



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO CIVIL**

**TEMA:**

---

**“RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN PREPARADO A  
PARTIR DE MATERIALES RECICLADOS”**

---

**AUTOR:** Larot David Mayorga Amaguaya

**TUTOR:** Ing. Mg. Lourdes Gabriela Peñafiel Valla

**AMBATO – ECUADOR**

**Marzo - 2023**

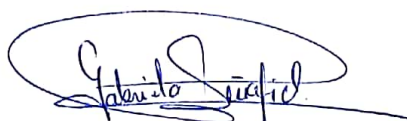
## CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutora del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, con el tema: **“RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN PREPARADO A PARTIR DE MATERIALES RECICLADOS”**, elaborado por el Sr. **Larot David Mayorga Amaguaya**, portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 1804933479, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente Trabajo Experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, marzo 2023



---

**Ing. Mg. Lourdes Gabriela Peñafiel Valla**

**TUTORA**

## **AUTORÍA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

Yo, **Larot David Mayorga Amaguaya** con C.I. 1804933479, declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente Trabajo Experimental con el tema: **“RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN PREPARADO A PARTIR DE MATERIALES RECICLADOS”**, así como también las ideas, análisis estadísticos, tablas, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, marzo 2023



---

**Larot David Mayorga Amaguaya**

**C.I. 1804933479**

**AUTOR**

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, marzo 2023



---

**Larot David Mayorga Amaguaya**

**C.I. 1804933479**

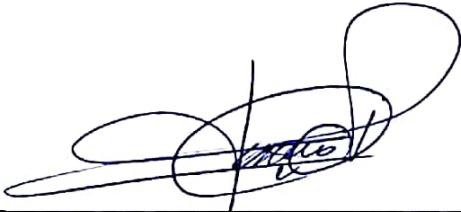
**AUTOR**

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental realizado por el estudiante Larot David Mayorga Amaguaya de la carrera de Ingeniería Civil, bajo el tema: **“RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN PREPARADO A PARTIR DE MATERIALES RECICLADOS”**.

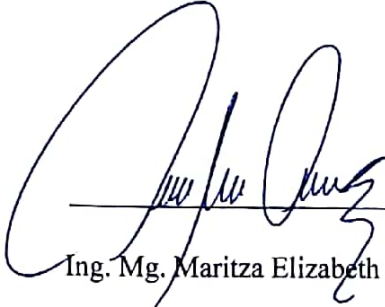
Ambato, marzo 2023

Para constancia firman:



Ing. Mg. Carlos Patricio Navarro Peñaherrera

**MIEMBRO CALIFICADOR**



Ing. Mg. Maritza Elizabeth Ureña Aguirre

**MIEMBRO CALIFICADOR**

## **DEDICATORIA**

*El presente trabajo se lo dedico con todo el amor del mundo a mi madre Eva María por creer siempre en mí y ser la fuente de inspiración sabiendo apoyarme incondicionalmente en este camino de tropiezos y superaciones. Por sus sacrificios y sueños de todos los días para poder educarme, lo cual me motiva a luchar por mis metas, mis triunfos también son suyos mamá muchas gracias, espero poder devolver una parte de todo el esfuerzo que ha derramado en mí.*

*A mis hermanos Yesenia, Anita y Lenin quienes me han motivado a mantenerme firme en este largo camino con cada uno de sus consejos, su compañía ha sido un bastón en el que he podido apoyarme.*

*Larot David Mayorga Amaguaya*

## AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradezco a Dios por la salud y la vida brindada, por permitirme llegar hasta este momento en el que estoy culminando mi carrera universitaria y por poder cumplir el primero de muchos objetivos personales y profesionales.

A la Universidad Técnica de Ambato, especialmente a la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica por formarme con los mejores conocimientos y valores para afrontar la vida laboral.

A mi tutora, Ing. Mg. Gabriela Peñafiel quien me ha guiado en el proceso del desarrollo de este trabajo de investigación mediante orientaciones, consejos y experiencia profesional.

A mi Madre por su confianza brindada, cariño, esfuerzo, tiempo, oraciones, regaños y lo más importante el amor que me brinda por lo que han hecho posible el sueño de llegar hasta esta etapa de mi vida.

*¡Gracias a todas aquellas personas que de alguna u otra forma me ayudaron en mi crecimiento académico y supieron creer en mí!*

Larot David Mayorga Amaguaya

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

<b>CERTIFICACIÓN</b> .....	<b>ii</b>
<b>AUTORÍA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b> .....	<b>iii</b>
<b>DERECHOS DE AUTOR</b> .....	<b>iv</b>
<b>APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO</b> .....	<b>v</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>vi</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>xi</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>xii</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>xiv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xv</b>
<b>CAPÍTULO 1.- MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>1</b>
1.1.    Antecedentes Investigativos.....	1
1.2.    Fundamentación Científica .....	6
1.2.1.    Hormigón .....	6
1.2.2.    Agregados o áridos.....	6
1.2.3.    Agregado fino.....	7
1.2.3.1.    Módulo de finura .....	7
1.2.4.    Agregado grueso .....	7
1.2.4.1.    Tamaño nominal máximo .....	7
1.2.5.    Condiciones de humedad de los agregados.....	8
1.2.6.    Cemento Pórtland.....	8
1.2.6.1.    Tipos de cemento Pórtland .....	9
1.2.7.    Agua .....	10
1.2.7.1.    Agua de amasado .....	10
1.2.8.    Hormigón reciclado.....	10
1.2.9.    Características del hormigón reciclado .....	11
1.2.9.1.    Mortero adherido .....	11
1.2.9.2.    Aspecto y composición.....	11
1.2.9.3.    Forma y textura superficial.....	12



1.2.9.4.	Granulometría .....	12
1.2.9.5.	Densidad .....	12
1.2.9.6.	Absorción de agua .....	13
1.2.9.7.	Contenido de sulfatos.....	13
1.3.	Justificación.....	13
1.4.	Hipótesis.....	14
1.5.	Objetivos .....	14
<b>CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA.....</b>		<b>15</b>
2.1.	Materiales.....	15
2.2.	Métodos.....	18
2.2.1.	Etapa 1 Preliminar.....	18
2.2.1.1.	Recolección de información bibliográfica.....	18
2.2.2.	Etapa 2 – Propiedades mecánicas de los agregados.....	23
2.2.2.1.	Granulometría .....	24
2.2.2.2.	Densidad aparente y compactada.....	25
2.2.2.3.	Densidad real y capacidad de absorción.....	26
2.2.2.4.	Contenido de humedad .....	27
2.2.2.5.	Densidad real del cemento.....	27
2.2.3.	Etapa 3. Preparación de muestras de hormigón tradicional y reciclado 27	
2.2.3.1.	Método de las densidades Óptimas.....	27
2.2.3.2.	Corrección por humedad.....	30
2.2.3.3.	Elaboración de probetas de muestras.....	30
2.2.3.4.	Elaboración de probetas definitivas.....	30
2.2.3.5.	Cantidad de especímenes .....	31
2.2.4.	Etapa 4. Propiedades del hormigón fresco reciclado y tradicional .....	31
2.2.4.1.	Propiedades del hormigón fresco.....	32
2.2.4.1.1.	Trabajabilidad.....	32
2.2.4.1.2.	Consistencia.....	33
2.2.4.1.3.	Homogeneidad.....	34
2.2.4.1.4.	Densidad en estado fresco .....	35
2.2.4.2.	Curado del hormigón .....	35
2.2.4.2.1.	Curado Inicial .....	35
2.2.4.2.2.	Curado final:.....	35

2.2.5. Etapa 5. Resistencia a la compresión hormigón reciclado y tradicional	36
2.2.5.1. Resistencia a la compresión: .....	36
2.2.5.2. Ensayo de resistencia a la compresión.....	36
2.2.6. Plan para análisis de resultados.....	37
<b>CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>38</b>
3.1. Análisis y discusión de los resultados.....	38
3.1.1. Propiedades mecánicas de los agregados:.....	38
3.1.2. Método de las Densidades Óptimas .....	47
3.1.2.1. Dosificación 210 kg/cm <sup>2</sup> .....	47
3.1.2.1. Corrección por humedad.....	48
3.1.2.2. Elaboración de probetas .....	49
3.1.2.2.1. Probetas de prueba .....	49
3.1.2.2.2. Probetas definitivas .....	50
3.1.3. Propiedades en estado fresco del hormigón tradicional y reciclado .....	52
3.1.3.1. Trabajabilidad, Asentamiento, Homogeneidad y Consistencia .....	52
3.1.3.2. Densidad del hormigón en estado fresco .....	53
3.1.4. Resistencia a compresión .....	56
3.1.4.1. Tablas comparativas de resistencia a compresión entre el hormigón normal y el hormigón reciclado .....	59
3.1.5. Verificación de Hipótesis.....	66
<b>CAPITULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>67</b>
4.1. CONCLUSIONES .....	67
4.2. RECOMENDACIONES .....	68
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>70</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>74</b>
A1. Anexos Fotográficos .....	74
A2. Resistencia a compresión más comunes del laboratorio de Ingeniera Civil en probetas cilíndricas.....	79

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Condiciones de humedad en agregados.....	8
<b>Figura 2</b> Aspecto y Composición del hormigón reciclado.....	11
<b>Figura 3</b> Desperdicios de aceras.....	20
<b>Figura 4</b> Recolección de restos de aceras.....	20
<b>Figura 5</b> Probetas ensayadas .....	20
<b>Figura 6</b> Recolección de probetas de hormigón.....	21
<b>Figura 7</b> Mina “Las Juntas” .....	21
<b>Figura 8</b> Transporte de residuos para su trituración.....	22
<b>Figura 9</b> Parte alta de trituración por Mandíbulas.....	22
<b>Figura 10</b> Triturado de Mandíbulas .....	22
<b>Figura 11</b> Trituradora de cono .....	23
<b>Figura 12</b> Bandas transportadoras.....	23
<b>Figura 13</b> Molde de ensayo para asentamiento.....	33
<b>Figura 14</b> Esquema de la medición del asentamiento.....	34
<b>Figura 15</b> Porcentaje obtenido a los 7 días, cilindros de prueba.....	50
<b>Figura 16</b> Porcentaje de resistencia a los 7 días.....	59
<b>Figura 17</b> Porcentaje de resistencia a los 14 días.....	60
<b>Figura 18</b> Porcentaje de resistencia a los 28 días.....	61
<b>Figura 19</b> Resistencia del Hormigón vs % de Agregado reciclado 7 Días .....	62
<b>Figura 20</b> Resistencia del Hormigón vs % de Agregado reciclado 14 Días .....	63
<b>Figura 21</b> Resistencia del Hormigón vs % de Agregado reciclado a los 28 días.....	64
<b>Figura 22</b> Edad vs resistencia a compresión .....	65

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Tipos de Cemento Pórtland.....	9
<b>Tabla 2.</b> Materiales para los diferentes ensayos .....	15
<b>Tabla 3</b> Equipo para la recolección del material triturado .....	16
<b>Tabla 4</b> Equipo y herramientas de laboratorio .....	16
<b>Tabla 5.</b> Ensayos y normativas para la obtención de las propiedades mecánicas .....	24
<b>Tabla 6</b> Requisitos de graduación árido fino.....	25
<b>Tabla 7</b> Requisitos de graduación áridos grueso .....	25
<b>Tabla 8</b> Nomenclatura para el Método de la Densidad Óptima .....	28
<b>Tabla 9</b> Resistencia a la compresión en función a la relación agua/cemento .....	28
<b>Tabla 10</b> Resistencia a la compresión en función a la relación agua/cemento .....	29
<b>Tabla 11</b> Cantidad de Especímenes.....	31
<b>Tabla 12</b> Norma Resistencia a la compresión .....	36
<b>Tabla 13</b> Tolerancia de tiempo admisible para el ensayo de especímenes .....	37
<b>Tabla 14</b> Granulometría del agregado fino .....	38
<b>Tabla 15</b> Granulometría del agregado grueso (Ripio).....	39
<b>Tabla 16</b> Granulometría del Hormigón reciclado .....	40
<b>Tabla 17</b> Densidad aparente suelta de los agregados .....	41
<b>Tabla 18</b> Densidad aparente compactada de los agregados .....	41
<b>Tabla 19</b> Densidad aparente compactada combinada .....	42
<b>Tabla 20</b> Densidad real y capacidad de absorción de la arena .....	44
<b>Tabla 21</b> Densidad real y capacidad de absorción del ripio.....	45
<b>Tabla 22</b> Contenido de humedad.....	46
<b>Tabla 23</b> Densidad real del cemento .....	46
<b>Tabla 24</b> Resumen de ensayos para la dosificación $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ .....	47
<b>Tabla 25</b> Dosificación al peso $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ .....	47
<b>Tabla 26</b> Dosificación al volumen $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ .....	48
<b>Tabla 27</b> Corrección por humedad cilindros definitivos.....	48
<b>Tabla 28</b> Propiedades del hormigón fresco cilindros de prueba .....	49
<b>Tabla 29</b> Resistencia a la compresión de cilindros prueba ensayados a los 7 días .	49
<b>Tabla 30</b> Dosificación hormigón para 9 y 12 cilindros.....	51
<b>Tabla 31</b> Dosificación por porcentaje de hormigón reciclado .....	51
<b>Tabla 32</b> Propiedades del hormigón fresco .....	52

<b>Tabla 33</b>	Densidad del hormigón reciclado en estado fresco.....	53
<b>Tabla 34</b>	Resumen de las densidades del hormigón por agregado reciclado .....	55
<b>Tabla 35</b>	Resistencia a la compresión a los 7 días .....	56
<b>Tabla 36</b>	Resistencia a la compresión a los 14 días .....	57
<b>Tabla 37</b>	Resistencia a la compresión a los 28 días .....	58
<b>Tabla 38</b>	Hormigón normal vs reciclado a los 7 días.....	59
<b>Tabla 39</b>	Hormigón normal vs reciclado a los 14 días.....	60
<b>Tabla 40</b>	Hormigón normal vs reciclado a los 28 días.....	61

## RESUMEN

La presente investigación busca solucionar el gran problema de contaminación que genera los residuos del sector de la construcción con referencia a las demoliciones y escombros generados en las ciudades, aplicando la reutilización de estos mismos materiales para una reducción del volumen hacia los botaderos, que encaminen a construcciones sustentables.

Se determinó el porcentaje de agregado reciclado de hormigón que puede reemplazarse parcialmente por agregado natural grueso y su influencia en la resistencia a compresión, para ello se recolectó hormigón reciclado proveniente de cilindros ensayados, residuos de aceras, entre otros; se obtuvo las propiedades de los agregados según las normas INEN y ASTM; posteriormente se efectuó la dosificación por el Método de la Densidad Óptima para una resistencia de 210 kilogramos sobre centímetro cuadrado con el reemplazo de porcentajes de agregado reciclado desde 10, 15, 30, 60 y 100 por ciento según el peso del agregado grueso, y a su vez se elaboraron especímenes de hormigón preparado de la forma tradicional para la comparación de su resistencia.

De esta manera, se identificó que a mayor cantidad de agregado reciclado su resistencia a compresión disminuye, evidenciando que es factible realizar reemplazos con porcentajes menores al 30 por ciento pues tanto el 10 y 15 por ciento presentan valores favorables de diseño de 214.54 y 211.57 kilogramos sobre centímetro cuadrado a los 28 días.

**Palabras clave:** Hormigón reciclado, Agregados, Densidad óptima, Concreto, Resistencia a compresión.

## ABSTRACT

The present investigation seeks to solve the great problem of contamination generated by waste from the construction sector with reference to demolitions and debris generated in cities, applying the reuse of these same materials to reduce the volume towards dumps, which direct sustainable constructions.

The percentage of recycled concrete aggregate that can be partially replaced by coarse natural aggregate and its influence on compressive strength was determined. For this, recycled concrete from tested cylinders, sidewalk residues, among others, was collected; the properties of the aggregates were obtained according to the INEN and ASTM standards; Subsequently, the dosage was carried out by the Optimum Density Method for a resistance of 210 kilograms per square centimeter with the replacement of percentages of recycled aggregate from 10, 15, 30, 60 and 100 percent according to the weight of the coarse aggregate, and at its At the same time, concrete specimens prepared in the traditional way were made for the comparison of their resistance.

In this way, it was identified that the greater the amount of recycled aggregate, its compressive strength decreases, evidencing that it is feasible to make replacements with percentages lower than 30 percent, since both 10 and 15 percent present favorable design values such as 214.54 and 211.57 kilograms. per square centimeter at 28 days.

**Keywords:** Recycled concrete, Aggregates, Optimum Density, Concrete, Compressive Stress.

## **CAPÍTULO 1.- MARCO TEÓRICO**

### **1.1. Antecedentes Investigativos**

Dentro de la historia de la construcción el hormigón siempre ha sobresalido como material esencial en las obras civiles por sus propiedades de resistencia mecánica y al fuego características fuertemente valoradas que favorecen a las estructuras, la amplia difusión de los conocimientos que se tiene acerca de este material lo sitúan entre los materiales principales más utilizados en la propia industria de la construcción. [1]

El principal problema generado por la industria de la construcción son los grandes volúmenes de residuos de construcción y demolición debido al incremento del desarrollo económico, crecimiento poblacional, ordenamiento territorial entre otros. Dichos residuos presentan inconvenientes aún mayores que van desde su generación, transporte y disposición final, se considera que el 10% de los materiales utilizados se convierten en residuos y durante los trabajos de renovación y demolición se puede alcanzar hasta diez veces más. [2]

En los últimos años se ha brindado un mayor aumento de interés a la mentalidad del reciclaje alrededor de países en todo el mundo y a la adquisición de materias primas todavía más, es así que países como Alemania, Dinamarca y otros, tienen un porcentaje alto de cantidad de material reciclado de desechos de hormigón provenientes de demoliciones, en estos lugares se han realizado líneas de investigación sobre el manejo de hormigones reciclados por la importancia del manejo ambiental sustentable y desarrollo económico. [3]

A pesar de que en los países europeos ya se maneja los agregados reciclados su utilización se ve muy limitada para efectos estructurales debido a las normativas que posee en cada país, es así como en Reino Unido, España y Holanda se restringen a la utilización de un máximo del 20% mientras que en países como Alemania es más flexible permitiendo hasta un 45% en el reemplazo de agregado. En Dinamarca se permite sustituciones máximas del 100% dependiendo del caso de utilización sin embargo el gasto energético de la trituración, carga transporte entre otros se ve afectada lo que reduce la factibilidad económica.[4]



En lo que involucra a Ecuador en materia de reciclaje de residuos actualmente no se tiene un control que permita la gestión adecuada de desperdicios en cada etapa de la construcción, no existen normativas ni lineamientos o por lo menos no se define puntualmente un tratamiento para los residuos que permitan garantizar la adecuada y sostenible disposición final de despojos, por lo que se intenta implantar planes de gestión que obligan al constructor a responsabilizarse de sus desperdicios. [5]

El grupo Holcim Ecuador con su empresa Geocycle ha tomado conciencia del gran problema de los desechos industriales, agrícolas y municipales, por lo que se ha convertido en proveedor líder de servicios de gestión de residuos, aplicando la tecnología del co-procesamiento ha logrado un desempeño ambiental superior al confinamiento y la incineración, y que gracias a la recuperación de materiales de desperdicio en las propias plantas de cemento que posee ha generado un ambiente de beneficio a comunidades aledañas debido a la reducción de volúmenes confinados, este ha sido un claro ejemplo en el ámbito de la construcción de que se puede conseguir un desarrollo sostenible si existen industrias capaces de buscar soluciones al ambiente en beneficio de todos. [6]

Debido al incremento de la demanda de agregados naturales por características como el desarrollo de infraestructura se ha procurado a emplear el uso de agregado alternativo en el ámbito de la construcción, estos se los puede obtener de los residuos que genera la construcción y demolición para producir un agregado de hormigón sostenible, la calidad de este nuevo agregado podría llegar a ser pobre por cuestión del mortero adherido en los mismos, en consecuencia podría presentarse como una debilidad para el nuevo hormigón a fabricarse debido a las fisuras y poros más abiertos causando una mayor hidratación dentro de los componentes y provocando un efecto negativo en la resistencia del hormigón resultante [7]. Sin embargo, se ha evidenciado que el mortero adherido brinda un aumento en la rugosidad superficial frente a otros agregados naturales como es el canto rodado permitiendo un incremento en el comportamiento mecánico del nuevo hormigón para determinados porcentajes de reemplazo. [8]

En la guía sobre incorporación de materiales reciclados en construcción de la ciudad de Vasco en España promueve a ser un compendio básico para las personas que decidan evolucionar a la mejor gestión de recursos con la inclusión de materiales

procedentes de residuos en el que se detalla la descripción del material, usos y aplicaciones, normativas asociadas, materiales y herramientas de calculo que están en constante actualización. En tanto a los áridos reciclados menciona que la mayor parte de estos materiales se considera inertes, compuestos de materiales de naturaleza pétreo de entre el 75% y 95% y al ser procedentes de hormigón o productos similares constituyen al menos un 90% del peso, además contienen un parte de productos cerámicos o albañilería de arcilla en proporción inferior al 30% del peso. [9]

En las investigaciones previas que se han realizado a los agregados reciclados se ha podido identificar que una de las diferencias más notoria de estos agregados reutilizados y los naturales, es la absorción de agua, siendo más elevada en el primer caso, debido a la presencia del mencionado mortero adherido. Lo que se ha visto reflejado en la succión capilar, penetración de cloruros, y otros parámetros que afectan la durabilidad del hormigón pero que pueden ser solucionados con la adición de diferentes aditivos o fibras, demostrando que el agregado reciclado se podría considerar como una opción viable y de brindarse más estudios para mejorar el rendimiento, métodos de recolección y tratamiento se proyectaría como una alternativa sostenible al campo de la construcción. [10]

