2,36 mm	80 a 100
1,18 mm	50 a 85
600 $\mu\text{m}$	25 a 60
300 $\mu\text{m}$	5 a 30
150 $\mu\text{m}$	0 a 10

*Nota.* Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 872, por Universidad Estatal de la Península de Santa Elena, (s.f.), <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-estatal-peninsula-de-santa-elena/ingenieria-economica/normas-inen-872-535667/6343647>.

**Figura 3** Requisitos de gradación para áridos gruesos normalizados

Tamaño nominal (Tamices con aberturas cuadradas (mm))	Porcentaje acumulado que debe pasar cada tamiz de laboratorio (aberturas cuadradas)													
	100 mm	90 mm	75 mm	63 mm	50 mm	37,5 mm	25,0 mm	19,0 mm	12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm	2,36 mm	1,18 mm	300 $\mu$ m
de 90 a 37,5	100	90 a 100	...	25 a 60	...	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...	...
de 63 a 37,6	...	...	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...	...
de 50 a 25,0	...	...	...	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...
de 50 a 4,75	...	...	...	100	95 a 100	...	35 a 70	...	10 a 30	...	0 a 5	...	...	...
de 37,5 a 19,0	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...
de 37,5 a 4,75	...	...	...	...	100	95 a 100	...	35 a 70	...	10 a 30	0 a 5	...	...	...
de 25,0 a 12,5	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	...	...	...	...
de 25,0 a 9,5	...	...	...	...	...	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	...	...	...
de 25 a 4,75	...	...	...	...	...	100	95 a 100	...	25 a 60	...	0 a 10	0 a 5	...	...
de 19,0 a 9,5	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	...	...	...
de 19,0 a 4,75	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	...	20 a 55	0 a 10	0 a 5	...	...
de 12,5 a 4,75	...	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	...	...
de 9,5 a 2,36	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	...
de 9,5 a 1,18	...	...	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
de 4,75 a 1,18	...	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

*Nota.* Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 872, por Universidad Estatal de la Península de Santa Elena, (s.f.),

<https://www.studocu.com/ec/document/universidad-estatal-peninsula-de-santa-elena/ingenieria-economica/normas-inen-872-535667/6343647>.

Los resultados del análisis se representan mediante gráficas de escala logarítmica, las cuales permiten determinar si los áridos están adecuadamente graduados o no. En caso de estar bien graduados, pueden ser utilizados directamente, sin embargo, si muestran lo contrario se lleva a cabo la corrección correspondiente.

### ***2.2. Curva granulométrica de los agregados***

La norma ASTM C33 establece los límites en cuanto a la distribución de tamaños de partículas, con el propósito de evaluar si el agregado es adecuado para la fabricación de hormigón. Una vez que se ha determinado la idoneidad del material para su aplicación, se procede a realizar nuevas evaluaciones y consideraciones.

### ***2.3. Módulo de finura del agregado fino***

Este parámetro es conocido como módulo de granulometría y se obtiene mediante la suma de los porcentajes de material retenido en tamices de la serie de Tyler hasta el tamiz N°100, dividiendo el resultado por 100. Una disminución en el módulo de finura señala un agregado más fino. Para que el área sea considerada adecuada en la producción de hormigón, este valor debe situarse entre 2.3 a 3.1.

La caracterización del material fino en este estudio se ha llevado a cabo meticulosamente, siguiendo los límites específicos establecidos por la norma INEN. Aquellos componentes que se encuentran dentro de los rangos especificados en la normativa son clasificados como material fino, reflejando así su conformidad con los estándares definidos. Por otro lado, cualquier componente que se sitúe fuera de los límites establecidos por la norma es considerado como material grueso. Este enfoque estratégico garantiza una clasificación precisa y consistente del material fino, proporcionando una base sólida para la evaluación de sus propiedades y su idoneidad en la formulación del hormigón, en pleno cumplimiento con las normativas vigentes.

#### **2.4. Tamaño Nominal máximo**

Asocreto (2010, pág.64) indica que el tamaño nominal máximo del árido es la abertura más pequeña de tamiz a través de la cual se permite que pase la totalidad del árido. También, se establece el tamaño nominal máximo como, al del tamiz inmediatamente superior a aquel cuyo porcentaje retenido acumulado es de 15% o más.

#### **2.5. Densidades**

Peñañiel (2016) menciona algunas de las propiedades que poseen tanto los áridos gruesos como finos.

**Densidad real de los agregados.** Este valor se corresponde con la masa del material en su estado de humedad saturada superficial seca, lo que significa que no presenta humedad en la superficie, pero los poros de las partículas están saturados de agua. Este valor se obtiene dividiendo la masa del material por su volumen. En el caso de los agregados finos, esta densidad se determina mediante el método del picnómetro, siguiendo las pautas establecidas en la norma INEN 856 (ASTM C128). En este método, la densidad real se define como la relación entre la masa del material en el aire y la masa en el aire de un volumen equivalente de agua. Por otro lado, para los agregados gruesos, se lleva a cabo el ensayo de acuerdo con la norma INEN 856 (ASTM C128). utilizando el método de la canastilla.

**Densidad Aparente Suelta.** Esta es la relación entre a masa del agregado suelto para el volumen del recipiente que lo contiene. El procedimiento que se debe realizar para determinar este parámetro está dado por la norma INEN 856 (ASTM C128).

**Densidad Aparente Compactada.** El procedimiento para determinarlo está dado por la norma INEN 856 (ASTM C128), se define como la división de la masa del agregado compactado en un molde cilíndrico en tres capas con 25 golpes de varilla para el volumen del recipiente. Para

establecer la densidad y gravedad específica de los áridos, se emplean las fórmulas de la norma NTE INEN 856 para árido fino y NTE INEN 857 para árido grueso.

La densidad del árido fino se obtiene a partir de las siguientes ecuaciones:

**Ecuación 1.** Densidad relativa (Gravedad específica)

$$D = \frac{A}{(B + S - C)}$$

**Ecuación 2.** Densidad Relativa (Gravedad específica)

$$D = \frac{S}{(B + S - C)}$$

**Ecuación 3.** Densidad relativa aparente

$$D = \frac{A}{(B + A - C)}$$

**Ecuación 4.** Densidad seca al horno

$$SH = \frac{997.5 * A}{(B + S - C)} \left( \frac{kg}{m^3} \right)$$

**Ecuación 5.** Densidad en condiciones SSS

$$Densidad (SSS) = \frac{997.5 * S}{(B + S - C)} \left( \frac{kg}{m^3} \right)$$

**Ecuación 6.** Densidad aparente del árido fino

$$Densidad aparente = \frac{997.5 * A}{(B + A - C)} \left( \frac{kg}{m^3} \right)$$

En donde:

A: Masa de la muestra seca al horno, (gr).

B: Masa del picnómetro lleno con agua hasta la marca de calibración, (gr).

C: Masa del picnómetro lleno con muestra y agua hasta la marca de calibración, (gr).

S: Masa de muestra saturada superficialmente seca (SSS) utilizada en el procedimiento gravimétrico, para determinar la densidad y densidad relativa o absorción, (gr).

La densidad del árido grueso se obtiene a partir de las siguientes ecuaciones.

**Ecuación 7.** Densidad relativa (Gravedad específica)

$$D = \frac{A}{(B - C)}$$

**Ecuación 8.** Densidad relativa (gravedad específica)

$$D = \frac{B}{(B - C)}$$

**Ecuación 9.** Densidad relativa aparente (SSS)

$$D = \frac{A}{(A - C)}$$

**Ecuación 10.** Densidad seca al horno (SH)

$$\text{Densidad (SH)} = \frac{997,5 * A}{(B - C)} \left( \frac{kg}{m^3} \right)$$

**Ecuación 11.** Densidad en condiciones SSS

$$\text{Densidad (SH)} = \frac{997,5 * B}{(B - C)} \left( \frac{kg}{m^3} \right)$$

**Ecuación 12.** Densidad aparente en condiciones SSS

$$\text{Densidad Aparente} = \frac{997,5 * A}{(A - C)} \left( \frac{kg}{m^3} \right)$$

Donde:

A: Masa de la muestra seca al horno, (gr).

B: Masa de la muestra saturada superficialmente seca, (gr).

C: Masa aparente en agua de la muestra saturada, (gr).

SH: Secado al Horno.

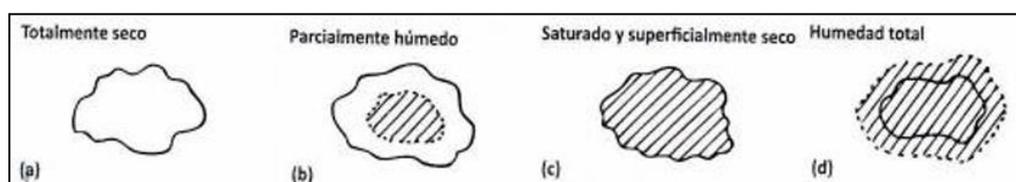
SSS: Saturado Superficialmente Seco.

### 2.6. Absorción y Humedad de los agregados

Se refiere a la cantidad de agua requerida para que el material alcance su estado de saturación superficialmente seca, que es un punto de equilibrio. La calidad de los agregados será superior cuando este valor sea más bajo. Este parámetro se obtiene comparando la masa de agua presente en el material en su estado natural con la masa de agua cuando el material se ha secado al horno. Este proceso se conoce como el contenido de humedad y se rige por la norma INEN 862.

Hernández (2010) desde su punto de vista representa gráficamente cuatro posibilidades donde los agregados muestran su porosidad y la capacidad de absorber agua, de acuerdo con la Figura 4 que se muestra a continuación:

**Figura 4.** Estados de saturación del agregado



**Nota.** Recuperado de Niño Hernández, J. (2010). Tecnología de concreto (Tercera Ed.). ASOCRETO.

- a. **Totalmente seco:** demostrando que todos los poros internos y externos están completamente vacíos.
- b. **Parcialmente húmedo:** Indica que en la parte externa se encuentra seco, con la parte inferior de la masa y de los poros internos llenos de agua.
- c. **Saturado superficialmente seco:** la masa inferior tiene los poros llenos de agua, pero la parte superficial se encuentra seca.
- d. **Humedad total:** toda la masa se encuentra llena de agua incluyendo la acumulación de humedad de la superficie

Es crucial conocer la absorción y la humedad de los áridos ya que influyen en la proporción agua/cemento al momento de realizar el diseño del hormigón. Si la humedad del árido supera su capacidad de absorción se debe reducir el agua en la mezcla, caso contrario, si la absorción es mayor que la humedad, se requiere agregar agua en la mezcla.

Asimismo, para obtener la absorción se requiere de las normas establecidas NTE INEN 856 para agregado fino y NTE INEN 857 para árido grueso. Por otro lado, para hallar la humedad nos basamos en la norma NTE INEN 862.

**Ecuación 13.** Absorción del árido fino

$$Abs. Fino (\%) = \frac{S - A}{A} * 100$$

En dónde:

A: Masa de la muestra seca al horno, (gr).

S: Masa de la muestra saturada superficialmente seca, (gr).

**Ecuación 14.** Absorción del árido grueso

$$\text{Abs. Grueso (\%)} = \frac{B - A}{A} * 100$$

En dónde:

A: Masa de la muestra seca al horno, (gr).

B: Masa de la muestra saturada superficialmente seca, (gr).

**Ecuación 15.** Humedad de los agregados

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{B - A}{A} * 100$$

En donde:

W: Masa de la muestra original, (gr).

D: Masa de la muestra seca, (gr).

### 3. Cemento

En el marco de esta investigación, se utilizó cemento de marca Holcim Fuerte, específicamente el tipo GU. Este tipo de cemento se usa en construcciones tradicionales por sus propiedades destacadas. Está diseñado para ser versátil y apto para aplicaciones en diferentes tipos de edificaciones, con atributos notables en términos de durabilidad, resistencia y densidad.

Es fundamental destacar que este material cumple con los estándares establecidos por la norma NTE INEN 2380. Específicamente, la norma mencionada establece los parámetros de calidad y características que este tipo de cemento debe cumplir, asegurando para su uso en proyectos de construcción.

### **3.1. Cemento Hidráulico**

La norma INEN 151 (2010) indica que el cemento hidráulico es conocido como el “cemento que fragua y endurece por reacción química con agua y es capaz de hacerlo aún bajo el agua”. De acuerdo con la misma Norma antes mencionada, el cemento hidráulico puede ser clasificado como GU cuando este no posea propiedades físicas o químicas modificadas o con características que le den atributos adicionales, si en caso este sucediera, el mismo cemento debe ser clasificado en cemento hidráulicos con características específicas.

A continuación, se detallan los tipos de cementos clasificados según la norma INEN 2380, así como sus propiedades químicas y físicas.

- **Tipo GU:** se usa cuando no se requiere uno o más de los tipos especiales, además de en construcciones generales.
- **Tipo HE:** alta resistencia inicial.
- **Tipo MS:** moderada resistencia a los sulfatos.
- **Tipo HS:** alta resistencia a los sulfatos.
- **Tipo MH:** moderado calor de hidratación
- **Tipo LH:** bajo calor de hidratación.
- **Tipo adicional:** Es de tipo adicional cuando el cemento es de baja reactividad con áridos reactivos álcali-sílice, además se debe agregar la letra “R” para indicar que el cemento hidráulico ha sufrido una modificación, esto en caso de que el tipo de cemento cumpla con la definición establecida por la norma y las características de uno de los tipos de cementos antes mencionados. Cada una de las propiedades físicas o químicas del cemento hidráulico se encuentran establecidas en la NTE INEN 2380.

### **3.2. Hidratación del Cemento**

En opinión de Pascal (1998), la hidratación abarca reacciones químicas entre el agua y los componentes del cemento, que resultan en la transformación del material de un estado plástico a uno endurecido, con las características inherentes a los nuevos compuestos generados. Estos componentes, como mencionado previamente, reaccionan con el agua para dar lugar a la formación de hidróxidos e hidratos de calcio complejos.

La hidratación completa requiere agua para la reacción química y la creación de estructuras de vacíos o espacio para los productos de hidratación. También es necesario mantener la temperatura adecuada y permitir que el tiempo transcurra. Esto nos lleva al concepto fundamental del curado, que implica garantizar la presencia de estos elementos ya mencionados para que el proceso de hidratación se desarrolle totalmente.

## **4. Agua**

### **4.1. Agua de Amasado**

El agua se utiliza para lograr la amalgama entre el cemento y los materiales pétreos, dando lugar a una sustancia maleable, plástica y conformable. La cantidad de agua requerida se determina a partir de la proporción calculada; un exceso de agua que se evapora puede resultar en la formación de vacíos en el hormigón, lo que disminuye su resistencia. Por otro lado, si se utiliza menos agua de la necesaria, la manejabilidad del material se reduce, lo que complica su colocación en la obra (Catalan,2015).

### **4.2. Agua de Curado**

El agua de curado actúa durante el proceso de fraguado y primer endurecimiento del concreto, de manera que se evite reacciones prematuras, mejorando la hidratación del cemento e impidiendo la desecación.

### ***4.3. Relación Agua- Cemento***

Un exceso de agua debilita el hormigón, y por eso este factor se convierte en un elemento de gran relevancia en la supervisión de la calidad del concreto. Cuando existe una proporción mayor de agua en comparación con el cemento, conocida como relación agua-cemento o A/C, la resistencia del hormigón se ve reducida. Además, esta relación A/C influye en aspectos como la durabilidad, la fluidez y la retracción del material. Además, es el valor más crucial en la tecnología del hormigón, ya que influye en la resistencia, durabilidad, así como en los coeficientes de contracción y fluencia, también define la estructura interna de la pasta de cemento una vez que ha endurecido.