En la investigación realizada por Pilar Gutiérrez y Martha Sánchez de Juan sobre la utilización de árido reciclado procedente de escombros de hormigón se menciona que la utilización de áridos reciclados debe limitarse a residuos constituidos prioritariamente de hormigón y su aplicación se restringe a la parte gruesa del material reciclado, recomendando una combinación de árido natural grueso del 20% de esta forma la mala calidad del agregado reciclado solo afectara a las propiedades mecánicas del hormigón, sin embargo comenta que los áridos reciclados no se deben utilizar en la fabricación de altas exigencias de resistencia. [11]

Santiago Laserna menciona que existen factores a tomar en cuenta en la fabricación de hormigones reciclados como es el agua efectiva y la humedad inicial parámetros importantes del agregado grueso reciclado debido a que se debe considerar la cantidad de agua disponible para que el cemento adherido a las partículas se hidrate permitiendo la optimización de la dosificación de la mezcla y mejores resultados en resistencia y consistencia, además que, un premezclado de los áridos conjuntamente

con el cemento puede rellenar las fracciones débiles del árido con el polvo del cemento resultando un comportamiento satisfactorio. [12]

De acuerdo con el estudio llevado a cabo por Sindy Seara-Paz se comprobó que en relación al porcentaje de sustitución del agregado natural por agregado reciclado se ven afectadas las propiedades físicas del hormigón como consistencia, densidad y absorción y que a medida que la densidad disminuye la absorción crece por lo que se sugiere un control riguroso en el proceso de amasado con el objetivo de controlar la relación a/c efectiva, por otra parte al aumentar la cantidad de árido reciclado utilizado las resistencias a compresión, tracción y el módulo de deformación disminuyen alrededor de un 30% a los 28 días de edad en comparación con muestras convencionales. [13]

Por su parte en el estudio de concreto reciclado a partir de escombros de mampostería de bloque de cemento elaborado en la ciudad de Managua en el que se ha elaborado una propuesta de hormigón reciclado a partir de escombros triturado y tamizado determinando su granulometría y proponiendo una dosificación base en base a estudios previos y ensayos basados en la norma ASTM para lo cual se realizaron probetas cilíndricas para ensayos de compresión y pruebas de velocidad de pulso ultrasónico, los resultados mostraron que se discreta la afirmación de a menos relación agua cemento mayor resistencia en hormigones convencionales pero esto no aplicaría para hormigones reciclados debido a que también dependería de la cantidad y calidad del concreto, si su origen inicial para el que fue elaborado para resistencias bajas se obtendrá un concreto de baja calidad aunque su relación de agua cemento se disminuya, por otra parte si el origen inicial era de resistencias altas y en buen estado disminuyendo la relación agua cemento se logra obtener un buen comportamiento similar al de los tradicionales, de acuerdo a la resistencia a la compresión al tener una mayor cantidad de agregado reciclado su resistencia tiende a disminuir al ser más frágil que el agregado natural, mientras que en la prueba de pulso ultrasónico los resultados fueron prometedores al mantener márgenes superiores al concreto de mala calidad. [14]

En la investigación concretos reciclados, posibilidades de investigación desde el pregrado su enfoque se basa principalmente en la búsqueda de alternativas para la reutilización de desechos como lo es en subbase para carreteras y en la integración de

diseños de mezclas para elementos de concreto o piezas implementarias de construcciones en el cual se han realizado probetas cilíndricas de 10 x 20 cm con diferentes porcentajes tanto de agregado fino y grueso los mismos que pasaron por una cámara de curado para posteriormente ser ensayados a los 3, 7, 14, 28, 56 y 91 días de edad una vez ensayadas se evidencia una mayor cantidad de agregado grueso del tipo reciclado genera una menor resistencia al compararlo con las partículas finas, tanto las partículas gruesas como finas presentan variaciones pronunciadas al ser comparadas con las del hormigón tradicional con un porcentaje entre el 26 y 36%, además menciona que estos tipos de estudios abren las puertas en el mercado de la construcción pues con una inversión y tratamiento adecuado los productos resultantes podrían generar ganancias a quienes se vean incluidas en este tipo de actividades. [15]

Continuando en la línea de investigación de cualidades físicas y mecánicas de los agregados reciclados de concreto con su aplicación en concreto por José M. Gómez, Luis Agulló y Enric Vázquez en el que se realiza un análisis experimental de especímenes reciclados con reemplazo total de agregados naturales por agregados de procedencia reciclados para el cual se debaten las propiedades de los agregados empleados, comprensión simple, tensión, módulo de elasticidad y fluencia. Dentro de los resultados expuestos se destaca el elevado nivel de porosidad, la posibilidad de absorber una mayor cantidad de agua y una densidad más baja que los agregados de uso tradicional. Existe un menor nivel de tensión, aunque las propiedades mecánicas son muy parecidas al de uso común y una combinación del 30% de agregados reciclados marca una frontera en las resistencias del nuevo hormigón, por tal razón se debe considerar importante la cantidad y calidad de pasta que constituyan los agregados reciclados debido a que influyen en su comportamiento. [16]

Carlos bedoya y Luis Dzul en su investigación sobre la sostenibilidad urbana en la elaboración de concreto con agregado reciclado menciona que las características obtenidas del agregado reciclado presentan particularidades que pueden emplearse como materias primas a utilizarse en la construcción debido a que no todas las mezclas a emplearse son de utilización estructural sin embargo se puede obtener un buen desempeño si al confeccionar el concreto se determina que el desempeño a una sustitución del 25% se mantiene prácticamente igual en comportamiento, resistencia,

porosidad y costos al del concreto convencional, se destaca que en la comparación que se realiza con respecto a los precios de confección presentan un valor muy parecido al de referencia a pesar de que consume una mayor cantidad de cemento, el costo de la materia prima proveniente del reciclaje es menor al no ser de origen natural. [17]

## **1.2.Fundamentación Científica**

### **1.2.1. Hormigón**

Es un material compuesto que consiste esencialmente de un medio aglutinante en el que están embebidos partículas y fragmentos de áridos. [18] Está compuesto de materiales activos como agua y cemento, y pasivos como grava y arena, es así como para obtener una buena calidad y resistencia en el hormigón es necesario que las fracciones presentes en la mezcla se encuentren en la proporción adecuada.

El hormigón es capaz de resistir grandes cargas y posee una gran resistencia al fuego, fácil de moldear y utilizar en cualquier lugar, su preparación se suele realizar en una mezcladora en obras pequeñas por su facilidad de combinarse con sus componentes, por su rendimiento y economía, para obras de gran tamaño por lo general se solicita un mixer a centrales de mezclas, en cuanto a su mantenimiento es muy accesible pues su desgaste ante productos químicos y al clima es mínimo. [19]

### **1.2.2. Agregados o áridos**

Se refiere al material granular tales como: arena, grava, piedra triturada o escoria de altos hornos que se usa con un cementante para elaborar hormigón o mortero de cemento hidráulico. [18] Visto que las tres cuartas partes del hormigón es ocupado por el agregado su calidad es muy importante, estos deben estar conformados por partículas limpias, durables y resistentes, que formen una buena adherencia con la pasta de cemento.

En relación con el hormigón endurecido, una condición angulosa con textura áspera en las partículas de los agregados contribuye a una alta resistencia a la flexión, en cambio que una alta proporción de partículas de forma plana lleva una reducción de la resistencia a la compresión. [20]

### **1.2.3. Agregado fino**

Al agregado fino se lo define como las partículas producidas por la segregación natural o mecánica de las rocas que pasan por el tamiz 3/8 o 9.5 mm. [18] Se emplea en el hormigón para mejorar las propiedades plásticas, facilitar el acabado e impedir que la mezcla se separe, esto debido a gran parte por la composición granulométrica, forma, tamaño y textura de la superficie de las partículas

#### **1.2.3.1. Módulo de finura**

El módulo de finura es de mucha utilidad para estimar las proporciones de los agregados finos y grueso en las mezclas de concreto, entre mayor sea el módulo de finura más grueso será el tipo de agregado. De acuerdo con la norma NTE INEN 872: 2011 el módulo de finura en arenas para el empleo de fabricación de hormigón debe estar entre 2.3 y 3.1. [21].

### **1.2.4. Agregado grueso**

Al agregado grueso se lo define como la grava producida por la segregación natural o artificial de las rocas que pueden ser retenidas por el tamiz 4.75 mm o N.º 4. [18] se caracteriza por presentar una forma angular y textura rugosa lo que permite mejorar la adherencia a los demás componentes del hormigón como el agregado fino y pasta de cemento hidratada. [22]

#### **1.2.4.1. Tamaño nominal máximo**

Es el tamaño del tamiz comercial anterior al primer tamiz en el que existió el 15% o más de retenido acumulado. Existe una mayor probabilidad de encontrar fisuras en una partícula de tamaño mayor provocada por los procesos de explotación de canteras debido a la reducción de tamaño, lo que puede ocasionar convertirse en un material indeseable para la fabricación de hormigón.

Para nuestro medio se recomienda utilizar en hormigón normal agregado grueso del tamaño nominal máximo que se encuentre entre  $\frac{3}{4}$ '' y  $1\frac{1}{2}$ '' . Dependiendo del uso que tendrá el hormigón, un agregado de tamaño menor a  $\frac{3}{4}$ '' causará que la superficie específica del material aumente y por lo tanto aumentará la cantidad de cemento, por otro lado, un agregado de tamaño mayor a  $1\frac{1}{2}$ '' puede causar atascamiento entre el concreto y el acero de refuerzo en el momento de colocación

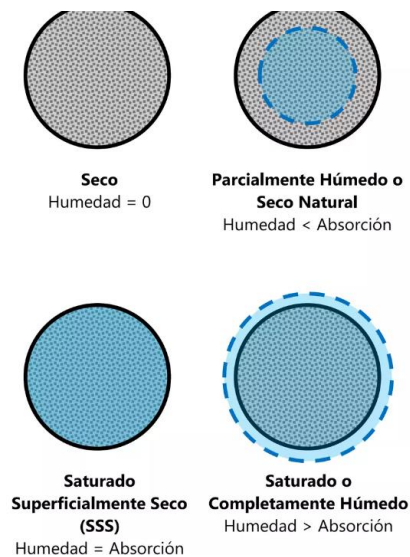
generando vacíos interiores en los elementos y por ende pérdida de la resistencia. [21]

### 1.2.5. Condiciones de humedad de los agregados

Las condiciones de humedad en que se puede encontrar un agregado son:

- **Seco:** Ningún poro con agua
- **Húmedo no saturado:** Algunos poros permeables con agua
- **Saturada superficie seco (sss):** Todos los poros permeables llenos de agua y el seco en la superficie
- **Húmedo sobresaturado:** Todos los poros permeables con agua y además el material tiene agua en la superficie

De acuerdo a las condiciones de humedad del agregado se puede eliminar o aumentar agua a la mezcla debido que se considera que las partículas del agregado se saturan y el agua libre reacciona con el cemento, por lo tanto, es importante definir la condición del agregado para definir la cantidad de agua en la mezcla. [23]



**Figura 1** Condiciones de humedad en agregados

**Fuente:** A. Martínez.[23]

### 1.2.6. Cemento Pórtland

Es un material aglutinante con propiedades de adherencia y cohesión, generalmente de naturaleza inorgánica y mineral; que al ser molido finamente y mezclarse con agua constituyen pastas que fraguan y endurecen debido a reacciones químicas

dentro de sus constituyentes tanto en el agua como el aire, formando un producto hidratado, mecánicamente fuerte y estable. [24]

### 1.2.6.1. Tipos de cemento Pórtland

*Tabla 1 Tipos de Cemento Pórtland*

TIPO	DESCRIPCIÓN	NORMA		
		INEN	ASTM	
PUROS	I	Uso común	152	C 150
	II	Moderada resistencia a sulfatos	152	C 150
	III	Elevada resistencia inicial	152	C 150
	IV	Bajo calor de hidratación	152	C 150
	V	Alta resistencia a la acción de los sulfatos	152	C 150
	Los tipos IA, IIA, IIIA incluyen incorporador de aire			
COMPUESTOS	IS	Pórtland con escoria de altos hornos	490	C 595
	IP	Pórtland Puzolánico	490	C 595
	P	Pórtland Puzolánico (cuando no se requiere resistencias iniciales altas)	490	C 595
			490	C 595
	I(PM)	Pórtland puzolánico modificado	490	C 595
	I(SM)	Pórtland con escoria modificado	490	C 595
S	Cemento de escoria	490	C 595	
POR DESEMPEÑO	GU	Uso en construcción general	2380	C 1157
	HE	Elevada resistencia inicial	2380	C 1157
	MS	Moderada resistencia a sulfatos	2380	C 1157
	HS	Alta resistencia a los sulfatos	2380	C 1157
	MH	Moderado calor de hidratación	2380	C 1157
	LH	Bajo calor de hidratación	2380	C 1157
	Si adicionalmente tiene R, indica baja reactividad con áridos álcali-reactivos			

*Fuente: INECYC – APRHOPEC. [24]*

Los cementos puros se caracterizan por ser parte de las primeras normativas establecidas, para producir estos tipos de cementos se genera grandes cantidades de CO<sub>2</sub> debido a los procesos fisicoquímicos en su fabricación. [25]



Los cementos hidráulicos compuestos son una parte del clinker que se sustituye por componentes minerales logrando desempeños que igualan a los cementos puros, con una menor generación de CO<sub>2</sub> en su fabricación. [25]

Los cementos hidráulicos por desempeño se destacan por eliminar restricciones en la composición química del cemento y tiene como requisito cumplir con niveles de desempeño independiente de cómo se logre conseguir sus exigencias. [25]

### **1.2.7. Agua**

El agua es una parte del hormigón que al entrar en contacto con el cemento provoca un proceso de hidratación desencadenando una serie de reacciones químicas que otorgan al material sus propiedades físicas y mecánicas, su buena aplicación se ha convertido en el parámetro de evaluación más importante en la construcción de hormigón con buen desempeño. [26]

El agua debe ser clara y de apariencia limpia, libre de sustancias que le produzcan color u olor inusuales, con pocas cantidades de cloruros y sulfatos. [27]

#### **1.2.7.1. Agua de amasado**

El control de agua en la mezcla durante su preparación es fundamental debido que al alterar esta condición aumentando la relación agua/cemento se logra conseguir una mayor trabajabilidad en la colocación, pero afecta de forma directa su desempeño consiguiendo resistencias menores o desgastes prematuros concretos con altos contenidos de agua. Los hormigones con alto contenido de agua (relación agua cemento superior a 0.5 tienen bajas resistencias y se degradan fácilmente por factores externos, por el contrario, una relación baja inferior de 0.45 mejora considerablemente la resistencia de un elemento brindando un mejor comportamiento estructural, y ante los agentes ambientales que pueden afectar su resistencia. [26]

### **1.2.8. Hormigón reciclado**

La mayor cantidad de hormigón reciclado que se obtiene procede de estructuras antiguas como carreteras, puentes, cimentaciones que cuando son demolidas se las recoge y se las lleva hasta una planta de trituración de donde se obtienen el nuevo producto de hormigón triturado. [28]

El hormigón triturado es más amigable con el medio ambiente, con un adecuado proceso se puede obtener áridos reciclados que son una alternativa a los áridos

naturales y que pueden usarse en muchas aplicaciones de construcción no estructurales como bases para carreteras, hormigón premezclado, productos para paisajismo, lechos de tuberías entre otros. [29]

Actualmente es un material que cuesta menos producir lo que significa que su adquisición es más barata, lo que reduce la demanda de materia prima y disminuye los volúmenes en rellenos sanitarios o en botaderos

### **1.2.9. Características del hormigón reciclado**

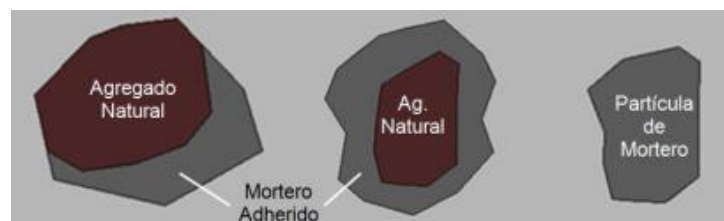
Los agregados ocupan una gran parte del hormigón y sus propiedades afectan en gran medida el desempeño del concreto. En el caso del hormigón reciclado, es difícil predecir o lograr una determinada calidad debido a que la fuente de obtención proviene de diferentes lugares. La utilización de agregados reciclados plantea un reto debido a factores como: el origen, mortero adherido e impurezas. [3]

#### **1.2.9.1. Mortero adherido**

La principal diferencia entre los áridos reciclados y los áridos naturales es el adhesivo con el que se fijan estos áridos, heredado del hormigón original del que se derivan, su aumento hace que presenten propiedades diferentes a las de los áridos naturales en términos de mayor absorción de agua, menor densidad, resistencia, dureza y resistencia a la desintegración. [30]

#### **1.2.9.2. Aspecto y composición**

Las partículas se componen de piedra natural y mortero perteneciente al hormigón original, los dos componentes pueden estar unidos entre sí en diferentes proporciones o el mortero puede estar conformando una sola partícula como se muestra en la Figura 2. Estas propiedades especiales le dan un efecto visual diferente al de los agregados naturales, al adquirir una forma angulosa debido al aspecto rugoso creado por el proceso de trituración y el mortero adherido a él. [3] [31]



*Figura 2 Aspecto y Composición del hormigón reciclado*

*Fuente: Juan Manual Moro[3].*

### **1.2.9.3.Forma y textura superficial**

El mortero adherido a las partículas de agregado natural cambia la forma de las partículas de agregado reciclado, lo que disminuye la característica de roca lisa y aumenta el índice de elongación. Esto en consecuencia de triturar el hormigón y no tener un plano débil de orientación, resultando en un bajo porcentaje de partículas sueltas. La forma de las partículas tiene una relación directa afectada por el esquema de trituración utilizado para obtener el árido reciclado en lo que se ha visto que trituradoras de mandíbula proporcionan agregados reciclados con una mejor forma que las trituradoras de impacto o de cono. [32]

### **1.2.9.4.Granulometría**

El tamaño de partícula del material reciclado depende básicamente del sistema de trituración utilizado para su obtención; Las trituradoras de impacto permiten tamaños de agregados más pequeños, lo que resulta en la obtención de más finos.

La producción de áridos gruesos reciclados supone el 70 - 90% de la producción, por lo general estas partículas gruesas cumplen con los requisitos de las normativas aplicables dentro de los límites de tamaño de partículas de referencia especificados en las mismas. Está claro que el tamaño obtenido por trituración depende en parte del tamaño del agregado de hormigón original. [33]

Por otra parte, la curva granulométrica del árido fino se obtiene a partir del triturado, superando los límites especificados en la norma sobre arena natural con propiedades de partículas agrietadas, y alto contenido de polvo siendo su utilización muy limitada en el hormigón estructural.

### **1.2.9.5.Densidad**

El árido reciclado tiene menor densidad que el árido grueso natural porque el mortero sigue adherido a las partículas y el contenido de impurezas. Al usar varias combinaciones diferentes de trituradoras en el proceso de producción, la calidad del agregado grueso reciclado es mayor porque la cantidad de mortero que se adhiere puede reducirse en mayor medida. Tras ser sometidos a dos etapas sucesivas de trituración mediante trituradoras de mandíbulas y trituradoras de impacto, los áridos alcanzan un valor correspondiente al 90% de la densidad de los áridos naturales. El valor alcanza el 95% cuando hay cuatro etapas de trituración.[34]

#### **1.2.9.6. Absorción de agua**

Debido a la presencia de mortero adherido y al tamaño del agregado, los valores de absorción de agua obtenidos con agregados reciclados son muy superiores a los obtenidos con áridos naturales, esto en gran medida a la cantidad de mortero que es mayor en las partes más finas que en las más gruesas, este efecto es más notorio cuanto menor sea su densidad. [35]

También depende del estado de humedad inicial del agregado y de su tiempo de contacto con el agua, transcurridas 24 horas la absorción muestra valores claramente diferentes según el tamaño del árido reciclado a baja densidad y en cambio a mayor densidad es casi imperceptible la diferencia. [35]

#### **1.2.9.7. Contenido de sulfatos**

Debido a la presencia del yeso como contaminante, los agregados reciclados pueden tener altos niveles de sulfato, lo que puede causar problemas de expansión en el nuevo hormigón. Otra transformación posible es la que ocurre durante la hidratación del cemento en el yeso pues aumenta su volumen provocando fisuraciones. Al eliminar los tamaños más finos del agregado reciclado se contribuye también a reducir la posibilidad de las expansiones. [36]

### **1.3. Justificación**

El hormigón es uno de los materiales de mayor producción y utilización en obras civiles siendo la principal razón de generar una gran cantidad de volúmenes de residuos y desperdicios debido al derrocamiento de infraestructuras inservibles por otras totalmente funcionales, en varios países europeos se ha impulsado el reciclaje de este material lo cual ha ayudado en la reducción de costos de fabricación y disminución del impacto ambiental. [37]

Uno de los grandes atractivos del reciclaje en cuestión de materias primas es que soluciona a un mismo tiempo la eliminación de materiales de desechos y que mediante estos residuos se logra adquirir una nueva materia prima, lo cual favorece en el descenso de la cantidad de recursos naturales a extraer, principal demanda económica que sufre el país en cuanto al sector de la construcción. [38]

La idea de la reutilización de materiales desechados de las construcciones y demoliciones con una adecuada selección, acopio y tratamiento para el reemplazo de

agregados gruesos y finos del hormigón tradicional abre paso para que en un futuro próximo se trabaje con técnicas de mortero reciclado generando estructuras eco amigables. [39]

Dentro de los beneficios que se quiere implantar es la disminución de puntos de contaminación alrededor de las ciudades por problemas de salubridad y la disposición exagerada de los vertederos dedicados a escombros.

El trabajo experimental tiene la finalidad de realizar hormigones con material proveniente de desechos sólidos tales como los residuos que producen las obras de construcción, demolición y remodelación (concreto demolido) a partir de la trituración de este material para producir agregado grueso y comprobar si se puede obtener una resistencia de hormigón estructural funcional que se pueda emplear en construcciones sustentables para el medio ambiente

#### **1.4.Hipótesis**

¿El uso de material reciclado de construcciones derrocadas como agregado grueso influye en la resistencia a la compresión de un nuevo hormigón?

#### **1.5.Objetivos**

##### **Objetivo General**

Determinar la resistencia a la compresión del hormigón fabricado a partir de material reciclado y compararlo con la resistencia a compresión obtenida con el hormigón preparado de la manera tradicional.

##### **Objetivos Específicos**

- Obtener las propiedades mecánicas de los agregados que se empleara para el hormigón reciclado.
- Preparar muestras de hormigón estructural con diferentes dosificaciones de material de hormigón reciclado.
- Comparar las propiedades del hormigón fresco elaborado con hormigón reciclado y del hormigón de forma tradicional.
- Determinar la resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días del hormigón reciclado y compararlo con la del hormigón normal.

## CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA

### 2.1. Materiales

Para el desarrollo del presente trabajo experimental se detalla los materiales y equipo a utilizarse en la siguiente tabla

*Tabla 2. Materiales para los diferentes ensayos*

<b>ENSAYO</b>	<b>MATERIAL</b>
<b>Análisis granulométrico</b>	Agregado fino y grueso
<b>Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino</b>	Agregado fino
<b>Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso</b>	Agregado grueso
<b>Densidad aparente suelta y compactada</b>	Agregado fino y grueso
<b>Densidad combinada de los agregados</b>	Agregado fino y grueso
<b>Contenido de humedad</b>	Agregado fino y grueso
<b>Densidad real del cemento</b>	Cemento Holcim Tipo GU Gasolina
<b>Elaboración y curado</b>	Agregado fino y grueso, cemento, agua, aceite quemado
<b>Asentamiento del hormigón</b>	Hormigón recién elaborado
<b>Densidad en estado fresco del hormigón</b>	Muestras de hormigón en estado fresco
<b>Resistencia a compresión</b>	Muestras de hormigón fraguado

*Fuente: Larot David Mayorga Amaguaya*

Para la recolección del hormigón reciclado se empleó el siguiente equipo que se detalla en la Tabla 3.

*Tabla 3 Equipo para la recolección del material triturado*















<b>Mandil</b>	<b>Mascarilla</b>	<b>Pala</b>
		
<b>Guantes</b>	<b>Botas</b>	<b>Costales</b>
		

*Fuente: Larot David Mayorga Amaguaya*

El equipo y herramientas menores a utilizarse en laboratorio se describen en la Tabla 4.

*Tabla 4 Equipo y herramientas de laboratorio*

<b>Recipientes Metálicos</b>	<b>Balanza electrónica</b>	<b>Tamices</b>
Marca: Sin Marca 	Marca: Sartorius Modelo: AZ4101 	Marca: Humboldt Modelo: 2011 
<b>Tamizadora</b>	<b>Bandeja metálica</b>	<b>Embudo</b>
Marca: Controls Modelo: 15-d0407/BZ 	Marca: Sin Marca 	Marca: PICA 

<p><b>Pisón de pistilo</b></p> <p>Pisón de acero de diámetro de 25.4 mm y altura de 168 mm</p> 	<p><b>Cono de absorción</b></p> <p>Diámetro: superior de 40 mm, inferior de 90 mm y altura de 168 mm</p> 	<p><b>Canastilla</b></p> <p>Diámetro de 203 mm x 203 mm de altura</p> 
<p><b>Balde</b></p> <p>Marca: PICA</p> 	<p><b>Molde de peso unitario</b></p> <p>Marca: Sin Marca</p> 	<p><b>Varilla de compactación</b></p> <p>De punta redonda con diámetro de 10 mm altura 305 mm</p> 
<p><b>Picnómetro</b></p> <p>Marca: LMS.</p> 	<p><b>Brocha</b></p> <p>Marca: Sin Marca</p> 	<p><b>Termómetro</b></p> <p>Marca: SHX Modelo: SHX-WNG-01</p> 
<p><b>Pipeta</b></p> <p>Marca: Sin Marca</p> 	<p><b>Bandejas plásticas</b></p> <p>Marca: PICA</p> 	<p><b>Martillo de goma</b></p> <p>Marca: Bellota</p> 
<p><b>Carretilla</b></p> <p>Marca: Truper</p> 	<p><b>Palustre</b></p> <p>Marca: Bellota</p> 	<p><b>Moldes cilíndricos</b></p> <p>Marca: Sin Marca</p> 



<p><b>Flexómetro</b> Marca: Stanley</p> 	<p><b>Cono de Abrams</b> Marca: Sin Marca</p> 	<p><b>Cepillos de acero</b> Marca: Sin Marca</p> 
<p><b>Horno Eléctrico</b> Marca: Humboldt Potencia: 1920 W</p> 	<p><b>Balanza mecánica</b> Marca: Toledo Scale Modelo: 2002</p> 	<p><b>Máquina de compresión</b> Marca: Shimadzu Modelo: Concrete 2000X</p> 

*Fuente: Larot David Mayorga Amaguaya*

## 2.2. Métodos

Para dar cumplimiento a los objetivos propuestos del trabajo experimental, el desarrollo del mismo se ha dividido en cinco etapas como se describen a continuación

### 2.2.1. Etapa 1 Preliminar

Para el desarrollo del presente trabajo experimental se empezó con los estudios preliminares para la recolección de información bibliográfica y recolección de la materia prima para la preparación de muestras de hormigón reciclado, el mismo procedimiento se detalla a continuación

#### 2.2.1.1. Recolección de información bibliográfica

En este apartado se extrajo toda la información necesaria sobre las diferentes perspectivas que se tiene sobre el hormigón y hormigón reciclado; y a su vez sustentar conceptos y procedimientos para el desarrollo de cálculos y ensayos.

Se llevo a cabo con la ayuda de la investigación bibliográfica la misma que consiste en la revisión de material bibliográfico existente en relación con el tema a estudiar y se considera esencial debido a que abarca fases como la indagación, interpretación y

análisis para la obtención de bases necesarias para el desarrollo de cualquier estudio.  
[40]

#### **2.2.1.2. Recolección del hormigón residual y agregados naturales**

Como primer paso se recolectó el material residual del botadero Municipal de la ciudad de Pelileo ubicado en el sector El Rosario con coordenadas geográficas (UTM X: 770658 Y: 9858148) de donde se seleccionó material específicamente de restos de losas, bordillos, aceras, y además se reunió cilindros de hormigón que fueron ensayados con anterioridad de resistencias no mayores a  $210 \text{ kg/cm}^2$  y cilindros con fallas en su composición con el fin de replicar esta misma resistencia en los nuevos cilindros haciendo hincapié en la importancia del origen del material, los mismos que reposaban en el botadero de los laboratorios de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato logrando recoger alrededor de veinte costales de desperdicios entre ambas escombreras



**Figura 3** Desperdicios de aceras

*Fuente: Larot David Mayorga Amaguaya*



**Figura 4** Recolección de restos de aceras

*Fuente: Larot David Mayorga Amaguaya*



**Figura 5** Probetas ensayadas

*Fuente: Larot David Mayorga Amaguaya*



**Figura 6** Recolección de probetas de hormigón

**Fuente:** Larot David Mayorga Amaguaya

Teniendo el material suficiente recolectado en costales se procedió a llevarlo a la mina “Las Juntas” ubicada antes de llegar al puente de las Juntas que une los cantones de Pelileo y Baños para triturarlo, en este lugar existe dos máquinas de trituración la cual nos permitió contar con dos procesos de molidura, uno de mandíbulas y otro por cono. Los desperdicios fueron colocados en la parte alta de cada trituradora, en el primer proceso de trituración por mandíbulas se logró la destrucción de cilindros y trozos de aceras de gran tamaño en fragmentos de piedra como se observa en la figura 8, obteniendo pedazos más manipulables, por lo que paso por un segundo proceso en la trituradora de cono, la misma que contaba con bandas transportadoras que tamizaba y expulsaba el material en tipos de tamaño de piedra como es 1´ , ¾´´ , ½´´ , 3/8´´ y polvo de piedra, de esta forma el material estaba listo para ser empleado como agregado grueso reciclado para el desarrollo del trabajo de investigación.



**Figura 7** Mina “Las Juntas”

**Fuente:** Larot David Mayorga Amaguaya



*Figura 8 Transporte de residuos para su trituración*

*Fuente: Larot David Mayorga Amaguaya*



*Figura 9 Parte alta de trituración por Mandíbulas*

*Fuente: Larot David Mayorga Amaguaya*



*Figura 10 Triturado de Mandíbulas*

*Fuente: Larot David Mayorga Amaguaya*



*Figura 11 Trituradora de cono*

*Fuente: Larot David Mayorga Amaguaya*



*Figura 12 Bandas transportadoras*

*Fuente: Larot David Mayorga Amaguaya*

Luego de la trituración del material se procedió con una limpieza manual y barrido sobre el material con el fin de mantenerlo libre de impurezas. Para la recolección de los agregados naturales tanto grueso como fino se recolecto de la propia mina Las Juntas, por otra parte, el cemento a utilizarse es Holcim Tipo GU.

### **2.2.2. Etapa 2 – Propiedades mecánicas de los agregados**

Para esta parte se empleó la investigación experimental la cual consiste en someter a un objeto a determinadas condiciones o tratamientos para observar las reacciones que se producen, se caracteriza por la manipulación y control de variables que ejerce el investigador durante la experimentación. [41]

Al obtenerse el material reciclado como agregado grueso se realizó los ensayos correspondientes a las propiedades de los áridos gruesos y finos como es granulometría, densidades aparentes, densidades reales, densidades combinadas, capacidad de absorción, contenido de humedad, además se determinó las propiedades del cemento como es la densidad real con el que se elaboró el nuevo hormigón. Se realizó los ensayos para determinar las propiedades mecánicas de los diferentes agregados de acuerdo con las diferentes normas para cada uno con su debido procedimiento como se presenta en la Tabla 5

*Tabla 5. Ensayos y normativas para la obtención de las propiedades mecánicas*

N.º	ENSAYO	NORMA
1	Análisis granulométrico	NTE INEN 696 ASTM C 136
2	Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino	NTE INEN 856 ASTM C 128
3	Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso	NTE INEN 857 ASTM C 127
4	Densidad aparente suelta y compactada	NTE INEN 857 ASTM C 127
5	Densidad combinada de los agregados	NTE INEN 858 ASTM C 29
6	Contenido de humedad	NTE INEN 862 ASTM C 566
7	Densidad real del cemento	NTE INEN 156 ASTM C 188

*Fuente: Larot David Mayorga Amaguaya*

### **2.2.2.1. Granulometría**

El ensayo de granulometría implica en determinar el tamaño de las partículas de los agregados tamizándolos y respetando los límites especificados para la variación de tamaños en la norma NTE INEN 696

En la Tabla 6 se detallan los límites a los que debe ser graduado el agregado fino, siempre que no exceda el 45% de pasante en cualquier tamiz y retenido en el consecutivo de la tabla

**Tabla 6** Requisitos de graduación árido fino

Tamiz ASTM	Tamiz NTE INEN	Porcentaje que pasa
3/8"	9.5 mm	100
#4	4.75 mm	95 a 100
#8	2.36 mm	80 a 100
#16	1.18 mm	50 a 85
#30	600 $\mu m$	25 a 60
#50	300 $\mu m$	10 a 30
#100	150 $\mu m$	2 a 10

*Fuente: NTE INEN 872 [22].*

En la Tabla 7 se muestra los requisitos de graduación con referencia a los áridos gruesos, aunque el tamaño de las partículas no influye en las propiedades del concreto se pretende que de acuerdo a la curva granulométrica no se presente una ausencia total de partículas en ningún intervalo, es decir que el agregado debe tener una buena graduación.

**Tabla 7** Requisitos de graduación áridos grueso

Tamiz ASTM	Tamiz NTE INEN	Porcentaje que pasa
2"	50.80 mm	100
1 1/2"	38.10 mm	95 a 100
1"	26.67 mm	-
3/4"	18.85 mm	35 a 70
1/2"	13.32 mm	-
3/8"	9.5 mm	10 a 30
#4	0.15 mm	0 a 5

*Fuente: NTE INEN 872.[22]*

### 2.2.2.2.Densidad aparente y compactada

Es la relación entre la masa del agregado por unidad de volumen que ocupa en determinado espacio.

$$\text{Densidad aparente y compactada} = \frac{MT}{VT}$$

*Donde:*

*MT: es la masa total del material*

*VT: es el volumen total que ocupado por la masa total de la muestra*



Las pruebas que se realizaron para determinar las densidades cumplen con el procedimiento y estándares de la norma NTE INEN 856.

### 2.2.2.3. Densidad real y capacidad de absorción

La densidad real es la relación de peso a volumen que determina la masa, la misma que se utiliza para calcular el volumen que ocupará el agregado en la mezcla de concreto. Es importante señalar que la densidad real depende de las propiedades específicas de cada material.

La densidad real se determinó según NTE IEN 856 [42] para agregados finos y NTE INEN 857 [43] para agregados gruesos.

La capacidad de absorción es la cantidad de agua que puede absorber el agregado después de sumergirse en agua durante 24 horas, hasta alcanzar la condición saturada superficie seca (sss), para el agregado fino su valor se encuentra entre 0.2 y 2% y entre 0.2 y 4% para un agregado grueso. [21]

La densidad real de la arena (DRA) se expresa a través de la siguiente fórmula.

$$DRA = \frac{M_{SSS}}{V_{material}}$$

La densidad real del ripio (DRR) se expresa a través de la siguiente fórmula.

$$DRR = \frac{M_{SSS}}{\frac{M_{SSS} - M_{En\ Agua}}{Densidad\ del\ agua}}$$

La capacidad de absorción CA (%) se expresa a través de la siguiente fórmula.

$$CA(\%) = \frac{M_{SSS} - M_{SECO}}{M_{SECO}} \times 100$$

Donde:

$M_{SSS}$  = Masa en condición saturada superficie seca

$M_{en\ agua}$  = Masa en contacto con el agua

$M_{seco}$  = Masa en condición seca

#### **2.2.2.4. Contenido de humedad**

El contenido de humedad es la cantidad de agua que un agregado posee en un momento dado y se denomina porcentaje de humedad cuando dicha cantidad se expresa como porcentaje de muestra seca en horno. La mayoría de los agregados se los encuentra en estado húmedo por lo que es conveniente determinar frecuentemente el contenido de humedad para posterior corregir las proporciones en la mezcla. [44] La determinación de esta propiedad se realizó bajo la norma NTE INEN 862.

#### **2.2.2.5. Densidad real del cemento**

Según la norma NTE INEN 156, la densidad del cemento hidráulico se define como la masa por unidad de volumen de un sólido y se la determina con la relación entre la masa de cemento y el volumen de líquido no reactivo (gasolina), esta masa se transfiere al picnómetro, para el ensayo se utilizó el procedimiento descrito en la norma.

### **2.2.3. Etapa 3. Preparación de muestras de hormigón tradicional y reciclado**

Con los datos obtenidos de los ensayos para conocer las propiedades mecánicas de los agregados descritos en la Tabla 5 se procedió a preparar muestras de hormigón estructural con una dosificación que alcance una resistencia a la compresión de 210 kg/cm<sup>2</sup> y luego reemplazar el agregado grueso paulatinamente con el tipo de porcentaje correspondiente de agregado reciclado

#### **2.2.3.1. Método de las densidades Óptimas**

Se empleó el método de la densidad óptima elaborado por la Universidad Central del Ecuador para el cálculo de la dosificación del hormigón.

Este enfoque de combinación de diseño se basa en usar la menor cantidad de pasta necesaria para conseguir el hormigón de calidad que necesitamos obtener con una combinación de partículas que permita el menor porcentaje de vacíos.

Para la utilización del método es necesario conocer la nomenclatura que se describe en la Tabla 8:

**Tabla 8** Nomenclatura para el Método de la Densidad Óptima

<b>NOMENCLATURA:</b>			
<b>DRC</b>	<i>Densidad Real del Cemento</i>	<b>CP (%)</b>	<i>Cantidad de Pasta en %</i>
<b>DRA</b>	<i>Densidad Real de la Arena</i>	<b>DRM</b>	<i>Densidad Real de la Mezcla</i>
<b>DRR</b>	<i>Densidad Real del Ripio</i>	<b>POV</b>	<i>Porcentaje Óptimo de Vacíos</i>
<b>DSA</b>	<i>Densidad Suelta de la Arena</i>	<b>CP</b>	<i>Cantidad de Pasta</i>
<b>DSR</b>	<i>Densidad Suelta del Ripio</i>	<b>C</b>	<i>Cantidad de Cemento</i>
<b>POA</b>	<i>Porcentaje Óptimo de Arena</i>	<b>W</b>	<i>Cantidad de Agua</i>
<b>POR</b>	<i>Porcentaje Óptimo de Ripio</i>	<b>A</b>	<i>Cantidad de Arena</i>
<b>DOM</b>	<i>Densidad Óptima de la Mezcla</i>	<b>R</b>	<i>Cantidad de Ripio</i>
<b>W/C</b>	<i>Relación Agua Cemento</i>		

**Fuente:** Seminario de investigación sobre el módulo de elasticidad del hormigón Ing. Marco Garzón C. Año 2010. [45]

Procedimiento para dosificar hormigón a través del Método de la Densidad Óptima:

1. Se determina la relación agua/cemento de acuerdo con la resistencia a la compresión que llega a adquirir a los 28 días utilizando la Tabla 9.

**Tabla 9** Resistencia a la compresión en función a la relación agua/cemento

<b>f'c</b>	<b>RELACIÓN AGUA/CEMENTO</b>
<b>Mpa</b>	
<b>45</b>	0.37
<b>42</b>	0.40
<b>40</b>	0.42
<b>35</b>	0.46
<b>32</b>	0.50
<b>30</b>	0.51
<b>28</b>	0.52
<b>25</b>	0.55
<b>24</b>	0.56
<b>21</b>	0.58
<b>18</b>	0.60

**Fuente:** Seminario de investigación sobre el módulo de elasticidad del hormigón Ing. Marco Garzón C. Año 2010. [45]

2. Se obtiene la densidad real de la mezcla de los agregados (DRM) a través del cálculo de la siguiente ecuación

$$DRM = \frac{DRA * POA + DRR * POR}{100}$$

3. Se calcula el porcentaje Óptimo de Vacíos (POV)

$$POV = \frac{DRM - DOM}{DRM} * 100$$

4. Se calcula la cantidad de pasta (CP)

Se escogerá la ecuación de acuerdo con el grado de trabajabilidad y plasticidad en base al asentamiento requerido para la mezcla

**Tabla 10** Resistencia a la compresión en función a la relación agua/cemento

Asentamiento en cm	Cantidad de pasta en %
0 - 3	POV +2% +3% (POV)
3 - 6	POV +2% +6% (POV)
6 - 9	POV +2% +8% (POV)
9 - 12	POV +2% +11% (POV)
12 - 15	POV +2% +13% (POV)

**Fuente:** Seminario de investigación sobre el módulo de elasticidad del hormigón Ing. Marco Garzón C. Año 2010. [45]

5. Calcular la cantidad de cemento (C)

$$C = \frac{CP}{\frac{W}{C} + \frac{1}{DRC}}$$

6. Calcular la cantidad de agua (W)

$$W = \frac{W}{C} * C$$

7. Calcular la cantidad de agregado fino (A)

$$A = (1000 - CP) * \frac{DRA * POA}{100}$$

8. Calcular la cantidad de agregado grueso (R)

$$R = (1000 - CP) * \frac{DRR * POR}{100}$$

9. Calcular la dosificación al peso

$$DOSIFICACIÓN (W.C.A.R) = \frac{Cantidad\ de\ material\ (W.C.A.R)\ por\ m^3}{Cantidad\ de\ cemento\ (C)}$$

Cabe recalcar que la dosificación se calcula bajo la idea de que los materiales empleados se encuentran en condición (SSS), lo cual es muy poco probable que suceda por lo que es necesario realizar una corrección por humedad de los áridos. Por lo tanto, se deberá tener un control de la cantidad de agua empleada para el asentamiento de diseño y no alterar la relación agua/cemento. [21]

### **2.2.3.2. Corrección por humedad**

Consiste en determinar el contenido de humedad de los agregados finos y gruesos según NTE INEN 856 - 857 un día antes de la preparación del hormigón. Después de determinar el contenido de humedad, se realizó una corrección del contenido de humedad en cada material componente con la siguiente ecuación:

$$Arena = Peso\ (arena) = \frac{100 + \% humedad\ (arena)}{100 + \% absorción\ (arena)}$$

$$Ripio = Peso\ (ripio) = \frac{100 + \% humedad\ (ripio)}{100 + \% absorción\ (ripio)}$$

### **2.2.3.3. Elaboración de probetas de muestras**

Conocidas las cantidades para la dosificación se elaboró tres especímenes cilíndricos con modalidad prueba y error para comprobar si la dosificación calculada alcanza la resistencia de diseño. Al preparar las muestras se verifico el asentamiento y sus propiedades en estado fresco para posteriormente ser ensayadas a compresión a los 7 días, en caso de no cumplir con la resistencia mínima se realiza ajustes necesarios a la dosificación y elaboración y se volverá a elaborar las probetas hasta que la resistencia a compresión obtenida este dentro del rango de diseño. Una vez determinada la dosificación favorable se procedió a elaborar las probetas representativas para la experimentación.

### **2.2.3.4. Elaboración de probetas definitivas**

Para la preparación de los cilindros de hormigón reciclado se realizó el mismo procedimiento para una dosificación normal de 210 kg/cm<sup>2</sup>, con la ayuda del método de la Densidad Óptima se elaboraron las probetas de hormigón tradicional y de acuerdo a la dosificación se selecciona el material necesario con el que se preparó las

probetas de hormigón con un 10%, 15%, 30% , 60% y 100% reemplazando de forma parcial por agregado grueso reciclado, las mismas que serán ensayadas a los 7, 14 y 28 días de edad, siguiendo las normas y procedimiento que determinan la normas NTE INEN 3124 y ASTM C 192 para su elaboración.