## **5. Vidrio**

Catalán (2013) indica que el vidrio tiene una apariencia rígida, quebradiza y transparente, aunque, en realidad, posee la característica de ser un fluido con una viscosidad muy alta. Su composición está dada de diversos óxidos metálicos, siendo el óxido de sílice, también conocido como silicio ( $\text{SiO}_2$ ), el componente principal. A simple vista, podría parecerse al cristal, pero se diferencia fundamentalmente en la disposición de las moléculas que lo constituyen. En el vidrio, los enlaces Si-O se encuentran dispuestos de forma irregular, sin un patrón definido, lo que lo clasifica como un material amorfo. Para fabricar vidrio, se usan arena de sílice ( $\text{SiO}_2$ ), carbonato sódico ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) y caliza ( $\text{CaCO}_3$ ) como materias primas, siendo que la arena de sílice y la arcilla son materiales en abundancia en la corteza terrestre, lo que facilita su obtención sin un alto consumo de energía.

### ***5.1. Propiedades Mecánicas del Vidrio***

**Fragilidad.** Producido a causa de tensiones puntuales originadas por grietas que no son visibles en la superficie, lo que resulta en una reducción de su resistencia mecánica.

**Dureza.** Se estima que su nivel de dureza se sitúa entre 6 y 7 en la escala de Mohs, y este valor se aplica indistintamente tanto al vidrio recocido como al vidrio sin procesar o templado.

**Elasticidad.** Debido a su naturaleza quebradiza, solo muestra una capacidad de deformación plástica cuando se encuentra a temperaturas elevadas, comenzando a deformarse plásticamente a partir de los 600 °C y alcanzando su punto de fusión a los 1000 °C.

**Peso Específico.** El peso específico del vidrio comercial suele ser 2,59 g/cm<sup>3</sup>.

**Resistencia a la Tracción.** Depende de las pequeñas grietas que puedan existir en la superficie, teóricamente se considera que su resistencia es aproximadamente cinco veces mayor que la del acero, que es de 70,000 kg/cm<sup>2</sup>. No obstante, en la realidad, se calcula que la resistencia del vidrio templado se encuentra en torno a los 1,000 kg/cm<sup>2</sup>, y la del vidrio recocido alrededor de los 400 kg/cm<sup>2</sup>.

**Resistencia a la Flexión.** Guarda similitudes con la resistencia a la tracción, ya que las fuerzas ejercidas sobre el vidrio se focalizan en las imperfecciones presentes en su superficie y pueden propagarse eficazmente gracias a su estructura uniforme.

**Resistencia a la Compresión.** Su valor se sitúa aproximadamente en los 10,000 kg/cm<sup>2</sup>, lo que refleja su notable capacidad para resistir fuerzas que ejercen una compresión sobre el material.

## ***5.2. Tipos de vidrio***

**Templado.** vidrio cuyas características se han mejorado mediante un proceso de enfriamiento rápido que incrementa su capacidad de resistencia a la flexión y al choque térmico se caracteriza por romperse en fragmentos diminutos en caso de ruptura, lo que lo convierte en una opción más segura para prevenir accidentes.

**Laminado.** El proceso de creación implica combinar dos o más láminas de vidrio con una capa intermedia de PVB que es elástica y adhesiva. Esta construcción garantiza que el vidrio permanezca cohesionado en situaciones de impacto, lo que, a su vez, le otorga una mayor resistencia.

**Armado.** Se trata de vidrio que contiene una malla metálica en su interior, la cual tiene la función de mantener las piezas unidas en caso de que el vidrio se rompa. Es importante destacar que este tipo de vidrio no es adecuado para su uso en condiciones de alta temperatura.

**Vidrio Resistente a Altas Temperaturas.** Este tipo de vidrio se crea con boro silicato de sodio en su composición, lo que disminuye su coeficiente de expansión térmica. Como consecuencia, se obtiene un material con capacidades de aislamiento térmico, sin que ello afecte su resistencia original.

### ***5.3. Reciclaje del Vidrio***

Es importante combinar el reciclaje del vidrio con su reutilización, con el propósito de disminuir la utilización de recursos no renovables. Esto resulta en una reducción en el consumo de energía y combustibles empleados en la fabricación de nuevos productos de vidrio, así como en una disminución de la emisión de sustancias nocivas al medio ambiente. Un aspecto relevante es que el vidrio no tiene límite en el número de veces que puede reutilizarse. Cuando se tritura, mantiene sus propiedades inalteradas, por lo que es un material adecuado para incorporarse en la fabricación de hormigón.

Cabezas y Zamora (2019) indican que el vidrio posee características que lo clasifican como un material amigable con el medio ambiente, esto es, un material completamente reciclable, puede reutilizarse y reciclarse en múltiples ocasiones sin afectar su calidad. Además, el vidrio representa el 7% de los desechos en la basura a nivel mundial, pudiendo afirmar que es un material con un gran potencial de reutilización y aprovechamiento (Flores, s.f.)

La forma correcta de reciclar este material implica reutilizar productos como botellas, para almacenarlos y disponerlos en contenedores de reciclaje, para reducir la contaminación ambiental. Además, Raju y Kumar (2014) señalan que los residuos de vidrio son extremadamente resistentes. Antes de incorporar el polvo de vidrio en la mezcla de concreto, es necesario triturarlo hasta alcanzar el tamaño requerido (pág. 422).

En este trabajo de titulación se usará vidrio con envases de bebidas como refrescos, cerveza, vino, licores, trozos de ventanas y puertas, y vidrios domésticos, resaltando la importancia del reciclaje, ya que se permite mantener las propiedades del producto y reducir la energía innecesaria en su fabricación.

#### ***5.4. Manipulación Segura del Vidrio***

En la mayoría de los entornos laborales, existe un riesgo potencial de lesiones durante la recolección, almacenamiento, manipulación y eliminación de productos de vidrio o vidrios dañados. Los vidrios quebrados tienen el potencial de causar heridas que incluyen cortes, raspaduras y perforaciones, las cuales pueden resultar en daños severos como arterias o tendones cortados, amputaciones, lesiones oculares, o la exposición a enfermedades. En situaciones que implican vidrios rotos, las personas deben estar familiarizados con las prácticas seguras de manejo, la necesidad de utilizar equipo de protección y la importancia de recibir rápidamente primeros auxilios efectivos en caso de sufrir lesiones.

#### ***5.5. Recomendaciones Para La Manipulación de Vidrio***

1. Antes de utilizar las piezas de vidrio, se debe realizar una inspección para descartar aquellas que presenten el más mínimo defecto.
2. Es necesario descartar el material que haya sufrido golpes, incluso si no muestra grietas o roturas.

3. No se deben arrojar objetos de vidrio, ya estén rotos o enteros, en contenedores abiertos, ya que siempre existe el riesgo de que un fragmento de vidrio salte debido al impacto.
4. Durante la manipulación de vidrio, es esencial emplear guantes gruesos, mascarillas y protección ocular. En las cercanías de maquinaria se usan gafas de seguridad donde los vidrios puedan romperse o es posible que fragmentos de vidrio roto se proyecten.
5. Cuando se molienda de vidrio, hay que utilizar protectores que garanticen la seguridad del personal encargado de operar la maquinaria, ya que siempre existe el riesgo de que un fragmento de vidrio se lance por la fuerza del proceso.
6. En caso de roturas ocasionales de vidrios, la forma segura de recoger los fragmentos rotos es utilizando cartón, papel grueso o una escoba y recogedor, y nunca con las manos. Los fragmentos 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 convencionales para limpiar vidrios rotos, ya que podrían retener partículas de vidrio.
7. El lavado de material de vidrio debe ser realizado por personal capacitado y consciente del riesgo de cortes, y deben usar guantes adecuados.
8. Antes de lavar recipientes de vidrio, es importante vaciarlos por completo.

### ***5.6. Vidrio en la Construcción***

Conforme a la ASTM 1036 (2018), el vidrio es un compuesto inorgánico que se obtiene a partir de la fusión y enfriamiento sin cristalización. En el ámbito de la construcción, el vidrio ha sido objeto de un amplio estudio y se ha aplicado de diversas maneras, como se ha evidenciado en investigaciones previas (Mas et al., 2016; Columbié-Lamorú et al., 2020; Trezza y Rahhal, 2018; Catalan, 2013; Aldás y Peñafiel, 2016). Además, Shayan y Xu (2004), mencionan que el vidrio como sustituto de los áridos en el hormigón en porcentajes hasta menos del 50% no presenta efectos negativos a largo plazo, asimismo, Soliman y Tagnit-

Hamou (2016), Hendi et al., (2019) y Małek et al. (2021) afirmaron que reemplazar el vidrio por arena en las mezclas de concreto disminuye la capacidad de absorción de agua, lo que resulta en una mejora en la mayoría de las propiedades mecánicas del concreto. Con fines de investigación en este proyecto de tesis, se llevarán a cabo pruebas utilizando reemplazos de árido fino por vidrio en proporciones del 10%, 20%,30%, 40% y 60%.

### ***5.7. Vidrio Como Agregado***

- **Tratamiento.** Los vidrios empleados en la investigación consisten en envases de refrescos, bebidas alcohólicas, gaseosas y otros productos similares. Esto se hizo con el propósito de obtener muestras que se asemejen a los residuos generados en hogares.
- **Limpieza.** La limpieza de los envases implica lavarlos con agua caliente y detergente de manera que se elimine residuos y etiquetas para posteriormente realizar enjuagues y finalmente triturarlos.
- **Trituración** Cuando los envases están limpios se trituran mediante apisonamiento mecánico.
- **Granulometría:** En este proceso se obtiene granos de tamaños reducidos este se debe tamizar lo indicado en la Norma Técnica Ecuatoriana para agregados.

## **6. Hormigón**

El hormigón es uno de los materiales más utilizados en la industria de la construcción debido a sus características de resistencia, durabilidad y versatilidad. Según el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN 694, 2010) el hormigón es un material compuesto que está integrado por partículas y fragmentos de áridos. El cemento es el componente clave que une a los agregados y al agua, y es responsable de proporcionar la resistencia del hormigón, cuando son hormigones de cemento hidráulico, el aglutinante se compone de cemento hidráulico y agua. Los agregados se usan para proporcionar volumen y estabilidad a la mezcla de hormigón, y los aditivos y adiciones se usan para mejorar algunas propiedades específicas

del hormigón, como la trabajabilidad, la resistencia y la durabilidad. Dentro de los beneficios se encuentran:

**Resistencia.** Es una propiedad mecánica que se refiere a su capacidad para soportar cargas externas sin sufrir deformaciones excesivas o fallas. Esta propiedad es fundamental en la construcción de elementos estructurales, como puentes, edificios, muros de contención, pavimentos y otras estructuras similares

**Durabilidad.** Se refiere a su capacidad para resistir el deterioro debido a factores ambientales, como la exposición a la intemperie, acción de agentes químicos y biológicos, la abrasión y otros procesos físicos y químicos. Una buena durabilidad es crucial para su vida útil y sostenibilidad a largo plazo, ya que un material que se degrada rápidamente requerirá reparaciones y reemplazos frecuentes, lo que implica mayores costos y un impacto negativo en el medio ambiente.

**Flexibilidad.** Radica en su capacidad para adaptarse a diferentes formas y diseños arquitectónicos, permitiendo la construcción de estructuras de distintas formas y tamaños.

**Mantenimiento.** Es un material que no requiere mucho mantenimiento para preservar su apariencia y rendimiento a lo largo del tiempo, lo que convierte en una opción económica y eficiente para la construcción y reducción de costos a largo plazo.

### ***6.1. Propiedades del Concreto en Estado Fresco***

**Trabajabilidad.** Enrique Pasquel Carbajal (1998) señala que esta está definida por la mayor o menor dificultad en el mezclado, colocación, transporte y comparación del concreto, ya que el concreto puede ser trabajable bajo ciertas condiciones de colocación y compactación por lo que su evaluación es relativa y depende de las facilidades mecánicas y manuales que se poseen en las distintas etapas del proceso. Además, esta influenciada por el contenido de agua y el equilibrio entre áridos gruesos y finos (Bendezú, 2019).

**Consistencia.** Se refiere a la capacidad variable del concreto en su estado fresco para deformarse bajo la influencia de su propio peso, lo que indica que la deformación puede variar ya sea aumentar o disminuir (Almeida y Trujillo ,2017).

## ***6.2. Propiedades del Concreto en Estado Endurecido***

**Impermeabilidad.** Según Castillo (2009), la impermeabilidad es una característica fundamental del concreto que puede ser mejorada con regularidad al disminuir la cantidad de agua en la mezcla. El exceso de agua resulta en la formación de espacios y huecos después de la evaporación, y en el caso de que estén interconectados, el agua puede infiltrarse o atravesar el concreto. La introducción de pequeñas burbujas de aire y un proceso de curado adecuado durante un período prolongado a menudo contribuyen a aumentar la impermeabilidad.

**Durabilidad.** Castillo (2009) sostiene que el concreto debe resistir las condiciones climáticas, la acción de sustancias químicas y el desgaste al que se expondrá durante su uso. Parte de los daños causados por las condiciones climáticas pueden ser por los ciclos de congelación y descongelación. Para mejorar la resistencia del concreto ante tales daños, es posible aumentar la impermeabilidad incluyendo entre un 2% y un 6% de aire a través de un agente inclusor de aire, o aplicando un revestimiento protector en la superficie.

**Resistencia.** López (1992) explica que la resistencia del concreto se define como la máxima carga que el material puede soportar antes de romperse. Dado que el concreto está diseñado para resistir esfuerzos de compresión, la medición de su resistencia a tales esfuerzos se usa como indicador de su calidad. En general, casi todas las características del concreto endurecido están vinculadas a su resistencia y, en muchos casos, se evalúan o califican según su valor. Sin embargo, es importante recordar que, al diseñar una mezcla de concreto, muchos factores externos a la resistencia pueden influir en otras propiedades.

## 7. Ensayo de Resistencia a la Compresión

La resistencia a la compresión es el parámetro más utilizado por los ingenieros en el diseño de edificaciones y otras estructuras. Se evalúa al fracturar probetas cilíndricas de concreto mediante una máquina de ensayos de compresión y se calcula dividiendo la carga de fractura por el área de la sección que soporta dicha carga. Un resultado se obtiene a partir del promedio de al menos dos pruebas de resistencia realizadas con la misma muestra de concreto y bajo las mismas condiciones de curado y edad. Estos resultados se usan para augurar que la mezcla de concreto cumple con los requisitos de resistencia especificados para el proyecto.

Para la realización de probetas cilíndricas de hormigón se utiliza las normas NTE INEN 1576 (ASTM C31), para la elaboración de especímenes; y la NTE INEN 1573 (ASTM C39) para el ensayo a compresión simple.

El proceso para encontrar la resistencia  $f'c$  se determina mediante la siguiente ecuación:

**Ecuación 16.** Determinación de  $f'c$

$$f'c = \frac{P}{A} \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$$

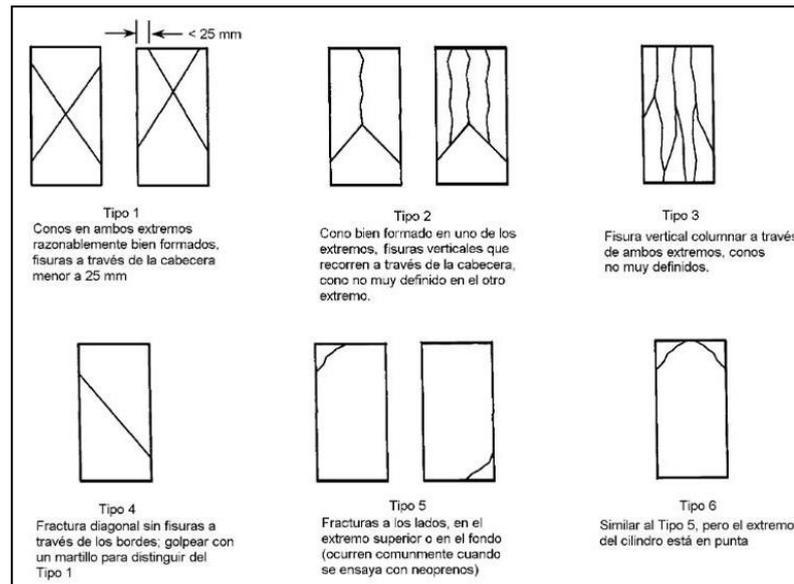
En donde:

$f'c$ : Resistencia a compresión simple en kg/cm<sup>2</sup>

P: carga máxima en kg

A: Área de la carga axial del espécimen en cm<sup>2</sup>.