Una vez elaborados se identifican en las probetas los porcentajes de agregado grueso de origen reciclado utilizado, fecha y número de cilindro, los cuales se mantendrán en la cámara de curado hasta el día de ser ensayadas a compresión

### 2.2.3.5. Cantidad de especímenes

Se elaboraron un total de 69 especímenes de la mezcla de hormigón tradicional y reciclado utilizando un molde de 10 cm de diámetro por 20 cm de altura, dividiendo en 60 especímenes con porcentajes de hormigón reciclado y 9 especímenes para ensayos de control y comparación (probetas base). Para los 7 y 14 días se elaboraron un total de 15 probetas respectivamente mientras que para los 28 días de edad se realizó el doble de probetas con el fin de obtener una mayor cantidad de datos que nos brinden mejor precisión en los resultados.

*Tabla 11 Cantidad de Especímenes*

Dosificación (kg/cm <sup>2</sup> )	Tiempo (días)	Porcentaje de hormigón triturado (%)					Control
		10	15	30	60	100	
210	7	3	3	3	3	3	-
	14	3	3	3	3	3	3
	28	6	6	6	6	6	3
<b>TOTAL</b>		<b>69</b>					<b>Especímenes</b>

*Fuente: Larot David Mayorga Amaguaya*

### 2.2.4. Etapa 4. Propiedades del hormigón fresco reciclado y tradicional

En esta etapa se utilizó la investigación tipo correlacional la cual consiste en conocer la relación que existe entre dos o más variables en un contexto particular. En estos estudios primero se mide las variables y después se cuantifican, analizan y establecen las vinculaciones. [41]

En el cual se comparó las propiedades del hormigón reciclado en estado fresco con el hormigón tradicional en base a la dosificación de 210 kg/cm<sup>2</sup> apoyado en las especificaciones para hormigón fresco que se mencionan en la tabla 12.

*Tabla 12. Ensayos y normativas para la determinación del hormigón fresco*

<b>ENSAYO</b>	<b>NORMA</b>
<b>Asentamiento del hormigón</b>	NTE INEN 1578 ASTM C 143
<b>Densidad en estado fresco del hormigón</b>	NTE INEN 1579 ASTM C 138

*Fuente: Larot David Mayorga Amaguaya*

#### **2.2.4.1. Propiedades del hormigón fresco**

El resultado al combinar el cemento, árido fino, árido grueso y agua para formar una mezcla se denomina hormigón fresco la cual cuenta con propiedades como: trabajabilidad, segregación, consistencia y densidad las mismas que nos guía acerca del comportamiento que tendrá el hormigón en el futuro dando importancia al correcto diseño y utilización.

##### **2.2.4.1.1. Trabajabilidad**

Se la define como la capacidad que tiene un hormigón para ser manipulado, amasado y colocado en obra para ser terminado sin segregación alguna que lo altere con los medios de compactación que se dispongan. [21] se identifica con las siglas MB (Muy Buena), B (Buena), R (Regular) y M (Mala).

Esta propiedad tiende a alterar por factores como:

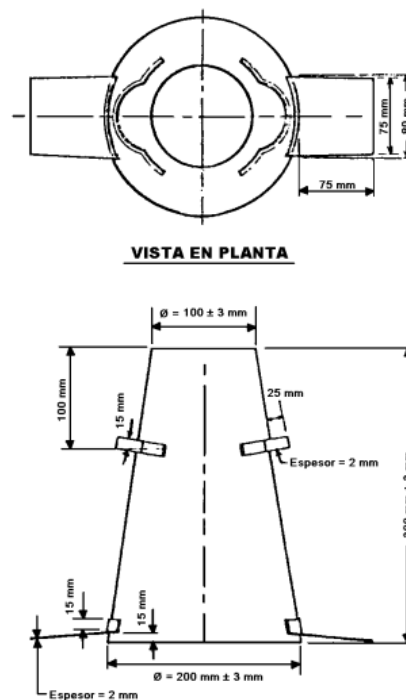
- La cantidad de agua de amasado, a mayor cantidad de agua mayor trabajabilidad, pero menor resistencia
- Contenido de árido fino: a un mayor contenido de arena, mejor trabajabilidad, pero más agua de amasado, pero menor resistencia
- Áridos redondeados una mayor cantidad de cantos rodados mejor la trabajabilidad, pero baja resistencia
- Contenido y finura del cemento: a una mayor cantidad de cemento aumenta la trabajabilidad, pero aumenta la retracción y el calor de hidratación
- El empleo de un plastificante aumenta la trabajabilidad a igualdad de las restantes características. [21]

### 2.2.4.1.2. Consistencia

Es la facilidad que tiene un hormigón para adoptarse o deformarse a una forma fija, se encuentra en función de varios factores como el tamaño máximo del árido, granulometría, forma del agregado, método de compactación, pero el factor que más influye en esta propiedad es la cantidad de agua de amasado.[21]

La consistencia se mide en términos de asentamiento, a mayor asentamiento más húmedo será la mezcla influyendo en la facilidad con la que fluye el hormigón durante su colocación, se la relaciona con la trabajabilidad, pero no es lo mismo.

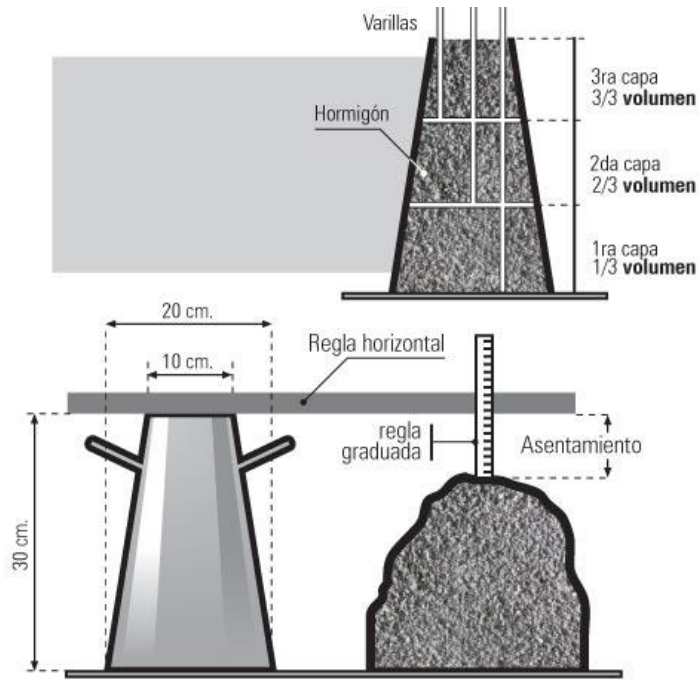
Existen varios métodos para medir la consistencia del hormigón como son: la mesa de sacudidas, consistómetro VEBE y el cono de Abrams que es el más empleado en obra, este último consiste en rellenar un troncocónico de 30 cm de altura con hormigón fresco colocado sobre una superficie plana y rígida. El hormigón se introduce en tres capas, cada capa se compacta con una varilla metálica de punta redonda 25 veces de forma aleatoria, culminada las tres capas se enrasa el molde y se levanta el cono de forma vertical, la deformación que se presenta al desmoldar el cono truncado se mide en centímetros la cual es la medida de la consistencia. [46]



*Figura 13 Molde de ensayo para asentamiento*

*Fuente: NTE INEN 1578 - Hormigón del cemento hidráulico. Determinación del asentamiento. [46]*





**Figura 14** Esquema de la medición del asentamiento

**Fuente:** Obras y Protagonistas - Ed. Nro. 224.[47]

**Tabla 13.** Consistencias y formas de compactación (hormigón sin aditivos)

Consistencia	Asiento en cono de Abrams (cm)	Forma de compactación
Seca (S)	0 a 2	Vibrado energético en taller
Plástica (P)	3 a 5	Vibrado energético en obra
Blanda (B)	6 a 9	Vibrado o apisonado
Fluida (F)	10 a 15	Picado con barra
Líquida (L)	$\geq 16$	No apta para elementos resistentes

**Fuente:** Hormigón Armado - Jiménez Montoya 15 edición. [48]

### 2.2.4.1.3. Homogeneidad

Se la define como la cualidad para que los diferentes componentes del hormigón sean distribuidos regularmente en toda la masa de manera que sea igual en toda la mezcla, se la consigue con un buen amasado y las proporciones de hormigón requerido [21]. Se identifica con las siglas MB (Muy Buena), B (Buena), R (Regular) y M (Mala).

Esta propiedad puede perderse por la segregación (separación de los agregados) o por la decantación cuando la mezcla es muy líquida el mortero queda en la superficie y las partículas gruesas caen al fondo. [48]

#### **2.2.4.1.4. Densidad en estado fresco**

Es la relación entre la masa de hormigón y su volumen, varía de acuerdo con la clase de áridos, aire ocluido en el proceso de amasado y colocación en obra

Es un factor importante para considerar debido a que el peso cambia por factores de las granulometrías, humedad de los agregados, agua de amasado y modificaciones en el asentamiento. Mientras mayor sea la densidad de los agregados utilizados y mejor compactada esté la mezcla, será mayor la densidad del hormigón. En hormigones tradicionales su valor oscila entre de 2200 a 2400 kg/m<sup>3</sup>. [21]

Para determinar la densidad se debe:

1. Determinar el volumen y la masa del cilindro vacío y aceitado.
2. Llenar el cilindro con hormigón en tres capas, compactando cada una de ellas con 25 golpes.
3. Medir la masa del cilindro más hormigón.

#### **2.2.4.2. Curado del hormigón**

Es el proceso por el cual se controla la pérdida de agua de la masa de concreto causado por efectos externos como temperatura, sol, viento, humedad relativa y para garantizar la hidratación completa de las partículas de cemento garantizando la resistencia final del hormigón. Su principal objetivo es mantener al concreto lo más saturado que sea posible para lograr la hidratación completa del cemento. [21]

##### **2.2.4.2.1. Curado Inicial**

Comienza inmediatamente después del moldeo y terminado, el espécimen debe ser almacenado por 48 horas a una temperatura entre 16 °C y 27 °C su propósito es evitar la pérdida de humedad. Se aplica en condiciones en donde es inminente la evaporación de agua sobre la superficie del concreto. [49]

##### **2.2.4.2.2. Curado final:**

Concluido el curado inicial y dentro de 30 minutos de desmoldar las probetas se debe tomar medidas de curado como cámaras de curado o tanques de almacenamiento consiguiendo que se mantengan siempre con agua en su superficie a una temperatura de 23°C ± 2°C. [49]

El hormigón de resistencia normal tiene un tiempo de fraguado mínimo de 7 días y debe curar al 70 % de la resistencia a compresión especificada. Sin embargo, bajo condiciones de campo, la estructura curada alcanzará la resistencia especificada dentro de los 28 días. [21]

### 2.2.5. Etapa 5. Resistencia a la compresión hormigón reciclado y tradicional

En esta etapa se utilizó un tipo de investigación experimental y correlacional. Se efectúa el ensayo a compresión a los 7, 14 y 28 días de curado de las probetas de hormigón reciclado una vez ensayados se procede a almacenar los datos generados para cada cilindro generando una curva de tendencia gráfica que permita relacionar la resistencia y el tiempo de curado del hormigón reciclado y tradicional para compararlo con los parámetros que posee un hormigón preparado de la forma tradicional a una resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup>

*Tabla 12 Norma Resistencia a la compresión*

ENSAYO	NORMA
Resistencia a compresión	NTE INEN 1573 ASTM C 39

*Fuente: Larot David Mayorga Amaguaya*

#### 2.2.5.1. Resistencia a la compresión:

Es la capacidad del hormigón para resistir una carga sobre un área determinada. Las unidades por lo general en kg/cm<sup>2</sup>, MPa o PSI que son términos de esfuerzo. [21]

La calidad del concreto está representada por el ensayo de compresión de muestras de concreto vaciado en situ su propósito es determinar si cumple con las especificaciones de compresión de acuerdo a los estándares establecidos. Este criterio es la base para que el hormigón sea aceptado

#### 2.2.5.2. Ensayo de resistencia a la compresión

Consiste en la aplicación de una carga axial de compresión a los cilindros moldeados a una velocidad que se encuentra dentro del rango definido hasta que ocurra la falla del espécimen

Se mide el diámetro y la altura, se coloca el cilindro en la máquina de compresión, se ubica los datos en el software, se procede a encerrar la máquina y se inicia con el ensayo. La cara superior del cilindro debe ser plana de lo contrario puede ocasionar

concentración de esfuerzos que disminuye la resistencia. La velocidad de carga esta entre  $0.25 \pm 0,05$  Mpa/s, la carga se aplicará hasta que el indicador muestre que la carga está decreciendo constantemente y el espécimen muestre un patrón de flujo de fractura bien definido. [50]

Una prueba de resistencia requiere al menos dos muestras, de las cuales se tendrá en cuenta la resistencia promedio, descartándose evidencias de que unas muestras tienen baja resistencia en comparación con otras, y solo el resto se considerará como resultado de la prueba.

Todos los especímenes cilíndricos de concreto se ensayan inmediatamente después de retirarlos del proceso de curado sin embargo en muchos casos por falta del equipo necesario no son ensayados en ese instante por lo que existen tiempos de tolerancia para la realización del ensayo como se indica en la tabla 13.

*Tabla 13 Tolerancia de tiempo admisible para el ensayo de especímenes*

<b>Edad de Ensayo</b>	<b>Tolerancia admisible</b>
24 horas	$\pm 0.5$ h o 2.1 %
3 días	2 horas o 2.8%
7 días	6 horas o 3.6%
28 días	20 horas o 3.0%
90 días	2 días o 2.2%

**Fuente:** Determinación de la resistencia a la compresión INEN 1573 [50]

### **2.2.6. Plan para análisis de resultados**

Con la finalidad de obtener un punto de comparación se realizó gráficas comparativas por porcentaje de hormigón reciclado a los 7, 14 y 28 días de edad donde se evidencie cual es proporción indicada que permite que el hormigón conserve su resistencia de diseño

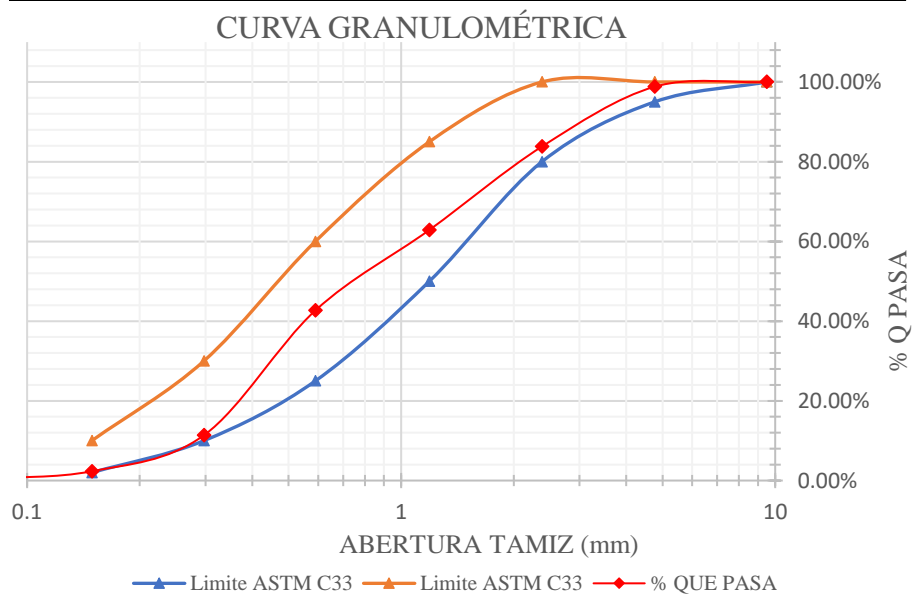
## CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1. Análisis y discusión de los resultados

#### 3.1.1. Propiedades mecánicas de los agregados:

*Tabla 14 Granulometría del agregado fino*

 								
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL								
RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE HORMIGÓN PREPARADO A PARTIR DE MATERIALES RECICLADOS								
Origen: Mina Las Juntas								
Norma: NTE INEN 696 - ASTM C136								
Fecha: 20/12/2022								
Ensayado por: Larot David Mayorga Amaguaya								
Peso de la muestra:	1000							
Pérdida de la muestra (%):	0.002							
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO FINO								
Tamiz	Abertura (mm)	Retenido Parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	Retenido acumulado (gr)	% que pasa	Límites ASTM % que pasa	Límite Inferior	Límite Superior
3/8'	9.5	0.00	0.00	0.00%	100.00%	100	100	100
#4	4.76	12.00	12.00	1.20%	98.80%	95-100	95	100
#8	2.38	149.90	161.90	16.19%	83.81%	80-100	80	100
#16	1.19	209.20	371.10	37.12%	62.88%	50-85	50	85
#30	0.59	201.90	573.00	57.31%	42.69%	25-60	25	60
#50	0.297	313.20	886.20	88.64%	11.36%	10-30	10	30
#100	0.149	90.30	976.50	97.67%	2.33%	2-10	2	10
#200	0.075	19.00	995.50	99.57%	0.43%	-	-	-
<b>BANDEJA</b>		4.30	999.80	100.00%	0.00%	-	-	-
<b>MODULO DE FINURA</b>		2.98%						



*Elaborado por: Larot David Mayorga Amaguaya*

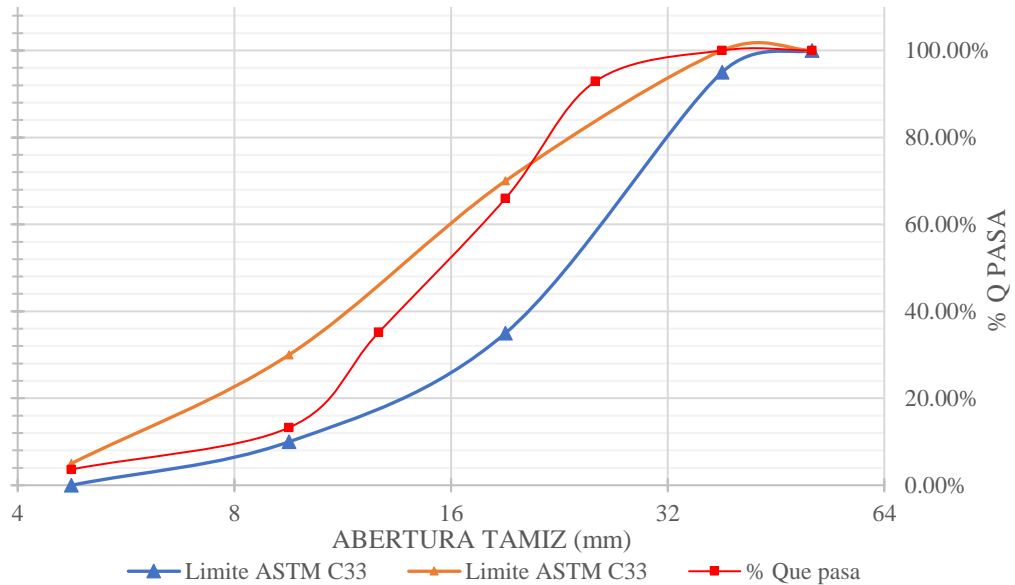
**Análisis de resultados:** El ensayo granulométrico para la arena de la mina “Las Juntas” determino que el árido es apto para la fabricación de hormigón pues la curva granulométrica resultante se encuentra dentro de los rangos establecidos en la norma

ASTM y posee un módulo de finura que se encuentra dentro del rango de 2.3 – 3.1 siendo el mismo de 2.98

*Tabla 15 Granulometría del agregado grueso (Ripio)*

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
<b>RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE HORMIGON PREPARADO A PARTIR DE MATERIALES RECICLADOS</b>								
Origen: Mina Las Juntas			Norma: NTE INEN 696 - ASTM C136					
Fecha: 20/12/2022			Ensayado por: Larot David Mayorga Amaguaya					
Peso de la muestra:		10000	Pérdida de la muestra (%):		0.20			
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO GRUESO								
TAMIZ	Abertura (mm)	Retenido Parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	Retenido acumulado (gr)	% que pasa	Límites ASTM % que pasa	Límite Inferior	Límite Superior
2"	50.80	0	0	0.00%	100.00%	100	100	100
1 1/2"	38.10	0	0	0.00%	100.00%	95-100	95	100
1"	25.40	709	709	7.10%	92.90%	-	35	70
3/4"	19.05	2685	3394	34.01%	65.99%	35 - 70	10	30
1/2"	12.70	3074	6468	64.81%	35.19%	-	0	5
3/8"	9.53	2188	8656	86.73%	13.27%	10-30	-	-
#4	4.75	961	9617	96.36%	3.64%	0-5	-	-
<b>BANDEJA</b>		363	9980	100.00%	0.00%	-	-	-
<b>TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO</b>				1"				

### CURVA GRANULOMÉTRICA





*Elaborado por: Larot David Mayorga Amaguaya*

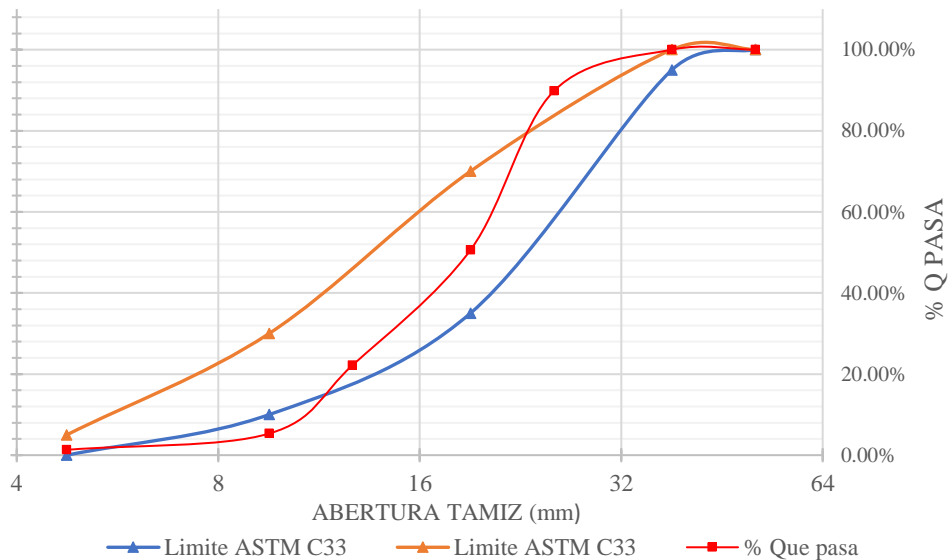
**Análisis de resultados:** El ensayo granulométrico para el agregado grueso de la mina “Las Juntas” determino que el árido es apto para la fabricación de hormigón pues la curva granulométrica resultante se encuentra dentro de los rangos

establecidos en la norma ASTM y posee un tamaño nominal máximo de 1" el cual se encuentra dentro del rango recomendado de 3/4" a 1 1/2".

**Tabla 16 Granulometría del Hormigón reciclado**

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>								
<b>RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE HORMIGON PREPARADO A PARTIR DE MATERIALES RECICLADOS</b>								
<b>Origen:</b> Mina Las Juntas		<b>Norma:</b> NTE INEN 696 - ASTM C136						
<b>Fecha:</b> 20/12/2022		<b>Ensayado por:</b> Larot David Mayorga Amaguaya						
<b>Peso de la muestra:</b>	10000	<b>Pérdida de la muestra (%):</b>	0.04					
<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO HORMIGÓN RECICLADO</b>								
TAMIZ	Abertura (mm)	Retenido Parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	Retenido acumulado (gr)	% que pasa	Límites ASTM % que pasa	Límite Inferior	Límite Superior
2"	50.80	0	0	0.00%	100.00%	100	100	100
1 1/2"	38.10	0	0	0.00%	100.00%	95-100	95	100
1"	25.40	1016	1016	10.16%	89.84%	-	35	70
3/4"	19.05	3925	4941	49.43%	50.57%	35 - 70	10	30
1/2"	12.70	2837	7778	77.81%	22.19%	-	0	5
3/8"	9.53	1686	9464	94.68%	5.32%	10 - 30	-	-
#4	4.75	501	9965	99.69%	0.31%	0 - 5	-	-
<b>BANDEJA</b>		31	9996	100.00%	0.00%	-	-	-
<b>TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO</b>					1"			

**CURVA GRANULOMÉTRICA**





*Elaborado por: Larot David Mayorga Amaguaya*

**Análisis de resultados:** El ensayo granulométrico para el agregado reciclado con el que se elaboró las cilindros de hormigón dio como resultado la curva granulométrica resultante la cual se encuentra dentro de los rangos establecidos en la norma ASTM y posee un tamaño nominal máximo de 1" el cual se encuentra dentro del rango recomendado de 3/4" a 1 1/2", cabe recalcar que el tipo de tamaño obtenido

dependerá del tipo de trituradora por la que fue sometido el material hasta obtener los diferentes tamaños que se presentan en la tabla.



*Tabla 17 Densidad aparente suelta de los agregados*

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 				
<b>RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE HORMIGON PREPARADO A PARTIR DE MATERIALES RECICLADOS</b>				
<b>Origen:</b> Mina Las Juntas		<b>Norma:</b> NTE INEN 857 - ASTM C 127		
<b>Fecha:</b> 20/12/2022		<b>Ensayado por:</b> Larot David Mayorga Amaguaya		
<b>Volumen del recipiente (cm3)</b>	21.06	<b>Masa del recipiente (kg)</b>		10.00
<b>DENSIDAD APARENTE SUELTA DEL AGREGADO FINO Y GRUESO</b>				
<b>AGREGADO</b>	Agregado + Recipiente (kg)	Agregado (kg)	Peso Unitario	Peso Unitario Promedio (kg/dm3)
<b>GRUESO</b>	38.10	28.10	1.33	1.34
	38.30	28.30	1.34	
<b>FINO</b>	41.30	31.30	1.49	1.49
	41.60	31.60	1.50	

*Elaborado por: Larot David Mayorga Amaguaya*

**Análisis de resultados:** El ensayo de la densidad aparente suelta realizado para el agregado fino y grueso mostro como resultado el peso unitario promedio de 1.49 kg/dm<sup>3</sup> y 1.34 kg/dm<sup>3</sup> respectivamente

*Tabla 18 Densidad aparente compactada de los agregados*

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 				
<b>RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE HORMIGON PREPARADO A PARTIR DE MATERIALES RECICLADOS</b>				
<b>Origen:</b> Mina Las Juntas		<b>Norma:</b> NTE INEN 857 - ASTM C 127		
<b>Fecha:</b> 20/12/2022		<b>Ensayado por:</b> Larot David Mayorga Amaguaya		
<b>Volumen del recipiente (cm3)</b>	21.06	<b>Masa del recipiente (kg)</b>		10.00
<b>DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DEL AGREGADO FINO Y GRUESO</b>				
<b>AGREGADO</b>	Agregado + Recipiente (kg)	Agregado (kg)	Peso Unitario	Peso Unitario Promedio (kg/dm3)
<b>GRUESO</b>	41.50	31.50	1.50	1.50
	41.70	31.70	1.50	
<b>FINO</b>	44.00	34.00	1.61	1.62
	44.20	34.20	1.62	

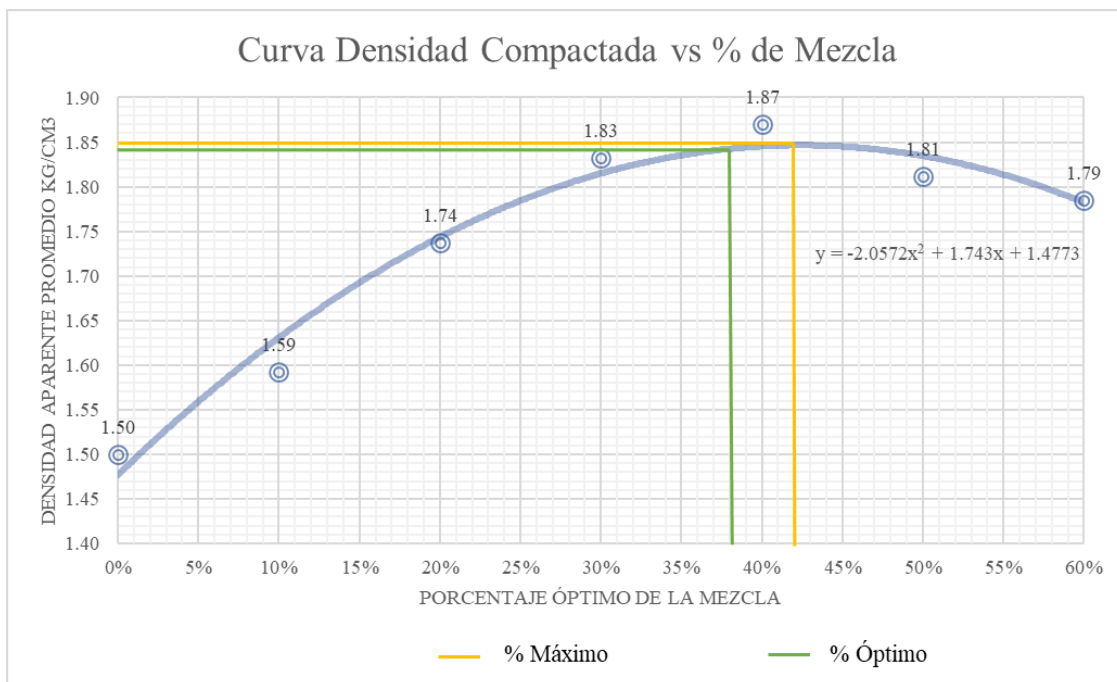
*Elaborado por: Larot David Mayorga Amaguaya*

**Análisis de resultados:** El ensayo de la densidad aparente compactada realizado para el agregado fino y grueso mostró como resultado el peso unitario promedio de 1.62 kg/dm<sup>3</sup> y 1.50 kg/dm<sup>3</sup> respectivamente



*Tabla 19 Densidad aparente compactada combinada*

% MEZCLA		CANTIDAD		Fino añadido (kg)	Agregado + recipiente (kg)	Agregado (kg)	Peso unitario mezcla	Peso unitario promedio
100%		40.00	0.00	0.00	41.50	31.50	1.50	1.50
					41.70	31.70	1.50	
90%		40.00	4.44	4.44	43.70	33.70	1.60	1.59
					43.40	33.40	1.59	
80%		40.00	10.00	5.56	46.50	36.50	1.73	1.74
					46.70	36.70	1.74	
70%		40.00	17.14	7.14	48.50	38.50	1.83	1.83
					48.70	38.70	1.84	
60%		40.00	26.67	9.53	49.50	39.50	1.88	1.87
					49.30	39.30	1.87	
50%		40.00	40.00	13.33	48.10	38.10	1.81	1.81
					48.20	38.20	1.81	
40%		40.00	60.00	20.00	47.70	37.70	1.79	1.79
					47.50	37.50	1.78	
Porcentaje máximo de agregado fino (%)							42	
Porcentaje máximo de agregado grueso (%)							58	
Porcentaje óptimo de agregado fino (%)							38	
Porcentaje óptimo de agregado grueso (%)							62	
Peso unitario máximo (gr/cm3)							1.85	
Peso unitario óptimo (gr/cm3)							1.84	



*Elaborado por: Larot David Mayorga Amaguaya*

**Análisis de resultados:** A través del ensayo de la densidad combinada compactada se determinó que el porcentaje óptimo del agregado fino es del 38% mientras que para el agregado grueso es del 62%. Mientras que para el peso unitario máximo y peso unitario óptimo se lo determina por medio de la gráfica de densidad aparente compactada vs porcentaje óptimo de la mezcla dando valores de 1.85 gr/cm<sup>3</sup> y 1.84 gr/cm<sup>3</sup> respectivamente.

**Tabla 20 Densidad real y capacidad de absorción de la arena**

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>			
<b>RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE HORMIGON PREPARADO A PARTIR DE MATERIALES RECICLADOS</b>					
<b>Origen:</b> Mina Las Juntas			<b>Norma:</b> INEN 1573		
<b>Fecha:</b> 20/12/2022			<b>Ensayado por:</b> Larot David Mayorga Amaguaya		
<b>CALCULO DE LA DENSIDAD REAL (ARENA)</b>					
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR		
M1	Masa del picnómetro	gr	152.17		
M2	Masa del picnómetro + muestra SSS	gr	202.92		
M3	Masa del picnómetro + muestra SSS + agua	gr	681.20		
M4=M3-M2	Masa agua añadida	gr	478.28		
M5	Masa picnómetro + 500cc de agua	gr	650.68		
M6=M5-M1	Masa de 500cc de agua	gr	498.51		
DA=M6/500 cm <sup>3</sup>	Densidad del agua	gr/cm <sup>3</sup>	1.00		
M7=M6-M4	Masa del agua desalojada por la muestra	gr	20.23		
Msss=M2-M1	Masa del agregado	gr	50.75		
Vsss=M7/DA	Volumen del agua desalojada	cm <sup>3</sup>	20.29		
DRA=Msss/Vsss	Densidad real de la arena	gr/cm <sup>3</sup>	2.50		
<b>CALCULO DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN</b>					
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR		
M7	Masa del recipiente	gr	26.68	30.55	
M8	Masa del recipiente + muestra SSS	gr	111.05	116.62	
M9=M8-M7	Masa de la muestra SSS	gr	84.37	86.07	
M10	Masa del recipiente + muestra seca	gr	109.76	115.33	
M11=M10-M7	Masa de la muestra seca	gr	83.08	84.78	
CA=((M9-M11)/M11)*100	Capacidad de absorción	%	1.55	1.52	
P2=(CA 1 + CA 2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	1.54		

*Elaborado por: Larot David Mayorga Amaguaya*

**Análisis de resultados:** Mediante el ensayo de la densidad real para el agregado fino de la mina “Las Juntas” se determina que su densidad real es de 2.50 gr/cm<sup>3</sup> y su capacidad de absorción es de 1.54% ubicándose dentro del para el agregado fino de 0.2 y 2%



**Tabla 21** Densidad real y capacidad de absorción del ripio

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>				
<b>RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE HORMIGON PREPARADO A PARTIR DE MATERIALES RECICLADOS</b>				
<b>Origen:</b> Mina Las Juntas		<b>Norma:</b> INEN 1573		
<b>Fecha:</b> 20/12/2022		<b>Ensayado por:</b> Larot David Mayorga Amaguaya		
<b>CALCULO DE LA DENSIDAD REAL (RIPIO)</b>				
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR	
M1	Masa de la canastilla en el aire	gr	1469.00	
M2	Masa de la canastilla en el agua	gr	1299.00	
M3	Masa de la canastilla + muestra SSS en el aire	gr	2348.00	
M4	Masa de la canastilla + muestra SSS en el agua	gr	1830.00	
DA	Densidad real del agua	gr/cm <sup>3</sup>	1.00	
M5=M3-M1	Masa de la muestra SSS en el aire	gr	879.00	
M6=M4-M2	Masa de la muestra SSS en el agua	gr	531.00	
VR=(M5-M6)/DA	Volumen real de la muestra	cm <sup>3</sup>	348.00	
DR=M5/VR	Densidad real	gr/cm <sup>3</sup>	2.53	
<b>CALCULO DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN</b>				
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR	
M7	Masa del recipiente	gr	107.43	108.56
M8	Masa del recipiente + muestra SSS	gr	255.63	272.76
M9=M8-M7	Masa de la muestra SSS	gr	148.20	164.20
M10	Masa del recipiente + muestra seca	gr	252.63	269.46
M11=M10-M7	Masa de la muestra seca	gr	145.20	160.90
CA=((M9-M11)/M11)* 100	Capacidad de absorción	%	2.07	2.05
P2=(CA 1 + CA 2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	2.06	

*Elaborado por:* Larot David Mayorga Amaguaya

**Análisis de resultados:** Mediante el ensayo de la densidad real para el agregado grueso de la mina “Las Juntas” se determina que la densidad real del ripio es de 2.53 gr/cm<sup>3</sup> y su capacidad de absorción es de 2.06% ubicándose dentro del rango entre 0.2 y 4%



Tabla 22 Contenido de humedad

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>					
<b>RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE HORMIGON PREPARADO A PARTIR DE MATERIALES RECICLADOS</b>					
<b>Origen:</b> Mina Las Juntas			<b>Norma:</b> NTE INEN 862 - ASTM C 566		
<b>Fecha:</b> 20/12/2022			<b>Ensayado por:</b> Larot David Mayorga		
<b>CALCULO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD</b>					
DESCRIPCIÓN	NOMEN.	ARENA		RIPIO	
Recipiente numero	#	103	94	13	4
Peso humedo + recipiente	Wm + rec	108.12	147.83	110.07	154.14
Peso seco + recipiente	Ws + rec	107.19	146.34	109.70	153.37
Peso recipiente	rec	30.62	31.96	30.33	25.60
Peso del agua	Ww	0.93	1.49	0.37	0.77
Peso de los solidos	Ws	76.57	114.38	79.37	127.77
Contenido de humedad	w%	1.21	1.30	0.47	0.60
Contenido de humedad promedio	w%	1.26		0.53	

Elaborado por: Larot David Mayorga Amaguaya

**Análisis de resultados:** Mediante el ensayo del contenido de humedad para la arena y el ripio se obtuvo un valor de humedad de 1.26% y 0.53% respectivamente

Tabla 23 Densidad real del cemento

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>				
<b>RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE HORMIGON PREPARADO A PARTIR DE MATERIALES RECICLADOS</b>				
<b>Origen:</b> Cemento Holcim		<b>Norma:</b> NTE INEN 156 ASTM C 188		
<b>Fecha:</b> 20/12/2022		<b>Ensayado por:</b> Larot David Mayorga Amaguaya		
<b>CALCULO DE LA DENSIDAD REAL DEL CEMENTO</b>				
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR	
M1	Masa del picnómetro	gr	173.03	153.75
M2	Masa del picnómetro + muestra SSS	gr	273.03	203.75
M3	Masa del picnómetro + muestra SSS + gasolina	gr	616.28	557.30
M4=M3-M2	Masa gasolina añadida	gr	343.25	353.55
M5	Masa picnómetro + 500cc de gasolina	gr	544.05	521.43
M6=M5-M1	Masa de 500cc de gasolina	gr	371.02	367.68
DG=M6/500 cm <sup>3</sup>	Densidad de la gasolina	gr/cm <sup>3</sup>	0.74	0.74
M7=M6-M4	Masa de la gasolina desalojada por la muestra	gr	27.77	14.13
Mc=M2-M1	Masa del cemento	gr	100.00	50.00
Vg=M7/DG	Volumen de la gasolina desalojada	cm <sup>3</sup>	37.42	19.22
DRC=Mc/Vg	Densidad real del cemento	gr/cm <sup>3</sup>	2.67	2.60
	Densidad real promedio	gr/cm <sup>3</sup>	2.64	

Elaborado por: Larot David Mayorga Amaguaya

**Análisis de resultados:** Mediante el ensayo de la densidad real para el cemento Holcim Tipo GU se determinó una densidad de 2.64 gr/cm<sup>3</sup>

### 3.1.2. Método de las Densidades Óptimas

#### 3.1.2.1. Dosificación 210 kg/cm<sup>2</sup>



En la Tabla 24 se presentan en forma de resumen los resultados de los ensayos realizados para la dosificación del hormigón y posteriormente se procedió a utilizar el método de las densidades óptimas o de la Universidad Central con los que se realizó los cálculos correspondientes para su dosificación

*Tabla 24 Resumen de ensayos para la dosificación  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$*

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 					
RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE HORMIGON PREPARADO A PARTIR DE MATERIALES RECICLADOS					
<b>Origen:</b> Mina Las Juntas			Método de la Universidad Central		
<b>Fecha:</b> 12/01/2023			<b>Ensayado por:</b> Larot David Mayorga Amaguaya		
DOSIFICACIÓN MÉTODO DE LA UNIVERSIDAD CENTRAL					
DATOS DE ENSAYOS			DATOS DE TABLAS		
<b>f<sub>c</sub></b>	210	Kg/cm <sup>2</sup>	<b>W/C</b>	0.58	
<b>Asentamiento</b>	6 - 9	cm	<b>CP (%)</b>	POV + 2% + 8%(POV)	
<b>DRC</b>	2.637	gr/cm <sup>3</sup>	CÁLCULOS		
<b>DRA</b>	2.501	gr/cm <sup>3</sup>	<b>DRM</b>	2.52	kg/dm <sup>3</sup>
<b>DRR</b>	2.526	gr/cm <sup>3</sup>	<b>POV</b>	26.88	%
<b>DSA</b>	1.493	gr/cm <sup>3</sup>	<b>CP</b>	310.33	dm <sup>3</sup>
<b>DSR</b>	1.339	gr/cm <sup>3</sup>	<b>C</b>	323.52	Kg
<b>POA</b>	38	%	<b>W</b>	187.64	lts
<b>POR</b>	62	%	<b>A</b>	655.50	kg
<b>DOM</b>	1.84	gr/cm <sup>3</sup>	<b>R</b>	1080.05	kg

*Elaborado por: Larot David Mayorga Amaguaya*

*Tabla 25 Dosificación al peso  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$*

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 					
RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE HORMIGON PREPARADO A PARTIR DE MATERIALES RECICLADOS					
<b>Origen:</b> Mina Las Juntas			Método de la Universidad Central		
<b>Fecha:</b> 12/01/2023			<b>Ensayado por:</b> Larot David Mayorga Amaguaya		
DOSIFICACIÓN MÉTODO DE LA UNIVERSIDAD CENTRAL					
DOSIFICACIÓN AL PESO					
MATERIAL	CANTIDAD EN Kg POR CADA m <sup>3</sup> DE HORMIGÓN			DOSIFICACIÓN AL PESO	
W	187.64			0.58	
C	323.52			1.00	
A	655.50			2.03	
R	1080.05			3.34	
TOTAL	2246.72			kg/m <sup>3</sup> Densidad del Horm.	

*Elaborado por: Larot David Mayorga Amaguaya*

**Tabla 26** Dosificación al volumen  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 						
RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE HORMIGÓN PREPARADO A PARTIR DE MATERIALES RECICLADOS						
Origen: Mina Las Juntas			Método de la Universidad Central			
Fecha: 12/01/2023			Ensayado por: Larot David Mayorga Amaguaya			
DOSIFICACIÓN MÉTODO DE LA UNIVERSIDAD CENTRAL						
DOSIFICACIÓN AL VOLUMEN						
MATERIAL	CANTIDAD EN Kg POR CADA m <sup>3</sup> DE HORMIGÓN	DOSIFICACIÓN AL PESO	CANTIDAD EN Kg POR SACO DE CEMENTO	VOLUMEN APARENTE SUELTO EN dm <sup>3</sup> POR CADA SACO DE CEMENTO	DOSIFICACIÓN AL VOLUMEN EN OBRA	
W	187.64	0.58	29.00	-	29.00	litros
C	323.52	1.00	50.00	-	1.00	saco
A	655.50	2.03	101.31	67.85	2.50	cajones
R	1080.05	3.34	166.92	124.68	4.60	cajones
VOLUMEN REAL DEL HORMIGÓN			347.23	dm <sup>3</sup> c/saco		
DIMENSIONES PARIHUELA: B = L = H = 3,00 dm			VOLUMEN PARIHUELA			27,00 dm <sup>3</sup>

*Elaborado por: Larot David Mayorga Amaguaya*

### 3.1.2.1. Corrección por humedad

**Tabla 27** Corrección por humedad cilindros definitivos

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 							
RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE HORMIGÓN PREPARADO A PARTIR DE MATERIALES RECICLADOS							
Origen: Mina Las Juntas				Norma: NTE INEN 862 - ASTM C 566			
Fecha: 12/01/2022				Ensayado por: Larot David Mayorga Amaguaya			
CORRECCIÓN POR HUMEDAD							
MATERIAL	DOSIFICACIÓN AL PESO	PARA 9 CILINDROS	C.A.	C.H.	CORRECCIÓN HUMEDAD		CANTIDAD CORREGIDA PARA 9 CILINDROS
			%	%	%	Kg	
W	0.58	2.65	-	-	-	0.26	2.91
C	1.00	4.57	-	-	-	-	4.57
A	2.03	9.27	1.54	1.26	0.28	0.03	9.24
R	3.34	15.27	2.06	0.53	1.52	0.23	15.04
CORRECCIÓN POR HUMEDAD							
MATERIAL	DOSIFICACIÓN AL PESO	PARA 12 CILINDROS	C.A.	C.H.	CORRECCIÓN HUMEDAD		CANTIDAD CORREGIDA PARA 12 CILINDROS
			%	%	%	Kg	
W	0.58	3.54	-	-	-	0.34	3.88
C	1.00	6.10	-	-	-	-	6.10
A	2.03	12.36	1.54	1.26	0.28	0.03	12.32
R	3.34	20.36	2.06	0.53	1.52	0.31	20.05

*Elaborado por: Larot David Mayorga Amaguaya*

**Análisis de resultados:** Con los datos obtenidos de la capacidad de absorción y el contenido de humedad tomado un día antes de la fabricación de hormigón se realizó la corrección por humedad y se procedió a realizar las correcciones a las mezclas de

prueba y el asentamiento obteniendo así los valores finales para emplearse en la dosificación definitiva.