Una vez obtenida la rotura en la probeta cilíndrica de hormigón se debe clasificar el tipo de rotura obtenido según la norma NTE INEN 1573 existen los siguientes tipos de fallas:

**Figura 5.** Esquema de los modelos típicos de rotura

**Nota.** Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 1573, por Instituto Ecuatoriano de Normalización, (s.f.),

<https://ia802908.us.archive.org/7/items/ec.nte.1573.2010/ec.nte.1573.2010.pdf>.

## 8. Influencia del Vidrio Triturado- Molido en el Hormigón

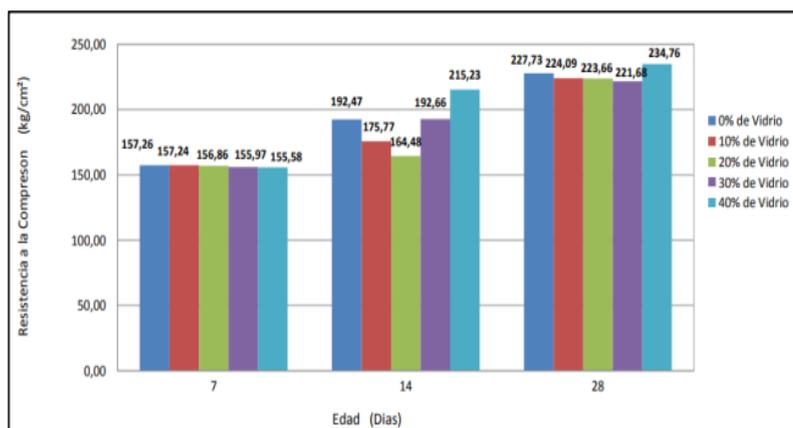
### 8.1. Indagación I

Peñañiel Carrillo (2016), realizó una investigación denominada "Análisis Del Rendimiento A La Compresión Del Hormigón Mediante El Empleo De Vidrio Reciclado Molido". En este estudio, se analizó la consecuencia del remplazo parcial del material granulado fino por vidrio reciclado en distintos niveles porcentuales, incluyendo 10, 20, 30 y 40%, por lo cual, este es un estudio de suma importancia y relevancia para nuestro proyecto de investigación. Los resultados logrados en esta indagación revelaron un comportamiento interesante en vinculación con la resistencia de carga a la presión del hormigón.

En los distintos grados de suplantación investigados, solo el 40 % presentó un aumento en la capacidad de carga a la compresión a los 28 días de curado, en comparación con la muestra de referencia. El descubrimiento señala que el empleo de un cuarenta por ciento de vidrio recuperado como sustituto del material fino puede aumentar mucho la resistencia del hormigón.

Pero es relevante considerar que los demás niveles de sustitución (10%, 20% y 30%) no generaron un aumento en la capacidad de carga a la presión en comparación con la muestra de referencia. Estos resultados sugieren que existe un límite óptimo en el porcentaje de cambio del material fino por vidrio reciclado molido, más allá del cual no se observan beneficios adicionales en términos de resistencia.

**Figura 6.** Análisis a la resistencia a la compresión a las distintas edades de las probetas



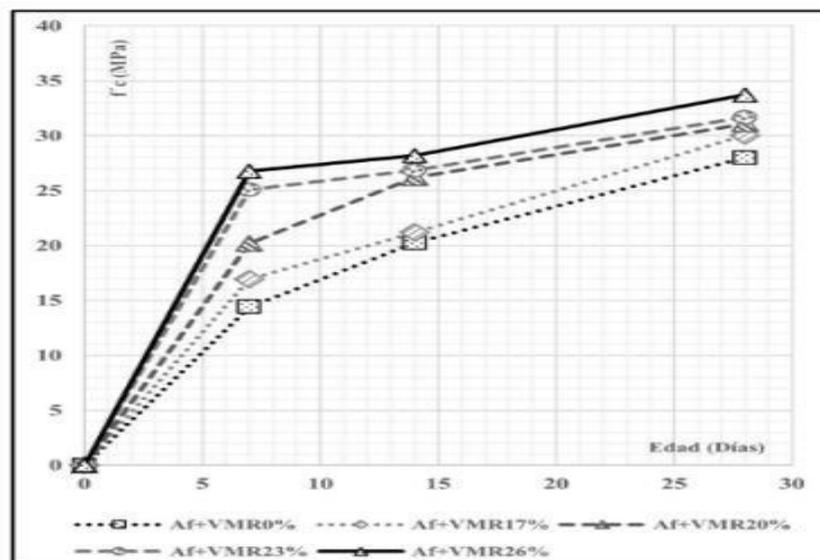
**Nota.** Recuperado de Peñafiel, D., por la Universidad Técnica de Ambato, 2016, <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/23038/1/Tesis%20%201011%20-%20Pe%c3%blafiel%20Carrillo%20Daniela%20Alejandra.pdf>.

## 8.2. Indagación II

En un siguiente proyecto publicado por Castro Cardona, Bastidas Vallejo, & Romero Bustos (2020), en la Universidad Nacional de Colombia, se examinó el impacto de la incorporación de vidrio triturado como reemplazo parcial del material fino en el hormigón. Dentro de esta indagación, se emplearon diversos niveles de sustitución, incluyendo 17%, 20%, 23% y 26%. Los resultados obtenidos se representaron en la Figura 2, que ilustra la relación entre los niveles de sustitución y la capacidad de carga a la compresión del hormigón. En todos los casos analizados, se observó un aumento en comparación con la muestra que no contenía vidrio molido. Es relevante destacar que el incremento en la capacidad de carga a la compresión

fue más significativo conforme se incrementaba el nivel de sustitución. Esto sugiere que, a mayores proporciones en la mezcla, se obtiene un mayor beneficio.

**Figura 7.** impacto al añadir vidrio fragmentado



*Nota.* Castro Cardona, C., Bastidas Vallejo, S., & Romero Bustos, por la Facultad de Ingeniería, Programa de Bogotá D.C.,(2020), <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/d9a1ab52-e70b-4e4c-ac9f-968b810ca6ba/content>.

### 8.3. Indagación III

Según, García Ruiz (2021), en su trabajo "Efecto del vidrio en la resistencia mecánica del hormigón", se analizó la consecuencia de la integración de vidrio como sustituto del material fino en el concreto. Se hicieron pruebas en muestras de concreto con proporciones de sustitución gradual de vidrio molido, de un 5 % a un 20 % en incrementos del 5 %.

Conforme aumentaba el nivel de sustitución de vidrio molido, se observaba un aumento gradual de la resistencia. En concreto, se encontró que el hormigón, con un 20 por ciento de vidrio molido, obtuvo una resistencia a la compresión mayor en un 9% en comparación con el concreto de referencia sin vidrio molido. Además, en el estudio también se evaluaron otras

características mecánicas en la mezcla de concreto, como la resistencia a la tracción y la resistencia a la flexión. Se constató que la inclusión de vidrio molido tuvo efectos positivos en estas propiedades, aunque en menor medida que en la resistencia a la compresión.

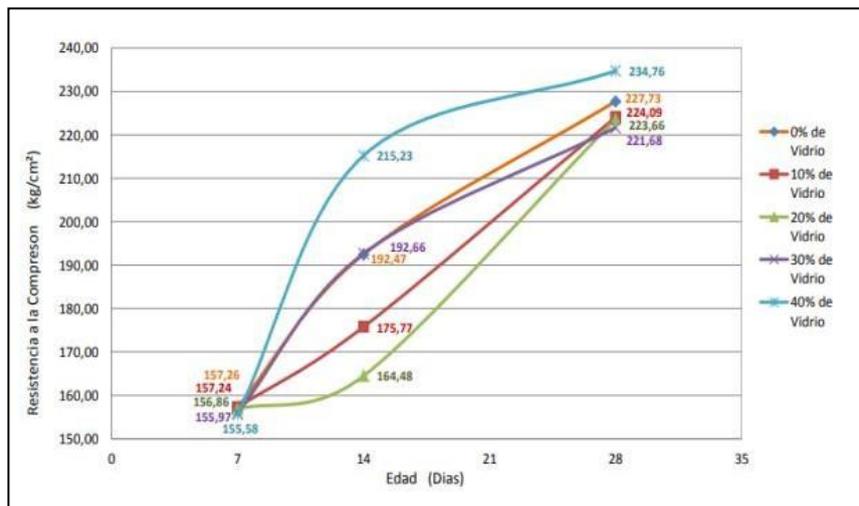
#### ***8.4. Indagación IV***

Un estudio realizado por, Núñez & Peñafiel (2016), examinó la viabilidad de sustituir la arena como componente fino en el concreto por medio de vidrio reciclado fragmentado. Para lograrlo, se realizaron pruebas de acuerdo con los parámetros establecidos por la norma ASTM C33. Con base en los resultados obtenidos, se fabricaron mezclas de concreto agregando distintos porcentajes de vidrio molido. Los porcentajes evaluados fueron 10%, 20%, 30% y 40%. Luego, elaboraron probetas que posteriormente se sometieron a ensayos de compresión a los 7, 14 y 28 días.

Se observaron que, a los 7 días, a medida que aumentaba el porcentaje de vidrio molido en la mezcla, se reducía la capacidad de carga ante la compresión. En los 14 y 28 días, obtuvieron una resistencia superior a 210 kg/cm<sup>2</sup> con un porcentaje óptimo de vidrio molido del 40% en reemplazo de la arena. En el ensayo de compresión a los 28 días, se registraron los siguientes valores de resistencia: 227.73 kg/cm<sup>2</sup>, 224.09 kg/cm<sup>2</sup>, 223.66 kg/cm<sup>2</sup>, 221.68 kg/cm<sup>2</sup> y 234.76 kg/cm<sup>2</sup>, correspondientes a la adición de vidrio molido del 0%, 10%, 20%, 30% y 40% respectivamente.

Estos resultados confirmaron que todas las composiciones alcanzaron la resistencia requerida según el diseño, tal como se muestra en la siguiente figura:

**Figura 8.** Curva de resistencia vs edad del hormigón



**Nota.** Nuñez, G., & Peñafiel, D., por el repositorio uta. edu.ec., (2016), <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/23038?mode=full>

## 9. Diseño de Hormigón por Guía del Método ACI 211.1

American Concrete Instituto (2023), es una organización líder en la industria del hormigón que tiene como objetivo mejorar la calidad, seguridad y sostenibilidad del hormigón a través del desarrollo de estándares y guías. Una de las principales contribuciones del ACI es el diseño de mezclas, que es un procedimiento clave para la producción de concreto resistente y duradero.

El diseño del ACI son procedimientos y recomendaciones que permiten diseñar una mezcla de hormigón adecuada para una aplicación, considerando los materiales disponibles y las especificaciones de resistencia y durabilidad requeridas. Los pasos generales del diseño de mezclas del ACI incluyen la selección de los materiales, la determinación de las proporciones de mezcla, la verificación de la resistencia esperada y el ajuste final de la mezcla (Vizconde, 2017).

A continuación, se exponen los pasos generales:

- Establecer los requisitos de resistencia y durabilidad del hormigón para la implementación específica, como la resistencia a la compresión.
- Optar por el tamaño máximo del agregado y el contenido de cemento para la mezcla de hormigón en función de los requisitos de resistencia y durabilidad establecidos anteriormente.
- Establecer una relación agua-cemento adecuada para lograr la resistencia requerida y cumplir con los requisitos de durabilidad.
- Determinar la cantidad de agua necesaria para obtener la relación agua- cemento adecuada.
- Calcular los fragmentos de los agregados (grava, arena) para lograr el tamaño máximo y la relación agua- cemento adecuados.
- Ajustar la cantidad de cemento en la mezcla para cumplir con los requisitos de resistencia y durabilidad establecidos en el primer paso.
- Verificar la consistencia de la mezcla de hormigón mediante el ensayo de asentamiento.
- Realizar ensayos de resistencia a la compresión de probetas de hormigón para verificar si la mezcla cumple con los requisitos de resistencia establecidos en el primer paso.
- Ajustar la mezcla según sea necesario y volver a realizar ensayos hasta que se cumplan los requisitos de resistencia y durabilidad establecidos.

### ***9.1. Relación Agua/Cemento***

La relación (a/c) son los factores más cruciales que influyen en las propiedades del concreto. El ACI 211.1 es un estándar estadounidense que proporciona recomendaciones para el diseño de mezclas de concreto. establece las recomendaciones de la relación agua/cemento máxima y mínima para diferentes tipos de exposición y niveles de resistencia del concreto. A continuación, se presentan las tablas del ACI 211.1 para la relación agua/cemento (a/c) máxima y mínima para diferentes niveles de resistencia y exposición:

Para resistencia de 28 días de:

**21 MPa (3000 psi) o menos**

- Exposición normal: a/c máxima: 0.6, a/c mínima: 0.5
- Exposición severa: a/c máxima: 0.5, a/c mínima: 0.45

**28 MPa (4000 psi) o menos**

- Exposición normal: a/c máxima: 0.53, a/c mínima: 0.45
- Exposición severa: a/c máxima: 0.45, a/c mínima: 0.4

**35 MPa (5000 psi) o menos**

- Exposición normal: a/c máxima: 0.48, a/c mínima: 0.4
- Exposición severa: a/c máxima: 0.4, a/c mínima: 0.35

**42 MPa (6000 psi) o menos**

- Exposición normal: a/c máxima: 0.44, a/c mínima: 0.35
- Exposición severa: a/c máxima: 0.36, a/c mínima: 0.3

Es importante tener en cuenta que estas son solo recomendaciones generales, y es necesario considerar factores específicos de cada proyecto, como la exposición ambiental, resistencia requerida y características de los materiales. Además, una relación a/c baja puede mejorar la firmeza, pero también puede hacer la mezcla más difícil de trabajar y más propensa a la segregación y el agrietamiento si no se maneja adecuadamente.

## ***9.2. Asentamiento***

Es una medida de la trabajabilidad del concreto, es decir, su capacidad para fluir y consolidarse adecuadamente después de ser colocada. El ACI 211.1, es un estándar

estadounidense que proporciona recomendaciones para determinar la cantidad adecuada de los materiales necesarios para obtener una mezcla de concreto adecuado para el uso. establece las recomendaciones de asentamiento máximo para diferentes tipos de aplicaciones y método de colocación. A continuación, se presentan los datos del ACI 211.1 para el asentamiento máximo para mezclas de concreto con tamaño máximo nominal de agregado de 37.5 mm o menor:

**Tabla 2.** Asentamiento máximo método ACI 211.1

<b>Método de colocación</b>	<b>Asentamiento máximo</b>
<b>Concreto Lanzado</b>	50-75 mm (2-3 pulgadas)
<b>Concreto Bombeado</b>	100-150 mm (4-6 pulgadas)
<b>Concreto colocado con vibración</b>	25-100 mm (1-4 pulgadas)
<b>Concreto colocado sin vibración</b>	10-25 mm (0.4-1 pulgada)

### ***9.3. Dosificación***

Es el proceso de determinar la magnitud apropiada de los materiales necesarios para obtener una mezcla de concreto de calidad y adecuada para su uso.

Uno de los métodos utilizados para la dosificación es la proporción en masa. Este método establece la cantidad óptima de cada material en la mezcla, expresada en términos de porcentaje en masa del cemento. Por ejemplo, se puede establecer una proporción en masa de 1:2:3 para ligante hidráulico, material granular fino y agregado grueso, lo que significa que se deben utilizar 1 kg de cemento para 2 kg de partículas de roca y 3 kg de grava.

Otro método utilizado para la dosificación es la norma ASTM C 192. Esta norma proporciona un procedimiento para determinar la proporción óptima en la mezcla del concreto.

También hay otras metodologías utilizadas para la dosificación como el método ACI 211.1 de elaboración de mezclas, el método DOE (Diseño de experimentos), y el método de gráficos de Fuller-Thompson, entre otros.

#### ***9.4. Prueba del Cono de Abraham (normas INEN)***

Es un ensayo utilizado para determinar la consistencia del concreto fresco. Consiste en medir la cantidad de asentamiento bajo el peso de un cono de forma y dimensiones estandarizadas.

En Ecuador, las normas que regulan esta prueba son las establecidas por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). A continuación, se presentan las normas que regulan la realización de esta prueba:

- **Norma INEN 102:2003:** Materiales de construcción. Método para la toma de muestras y ensayos de concreto fresco. Esta norma determina las instrucciones para conseguir modelos de cemento fresco y realizar ensayos de asentamiento utilizando el cono de Abrams.
- **Norma INEN 1215:2001:** Materiales de construcción. Cemento hidráulico. Especificaciones. Esta norma establece las especificaciones y los requisitos para el cemento hidráulico utilizado en la producción de concreto.
- **Norma INEN 2465:2008:** Materiales de construcción. Agregados para mortero y concreto.

**Requisitos.** Esta norma estipula especificaciones mínimas para los agregados utilizados en la producción de concreto.

#### ***9.5. Fraguado y Curado***

El fraguado del concreto es el proceso por el que la mezcla se endurece y toma una forma sólida, lo que sucede por una reacción química entre el agua y el cemento. Durante el

proceso de fraguado, se produce una liberación de calor debido a la reacción, y se forma una estructura de pasta dura que se convierte en la base sólida del concreto.

Por otro lado, el curado es el proceso necesario para mantener el concreto hidratado y saturado de humedad después del fraguado, lo que permite que el concreto alcance su resistencia y durabilidad óptimas. Durante el proceso de curado, se deben mantener condiciones adecuadas de temperatura y humedad para que el concreto pueda llevar a cabo la hidratación continua del cemento. Un adecuado curado puede retardar la evaporación del agua presente en la mezcla de concreto, permitiendo una adecuada resistencia y durabilidad del concreto final.

En este sentido, durante el proceso de fraguado y curado, es importante controlar y regular las condiciones ambientales para garantizar no solo la resistencia y durabilidad óptimas del concreto, sino también evitar un exceso o defecto en la cantidad de agua que se evapora en la mezcla. Un adecuado fraguado y curado del concreto puede asegurar que la estructura final tenga las propiedades mecánicas deseadas y una vida útil prolongada.

#### ***9.6. Ensayo a Compresión INEN 1573***

Tipos de fallas de los cilindros para ensayos a compresión INEN 1573. Después de elaborar el ensayo, los cilindros muestran diferentes tipos de fallas según la norma del Instituto Ecuatoriano de Normalización 1573, estos son:

- **Falla en la brida superior:** se produce cuando ocurre un desprendimiento de la muestra de concreto de la brida. Este tipo de falla puede ser el resultado de una mala preparación del espesor de la brida o de un desalineamiento durante la aplicación de la carga.
- **Falla en la brida inferior:** se origina cuando se rompe o colapsa la brida inferior. Este tipo de falla generalmente se debe a un fallo en el molde o por un error en la prueba de compresión.

- **Falla por cizallamiento:** se produce cuando el concreto se somete a una fuerza que corta a través de la muestra. Este tipo de falla puede ser el resultado de una mala distribución de la carga o de una explotación previa al ensayo.
- **Falla en la columna:** se produce cuando el cilindro se deforma en el centro, causando una rotura en forma de columnas. Este tipo de falla se atribuye a un diseño deficiente del molde o a una mala calidad del concreto.
- **Falla en la superficie lateral:** se produce cuando la muestra se rompe de manera irregular, en lugar de completar una división consistente. Este tipo de falla puede deberse a una mala preparación o a errores en la colocación de los extremos.

## CAPÍTULO II

### MARCO METODOLÓGICO

#### **1. Investigación Aplicada**

Para lograr los objetivos planteados, se diseñó una metodología de trabajo que nos permitió abordar de manera integral el problema planteado. Se hizo una revisión bibliográfica, consultando la normativa NTE INEN, libros, revistas, artículos científicos y trabajos de investigación relacionados al tema de investigación, proporcionándonos un amplio conocimiento sobre los resultados obtenidos en investigaciones previas, lo cual fue de gran utilidad durante el desarrollo del proyecto.

#### **2. Investigación de Laboratorio**

En cuanto a la implementación práctica de la metodología, se elaboraron probetas para ensayos rigurosos de manera que se pudo evaluar las propiedades mecánicas de los hormigones convencionales y los que contienen añadidos de vidrio molido.

Además, también se indicó las características de los materiales que forman parte de la mezcla de concreto mediante el uso de la normativa NTE INEN, fundamentales para alcanzar un diseño de mezcla adecuado con medidas óptimas de resistencia adecuada y trabajabilidad.

De manera experimental, al realizar ensayos a compresión de un hormigón simple y otro con cristales molidos se accedió a obtener datos empíricos, controlar variables y comparar grupos generando resultados reproducibles, de modo que se pudo evaluar el impacto de la adición de vidrio molido en la resistencia de aplastamiento del hormigón y respaldar los resultados basadas en evidencia científica. Para ello, con la finalidad de obtener los mejores resultados se elaboraron dos probetas de mezcla convencional y dos con adición de vidrio triturado por cada porcentaje adicionado a la mezcla como reemplazo parcial de la arena, de tal

forma que se pudo llevar a cabo los ensayos a compresión para las edades de 3,7 y 28 días, revelándose como reacciona la influencia de cada porcentaje de vidrio pulverizado dentro de la mezcla.

### **3. Plan de Procesamiento**

- Examinar de forma crítica, técnica y exhaustiva la información recolectada de las características de los materiales para la fundición del hormigón y de manera cuidadosa para garantizar que los datos se registren correctamente.
- Presentar los resultados obtenidos de las características de los materiales mediante cálculos y representación gráfica para visualizar de manera clara los patrones, tendencias o diferencias presentes en los datos.
- Realizar un análisis exhaustivo e interpretación de los resultados obtenidos, considerando los objetivos planteados y las hipótesis formuladas.
- Verificar la validez de las hipótesis, como también determinar conclusiones significativas y brindar recomendaciones pertinentes.
- Este plan permitirá obtener una comprensión más profunda proporcionando una base para la toma de decisiones y la formulación de recomendaciones adecuadas.

### **4. Origen de los Agregados**

#### ***4.1. Agregado Fino y Agregado Grueso***

Los agregados empleados en las dosificaciones son provenientes de minas naturales, en primera instancia se encuentra la Minera Rookaazul Cía.Ltda. ubicada en el sector “El Descanso”, la cual provee de agregado fino, asimismo, como segunda instancia se encuentra la minera Lamilagrosa, ubicada en Santa Isabel la cuál provee de agregado grueso.

El almacenamiento de los áridos se lo realizó en un lugar aireado y sin exposición a cambios climáticos.

#### **4.2. Cemento**

En el proyecto de titulación empleamos el cemento Holcim Fuerte tipo GU, una opción común en construcciones convencionales. Este cemento, diseñado para diversas estructuras, se destaca por su durabilidad, resistencia y densidad, cumpliendo con los estándares establecidos por la norma NTE INEN 2380. El almacenamiento de este material se dió en un lugar seco y con ventilación de manera que se cumpla con la reglamentación estipulada en la norma NTE INEN 152.

#### **4.3. Vidrio Molido**

El vidrio utilizado se obtuvo de un establecimiento comercial que recopila botellas, pedazos de puertas y ventanas para su reciclaje. Debido a la falta de una maquina específica para triturar vidrio en la ciudad, este proceso se realizó manualmente. Además, se limpió minuciosamente el vidrio con agua caliente y detergente para eliminar residuos, suciedad y etiquetas de envases. Tras el lavado, se aseguró un secado completo para evitar complicaciones en la trituración.

Posterior al triturado se realizó la granulometría del vidrio, separándolas en recipientes para que las diferentes partículas retenidas en cada tamiz sean trabajadas con más facilidad y maniobrabilidad.

Según Almeida y Trujillo (2017), para que el vidrio actúe como una puzolana, es crucial considerar partículas con un tamaño de  $150\ \mu$  equivalente al tamaño de partícula que pasa a través del tamiz N° 100.

#### **4.4. Agua**

El agua empleada para el curado y la realización de las probetas consiste en agua potable de la ciudad de Cuenca, misma que es apta para la elaboración de hormigones según la NEC 2015.

## **5. Caracterización de los Áridos**

La caracterización de los agregados es de vital importancia ya que de esto depende el diseño y elaboración de hormigón convencional, por lo que se realizaron los siguientes ensayos:

### ***5.1. Granulometría de Árido Fino y Grueso***

Para realizar la granulometría se tomó una muestra representativa de árido fino y árido grueso mediante el método de cuarteo según la norma NTE INEN 2566, además de esto se verificó que los áridos no presenten impurezas para posteriormente realizar la granulometría haciendo uso de los tamices expuestos en la Tabla 1.

Para el árido grueso se tomó una muestra de 2060 gr, luego se lo dejó secar por 24 horas a temperatura controlada, para al día siguiente realizar el tamizado utilizando la máquina de cribado, determinando que el tamaño máximo nominal del árido grueso (TMN) es de 19 mm o  $\frac{3}{4}$ . Además, se demostró que el agregado grueso presenta una curva dentro de los límites dados por la Norma ASTM-C33 cuyo tamaño máximo corresponde a 1 1/2" (38mm) estando dentro del rango de material permitido para la elaboración de hormigón.

Para el árido fino se verificó que el material pase el tamiz N°4, para esto se preparó una muestra de 1000 gr y se los tamizó en la máquina de tamizado del laboratorio utilizando los tamices ya antes mencionados, el ensayo dio como resultado una arena apta para la elaboración de hormigón al estar cerca del límite de arenas finas, cuyo módulo de finuras es 2.69.

### ***5.2. Densidad y Absorción***

Los ensayos de absorción y densidad fueron realizados bajo las normas NTE INEN 857 para árido grueso y la NTE 856 para el árido fino. En donde, para la arena se utilizó el método del picnómetro y para el ripio el método de la canastilla.

Para llevar a cabalidad lo estipulado en las normas, se tomó una muestra de 3 kg para el agregado grueso con un tamaño máximo nominal de 19mm, esta se dejó cubierta de agua en

una bandeja durante 24 horas. Una vez cumplido este lapso horario, con una toalla se secó superficialmente de modo que se encuentre en estado saturado superficialmente seco (SSS), luego se colocó la muestra en una canastilla de malla y se tomó el peso al aire, posteriormente se sumergió la canastilla en agua, misma que debe estar a 23° C y se registró su peso (Peso aparente), por último, se dejó la muestra al horno por 24 horas a temperatura constante.

Para el árido fino se tomó una muestra de 500 gr y bajo el método gravimétrico se calculó las densidades. Esta muestra se dejó en una bandeja con agua por 24 horas, para luego con la ayuda de una toalla secar hasta que estuviera en estado saturado superficialmente seco (SSS) lo cual se comprueba haciendo uso de un molde de forma cónica y un compactador, este molde se procede a llenar con 3 capas, en dónde en cada capa se compacta con 25 golpes.

Así también se obtuvo el peso del picnómetro con agua a 23°C hasta la marca que este posee, luego se agregó el árido fino con cuidado y con la ayuda de un embudo, después se sacó el aire del picnómetro agitándolo hasta que quede libre de burbujas de aire en el interior del árido, por último, se sacó del picnómetro y se dejó a secar por 24 horas a temperatura constante.

La absorción se determina con los agregados en estado SSS (Saturado superficialmente seco), y para esto se necesita pesar una muestra en el mismo estado para posteriormente secarla al horno.

## **6. Caracterización del Material Reciclado**

Para la caracterización del vidrio que se reemplazará parcialmente a la arena en la elaboración de hormigón con una resistencia a la compresión a los 28 días de edad igual a 240 kg/cm<sup>2</sup> en porcentajes de 10%, 20%, 30%, 40% y 60% para las edades de ensayo de compresión de 3,7 y 28 días, se llevó a cabo lo siguiente:

- Recolección de botellas procedentes de reciclaje, las misma que fueron lavadas con agua caliente, detergente y una esponja de manera que se removió todo tipo de impurezas y residuos no aptos para la elaboración de hormigones.
- Una vez terminado el proceso de limpieza se dejó secar las botellas en un lugar seco y seguro.
- Posteriormente se procedió a triturar el vidrio, mismo que fue realizado de manera manual, para esto se empleó un tacho metálico, guantes de cuero, gafas de protección, mascarillas y un combo. Una vez triturado el vidrio se separó el material haciendo uso de los tamices ya mencionados anteriormente, para esto todo lo que quedaba atrapado en el tamiz N°4 se sometía a otro proceso de trituración de modo que se pueda asegurar un proceso de tamizado eficaz.

El ensayo de tamizado se realizó según la INEN 696 en dónde se consideró el vidrio como material fino, este proceso se realizó para conocer el módulo de finura de este. Además de la granulometría, se realizó ensayos de densidad y absorción, en dónde se determinó que la densidad del vidrio es 2.40 y la absorción es de 1.01%.

## **7. Diseño de Hormigones**

Una vez terminada de realizar la caracterización de áridos se determinó que cada uno de ellos son aptos para usarse en la dosificación de hormigón y cumplen con las especificaciones dadas por las normas correspondientes. El cemento a utilizare es Holcim fuerte tipo GU, cuya densidad está dentro del parámetro deseado. Con estos datos se procede a determinar la dosificación para un hormigón de resistencia a la compresión 240 kg /cm<sup>2</sup> a los 28 días de edad:

**7.1. Diseño de Mezcla para un Hormigón Convencional y para Hormigón con Sustitución de Vidrio Molido en Reemplazo Parcial del Árido Fino con Resistencia a la Compresión de 240 kg/cm<sup>2</sup>**

Para el diseño de hormigón convencional se utilizó el método del ACI 211.1, debido a que, las granulometrías encontradas cumplen con lo especificado por esta normativa. Este diseño se fundamenta en la relación agua/cemento, por lo que, además, se debe cumplir las recomendaciones de la norma ASTM C33 para el agregado fino y para el agregado grueso, siendo el primer paso para realizar, también es importante conocer que el hormigón a dosificar es aireado, por lo que el dato a utilizar en el diseño de hormigón de  $f'c=240\text{kg/cm}^2$  se encuentra especificado en la Tabla 4, además es importante recalcar que el agua a utilizar es potable de la ciudad de Cuenca

**Tabla 3.** Requerimientos para el diseño de un hormigón con resistencia a la compresión de  $f'c=240\text{ kg/cm}^2$ .

<b>REQUERIMIENTOS</b>	
<b>Resistencia a la compresión de hormigón a los 28 días de edad <math>f'c = 240\text{ kg/cm}^2</math></b>	
<b>Volumen del Hormigón</b>	1m <sup>3</sup>
<b>Asentamiento</b>	5 – 10 cm
<b>Contenido de aire</b>	2%
<b>DATOS PRELIMINARES</b>	
<b>Densidad real del cemento</b>	2900 kg /m <sup>3</sup>
<b>Densidad real de la arena</b>	2463 kg/m <sup>3</sup>
<b>Densidad real del ripio</b>	2365 kg/m <sup>3</sup>
<b>Densidad real del agua</b>	1000 kg/m <sup>3</sup>
<b>Porcentaje óptimo de la arena</b>	54%
<b>Porcentaje óptimo ripio</b>	46%

**Tabla 4.** Valores para hormigones aireados y no aireados

Resistencia a la compresión a los 28 días, f'c MPa (PSI)	Relación Agua /cemento en peso	
	Hormigón Aireado	Hormigón no aireado
17(2500)	0.67	0.54
21(3000)	0.58	0.46
24(3500)	0.51	0.4
28(4000)	0.44	0.35
31(4500)	0.38	----
35(5000)	----	----

A continuación, se determinó el volumen de árido grueso en una unidad de volumen considerando que el tamaño máximo nominal es de 19 mm (3/4") y el módulo de finura del árido fino es de 2.69, para ello se hizo uso de lo especificado en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Volumen de árido grueso y módulo de finura del árido fino

Tamaño máximo nominal del árido grueso mm (pulg).	Volumen de árido grueso apisonado en seco por unidad de volumen de hormigón			
	Módulo de finura			
	2.4	2.6	2.8	3
9.5 (3/8)	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5 (1/2)	0.59	0.57	0.55	0.53
19 (3/4)	0.66	0.64	0.62	0.60
25 (1)	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5 (1 1/2)	0.75	0.73	0.71	0.69
50 (2)	0.78	0.76	0.74	0.72
75 (3)	0.82	0.80	0.78	0.76
150 (6)	0.87	0.85	0.83	0.81

La siguiente etapa fue la determinación del porcentaje de vacíos considerando como factor principal el tamaño máximo nominal del agregado, para ello se hizo uso de la Tabla 6.