### 3.1.2.2. Elaboración de probetas

#### 3.1.2.2.1. Probetas de prueba

Se elaboro tres probetas de prueba mismas que se determinaron sus propiedades en estado fresco y permanecieron en la cámara de curado durante 7 días para su posterior ensayo a compresión tiempo en que las probetas alcanzan el 70% de su resistencia total

*Tabla 28 Propiedades del hormigón fresco cilindros de prueba*

PROPIEDADES EN ESTADO FRESCO PRUEBA F'C= 210 KG/CM2							
PROPIEDADES				Cilindros de Prueba			
TRABAJABILIDAD				B			
ASENTAMIENTO (cm)				7.50			
HOMOGENEIDAD				MB			
CONSISTENCIA				Blanda			

DENSIDAD DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO CILINDROS DE PRUEBA							
Número de Cilindro	Cilindros de prueba resistencia	Peso Cilindro (kg)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Volumen (m3)	Densidad (kg/m3)	Densidad Promedio (kg/m3)
1	210 kg/cm2	3800	10.10	20.00	0.0016	2371.49	2398.88
2		3836	10.10	19.90	0.0016	2405.98	
3		3800	10.00	20.00	0.0016	2419.16	

**Elaborado por:** Larot David Mayorga Amaguaya

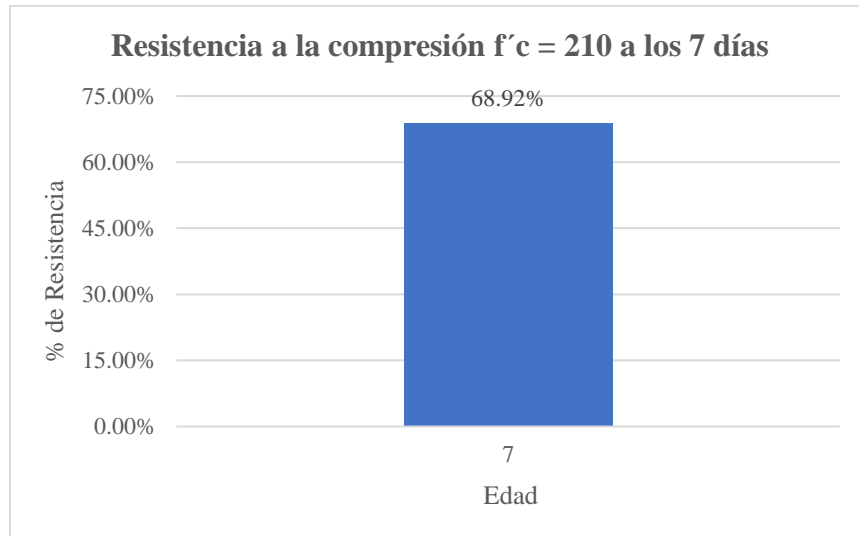
**Análisis de resultados:** En la Tabla 28 se encuentra los datos de los cilindros de prueba de los cuales se determinó las propiedades en estado fresco teniendo como resultado una trabajabilidad (B) buena con un asentamiento de 7.50 cm y una homogeneidad (MB) muy buena, además se describe las densidades en estado fresco de los cilindros de prueba fabricados para comprobar la dosificación de 210 kg/cm<sup>2</sup> brindando una densidad promedio de 2398.88 kg/m<sup>3</sup>

*Tabla 29 Resistencia a la compresión de cilindros prueba ensayados a los 7 días*

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS DE EDAD (CILINDROS DE PRUEBA)							
Numero de Cilindro	Resistencia de cilindros de prueba	Área (cm)	Carga P (KN)	Carga P (Kg)	Esf. Compresión (Kg/cm2)	Esf. Compresión (Kg/cm2) Promedio	Rangos (kg/cm2)
1	210 kg/cm2	78.54	112	11200	142.6025	144.72	R1= 136.50
2		78.54	115	11500	146.4222		RP=147.00
3		78.54	114	11400	145.1490		R2=157.50

**Elaborado por:** Larot David Mayorga Amaguaya





*Figura 15 Porcentaje obtenido a los 7 días, cilindros de prueba*

**Elaborado por:** Larot David Mayorga Amaguaya

**Análisis de resultados:** En la Tabla 29 se aprecia que las probetas cilíndricas de prueba con resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días de edad alcanzan una resistencia promedio de valor 144.72 kg/cm<sup>2</sup>, lo que equivale al 68.92% por lo que se estable a fabricar probetas con la misma dosificación

**Rango inferior** = 65% (136.50 kg/cm<sup>2</sup>)

**Promedio** = 70% (147.00 kg/cm<sup>2</sup>)

**Rango Superior** = 75% (157.50 kg/cm<sup>2</sup>)

#### **3.1.2.2.2. Probetas definitivas**


Para la elaboración de las probetas definitivas se identificó la cantidad necesaria de materiales para fabricar 9 probetas bases y 12 probetas por porcentaje como se muestra en la tabla 30 y 31

Tabla 30 Dosificación hormigón para 9 y 12 cilindros

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>		
		<b>RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE HORMIGÓN PREPARADO A PARTIR DE MATERIALES RECICLADOS</b>		
<b>Origen:</b> Mina Las Juntas		Método de la Universidad Central		
<b>Fecha:</b> 12/01/2023		<b>Ensayado por:</b> Larot David Mayorga Amaguaya		
<b>DOSIFICACIÓN FINAL HORMIGÓN F´C=210 KG/CM2</b>				
<b>MATERIAL</b>		<b>CANTIDAD PARA 9 CILINDROS BASES</b>	<b>CANTIDAD PARA 12 CILINDROS POR PORCENTAJE</b>	
<b>DENOMINACIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>			
AGUA	L	2.91	3.88	
CEMENTO	kg	4.57	6.10	
ARENA	kg	9.24	12.32	
RIPIO	kg	15.04	20.05	
VOLUMEN REAL	kg	31.76	42.35	

Elaborado por: Larot David Mayorga Amaguaya

Tabla 31 Dosificación por porcentaje de hormigón reciclado

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>					
		<b>RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE HORMIGÓN PREPARADO A PARTIR DE MATERIALES RECICLADOS</b>					
<b>Origen:</b> Mina Las Juntas		Método de la Universidad Central					
<b>Fecha:</b> 12/01/2023		<b>Ensayado por:</b> Larot David Mayorga Amaguaya					
<b>DOSIFICACIÓN HORMIGÓN POR PORCENTAJE DE AGREGADO RECICLADO</b>							
<b>MATERIAL</b>		<b>PORCENTAJE DE AGREGADO RECICLADO</b>					<b>TOTAL</b>
<b>DENOMINACIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>10%</b>	<b>15%</b>	<b>30%</b>	<b>60%</b>	<b>100%</b>	
AGUA	L	3.88	3.88	3.88	3.88	3.88	19.41
CEMENTO	kg	6.10	6.10	6.10	6.10	6.10	30.49
ARENA	kg	12.32	12.32	12.32	12.32	12.32	61.61
RIPIO	kg	18.04	17.04	14.03	8.02	0.00	57.14
<b>RECICLADO</b>	kg	<b>2.00</b>	<b>3.01</b>	<b>6.01</b>	<b>12.03</b>	<b>20.05</b>	<b>43.10</b>

Elaborado por: Larot David Mayorga Amaguaya

**Análisis de resultados:** En la Tabla 31 se encuentran los valores para cada porcentaje de agregado reciclado, se realizó para cada caso el reemplazo parcial del agregado grueso por el agregado reciclado iniciando en 10% y terminando con un reemplazo total del 100%, como se indica:

$$\text{Total de agregado grueso} = 20.05 \text{ kg}$$

$$\text{Para el 10\% agregado reciclado} = 20.05 \text{ kg} * 10\% = 2.005 \text{ kg}$$

$$\text{Agregado grueso} = 20.05 \text{ kg} - 2.005 \text{ kg} = 18.045 \text{ kg}$$



Entonces para los hormigones con 10% de agregado reciclado se utiliza 18.045 kg de agregado grueso y 2.005 kg de agregado reciclado. Se ha empleado una total de 43.10 kg de agregado reciclado para la fabricación total de probetas con hormigón reciclado

### 3.1.3. Propiedades en estado fresco del hormigón tradicional y reciclado

#### 3.1.3.1. Trabajabilidad, Asentamiento, Homogeneidad y Consistencia

Los resultados de las propiedades en estado fresco de probetas base y con porcentaje de hormigón reciclado se presenta en la tabla 32

*Tabla 32 Propiedades del hormigón fresco*



 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 						
<b>RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE HORMIGON PREPARADO A PARTIR DE MATERIALES RECICLADOS</b>						
<b>Origen:</b> Laboratorio FICM			<b>NORMA:</b> NTE INEN 1578 - ASTM C138, C143			
<b>Fecha:</b> 13/01/2023			<b>Ensayado por:</b> Larot David Mayorga Amaguaya			
<b>PROPIEDADES DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO F´C= 210 KG/CM2</b>						
<b>PROPIEDADES</b>	<b>BASE</b>	<b>PORCENTAJE DE AGREGADO RECICLADO</b>				
<b>DENOMINACIÓN</b>	-	10%	15%	30%	60%	100%
TRABAJABILIDAD	B	B	B	B	R	R
ASENTAMIENTO (cm)	7.50	7.50	7.50	7.00	7.00	6.50
HOMOGENEIDAD	MB	MB	MB	B	B	B
CONSISTENCIA	Blanda	Blanda	Blanda	Blanda	Blanda	Blanda

**Elaborado por:** Larot David Mayorga Amaguaya

**Análisis de resultados:** Se determinó las propiedades en estado fresco en los cilindros base en los que se obtuvo una trabajabilidad (B) buena, con un asentamiento de 7.50 cm y una homogeneidad (MB) muy buena, por otro lado para los cilindros con porcentaje de hormigón reciclado para el 10% y 15% se obtuvo una trabajabilidad (B) buena con un asentamiento de 7.50 cm y una homogeneidad (MB) muy buena, para los porcentaje de 30% y 60% se obtuvo una trabajabilidad (B) buena y (R) regular respectivamente con un asentamiento de 7 cm para ambos porcentajes y una homogeneidad (B) buena, mientras que para el 100% se obtuvo una trabajabilidad (R) regular con un asentamiento de 6.50 cm y una homogeneidad (B) buena. Para todos los porcentajes de agregado reciclado y probetas base su consistencia es blanda

### 3.1.3.2. Densidad del hormigón en estado fresco

Tabla 33 Densidad del hormigón reciclado en estado fresco

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>						
<b>RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE HORMIGON PREPARADO A PARTIR DE MATERIALES RECICLADOS</b>								
<b>ORIGEN: LABORATORIO FICM</b>				<b>NORMA: NTE INEN 1579 ASTM C 138</b>				
<b>FECHA: 13/01/2023</b>				<b>ENSAYADO POR: LAROT DAVID MAYORGA</b>				
<b>DENSIDAD DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO</b>								
Número de Cilindro	% de hormigón reciclado	Peso Cilindro (kg)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Volumen (m3)	Densidad (kg/m3)	Densidad Promedio (kg/m3)	
1	BASE	3.800	10.00	20.00	0.0016	2419.16	2430.33	
2		3.836	10.00	20.00	0.0016	2442.07		
3		3.821	10.00	20.00	0.0016	2432.52		
4		3.800	10.00	20.00	0.0016	2419.16		
5		3.836	10.00	20.00	0.0016	2442.07		
6		3.816	10.00	20.00	0.0016	2429.34		
7		3.800	10.00	20.00	0.0016	2419.16		
8		3.836	10.00	20.00	0.0016	2442.07		
9		3.813	10.00	20.00	0.0016	2427.43		
1	10	3.810	10.00	20.00	0.0016	2425.52	2378.52	
2		3.512	10.00	20.00	0.0016	2235.81		
3		3.821	10.00	20.00	0.0016	2432.52		
4		3.777	10.00	20.00	0.0016	2404.51		
5		3.785	10.00	20.00	0.0016	2409.61		
6		3.796	10.00	20.00	0.0016	2416.61		
7		3.771	10.00	20.00	0.0016	2400.69		
8		3.523	10.00	20.00	0.0016	2242.81		
9		3.825	10.00	20.00	0.0016	2435.07		
10		3.735	10.00	20.00	0.0016	2377.77		
11		3.695	10.00	20.00	0.0016	2352.31		
12		3.784	10.00	20.00	0.0016	2408.97		
1	15	3.477	10.00	20.00	0.0016	2213.53	2324.83	
2		3.839	10.00	20.00	0.0016	2443.98		
3		3.765	10.00	20.00	0.0016	2396.87		
4		3.464	10.00	20.00	0.0016	2205.25		
5		3.784	10.00	20.00	0.0016	2408.97		
6		3.442	10.00	20.00	0.0016	2191.25		
7		3.577	10.00	20.00	0.0016	2277.19		
8		3.819	10.00	20.00	0.0016	2431.25		
9		3.765	10.00	20.00	0.0016	2396.87		
10		3.664	10.00	20.00	0.0016	2332.57		
11		3.784	10.00	20.00	0.0016	2408.97		
12		3.442	10.00	20.00	0.0016	2191.25		

DENSIDAD DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO							
Número de Cilindro	% de hormigón reciclado	Peso Cilindro (kg)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Volumen (m3)	Densidad (kg/m3)	Densidad Promedio (kg/m3)
1	30	3.764	10.00	20.00	0.0016	2396.24	2291.41
2		3.519	10.00	20.00	0.0016	2240.26	
3		3.751	10.00	20.00	0.0016	2387.96	
4		3.414	10.00	20.00	0.0016	2173.42	
5		3.545	10.00	20.00	0.0016	2256.82	
6		3.543	10.00	20.00	0.0016	2255.54	
7		3.724	10.00	20.00	0.0016	2370.77	
8		3.619	10.00	20.00	0.0016	2303.93	
9		3.656	10.00	20.00	0.0016	2327.48	
10		3.488	10.00	20.00	0.0016	2220.53	
11		3.555	10.00	20.00	0.0016	2263.18	
12		3.614	10.00	20.00	0.0016	2300.74	
1	60	3.557	10.00	20.00	0.0016	2264.46	2204.30
2		3.405	10.00	20.00	0.0016	2167.69	
3		3.382	10.00	20.00	0.0016	2153.05	
4		3.515	10.00	20.00	0.0016	2237.72	
5		3.329	10.00	20.00	0.0016	2119.31	
6		3.487	10.00	20.00	0.0016	2219.89	
7		3.557	10.00	20.00	0.0016	2264.46	
8		3.505	10.00	20.00	0.0016	2231.35	
9		3.482	10.00	20.00	0.0016	2216.71	
10		3.415	10.00	20.00	0.0016	2174.06	
11		3.529	10.00	20.00	0.0016	2246.63	
12		3.387	10.00	20.00	0.0016	2156.23	
1	100	3.258	10.00	20.00	0.0016	2074.11	2140.74
2		3.557	10.00	20.00	0.0016	2264.46	
3		3.275	10.00	20.00	0.0016	2084.93	
4		3.281	10.00	20.00	0.0016	2088.75	
5		3.251	10.00	20.00	0.0016	2069.65	
6		3.554	10.00	20.00	0.0016	2262.55	
7		3.258	10.00	20.00	0.0016	2074.11	
8		3.557	10.00	20.00	0.0016	2264.46	
9		3.275	10.00	20.00	0.0016	2084.93	
10		3.281	10.00	20.00	0.0016	2088.75	
11		3.251	10.00	20.00	0.0016	2069.65	
12		3.554	10.00	20.00	0.0016	2262.55	

**Elaborado por:** Larot David Mayorga Amaguaya

**Análisis de resultados:** En la Tabla 33 se describe las densidades en estado fresco de los cilindros base y con porcentaje de hormigón reciclado obteniendo los siguientes resultados: para los cilindros base es de 2430.33 kg/m<sup>3</sup>, para el 10% de agregado reciclado es 2378.43 kg/m<sup>3</sup>, para el 15% de agregado reciclado es 2324.83 kg/m<sup>3</sup>, para el 30% de agregado reciclado es 2291.41 kg/m<sup>3</sup>, para el 60% de agregado reciclado es 2204.30 kg/m<sup>3</sup>, para el 100% de agregado reciclado es 2140.74 kg/m<sup>3</sup>

**Tabla 34** Resumen de las densidades del hormigón por agregado reciclado



<b>HORMIGÓN BASE</b>	<b>10 % RECICLADO</b>	<b>15 % RECICLADO</b>	<b>30 % RECICLADO</b>	<b>60 % RECICLADO</b>	<b>100 % RECICLADO</b>
<b>Densidad kg/m3</b>	<b>Densidad kg/m3</b>	<b>Densidad kg/m3</b>	<b>Densidad kg/m3</b>	<b>Densidad kg/m3</b>	<b>Densidad kg/m3</b>
2430.33	2378.52	2324.83	2291.41	2204.30	2140.74
100.00%	97.87%	95.66%	94.28%	90.70%	88.08%
<b>VARIACIÓN CON RESPECTO AL HORMIGÓN BASE</b>					
0.00%	2.13%	4.34%	5.72%	9.30%	11.92%

**Elaborado por:** Larot David Mayorga Amaguaya

De la tabla resumen de las densidades se evidencia una clara variación de las densidades siendo los hormigones base los más densos y los hormigones con 100% del agregado reciclado los de menor densidad obteniendo una variación en relación al porcentaje en 10% de reciclado de 2.13%, en 15% de reciclado de 4.34%, en 30% de reciclado de 5.72%, en 60% de reciclado del 9.30% y en 100% de reciclado del 11.92%

### 3.1.4. Resistencia a compresión

Tabla 35 Resistencia a la compresión a los 7 días

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 							
<b>RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE HORMIGÓN PREPARADO A PARTIR DE MATERIALES RECICLADOS</b>							
<b>ORIGEN:</b> LABORATORIO FICM				<b>NORMA:</b> ASTM C138, ASTM C143			
<b>FECHA:</b> 19/01/2023				<b>ENSAYADO POR:</b> LAROT DAVID MAYORGA AMAGUAYA			
<b>RESISTENCIA A COMPRESIÓN A LOS 7 DIAS DE EDAD</b>							
Numero de Cilindro	% de hormigón reciclado	Área (cm)	Carga P (KN)	Carga P (Kg)	Esf. Compresión (Kg/cm2)	Esf. Compresión (Kg/cm2) Promedio	Rangos (kg/cm2)
1	Base	78.54	121.00	12100	154.06	148.97	R1= 136.50
2		78.54	119.00	11900	151.52		RP=147.00
3		78.54	111.00	11100	141.33		R2=157.50
1	10	78.54	112.00	11200	142.60	148.97	R1= 136.50
2		78.54	118.00	11800	150.24		RP=147.00
3		78.54	121.00	12100	154.06		R2=157.50
1	15	78.54	112.00	11200	142.60	146.85	R1= 136.50
2		78.54	118.00	11800	150.24		RP=147.00
3		78.54	116.00	11600	147.70		R2=157.50
1	30	78.54	107.00	10700	136.24	136.24	R1= 136.50
2		78.54	110.00	11000	140.06		RP=147.00
3		78.54	104.00	10400	132.42		R2=157.50
1	60	78.54	103.00	10300	131.14	128.89	R1= 136.50
2		78.54	101.00	10100	128.60		RP=147.00
3		78.54	99.70	9970	126.94		R2=157.50
1	100	78.54	91.80	9180	116.88	118.24	R1= 136.50
2		78.54	94.20	9420	119.94		RP=147.00
3		78.54	92.60	9260	117.90		R2=157.50

*Elaborado por: Larot David Mayorga Amaguaya*



**Análisis de resultados:** En la Tabla 35 se aprecia que la resistencia a compresión que entran en el rango de valores para una resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días es para las probetas base y 10 % de agregado reciclado es de 148.97 kg/cm<sup>2</sup>; para el 15% es de 146.85 kg/cm<sup>2</sup>. No muy debajo del rango mínimo se encuentra el porcentaje del 30% con 136.24 kg/cm<sup>2</sup> y con el 60% fuera de los rangos para la dosificación con 128.89 kg/cm<sup>2</sup> y finalmente para el porcentaje del 100% una resistencia promedio de 118.24 kg/cm<sup>2</sup>