**Tabla 6.** Porcentaje de aire según el TMN

Características de la mezcla de diseño	Tamaño máximo nominal del árido grueso							
	9.5 mm (3/8")	12.5 mm (1/2")	19 mm (3/4")	25 mm (1")	37.5 mm (1 1/2")	50 mm (2")	75 mm (3")	150 mm (6")
<b>Hormigón no aireado</b>	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
<b>Hormigón aireado</b>								
<b>Exposición pequeña</b>	4.5	4	3	3	2.5	2	1.5	1
<b>Exposición moderada</b>	6	5.5	5	4.5	4.5	4	3.5	3
<b>Exposición Severa</b>	7.5	7	6	6	5.5	5	4.5	4

Después de esto, se da la elección del asentamiento de acuerdo con el diseño que se va a realizar y se determinó la cantidad aproximada de agua en kilogramos por metro cúbico, tal como se indica en la Tabla 7.

**Tabla 7.** Cantidad de agua aproximada en función del asentamiento y TMN.

Asentamiento mm (pulg)	Tamaño máximo nominal del árido grueso							
	9.5	12.5	19	25	37.5	50	75	150
	mm (3/8")	mm (1/2")	mm (3/4")	mm (1")	mm (1 1/2")	mm (2")	mm (3")	mm (6")
<b>Hormigón no aireado</b>								
<b>25 a 50 (1 a 2)</b>	207 (350)	199 (335)	190 (315)	179 (300)	166 (275)	154 (260)	130 (220)	113 (190)
<b>75 a 100 (3 a 4)</b>	228 (385)	216 (365)	205 (340)	193 (325)	181 (300)	169 (285)	145 (245)	124 (210)
<b>150 a 175 (6 a 7)</b>	243 (410)	228 (385)	216 (360)	202 (340)	190 (315)	178 (300)	160 (270)	...
<b>Hormigón aireado</b>								
<b>25 a 50 (1 a 2)</b>	181 (305)	175 (295)	168 (280)	160 (270)	150 (250)	142 (240)	122 (205)	107 (180)
<b>75 a 100 (3 a 4)</b>	202 (340)	193 (325)	184 (305)	175 (295)	165 (275)	157 (265)	133 (225)	19 (200)
<b>150 a 175 (6 a 7)</b>	216 (365)	205 (345)	197 (325)	184 (290)	174 (290)	166 (280)	154 (260)	---

Para terminar, se realizó una reducción en la cantidad de agua en base al tipo de árido que se tenía:

**Tabla 8.** Reducción de agua en base a la forma del árido

Forma del árido	Reducción en el contenido de agua kg /m <sup>3</sup>
Sub – angular	12
Grava con partículas trituradas	21
Grava redondeada	27

Cada una de las tablas indicadas fue utilizada para conocer la dosificación correcta para un hormigón de 240 kg /cm<sup>2</sup>. La cantidad de material calculada es para un batch, de este, se tomarán 6 muestras por cada dosificación, mismos que serán ensayadas a los 3, 7 y 28 días, 2 cilindros por cada edad, obteniendo un total de 36 probetas de hormigón, de los cuales 6 pertenecen a un hormigón convencional con resistencia a la compresión de 240 kg /cm<sup>2</sup> , 6 a un hormigón convencional con resistencia a la compresión de 240 kg /cm<sup>2</sup> con reemplazo del 10% de arena por vidrio molido, 6 a un hormigón convencional con resistencia a la compresión de 240 kg /cm<sup>2</sup> con reemplazo del 20% de arena por vidrio molido, 6 a un hormigón convencional con resistencia a la compresión de 240 kg /cm<sup>2</sup> con reemplazo del 30% de arena por vidrio molido, 6 a un hormigón convencional con resistencia a la compresión de 240 kg /cm<sup>2</sup> con reemplazo del 40% de arena por vidrio molido y 6 a un hormigón convencional con resistencia a la compresión de 240 kg /cm<sup>2</sup> con reemplazo del 60% de arena por vidrio molido.

**Tabla 9 .** Dosificación para un hormigón con resistencia a la compresión de  $f'_c=240$  kg/cm<sup>2</sup>

**DOSIFICACIÓN PARA UN HORMIGÓN CON RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE F'C= 240 Kg/cm<sup>2</sup>**

<b>Material</b>	<b>Peso</b>	<b>Volumen</b>	<b>Peso para un batch</b>
	(Kg)	(m <sup>3</sup> )	(Kg)
<b>Cemento</b>	425	0.147	8.5
<b>Agua</b>	213	0.213	3.78
<b>Arena</b>	825.87	0.335	16.99
<b>Ripio</b>	675.53	0.286	13.51
<b>Aire</b>	2%	0.020	
<b>Total</b>		1.00	

Asimismo, en la tabla 10 se procede a expresar la dosificación para cilindros de hormigón de  $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$  considerando el reemplazo de la arena por vidrio reciclado en distintos porcentajes.

**Tabla 10.** Dosificación para un hormigón convencional con resistencia de  $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$

**DOSIFICACIÓN PARA UN HORMIGÓN CON RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE  $F'C = 240 \text{ Kg/cm}^2$  CON SUSTITUCIÓN PARCIAL DE VIDRIO EN REEMPLAZO DEL ÁRIDO FINO**

<b>Material</b>	10%	20%	30%	40%	60%
	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)
<b>Cemento</b>	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50
<b>Agua</b>	3.36	4.01	3.59	3.96	0.04
<b>Arena</b>	15.88	8.49	12.36	10.19	6.80
<b>Ripio</b>	13.34	13.51	13.35	13.51	13.51
<b>Vidrio</b>	1.61	8.06	4.83	6.45	9.67

### **8. Elaboración de probetas cilíndricas de hormigón**

Para realizar los especímenes de hormigón convencional y hormigón con material reciclado se empleó la norma NTE INEN 1576 (ASTM C31). Los moldes cilíndricos e implementos utilizados para la elaboración de probetas cumplen con las especificaciones dadas en la normativa.

Las mezclas realizadas fueron utilizadas para la elaboración de 6 probetas por cada dosificación, además, se consideró un excedente dentro de la misma mezcla que fue empleado para realizar el ensayo de asentamiento.

El proceso para agregar el árido fino reciclado en las dosificaciones fue calculado con respecto al volumen total del cemento, agua y aire, en dónde una vez conocido este valor se determinó el volumen perteneciente al árido fino, mismo que se calculó con respecto al

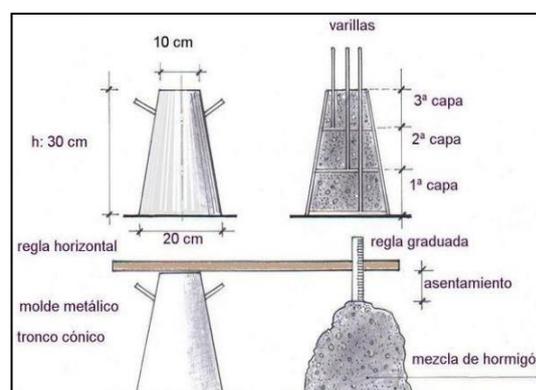
porcentaje óptimo de arena ( especificado en la tabla 6) , en dónde se consideró, que si el volumen del árido fino es de  $0.34 \text{ m}^3$  , este se tomará como el 100% de modo que el vidrio trabajará con respecto a este porcentaje y para el ripio se consideró el volumen total de los agregados por el porcentaje óptimo de ripio ( especificado en la tabla 6) .

Primero, se humedeció la concretera para que sus paredes no absorban el agua útil para la hidratación del cemento, después se lo dejó escurrir 1 minuto para que no altere la relación agua/cemento, determinada para la mezcla.

Luego, se llevó a cabo el proceso de mezcla, para esto, se colocó todo el agregado grueso y la mitad del agua en la concretera y se mezcló durante un minuto, después, se colocó todo el árido fino y se mezcló durante otro minuto, seguidamente se colocó el cemento y se sintetizó por otro minuto más, una vez completado este tiempo se colocó el agua restante y se dejó homogeneizar por 2 minutos más, para así descargar el material en una carretilla y poder realizar los ensayos de trabajabilidad con el cono de Abrams y una varilla lisa de puntas redondeadas en sus extremos.

Para realizar el ensayo de trabajabilidad se rellenó el cono de Abrams en 3 capas de mezcla, y en cada capa se compactó con 25 golpes de la varilla, una vez realizado esto se procedió a medir el asentamiento de estos tal como se muestra en la siguiente figura:

**Figura 9.** Ensayo de asentamiento



**Nota.** Recuperado de Niño Hernández, J. (2010). Tecnología de concreto (Tercera Ed.). ASOCRETO.

Así también, se consideró el tipo de consistencia que puede tener una mezcla en base al resultado obtenido en el ensayo, misma que dio como resultado que todas las dosificaciones realizadas se encontraban dentro del rango blanda, lo que permitió, trabajar la mezcla con mucha facilidad.

**Tabla 11.** Consistencia del hormigón en base al ensayo de trabajabilidad

<b>Consistencia de la mezcla</b>	<b>Asentamiento (mm)</b>
<b>Seca</b>	0 a 20
<b>Plástica</b>	30 a 50
<b>Blanda</b>	60 a 90
<b>Fluida</b>	100 a 150
<b>Líquida</b>	160 a 200

Después, se colocó la mezcla en los moldes cilíndricos, llenándolos en 3 capas y en cada una se compactó con 25 golpes, luego con un martillo de goma se golpeó alrededor del molde de 10 a 15 veces, para eliminar burbujas de aire atrapadas en el vertido.

Para terminar, se colocó las probetas en un lugar seguro, en dónde no se encuentre expuesto a cambios climáticos, de manera que no se produzca la evaporación de agua existente en la mezcla del hormigón y demos cumplimiento con la normativa.

El proceso de desencofrado se lo realizó 24 horas después, además, se etiquetó cada una de ellas y se colocó en la piscina de curado dividiéndolas en 3 grupos, para así tener probetas para ensayar a los 3 días, 7 días y 28 días. Las etiquetas se las colocó para diferenciarlas distintas dosificaciones realizadas y llevar a cabo un correcto procesamiento de los especímenes.

## **9. Ensayo de Resistencia a la Compresión**

Este ensayo se lo realiza mediante la aplicación de una carga axial en las probetas que tengan una relación altura/diámetro igual a 2 y una velocidad de  $0.25 \pm 0.05$  MPa/s, bajo la normativa NTE INEN 1573. (ASTM C39). La resistencia a la compresión se determinó utilizando la prensa del laboratorio de la empresa Hormi Center Cia. Ltda. Para determinar la resistencia se utilizó la Ecuación 16.

Una vez fallado el espécimen, hay que catalogar el tipo de rotura en base a la figura 5 y distribuir esfuerzos.

## **CAPÍTULO III**

### **ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Los resultados obtenidos del ensayo a compresión en las distintas edades de las probetas elaboradas se presentan en las siguientes tablas, de acuerdo con el porcentaje de vidrio con el cuál se reemplazó de manera parcial el árido fino en las dosificaciones, estos resultados permitirán emitir las deducciones necesarias del estudio en cuestión.

**Tabla 12 . Resistencia a la compresión de un hormigón a los 3 días de edad**

	<b>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>SEDE CUENCA</b>	
ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE $f_c = 240 \text{ kg/cm}^2$ ENTRE UN HORMIGÓN CONVENCIONAL Y UN HORMIGÓN CON MEZCLA DE VIDRIO MOLIDO EN REEMPLAZO PARCIAL DEL ÁRIDO FINO		
<b>RESULTADO ENSAYOS A COMPRESIÓN DE PROBETAS DE HORMIGÓN ( 3 DÍAS)</b>		
Enayado por:	Orellana Angamarca Verónica Marisol	
	Narváez Domínguez Josseline Estefanía	
Fecha de elaboración :	16-nov-23	
Fecha de ensayo:	19-nov-23	
Edad (días)	3	

N°	% de Vidrio	N° Cilindro	Peso	Altura	Diámetro	Carga	Carga	Área	Factor de conversión	Esfuerzo de compresión	Esfuerzo de compresión Promedio	Tipo de fractura
			(gr)	cm	cm	(kN)	(Mpa)	cm <sup>2</sup>	101,9	(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )	
1	0%	I	3872,00	20,10	10,5	129,888	16,538	836,2134246	13235,5872	155,2726931	147,843	3
2		II	3808,00	20,10	10,40	116,11	14,784	826,615859	11831,609	140,4135706		3
1	10%	I	3714,000	20,400	10,300	84,966	10,818	826,7572307	8658,0354	102,7330928	92,280	3
2		II	3719,000	20,300	10,300	67,411	8,583	823,5213902	6869,1809	81,82746123		3
1	20%	I	3739,00	20,20	10,36	103,754	13,210	826,0403192	10572,5326	125,5586954	136,46	2
2		II	3711,00	20,20	10,30	120,917	15,396	820,2855498	12321,4423	147,3552094		2
1	30%	I	3798,00	20,40	10,30	87,897	11,191	826,7572307	8956,7043	106,2769891	113,40	3
2		II	3706,00	20,40	10,30	99,675	12,691	826,7572307	10156,8825	120,5178662		1
1	40%	I	3716,00	20,10	10,30	106,346	13,540	817,0497094	10836,6574	130,1115561	140,09	2
2		II	3797,00	20,20	10,46	125,447	15,972	835,6567344	12783,0493	150,0636667		2
1	60%	I	3694,00	20,10	10,35	109,164	13,899	821,8288572	11123,8116	132,7826236	135,57	5
2		II	3698,00	20,20	10,40	114,865	14,625	829,8831154	11704,7435	138,3610916		5

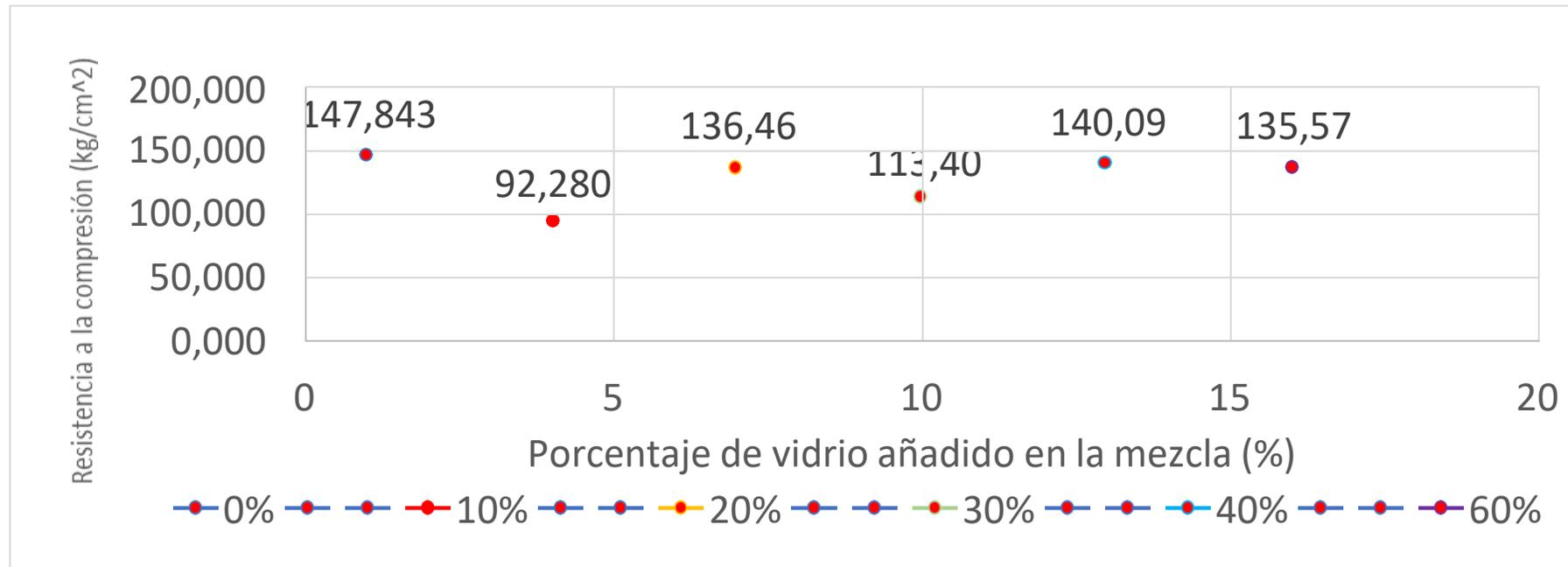
**Tabla 13 . Resistencia a la compresión a los 7 días de edad**