**Rango inferior** = 65% (136.50 kg/cm<sup>2</sup>)

**Promedio** = 70% (147.00 kg/cm<sup>2</sup>)

**Rango Superior** = 75% (157.50 kg/cm<sup>2</sup>)

**Tabla 36 Resistencia a la compresión a los 14 días**

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 							
<b>RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE HORMIGÓN PREPARADO A PARTIR DE MATERIALES RECICLADOS</b>							
<b>ORIGEN:</b> LABORATORIO FICM				<b>NORMA:</b> ASTM C138, ASTM C143			
<b>FECHA:</b> 26/01/2023				<b>ENSAYADO POR:</b> LAROT DAVID MAYORGA AMAGUAYA			
<b>RESISTENCIA A COMPRESIÓN A LOS 14 DIAS DE EDAD</b>							
Numero de Cilindro	% de hormigón reciclado	Área (cm)	Carga P (KN)	Carga P (Kg)	Esf. Compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Esf. Compresión (Kg/cm <sup>2</sup> ) Promedio	Rangos (kg/cm <sup>2</sup> )
1	Base	78.54	145	14500	184.62	179.10	R1= 168.00
2		78.54	142	14200	180.80		RP=178.50
3		78.54	135	13500	171.89		R2=189.00
1	10	78.54	141	14100	179.53	178.68	R1= 168.00
2		78.54	137	13700	174.43		RP=178.50
3		78.54	143	14300	182.07		R2=189.00
1	15	78.54	134	13400	170.61	175.28	R1= 168.00
2		78.54	141	14100	179.53		RP=178.50
3		78.54	138	13800	175.71		R2=189.00
1	30	78.54	137	13700	174.43	167.22	R1= 168.00
2		78.54	126	12600	160.43		RP=178.50
3		78.54	131	13100	166.79		R2=189.00
1	60	78.54	119	11900	151.52	154.49	R1= 168.00
2		78.54	123	12300	156.61		RP=178.50
3		78.54	122	12200	155.33		R2=189.00
1	100	78.54	111	11100	141.33	141.33	R1= 168.00
2		78.54	108	10800	137.51		RP=178.50
3		78.54	114	11400	145.15		R2=189.00

**Elaborado por:** Larot David Mayorga Amaguaya

**Análisis de resultados:** En la Tabla 36 se aprecia que la resistencia a compresión que entran en el rango de valores para una resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup> a los 14 días para las probetas base es 179.10 k kg/cm<sup>2</sup> y con un porcentaje de hormigón reciclado de un 10% es de 178.68 kg/cm<sup>2</sup>, para el 15% es de 175.28 kg/cm<sup>2</sup>, para el 30% es de 167.22%, mientras que para el 60% ubicándose fuera de los rangos para la dosificación con 154.49 kg/cm<sup>2</sup> y finalmente para el porcentaje del 100% una resistencia promedio de 141.33 kg/cm<sup>2</sup>



**Rango inferior** = 80% (168.00 kg/cm<sup>2</sup>)

**Promedio** = 85% (178.50 kg/cm<sup>2</sup>)

**Rango Superior** = 90% (189.00 kg/cm<sup>2</sup>)



**Tabla 37 Resistencia a la compresión a los 28 días**

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>					
<b>RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE HORMIGON PREPARADO A PARTIR DE MATERIALES RECICLADOS</b>							
<b>ORIGEN:</b> LABORATORIO FICM				<b>NORMA:</b> ASTM C138, ASTM C143			
<b>FECHA:</b> 09/02/2023				<b>ENSAYADO POR:</b> LAROT DAVID MAYORGA AMAGUAYA			
<b>RESISTENCIA A COMPRESIÓN A LOS 28 DIAS DE EDAD</b>							
Numero de Cilindro	% de hormigón reciclado	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga P (KN)	Carga P (Kg)	Esf. Compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Esf. Compresión (Kg/cm <sup>2</sup> ) Promedio	Rangos (kg/cm <sup>2</sup> )
1	Base	78.54	174.00	17400	221.54	217.30	R1= 199.50
2		78.54	171.00	17100	217.72		RP=210.00
3		78.54	167.00	16700	212.63		R2=220.50
1	10	78.54	163.00	16300	207.54	216.24	R1= 199.50
2		78.54	170.00	17000	216.45		RP=210.00
3		78.54	174.00	17400	221.54		
4		78.54	171.00	17100	217.72		
5		78.54	172.00	17200	219.00		
6		78.54	169.00	16900	215.18		
1	15	78.54	170.00	17000	216.45	214.33	R1= 199.50
2		78.54	170.00	17000	216.45		RP=210.00
3		78.54	167.00	16700	212.63		
4		78.54	166.00	16600	211.36		
5		78.54	168.00	16800	213.90		
6		78.54	169.00	16900	215.18		
1	30	78.54	154.00	15400	196.08	196.72	R1= 199.50
2		78.54	159.00	15900	202.44		RP=210.00
3		78.54	150.00	15000	190.99		
4		78.54	157.00	15700	199.90		
5		78.54	155.00	15500	197.35		
6		78.54	152.00	15200	193.53		
1	60	78.54	149.00	14900	189.71	186.10	R1= 199.50
2		78.54	145.00	14500	184.62		RP=210.00
3		78.54	144.00	14400	183.35		
4		78.54	147.00	14700	187.17		
5		78.54	145.00	14500	184.62		
6		78.54	147.00	14700	187.17		
1	100	78.54	133.00	13300	169.34	171.67	R1= 199.50
2		78.54	137.00	13700	174.43		RP=210.00
3		78.54	134.00	13400	170.61		
4		78.54	135.00	13500	171.89		
5		78.54	136.00	13600	173.16		
6		78.54	134.00	13400	170.61		

*Elaborado por: Larot David Mayorga Amaguaya*

**Análisis de resultados:** En la tabla 37 se presenta la resistencia a compresión que entran en el rango de valores para una resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días para las probetas base un valor de 217.30 kg/cm<sup>2</sup> con un porcentaje de hormigón reciclado de un 10% es de 216.24 kg/cm<sup>2</sup>; para el 15% es de 214.33 kg/cm<sup>2</sup>; para el 30% con 196.72 kg/cm<sup>2</sup>; para el 60% con 186.10 kg/cm<sup>2</sup> y finalmente para el porcentaje del 100% una resistencia promedio de 171.67 kg/cm<sup>2</sup>

**Rango inferior** = 95% (199.50 kg/cm<sup>2</sup>)

**Promedio** = 100% (210.00 kg/cm<sup>2</sup>)

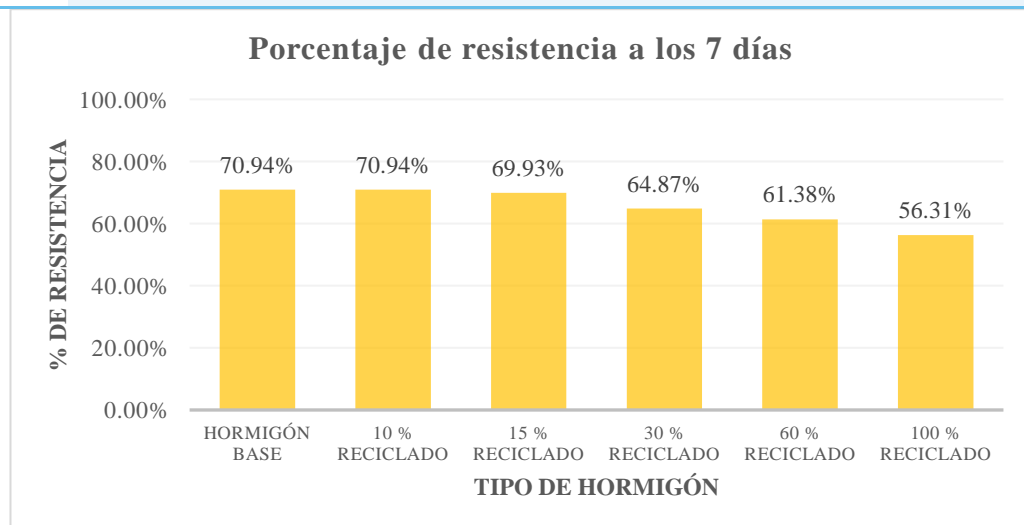
**Rango Superior** = 105% (220.50 kg/cm<sup>2</sup>)

### 3.1.4.1. Tablas comparativas de resistencia a compresión entre el hormigón normal y el hormigón reciclado

En la presente tabla y gráfica comparativas se muestran las resistencias alcanzadas a los 7 días y su valor porcentual con relación al rango de diseño para 210 kg/cm<sup>2</sup> que se encuentra entre el 65% al 75% de su resistencia

*Tabla 38 Hormigón normal vs reciclado a los 7 días*

	HORMIGÓN BASE	10 % RECICLADO	15 % RECICLADO	30 % RECICLADO	60 % RECICLADO	100 % RECICLADO
	Resistencia kg/cm2	Resistencia kg/cm2	Resistencia kg/cm2	Resistencia kg/cm2	Resistencia kg/cm2	Resistencia kg/cm2
<b>7</b>	148.97	148.97	146.85	136.24	128.89	118.24
<b>Días</b>	70.94%	70.94%	69.93%	64.87%	61.38%	56.31%



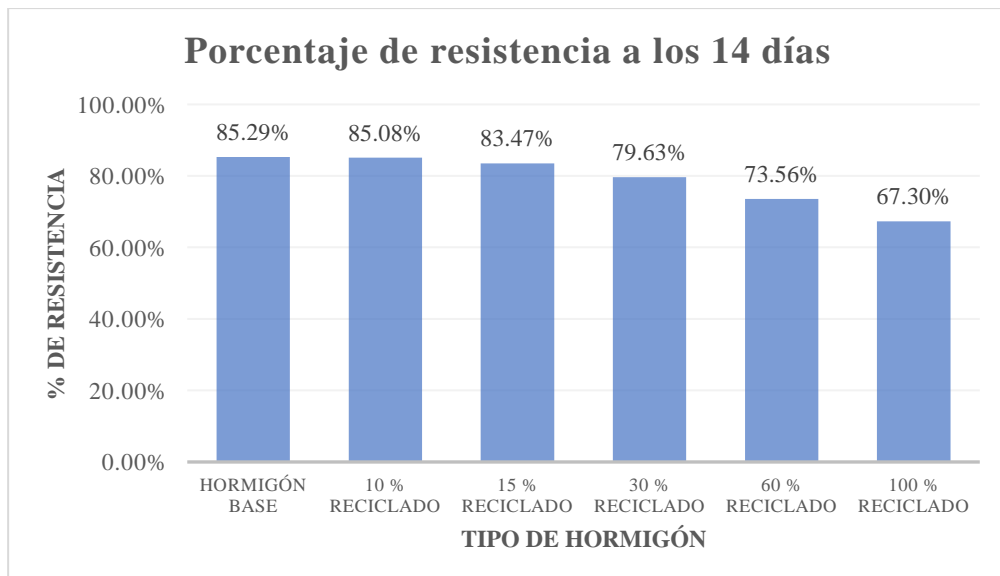
*Figura 16 Porcentaje de resistencia a los 7 días*

*Elaborado por: Larot David Mayorga Amaguaya*

En la presente tabla y gráfica comparativa se revelan las resistencias alcanzadas a los 14 días y su valor porcentual con relación al rango de diseño para 210 kg/cm<sup>2</sup> que se encuentra entre el 80% al 90% de su resistencia

*Tabla 39 Hormigón normal vs reciclado a los 14 días*

	HORMIGÓN BASE	10 % RECICLADO	15 % RECICLADO	30 % RECICLADO	60 % RECICLADO	100 % RECICLADO
	Resistencia kg/cm2	Resistencia kg/cm2	Resistencia kg/cm2	Resistencia kg/cm2	Resistencia kg/cm2	Resistencia kg/cm2
<b>14</b>	179.10	179.10	174.43	167.22	154.49	141.33
<b>Días</b>	85.29%	85.08%	83.47%	79.63%	73.56%	67.30%



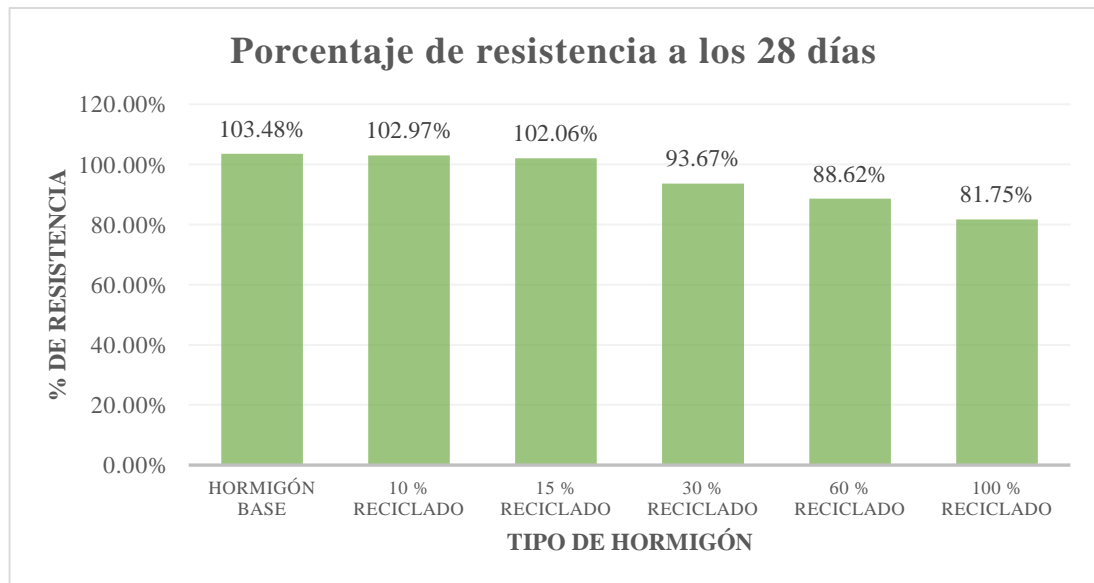
*Figura 17 Porcentaje de resistencia a los 14 días*

*Elaborado por: Larot David Mayorga Amaguaya*

En la presente tabla y gráfica comparativa se exponen las resistencias alcanzadas a los 28 días y su valor porcentual con relación al rango de diseño para 210 kg/cm<sup>2</sup> que se encuentra entre el 95% al 105% de su resistencia

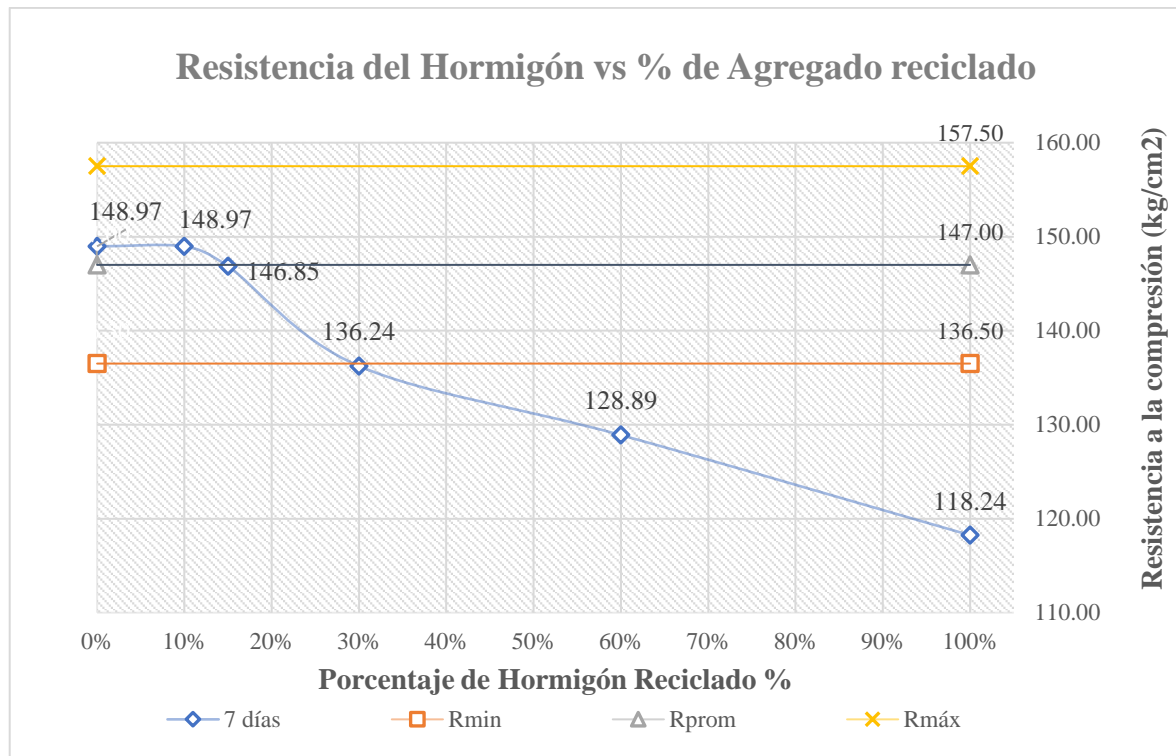
*Tabla 40 Hormigón normal vs reciclado a los 28 días*

	HORMIGÓN BASE	10 % RECICLADO	15 % RECICLADO	30 % RECICLADO	60 % RECICLADO	100 % RECICLADO
	Resistencia kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia kg/cm <sup>2</sup>
<b>28 Días</b>	215.18	214.54	211.57	196.72	186.10	171.67
	103.48%	102.97%	102.06%	93.67%	88.62%	81.75%



*Figura 18 Porcentaje de resistencia a los 28 días*

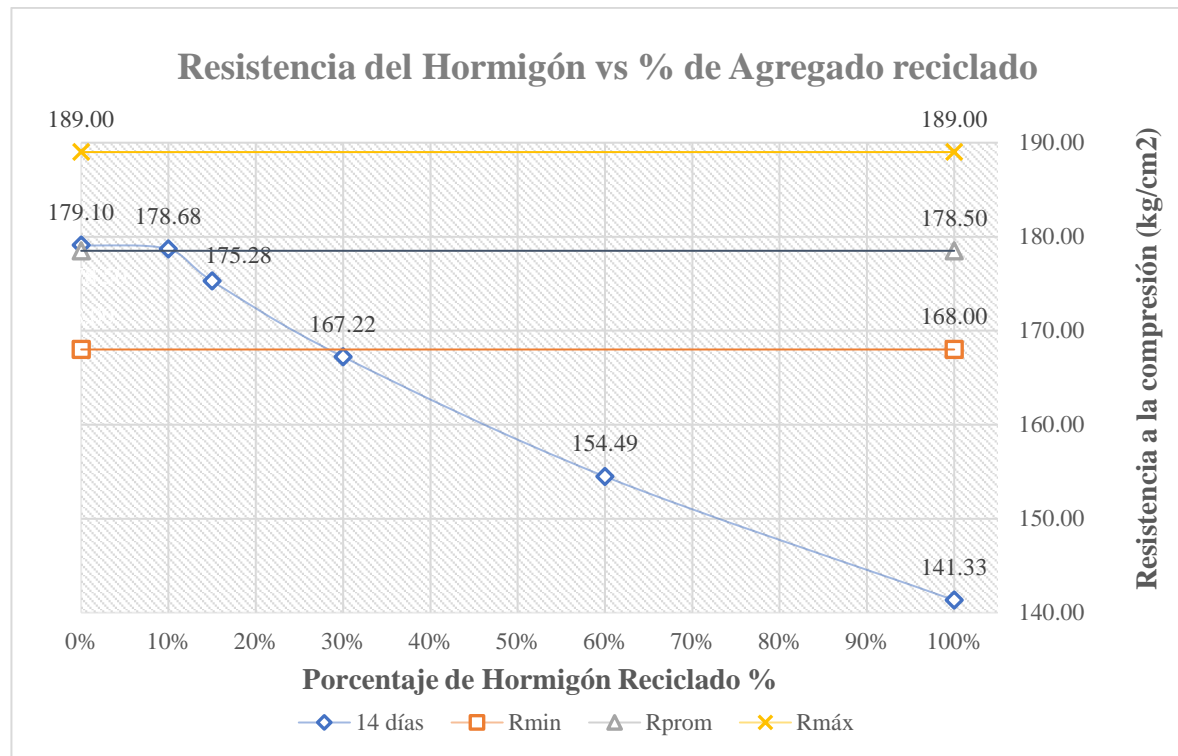
*Elaborado por: Larot David Mayorga Amaguaya*