	<b>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>SEDE CUENCA</b>	
ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$ ENTRE UN HORMIGÓN CONVENCIONAL Y UN HORMIGÓN CON MEZCLA DE VIDRIO MOLIDO EN REEMPLAZO PARCIAL DEL ÁRIDO FINO		
<b>RESULTADO ENSAYOS A COMPRESIÓN DE PROBETAS DE HORMIGÓN ( 7 DÍAS)</b>		
Enayado por:	Orellana Angamarca Verónica Marisol Narváz Domínguez Josseline Estefanía	
Fecha de elaboración :	16-nov-23	
Fecha de ensayo:	23-nov-23	
Edad (días)	7	

Nº	% de Vidrio	Nº Cilindro	Peso	Altura	Diámetro	Carga	Carga	Área	Factor de conversión	Esfuerzo de compresión	Esfuerzo de compresión Promedio	Tipo de fractura
			(gr)	cm	cm	(kN)	(Mpa)					
1	0%	I	3684,00	20,40	10,30	153,51	19,546	826,7572307	15642,669	185,6102096	190,888	5
2		II	3828,00	20,40	10,40	164,135	20,898	836,4176281	16725,3565	196,1648604		1
1	10%	I	3704,00	20,10	10,40	118,136	15,042	826,615859	12038,0584	142,8636429	148,960	5
2		II	3832,00	20,10	10,40	128,218	16,325	826,615859	13065,4142	155,0559573		5
1	20%	I	3653,00	20,00	10,40	132,119	16,822	823,3486027	13462,9261	160,4075171	161,91	5
2		II	3853,00	20,10	10,40	135,127	17,205	826,615859	13769,4413	163,4111149		5
1	30%	I	3754,00	20,00	10,40	137,954	17,565	823,3486027	14057,5126	167,4918718	166,91	5
2		II	3685,00	20,10	10,30	135,949	17,310	817,0497094	13853,2031	166,3300542		5
1	40%	I	3776,00	20,40	10,40	158,64	20,199	836,4176281	16165,5179	189,5987426	187,34	3
2		II	3737,00	20,40	10,20	151,29	19,263	817,1282492	15416,7567	185,0852463		1
1	60%	I	3796,00	20,40	10,40	149,05	18,98	836,4176281	15188,3988	178,1385127	157,89	6
2		II	3715,00	20,30	10,40	114,714	14,606	833,1503717	11689,3566	137,6373247		5

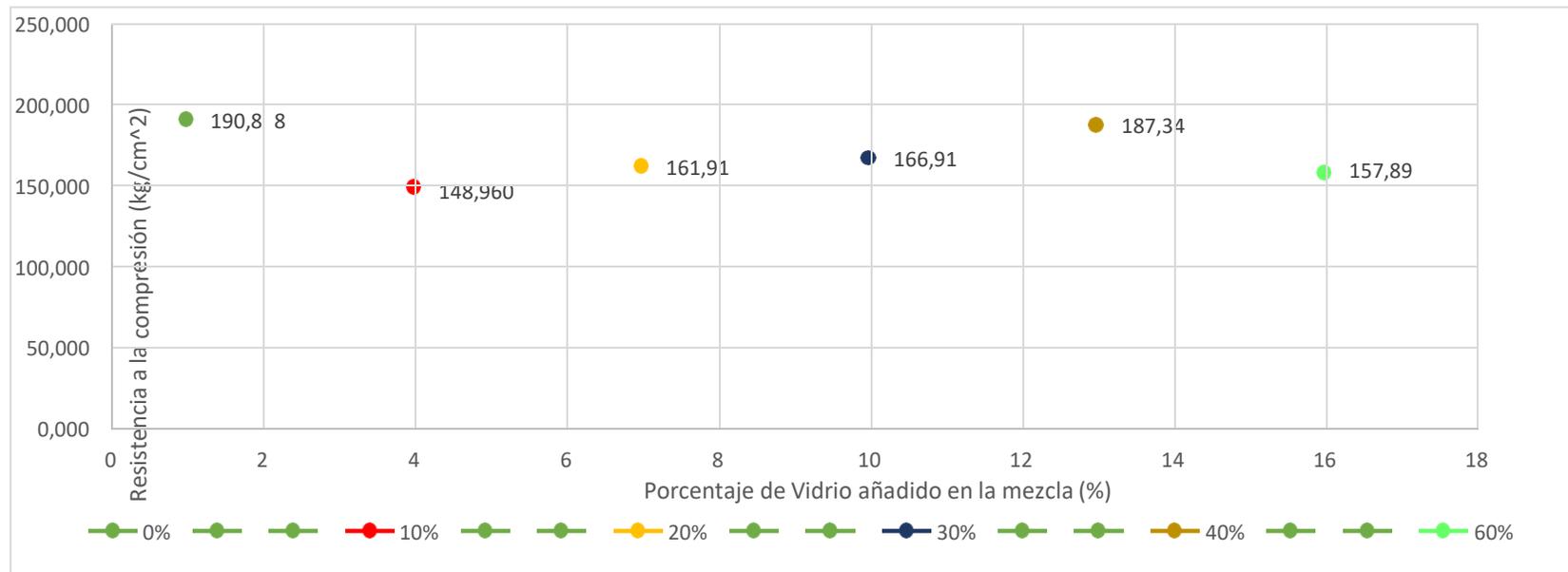
Tabla 14 . Resistencia a la compresión a los 28 días de edad

				<b>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA</b>									
				<b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>									
				<b>SEDE CUENCA</b>									
				<b>ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE <math>f_c = 240 \text{ kg/cm}^2</math> ENTRE UN HORMIGÓN CONVENCIONAL Y UN HORMIGÓN CON MEZCLA DE VIDRIO MOLIDO EN REEMPLAZO PARCIAL DEL ÁRIDO FINO</b>									
				<b>RESULTADO ENSAYOS A COMPRESIÓN DE PROBETAS DE HORMIGÓN ( 28 DÍAS)</b>									
				Ensayado por:		Orellana Anqamarca Verónica Marisol Narváez Domínguez Josseline Estefanía							
				Fecha de elaboración:		16-nov-23							
				Fecha de ensayo:		14-dic-23							
				Edad (días)		28							
N°	% de Vidrio	N° Cilindro	Peso	Peso promedio	Altura	Diámetro	Carga	Carga	Área	Factor de conversión	Esfuerzo de compresión	Esfuerzo de compresión	Tipo de fractur
			(gr)	(gr)	cm	cm	(kN)	(Mpa)	cm <sup>2</sup>	101,9	(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )	
1	0%	I	3809,00	3818,00	20,40	10,50	252,76	32,182	846,1034414	25756,1421	258,62302	233,78	4
2		II	3827,00		20,40	10,40	251,81	32,061	836,4176281	25653,2352	300,94667		4
1	10%	I	3740,00	3784,00	20,20	10,4	201,77	25,69	829,8831154	20560,0573	243,03924	238,85	5
2		II	3828,00		20,20	10,5	197,08	25,093	839,5120969	20082,1463	234,66708		5
1	20%	I	3696,00	3715,50	20,10	10,50	235,342	29,365	836,2134246	23981,3438	281,33612	277,20	5
2		II	3735,00		20,20	10,50	229,328	29,190	839,5120969	23368,5232	273,06958		3
1	30%	I	3749,00	3784,50	20,30	10,4	194,57	24,774	833,1503717	19827,0906	233,45577	243,14	5
2		II	3820,00		20,10	10,4	209,07	26,619	826,615859	21303,8254	252,82666		5
1	40%	I	3732,00	3738,50	20,10	10,50	258,84	32,956	836,2134246	26375,2865	309,42048	285,08	5
2		II	3865,00		20,10	10,50	218,12	27,771	836,2134246	22225,9185	260,74236		3
1	60%	I	3704,00	3694,50	20,20	10,30	213,092	27,896	820,2855438	22325,4748	266,99594	279,30	4
2		II	3685,00		20,20	10,40	242,08	30,822	829,8831154	24667,7482	291,59602		4



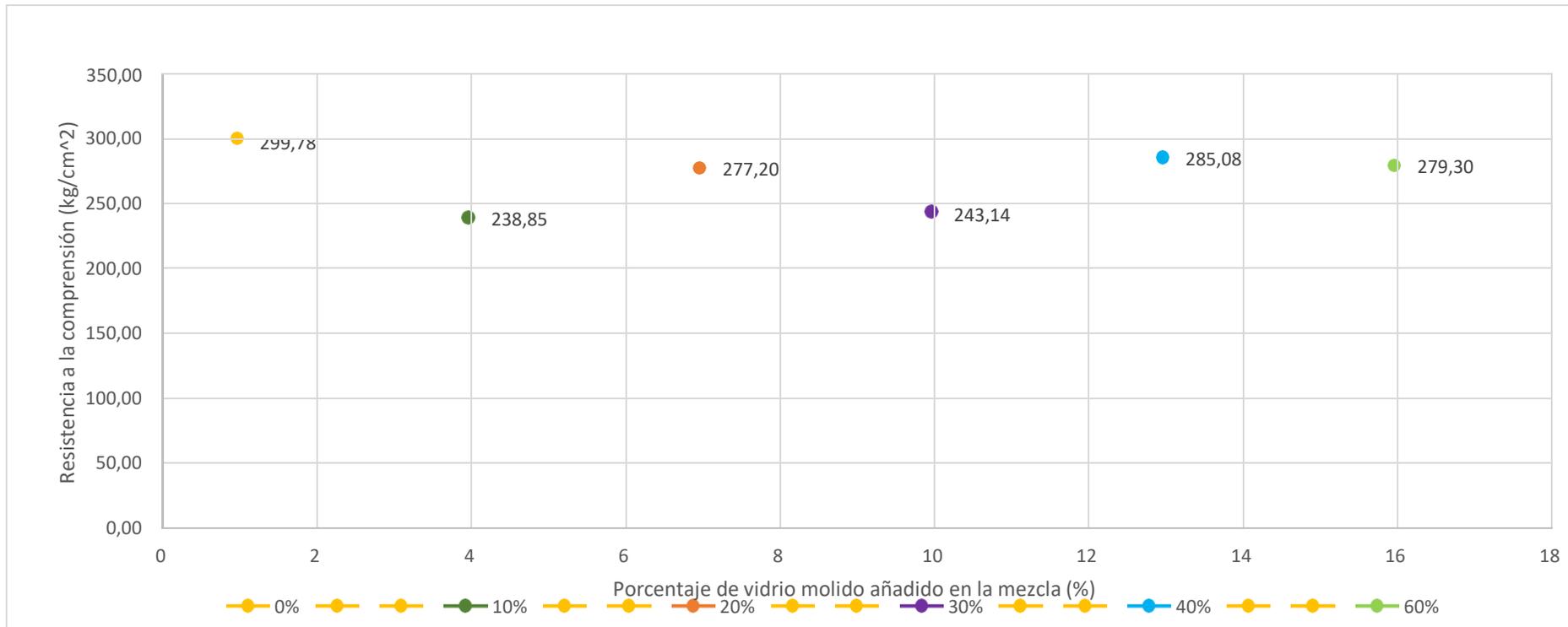
**Interpretación:** El ensayo a compresión de las probetas de hormigón a los 3 días de edad permite identificar que las muestras de hormigón convencional alcanzan una resistencia de  $f'c=147.80$  kg/cm<sup>2</sup>, sin embargo, la misma reduce con un 10% y 30% de vidrio, y las mezclas de hormigón del 20%, 40% y 60% de vidrio molido ganan resistencia. A esta edad la mayor resistencia se obtuvo en los cilindros convencionales con  $f'c=147.80$  kg/cm<sup>2</sup>, y en los cilindros con el 40% de vidrio molido con una resistencia de  $f'c=140.00$  kg/cm<sup>2</sup>.

**Figura 11.** Curva de Resistencia a la compresión del Hormigón a los 7 días de Edad vs. Porcentaje de Vidrio Molido



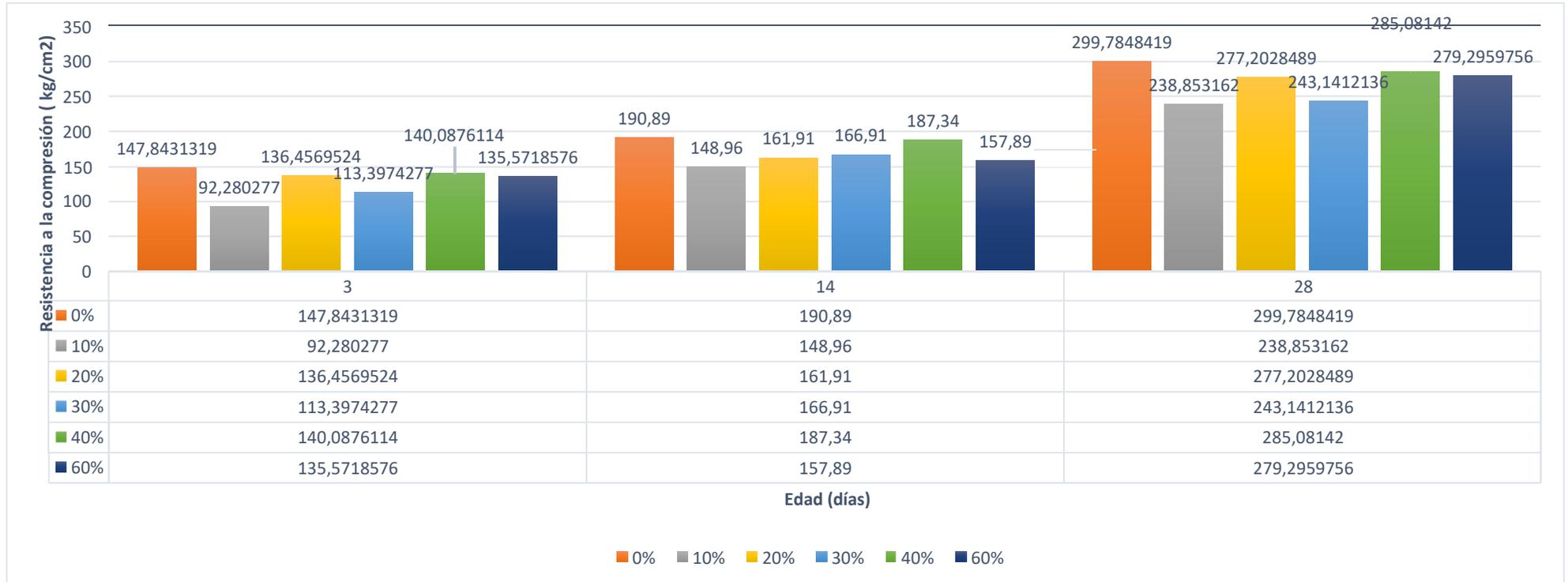
**Interpretación:** El ensayo a compresión de las probetas de hormigón a los 7 días de edad permite identificar que las muestras de hormigón convencional alcanzan una resistencia de  $f'_c=190.88 \text{ kg/cm}^2$ , sin embargo, la misma reduce hasta las mezclas con un 10% de vidrio, y a partir de esta las mezclas de hormigón del 20%, 30% y 40% empiezan a ganar resistencia. A esta edad la mayor resistencia se obtuvo en los cilindros convencionales con  $f'_c= 190.88 \text{ kg/cm}^2$ , y en los cilindros con el 40% de vidrio molido con una resistencia de  $f'_c=187.34 \text{ kg/cm}^2$ .

**Figura 12 .** Curva de resistencia a la compresión del hormigón a los 28 días de edad vs porcentaje de vidrio molido



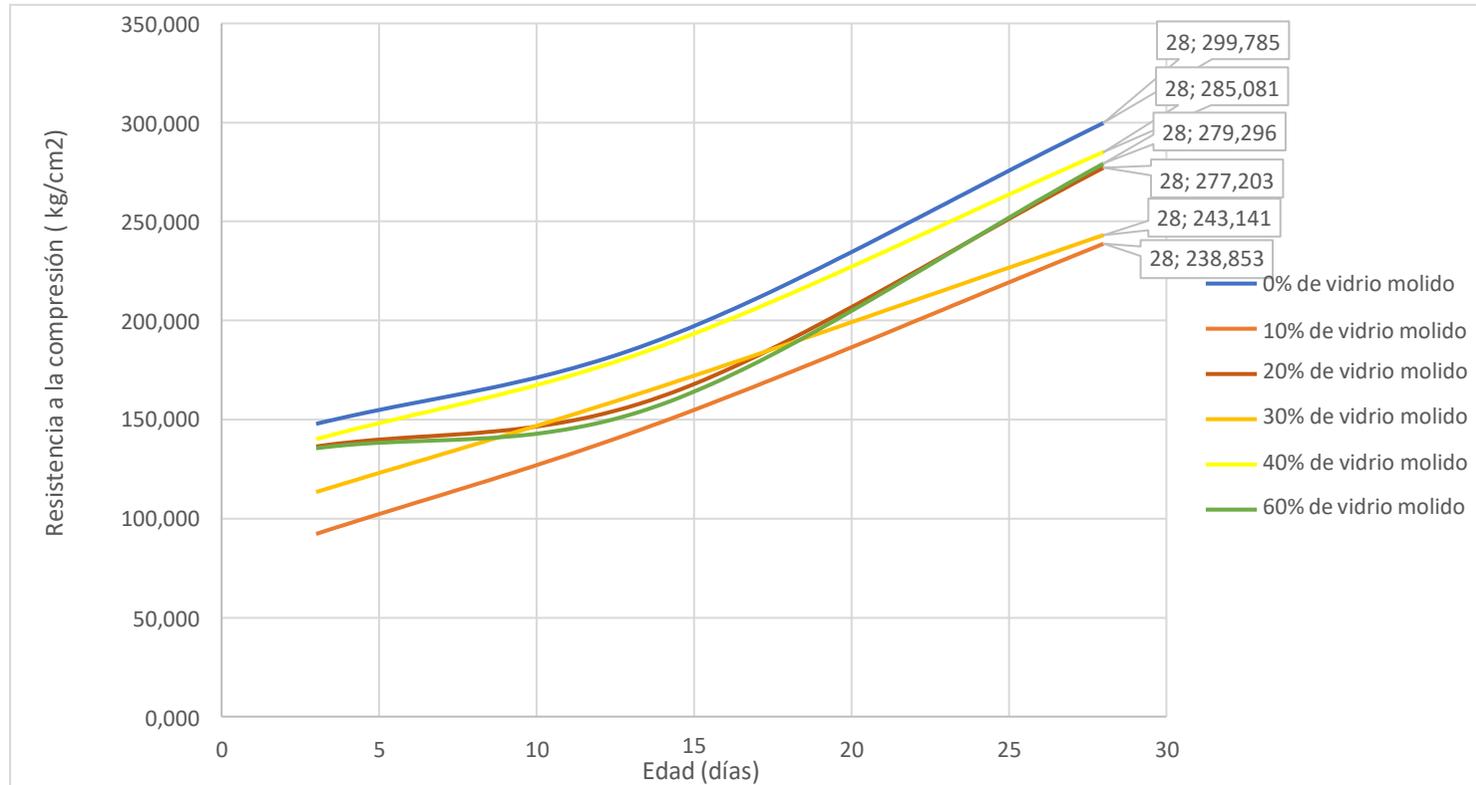
**Interpretación:** A los 28 días de edad se puede ver variaciones en las mezclas de hormigón, en el convencional se puede ver que alcanza una resistencia a la compresión de  $f'_c=299,78 \text{ kg/cm}^2$ , pero, el hormigón que posee un 10% y 30% de vidrio reciclado tienen las resistencias a la compresión más bajas con un  $f'_c=238,85 \text{ kg/cm}^2$ , y  $f'_c=243,14 \text{ kg/cm}^2$ , respectivamente, a diferencia de los hormigones que poseen en 20%, 40% y 60% de vidrio molido. A esta edad la mayor resistencia se obtuvo en el hormigón convencional y en los cilindros elaborados con el 40% de vidrio.

**Figura 13.** Resistencia a la compresión del hormigón vs Edad del Hormigón



**Interpretación:** los resultados de las pruebas a compresión en las distintas probetas muestran que a los 28 días de edad se da la mayor resistencia en el hormigón sin contenido de vidrio con una resistencia a la compresión de  $f'_c = 299.78 \text{ kg/cm}^2$  sobrepasando y cumpliendo con lo estipulado en la hipótesis 1, así también presenta propiedades similares el hormigón con sustitución del 40% de vidrio molido en reemplazo parcial del árido fino con una resistencia a la compresión de  $f'_c = 285.08 \text{ kg/cm}^2$ , sin embargo, el porcentaje de vidrio que más asemeja sus propiedades a un hormigón de resistencia  $f'_c = 240 \text{ kg/cm}^2$  tiene una resistencia a la compresión de  $f'_c = 243.14 \text{ kg/cm}^2$  y pertenece a un hormigón con el 30% de vidrio molido en reemplazo parcial del árido fino, resolviendo la hipótesis 2 planteada en el trabajo de titulación.

**Figura 14.** Curva de resistencia a la compresión del hormigón vs Edad del hormigón



**Interpretación:** En esta imagen se puede observar el comportamiento que tuvo la mezcla a través del tiempo hasta completar los 28 días de edad. Las mezclas de hormigón que contiene 40% y 60% de vidrio presentan una curva de crecimiento rápida de resistencia a la compresión mientras que el 20% y 30% de vidrio tienen un crecimiento ralentizado, pero cumplen con la resistencia planteada de 240 kg/cm<sup>2</sup>, a diferencia del hormigón que contiene el 10 % de vidrio que presenta una curva en ascenso, sin embargo, no cumple con la resistencia estipulada,

## **1. Interpretación de Resultados**

### ***1.1. Ensayos realizados a los agregados***

Con cada uno de los ensayos realizados al agregado fino de la Mina Rookaazul Cía.Ltda. ubicada en el sector del descanso y al agregado grueso de la Mina La milagrosa, ubicada en Santa Isabel se determinó que son aptos para la elaboración de hormigones y se encuentran dentro de los límites estipulados por las normativas correspondientes.

### ***1.2. Ensayos realizados al Vidrio Reciclado***

El vidrio reciclado en forma de botellas, puertas y ventanas rotas fue lavado, desinfectado y triturado, posteriormente se realizó el ensayo de granulometría determinando que la muestra obtenida es apta para reemplazar de manera parcial al árido fino en el diseño de hormigones.

### ***1.3. Ensayo de Compresión de Probetas Cilíndricas de Hormigón***

Las muestras realizadas para el hormigón convencional y para cada porcentaje de vidrio añadido en reemplazo parcial del árido fino y ensayados a compresión a las diferentes edades dieron resistencias variadas, incluso llegaron a sobrepasar los límites planteados de resistencia para un hormigón convencional, se dio un único caso en el que no se llegó a la resistencia estipulada ( 240 Kg/cm<sup>2</sup>), estas son las probetas elaboradas con el 10% de vidrio molido en reemplazo parcial del árido fino ensayados a los 28 días de edad.

## **2. Verificación de Hipótesis**

El análisis de los resultados obtenidos en los diferentes ensayos realizados en las probetas de hormigón permite dar respuesta a las hipótesis planteadas. Confirmando que con la dosificación adecuada se logró cumplir con una resistencia teórica de 240 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de edad en un hormigón convencional siendo la resistencia real 299,78 kg/cm<sup>2</sup> , dato que indica que se sobrepasó los límites planteados, además se determinó que los distintos

porcentajes de vidrio molido en el hormigón como reemplazo parcial del árido fino también pueden llegar a sobrepasar los límites de resistencia planteada teóricamente, por lo que se concluye que la resistencia más cercana a 240 kg/cm<sup>2</sup> es la perteneciente al 30% de vidrio molido como reemplazo parcial del árido fino, teniendo una resistencia a la compresión de 243,14 kg/cm<sup>2</sup> , sin embargo, el 40% de vidrio molido como reemplazo parcial del árido fino dio como resultado una resistencia de 285,081 kg/cm<sup>2</sup> siendo el valor que más se asemeja a la resistencia real del hormigón convencional ensayado.

## CAPITULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### Conclusiones

- Las dosificaciones del vidrio reciclado molido (10%, 20%, 30%,40% y 60%) fueron elaboradas en base al volumen de agregado fino que se obtuvo por m<sup>3</sup> en cada diseño de mezcla, obteniéndose una resistencia a la compresión de  $f'c= 238.85 \text{ kg/cm}^2$  (10%),  $f'c= 277,20 \text{ kg/cm}^2$  (20%),  $f'c= 243,14 \text{ kg/cm}^2$  (30%),  $f'c= 285,081 \text{ kg/cm}^2$  (40%) y  $f'c= 279,29 \text{ kg/cm}^2$  (60%), para una resistencia a la compresión de  $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$  a los 28 días.
- En estado fresco en las dosificaciones de concreto se determinó que la incorporación de vidrio reciclado molido no influyó en el asentamiento, permitiendo que la consistencia del concreto se encuentre dentro del rango plástico lo que permitió que la mezcla sea trabajable.
- En cuanto al hormigón con mezcla de vidrio molido en reemplazo parcial del árido fino no solo demuestra ser una alternativa viable, sino que también muestra resultados prometedores en términos de resistencia a la compresión. Los porcentajes de 30% y 40% al cumplir en su totalidad de 28 días de curado han mostrado ser aceptables para el diseño de losas, proporcionando resistencias al aplastamiento que cumplen con los estándares necesarios para las aplicaciones constructivas. Estos porcentajes ofrecen una combinación óptima entre la mejora de propiedades medioambientales (reciclaje de vidrio) y la preservación de las propiedades mecánicas del hormigón necesario para aplicaciones estructurales.

## Recomendaciones

- Describir cuidadosa y detalladamente todos los datos obtenidos durante el proyecto incluyendo las proporciones exactas de los materiales empleados en la mezcla de concretos convencionales y con adiciones de vidrio molido.
- Realizar prueba de resistencia a diferentes edades del concreto 3,7,14 y 28 días de edad para observar cómo se desarrolla la resistencia a lo largo del tiempo en las distintas mezclas.
- Se recomienda llevar a cabo investigaciones futuras para explorar los límites de la incorporación de vidrio molido en el hormigón con un enfoque en porcentajes más altos, incluyendo el de un porcentaje total de vidrio.
- Considerar investigaciones adicionales que se centren en el impacto ambiental de la incorporación de vidrio molido u otras adicciones como, por ejemplo, hormigones con refuerzos de acero.
- Realizar los análisis económicos para evaluar la viabilidad comercial de la producción a gran escala de hormigones con vidrio molido. Determinar los costos asociados con la producción y compararlos con beneficios económicos y ambientales puede orientar decisiones prácticas en futuros proyectos.
- Además, se debe evaluar el ciclo de vida completo del material en cuestión; sin importar cuál sea este, y comparar su huella ambiental con la del hormigón convencional para obtener datos fundamentales para proyectos futuros y modernizados.
- Abogar por políticas que fomenten la adopción de grandes prácticas en la industria de la construcción. La creación de incentivos y regulaciones que promuevan el uso de materiales reciclados puede acelerar la transición hacia enfoques más sostenibles.
- Además, se sugiere realizar ensayos de resistencia a largo tiempo bajo cargas sostenidas del hormigón.

## CAPÍTULO V

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, J. (03 de mayo de 2017). repositorio.upn.edu.pe. Obtenido de Resistencia a compresión uniaxial de concreto  $f_c=175$  kg/cm<sup>2</sup> de agregados de cerro con la adición de fibras de polipropileno, UPN – 2016: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/9984>
- Almeida y Trujillo, «Principios básicos de la construcción sostenible utilizando vidrio triturado en la elaboración de hormigones», p. 248, 18 de abril del 2017
- Alvarado, S., & Velez, A. (julio-diciembre de 2019). Revista Riemat. Obtenido de Estudio de la resistencia a compresión del hormigón utilizando el vidrio finamente molido en reemplazo parcial del cemento : [file:///C:/Users/andre/Downloads/2187-Art%C3%ADculo-7106-1-10-20200109%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/andre/Downloads/2187-Art%C3%ADculo-7106-1-10-20200109%20(1).pdf)
- Aparna Srivastav, K. (02 de Marzo de 2016). International Innovation in Engineering and Technology . Obtenido: <http://ijniel.org/wp-content/uploads/2016/03/2.pdf>
- Armijos, C., & Chabla, J. (2021). Universidad de machla repositorio. Obtenido de: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/16541>
- Canet, J. (2012). portal.camins.upc.edu. Obtenido de: [https://portal.camins.upc.edu/materials\\_guia/250120/2012/Resistencia%20de%20materiales%20y%20estructuras.pdf](https://portal.camins.upc.edu/materials_guia/250120/2012/Resistencia%20de%20materiales%20y%20estructuras.pdf)
- Cano Cano, J., & Cruz Pulgarin, C. (2017). repositorio.unilibre.edu.co. Obtenido de ANÁLISIS DE MEZCLAS DE CONCRETO CON PROPORCIONES DE VIDRIO molido, tamizado y granular como aditivo, a fin de aumentar la resistencia a la compresion del hormigon : <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/17082/ANALISIS%20DE%20MEZCLAS%20DE%20CONCRETO.pdf?sequence=1>

- Carrillo, D. A. (2019). Revista de investigacion en Energia, medio ambiente y tecno. Obtenido de: <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Riemat/article/view/2187>
- Castro Cardona, C., Bastidas Vallejo, S., & Romero Bustos, Y. (26 de junio de 2020). Facultad de Ingenieria Programa de Bogota D.C. Obtenido de con vidrio molido reciclado como reemplazo de agregado fino: <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/d9a1ab52-e70b-4e4c-ac9f-968b810ca6ba/content>
- Frometa, Z., & Vidaud, I. (18 de Agosto de 2020). redalyc. Obtenido de empleo del vidrio reciclado triturado en sustitución parcial del árido fino para elaborar hormigón con fines de sostenibilidad: <https://www.redalyc.org/journal/1813/181366194006/html/>
- Garcia Ruiz, M. A. (24 de febrero de 2021). repositorio.ucp.edu.pe. Obtenido CONVENCIONAL: <http://repositorio.ucp.edu.pe/handle/UCP/1208>
- Gonzalez, M. (2020). Dialnet. Obtenido de: <file:///C:/Users/andre/Downloads/Dialnet-UsoDeVidrioDeDesechoEnLaFabricacionDeLadrillosDeAr-5063615.pdf>
- Guillen Ezcurra, J. A. (22 de octubre de 2019). Universidad Privada del Norte. Obtenido: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/22276>
- Instituto Ecuatoriano de Normalizacion (INEN). (2015). normalizacion.gob.ec. Obtenido de Hormigon Requisitos: [https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte\\_inen\\_1855-1.pdf](https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_1855-1.pdf)
- Kashani, A., & Tuan, D. (2019). Effect of recycled glass fines on mechanical and durability properties of concrete foam in comparison with traditional cementitious fines. ScienceDirect, 120-129. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0958946517309630>

- Leon, L., & Rodriguez, C. (01 de noviembre de 2022). Redalyc. Obtenido de Factores que influyen en compresión de cemento. estado del arte: <https://www.redalyc.org/journal/1939/193972950003/html/>
- Montalvo, C. (14 de octubre de 2021). ELSEIVER. Obtenido de Desperdicio Vidrio Polvo : [https://es.scribd.com/document/532329342/49-Desperdicio -Polvo - Reemplazo-Parcial-De Hormigon-Por-Sustentable-Hormigon-Practica-en-Es#<](https://es.scribd.com/document/532329342/49-Desperdicio-Polvo-Reemplazo-Parcial-De-Hormigon-Por-Sustentable-Hormigon-Practica-en-Es#<)
- Nuñez, G., & Peñafiel, D. (24 de 06 de 16). repositorio.uta.edu.ec. Obtenido de: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/23038?mode=full>
- Peñafiel Carrillo, D. A. (2017). repositorio.uta.edu.ec. Obtenido de: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/23038>
- Peñafiel, D. (2016). Universidad tecnica de Ambato- repositorio. Obtenido de: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/23038/1/Tesis%20%201011%20-%20Pe%c3%blafiel%20Carrillo%20Daniela%20Alejandra.pdf>
- Rodriguez, A., & Rodriguez, P. (2019). up.edu.pe. Obtenido de Efecto del en las propiedades físicas y mecánicas del concreto.: <https://www.upt.edu.pe/upt/web/home/contenido/100000000/65519409>
- Ruiz, E. (2016). jornadasaie.org.ar. Obtenido de ENSAYOS DE RESISTENCIA Y PERMEABILIDAD DE PROBETAS DE HORMIGON CON REEMPLAZO PARCIAL DE CEMENTO: <https://jornadasaie.org.ar/jornadas-aie-antiores/2016/contenidos/trabajos/022.pdf>
- Tamanna, N., Tuladhar, R., & Sivakygan, N. (2020). Construction and Building Materials- Elsevier. Obtenido de Performance waste sand a pasrtial: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095006181933257X?via%3Dihub>

- Vizconde, H. (24 de abril de 2017). es.slideshare.net. Obtenido de Diseño de mezclas concreto metodo ACI: <https://es.slideshare.net/edwinticonaquispe3/diseo-de-mezclas-concreto-metodo-aci>
- Walhoff, G. (17 de 05 de 2018). repositorio.unasam.edu.pe. Obtenido de, Barranca-2016: <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/2120?show=full>
- Wang, C. (08 de febrero de 2017). Elseiver. Obtenido de Evaluacion a a la compresion de hormigon de vidrio Lcd: <https://es.scribd.com/document/532329344/51-Evaluacion-de-La-Resistencia-a-La-Compresion-de-Reciclado-LCD-de-Residuos-Vidrio-Hormigon-Usando-La-Velocidad-Del-Pulso-Ultrasonico-en-Es#>

## CAPÍTULO VI

## ANEXOS

Las siguientes tablas fueron realizadas por las autoras en base a los ensayos de laboratorio realizados.

**Tabla 15.** Granulometría árido fino

 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL SEDE CUENCA 							
ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE F'C=240 kg/cm <sup>2</sup> ENTRE UN HORMIGÓN CONVENCIONAL Y UN HORMIGÓN CON MEZCLA DE VIDRIO MOLIDO EN REEMPLAZO PARCIAL DEL ÁRIDO FINO							
<b>Origen:</b>		Mina Rookaazul Cía.Ltda.					
<b>Ensayado por:</b>		Orellana Angamarca Verónica Marisol					
		Narváez Dominguez Josseline Estefanía					
<b>Fecha:</b>		16 – nov -2023					
<b>Norma</b>		Inen 696					
<b>Masa del agregado fino:</b>		7900 gr					
TAMIZ		RET ENI DO PAR CIAL (gr)	RETENI DO PARCIA L (%)	RETENID O ACUMUL ADO (%)	PASANTE ACUMUL ADO (%)	LÍMIT E INFERI OR (%)	LÍMITE SUPERIO R (%)
INEN (mm)	ASTM						
4.75	No.4	0	0	0	100	95	100
2.36	No.8	18	1.80	1.80	98.20	80	100
1.18	No.16	169	16.90	18.70	81.330	50	85
0.6	No.30	424	42.40	61.10	38.90	25	60
0.3	No.50	265	26.50	87.60	12.40	5	30
0.15	No.100	121	12.10	99.70	0.30	0	10
0.075	No.200	2	0.20	99.90	0.10	0	0
<b>FONDO</b>		1	0.10	100	0.0E +00		
<b>Error admisible</b>	0.99	≤	1 %	<b>Módulo de Finura</b>	2.6890	≈	2.69

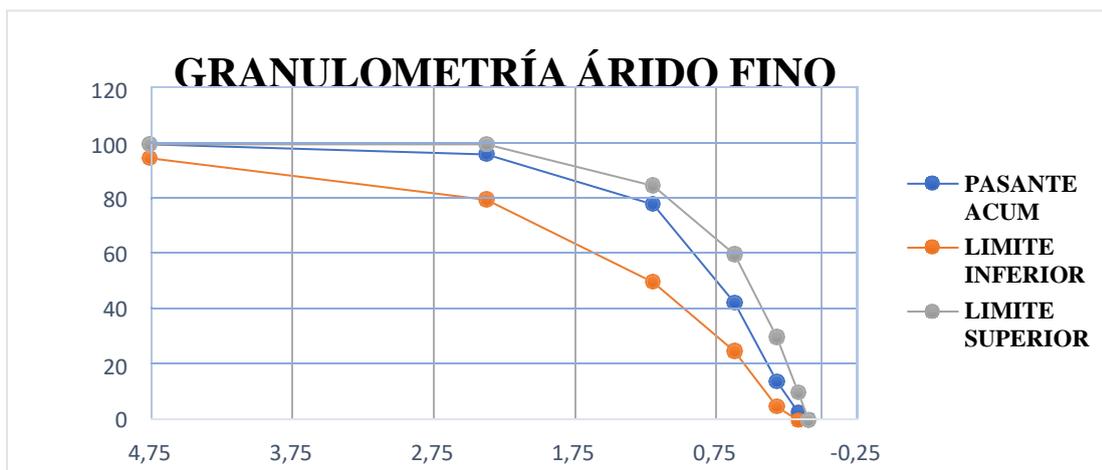
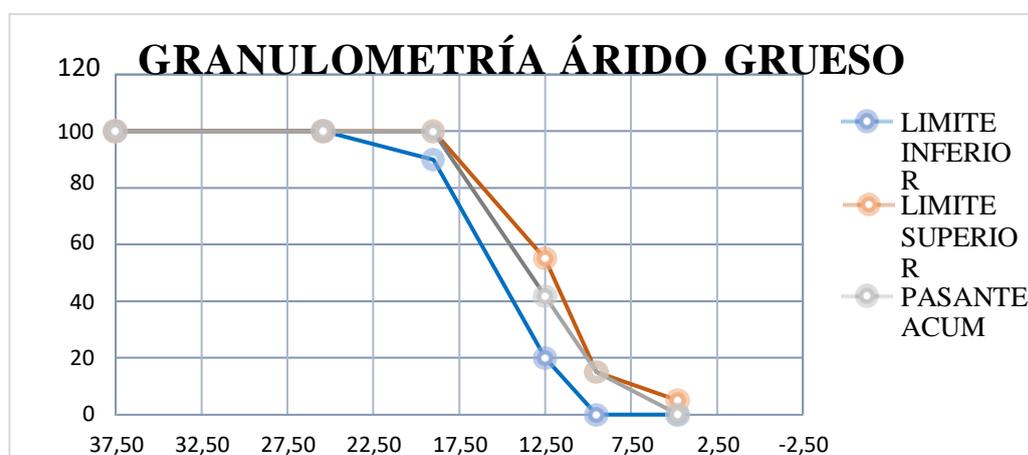


Tabla 16. Granulometría Árido Grueso

TAMIZ		RETENI DO PARCIA L (gr)	RETENI DO PARCIA L (%)	RETENI DO ACUMU LADO (%)	PASANTE ACUMUL ADO (%)	LÍMITE INFERI OR (%)	LÍMITE SUPERI OR (%)
INEN (mm)	AST M						
37.5	1 ½ "	0	0.00	0.00	100.00	100	100
25.4	1 "	16	0.78	0.00	99.22	100	100
19	¾ "	113	5.49	5.49	93.7	90	100
12.5	½ "	863	41.89	47.38	51.84	20	55
9.5	3/8 "	1023	49.66	97.04	2.18	0	15
4.75	No.4	36	1.75	98.79	0.44	0	5
		9	0.44	99.22	0.00		
<b>FONDO</b>		1	0.10	100	0.0E +00		
<b>Error admisible</b>	0.26 7	≤	1 %	<b>Tamaño Máximo Nominal</b>	2.6589	≈	3.66



**Tabla 17.** Densidad de los agregados

 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL SEDE CUENCA 				
ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE F'C=240 kg/cm <sup>2</sup> ENTRE UN HORMIGÓN CONVENCIONAL Y UN HORMIGÓN CON MEZCLA DE VIDRIO MOLIDO EN REEMPLAZO PARCIAL DEL ÁRIDO FINO				
<b>Origen:</b>	Minas Naturales (Rookaazul y la Milagrosa)			
<b>Ensayado por:</b>	Orellana Angamarca Verónica Marisol			
	Narváez Dominguez Josseline Estefanía			
<b>Fecha:</b>	16 – nov -2023			
<b>Norma</b>	Inen 858			
AGREGADO	MASA AGREGADO	MASA PICNÓMETRO + AGUA	MASA PICNÓMETRO + MUESTRA + AGUA	DENSIDAD
FINO	gr	gr	gr	
	648	500	945	2463
AGREGADO	MASA MUESTRA	MASA MUESTRA SUMERGIDA	MASA DE LA MUESTRA SECA AL HORNO	DENSIDAD
RIPIO	gr	gr	gr	
	3001	1732	2919	2.36

Tabla 18. Capacidad de absorción

 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL SEDE CUENCA 		
<b>ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE <math>f'c=240</math> kg/cm<sup>2</sup> ENTRE UN HORMIGÓN CONVENCIONAL Y UN HORMIGÓN CON MEZCLA DE VIDRIO MOLIDO EN REEMPLAZO PARCIAL DEL ÁRIDO FINO</b>		
<b>Origen:</b>	Minas Naturales (Rookaazul y la Milagrosa)	
<b>Ensayado por:</b>	Orellana Angamarca Verónica Marisol	
	Narváez Dominguez Josseline Estefanía	
<b>Fecha:</b>	16 – nov -2023	
<b>Norma</b>	Inen 858	
DESCRIPCIÓN	ARENA	RIPIO
Masa del agregado sss (gr)	500	3001
Masa del agregado seca al horno (gr)	479	2919
Capacidad de absorción (%)	4.39	2.81

Tabla 19. Dosificación con distintos porcentajes de vidrio molido en reemplazo parcial del árido fino

 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL SEDE CUENCA 						
ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE $f'c= 240$ kg/cm <sup>2</sup> ENTRE UN HORMIGÓN CONVENCIONAL Y UN HORMIGÓN CON MEZCLA DE VIDRIO MOLIDO EN REEMPLAZO PARCIAL DEL ÁRIDO FINO						
<b>Realizado por:</b>	Orellana Angamarca Verónica Marisol Narváez Domínguez Josseline Estefanía					
<b>Método:</b>	ACI 318					
<b>DOSIFICACIÓN INCLUYENDO LOS DISTINTOS PORCENTAJES DE VIDRIO</b>						
<b>CANTIDAD PARA UN BATCH DE HORMIGÓN DE 240 KG/CM 2</b>						
MATERIAL	PORCENTAJES DE VIDRIO					
	0%	10%	20%	30%	40%	60%
<b>CEMENTO (KG)</b>	8,50	8,50	8,50	8,50	8,50	8,50
<b>AGUA (KG)</b>	3,78	3,36	4,01	3,59	3,96	0,04
<b>ARENA (KG)</b>	16,99	15,88	8,49	12,36	10,19	6,80
<b>RIPIO (KG)</b>	13,51	13,34	13,51	13,35	13,51	13,51
<b>VIDRIO</b>	0,00	1,61	8,06	4,83	6,45	9,67

Tabla 20. Ensayo de asentamiento

 <b>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>SEDE CUENCA</b> 						
ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE $f'_c = 240 \text{ kg/cm}^2$ ENTRE UN HORMIGÓN CONVENCIONAL Y UN HORMIGÓN CON MEZCLA DE VIDRIO MOLIDO EN REEMPLAZO PARCIAL DEL ÁRIDO FINO						
<b>Realizado por:</b>		Orellana Angamarca Verónica Marisol Narváz Domínguez Josseline Estefanía				
PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO						
ENSAYO DE TRABAJABILIDAD						
MATERIAL	PORCENTAJES DE VIDRIO					
	0%	10%	20%	30%	40%	60%
<b>Trabajabilidad</b>	Blanda	Blanda	Blanda	Blanda	Blanda	Blanda
<b>Asentamiento (cm)</b>	8,00	8,00	7,50	8,00	8,00	9,00

Las siguientes imágenes fueron capturadas por Narváez Dominguez Josseline Narváez y Orellana Angamarca Verónica Marisol autoras respectivas de trabajo de titulación: Análisis de la Resistencia a la Compresión de  $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$  de un Hormigón Convencional y un Hormigón con Mezcla de Vidrio Molido en Reemplazo Parcial del Árido Fino.

**Tabla 21.** Fotografías tomadas por las autoras del trabajo de titulación

<p>Foto1. Hormi CENTER CIA. LTDA. fábrica de hormigón premezclado</p>	<p>Foto 2. Recolección de material grueso para ensayos de caracterización</p>
	
<p>Foto 3. Recolección de material fino para ensayos de caracterización</p>	<p>Foto 4. Granulometría para árido grueso (TAMICES)</p>
	

Foto 5. Ensayo de granulometría del árido grueso



Foto 6. Toma de pesos de cada muestra tamizada del árido grueso



Foto 7. Granulometría para árido fino (Tamices)



Foto 8. Ensayo de granulometría del árido fino



Foto 9. Toma de pesos de cada muestra tamizada del árido fino



Foto 10. Condición Saturada Superficialmente Seca del árido grueso para hallar densidad



Foto11. Densidad real del árido grueso



Foto 12. Humedad del árido grueso en condiciones naturales



Foto 13. Condición Saturada Superficialmente Seca del árido fino para hallar la densidad



Foto 14. Densidad real del árido Fino



Foto15. Contenido de humedad del árido fino



Foto 16. Recolección de botellas recicladas



Foto 17. Trituración manual de las botellas de vidrio



Foto 18. Obtención del material de vidrio molido



Foto 19. Granulometría del material de cristal molido en base a la norma NTE INEN 696 del árido fino



Foto 20. Muestra del vidrio molido en estado saturado superficialmente seco



Foto 21. Densidad real del vidrio molido



Foto 22. Humedad del vidrio molido

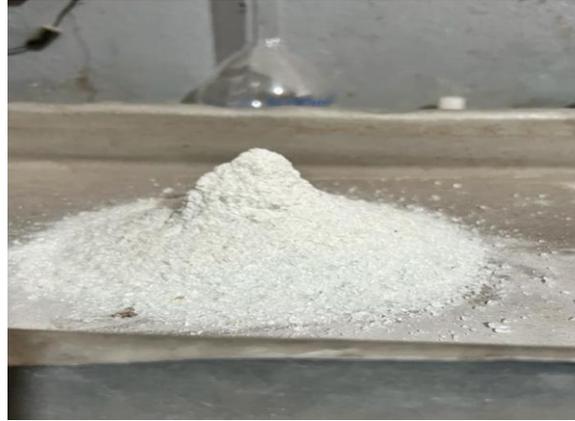


Foto 23. Muestras de material para el diseño del hormigón



Foto 24. Mezcla de todos los materiales a partir de los datos del diseño elaborado



Foto 25. Limpieza y ensarmiento de las probetas cilíndricas



Foto 26. Ensayo de asentamiento de la mezcla de hormigón



Foto 27. Probetas de hormigón



Foto 28. Secado de probetas para su respectivo ensayo a compresión



Foto 29. Ensayo de resistencia a la compresión



Foto 30. Tipos de rupturas en algunas muestras