**Figura 19** Resistencia del Hormigón vs % de Agregado reciclado 7 Días

*Elaborado por: Larot David Mayorga Amaguaya*

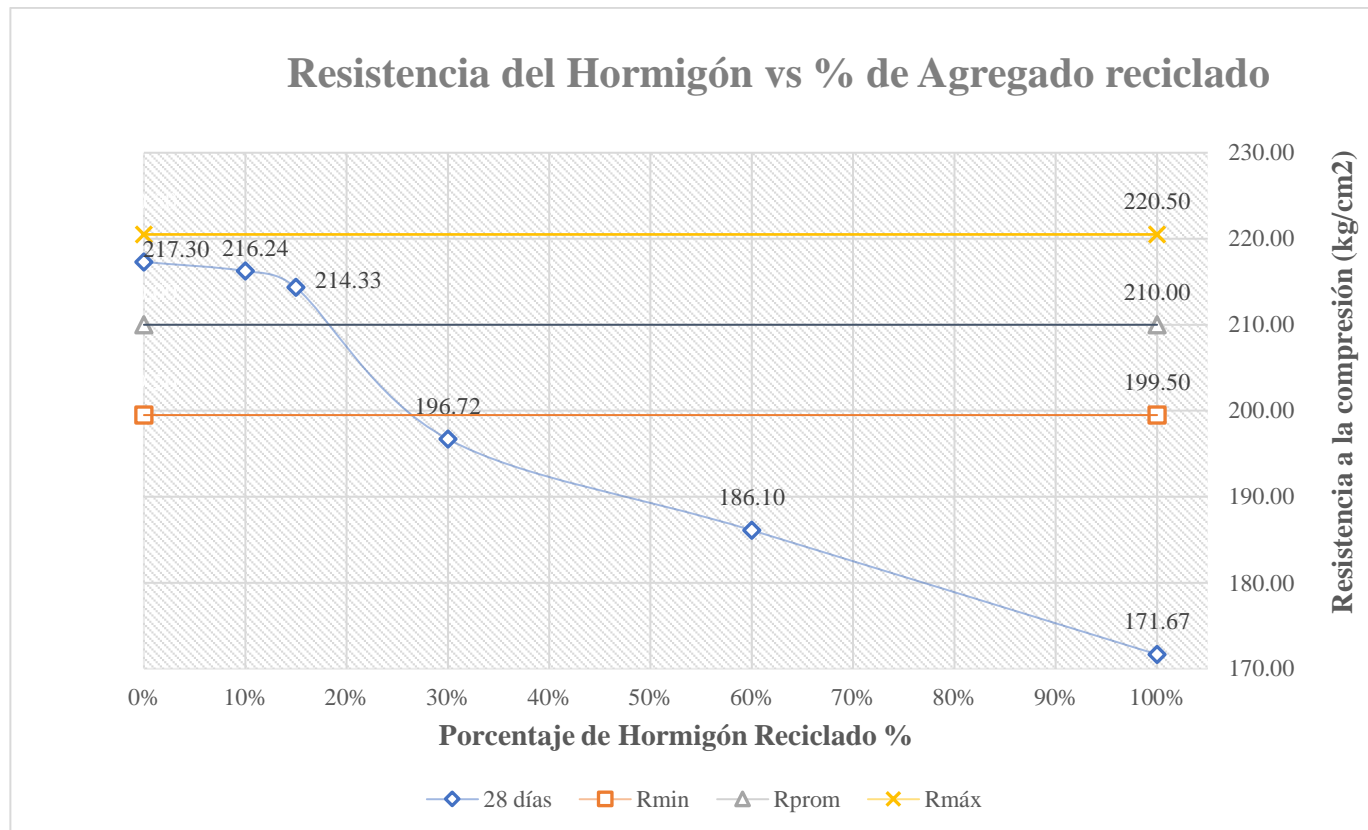
**Análisis de resultados:** En la figura 19 se aprecia que la resistencia a compresión a los 7 días varía según el porcentaje de agregado reciclado siendo el porcentaje de 10% y 15% los que se encuentran dentro del rango de diseño con 148.97 y 146.85 kg/cm<sup>2</sup> mientras que el valor más bajo corresponde al 100% con 118.24 kg/cm<sup>2</sup>



**Figura 20** Resistencia del Hormigón vs % de Agregado reciclado 14 Días

*Elaborado por: Larot David Mayorga Amaguaya*

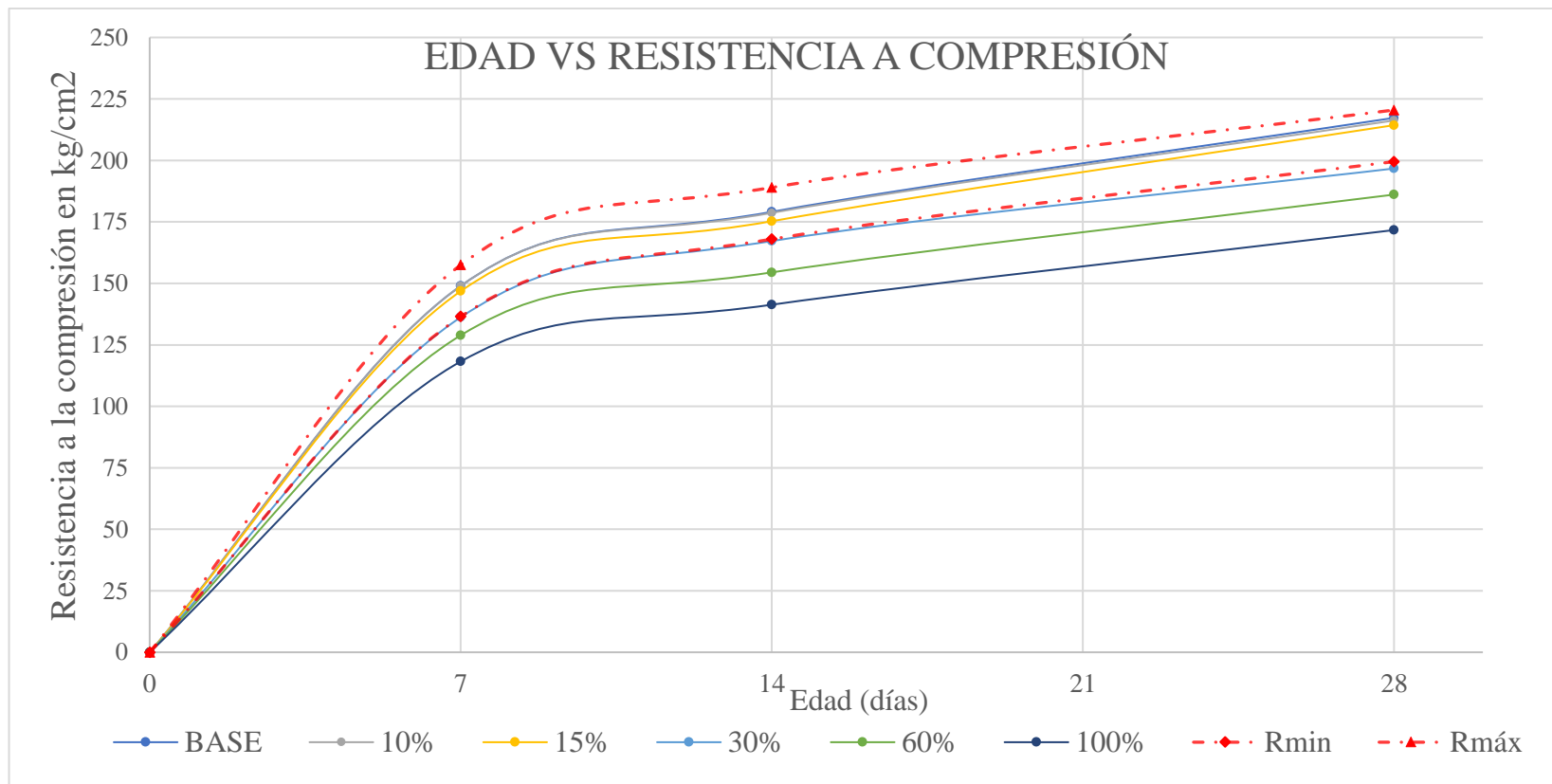
**Análisis de resultados:** En la figura 20 se evidencia que la resistencia a compresión presenta una tendencia lineal mientras exista un mayor reemplazo de agregado reciclado su resistencia comienza a disminuir manteniéndose los porcentajes de 10% y 15% muy parecidos a el valor de base de 179.10 kg/cm<sup>2</sup> y porcentajes como 60% y 100% sus valores crecen, pero no de manera considerable



**Figura 21** Resistencia del Hormigón vs % de Agregado reciclado a los 28 días

*Elaborado por: Larot David Mayorga Amaguaya*

**Análisis de resultados:** En la figura 21 se aprecia que la resistencia a compresión a los 28 días se mantiene con la tendencia de los 7 y 14 días, tanto el 10 y 15% se mantienen en rangos de resistencias buenos mientras que el 30% se encuentra muy cerca del rango inferior y porcentajes como 60 y 100% sus valores de resistencia se encuentran muy por debajo de un valor de resistencia aceptable.



**Figura 22** Edad vs resistencia a compresión

*Elaborado por: Larot David Mayorga Amaguaya*

**Análisis de resultados:** En la figura 22 se expone el comportamiento de todas las resistencias con respecto a las mezclas de hormigón con agregado reciclado a través de las diferentes edades en la que se realizó el ensayo de compresión, la misma indica que los porcentajes ideales para el reemplazo de agregado grueso corresponde al 10 y 15% siendo aceptables en cuestión de rangos de diseño.



### **3.1.5. Verificación de Hipótesis**

¿El uso de material reciclado de construcciones derrocadas como agregado grueso influye en la resistencia a la compresión de un nuevo hormigón?

Mediante los ensayos a compresión realizados a 60 probetas de hormigón reciclado y a través de los resultados obtenidos a los 7, 14 y 28 días se determina que el agregado grueso reciclado obtenido de construcciones demolidas si influye en la resistencia de hormigones pues a mayor contenido de agregado reciclado tiende a reducir la resistencia con lo que se verifica la hipótesis del trabajo experimental

## CAPITULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. CONCLUSIONES

- Se obtuvieron las propiedades mecánicas de los agregados fino y grueso que se emplearon para la fabricación del hormigón reciclado como es la granulometría, densidades sueltas, compactadas y reales bajo las especificaciones de la norma INEN y ASTM las cuales definieron a los agregados aptos en la fabricación del hormigón.
- Se preparó un total de 60 muestras de hormigón con porcentajes de agregado reciclado en relación al peso del agregado grueso y 9 probetas base para la comparación de sus propiedades y resistencia, utilizando un total de 43.10 kg de agregado reciclado empleando el método de la densidad óptima para una resistencia de diseño de  $210 \text{ kg/cm}^2$
- Se determino mediante las propiedades en estado fresco del hormigón que existe una relación inversamente proporcional en cuanto a la trabajabilidad, asentamiento y agregado reciclado debido a que a una mayor cantidad de agregado reciclado la mezcla presenta una absorción considerable del agua lo que dificulta el amasado de la mezcla y por tanto obtener un mayor asentamiento; sin embargo, se logró una buena homogeneidad en todas las probetas elaboradas
- Se determinó que la densidad en estado fresco del hormigón preparado con agregado reciclado disminuye en comparación con los hormigones base o tradicionales que oscila entre 2200 a 2400  $\text{kg/m}^3$ , siendo estos más ligeros obtenido reducciones del 2.13%, 4.34%, 5.72%, 9.30%, 11.92% para el 10%, 15%, 30%, 60% y 100% esto debido a la porosidad y deterioro que ha sufrido el agregado reciclado volviéndolo más liviano que el agregado grueso natural
- Los resultados obtenidos a través del ensayo destructivo a compresión obtenidos a los 7, 14 y 28 días presentan tendencias similares de acuerdo a el porcentaje de agregado reciclado.
- Se concluye que en comparación con las probetas base a los 28 días de edad, los porcentajes que presentan características similares y se encuentran dentro

del rango de diseño corresponde al 10% y 15% con resistencias que llegan al 103.48% y 102.97% mientras que el 30% se encuentra muy cercano, pero por debajo del límite inferior de diseño con el 93.67% y el 60% y 100% su resistencia se disminuye considerablemente a la de diseño en un 88.62% y 81.75%

- Se analizó que los porcentajes del 10% y 15% son aquellos que se puede realizar reemplazos de agregado grueso por agregado reciclado sin existir diferencia considerable en sus resistencias y a partir del 30%, 60% y 100% se puede apreciar una disminución en las mismas del 6.81%, 14.86% y 21.73% respectivamente con respecto al hormigón base o tradicional.
- Se comprobó que es factible la utilización de hormigones reciclados con porcentajes menores al 30% de agregado reciclado en condiciones normales debido a que se ha comprobado que a mayores cantidades de agregado de origen reciclado tiende a disminuir su resistencia a compresión, sin embargo, esta condición está muy ligada a la procedencia del hormigón reciclado y a su proceso de trituración del material.

#### **4.2. RECOMENDACIONES**

- Se sugiere a los laboratorios de Ingeniería Civil contar con equipo para la trituración de agregados, de esta forma se puede profundizar en el tema de los agregados triturados de cantera y de origen reciclado, incentivando la idea de estudiar materiales de diferente tipo de procedencia
- Se recomienda a la comunidad universitaria que para la complementación del trabajo experimental se utilice agregado reciclado fino como reemplazo parcial del agregado natural fino con el propósito de evaluar la resistencia a compresión
- Se recomienda a los fiscalizadores de los diferentes municipios o GAD Parroquiales imponer a las obras civiles planes o programas de clasificación de desechos de construcción que permitan identificar y separar la procedencia del material residual para la fabricación de nuevo hormigón

- Se sugiere utilizar equipo de protección adecuado para recolectar los residuos de construcción debido a que los mismos no son clasificados según el tipo de material por lo que se puede encontrar con variedad de desechos como varillas, clavos e incluso vidrios
- Se recomienda utilizar hormigón reciclado que provenga de una solo fuente de origen debido a que la resistencia conserva las características de su origen de procedencia y al ser de buena calidad y en buen estado se consigue que el agregado reciclado a obtener también sea de buenas propiedades
- Al momento de desencofrar las probetas de hormigón se recomienda tener especial cuidado para no fisurarlas, golpearlas o que sufran algún daño que afecte su desempeño en la resistencia.
- Se recomienda tener un tiempo de espera de por lo menos 30 minutos entre el sacado del cilindro de la Cámara de curado y el posterior ensayo a compresión con el fin de evitar que la humedad se vea involucrada en la resistencia final de las probetas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] F. Pérez Oyarzún, R. Booth Pinochet, C. Vásquez Zaldívar, and Y. Muñoz Lozano, “Cimentando el centenario: el hormigón en tres edificios de Santiago de Chile a comienzos del siglo XX,” *Atenea (Concepción)*, vol. 26, no. 523, pp. 39–62, 2021, doi: 10.29393/atat523-409fpcc40409.
- [2] S. Ceballos-medina, D. C. González-rincón, and J. D. Sánchez, “Reciclaje de Residuos de Construcción y Demolición ( RC & D ) Generados en la Universidad del Valle Sede Meléndez para la Fabricación de Adoquines Construction and Demolition Waste ( C & DW ) Recycling Generated at the Universidad del Valle ( Meléndez ) f,” vol. 34, no. 1, pp. 27–35, 2020, doi: 10.18273/revion.v34n1-2021003.
- [3] Juan Manuel Moro, “Caracterización y durabilidad de hormigones reciclados. Corrosión de armaduras,” p. 233, 2016, [Online]. Available: <http://repositoriodigital.uns.edu.ar/bitstream/123456789/4627/1/TESIS DOCTORAL - JUAN MANUEL MORO - Caracterización y durabilidad de hormigones reciclados. Corrosión de armaduras.pdf>
- [4] J. A. Ortiz, A. de la Fuente, F. Mena Sebastia, I. Segura, and A. Aguado, “Steel-fibre-reinforced self-compacting concrete with 100% recycled mixed aggregates suitable for structural applications,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 156, pp. 230–241, 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.08.188.
- [5] A. Rea, “Gestión De Residuos En La Construcción: Plan De Gestión De Residuos Generados En Construcciones De Vivienda Multifamiliar En El Ecuador,” *Repos. Digit. la Univ. Cuenca*, pp. 1–81, 2017.
- [6] HOLCIM, “GEOCYCLE, POR UN FUTURO SIN RESIDUOS.,” *Holcim Ecuador*, 2022. <https://www.holcim.com.ec/comunicandonos/ultima-edicion/latest-release/article/geocycle-por-un-futuro-sin-residuos> (accessed Nov. 20, 2022).
- [7] S. Jagan, T. R. Neelakantan, and P. Saravanakumar, “Mechanical properties of recycled aggregate concrete treated by variation in mixing approaches,” *Rev. la Constr.*, vol. 20, no. 2, pp. 236–248, 2021, doi: 10.7764/RDLC.20.2.35.
- [8] C. J. Zega, M. E. Sosa, and A. A. Di Maio, “Comportamiento mecánico del hormigón reciclado RECYCLED CONCRETE AGGREGATES . Mechanical behaviour of recycled concrete”.
- [9] IHOBE S.A, *Guía para el uso de materiales reciclados en construcción*, Ihobe S.A. Bilbao, 2016.
- [10] R. S. Tembhrne, M. M. Makwana, and M. S. Kulkarni, “Strength & Durability Parameter of Recycled Concrete Aggregate,” *Int. J. Sci. Technol. Eng.*, vol. 5, no. 3, pp. 1–10, 2018, [Online]. Available: <https://www.ijste.org/articles/IJSTEV5I3021.pdf>
- [11] P. A. Gutiérrez and M. S. de Juan, “Hormigón reciclado estructural: utilización de árido reciclado procedente de escombros de hormigón,” *Rev. Digit. del Cedex*, vol. 0, no. 179 SE-Artículos, Mar. 2015, [Online]. Available: <http://193.145.71.12/index.php/ingenieria-civil/article/view/530>

- [12] S. Laserna Arcas, “Avances en el comportamiento del hormigón reciclado: fabricación, propiedades mecánicas y simulación numérica,” p. 280, 2015, [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/10578/7411>
- [13] S. Seara-Paz, “Efecto de las deformaciones diferidas sobre la respuesta estructural a flexión y análisis del comportamiento adherente del hormigón reciclado,” *E.T.S. Enxeñeiros Camiños, Canais e Portos. Univ. da Coruña. Dep. Tecnoloxía da Construción*, p. 254, 2015.
- [14] E. J. Aguilar Arriola, E. F. Hernández, and P. A. Espinoza, “Concreto reciclado a partir de escombros de mampostería de bloque de cemento,” *Nexo Rev. Científica*, vol. 34, no. 05, pp. 7–19, 2021, doi: 10.5377/nexo.v34i05.13099.
- [15] E. Rivera, R. Guerrero, P. Espinoza, G. Millon, and E. Áreas, “Recycled concrete : chances to research in pre graduate,” *Rev. Arquít. +*, vol. 5, pp. 28–39, 2020, doi: <https://doi.org/10.5377/arquitectura.v9i5.9918>.
- [16] J. M. Gómez-Soberón, L. Agulló, and E. Vázquez, “Cualidades Físicas y Mecánicas de los Agregados Reciclados de Concreto. Aplicación en Concretos,” *Tecnol. y construcción*, vol. XIII-157, no. January 2002, pp. 10–22, 2002, [Online]. Available: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/2270#.Yykt3YGh39I.mendeley>
- [17] C. Bedoya and L. Dzul, “Concrete with recycled aggregates as urban sustainability project,” *Rev. Ing. Constr.*, vol. 30, no. 2, pp. 99–108, 2015, doi: 10.4067/s0718-50732015000200002.
- [18] NTE INEN 1762, “Hormigón. Definiciones y terminología,” *Inen 900*, p. 10, 2015, [Online]. Available: [www.inen.gob.ec](http://www.inen.gob.ec)
- [19] G. Jaramillo, “Manual de Materiales de construcción,” *Colección*, pp. 1–115, 2019.
- [20] I. Matus Lazo and M. Blanco Rodriguez, “Apuntes de materiales de construcción,” *Water Sci. Technol.*, 2014, [Online]. Available: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs00506-018-0517-1.pdf%0Ahttps://sundoc.bibliothek.uni-halle.de/habil-online/05/08H116/t4.pdf>
- [21] S. Medina, *Hormigón*. Ambato - Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.
- [22] NTE INEN 872, “Áridos Para Hormigón. Requisitos.,” *Intituto Ecuatoriano Norm.*, p. 16, 2011, [Online]. Available: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/872-1.pdf>
- [23] G. Rivera, “Concreto Simple,” *Univ. del Cauca*, p. 256, 2013, [Online]. Available: [https://www.academia.edu/13569512/CONCRETO\\_SIMPLE](https://www.academia.edu/13569512/CONCRETO_SIMPLE)
- [24] INECYC and APRHOPEC, *El Manual de Pepe Hormigón*. 2007.
- [25] HOLCIM ECUADOR, “Tipos de cementos y normativa,” 2012. [Online]. Available: <https://www.chryso.es/news/364/Tipos+de+cementos+y+morteros>
- [26] J. D. Osorio, “Hidratación del Concreto: Agua de Curado y Agua de Mezclado,” *Argos* 360.

<https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/importancia-del-agua-en-el-concreto> (accessed Dec. 21, 2022).

- [27] U. D. F. J. de Caldas, “Agua para elaboración de concretos,” *Especificaciones Técnicas para Construcción de Viviendas*, 2022. <https://sites.google.com/a/correo.udistrital.edu.co/manualviviendas/3-especificaciones-de-materiales/morteros/agua-para-elaboracion-de-concretos#:~:text=El agua debe ser clara,el concreto o el refuerzo.> (accessed Dec. 20, 2022).
- [28] Holcim (Costa Rica) S.A. and U.-M. y la Iniciativa, *Guía de manejo de escombros y otros residuos de la construcción*. San José, Costa Rica.: UICN, Oficina Regional para Mesoamérica y la Iniciativa Caribe.
- [29] CDE, “SOLUCIONES DE RECICLAJE PARA HORMIGÓN TRITURADO.” <https://www.cdegroupp.com/es/aplicaciones/reciclaje-de-residuos/hormigon-triturado> (accessed Nov. 25, 2022).
- [30] A. Asgari *et al.*, “Quality and quantity of construction and demolition waste in Tehran,” *J. Environ. Heal. Sci. Eng.*, vol. 15, no. 1, pp. 1–8, 2017, doi: 10.1186/s40201-017-0276-0.
- [31] J. de Brito, R. Kurda, and P. R. da Silva, “Can we truly predict the compressive strength of concrete without knowing the properties of aggregates?,” *Appl. Sci.*, vol. 8, no. 7, pp. 1–21, 2018, doi: 10.3390/app8071095.
- [32] A. A. Hilal, “Microstructure of Concrete,” *High Perform. Concr. Technol. Appl.*, vol. 32, no. 1, pp. 137–144, 2016, doi: 10.5772/64574.
- [33] J. M. Khatib, “Properties of concrete incorporating fine recycled aggregate,” *Cem. Concr. Res.*, vol. 35, no. 4, pp. 763–769, 2005, doi: 10.1016/j.cemconres.2004.06.017.
- [34] C. Priano, L. Señas, J. Moro, and S. Marfil, “Agregados reciclados pretratados para uso en hormigón,” *Rev. Geol. Apl. a la Ing. y al Ambient.*, pp. 77–86, 2016.
- [35] S. A. Miller, A. Horvath, and P. J. M. Monteiro, “Impacts of booming concrete production on water resources worldwide,” *Nat. Sustain.*, vol. 1, no. 1, pp. 69–76, 2018, doi: 10.1038/s41893-017-0009-5.
- [36] R. V. Silva, J. De Brito, and R. K. Dhir, “Properties and composition of recycled aggregates from construction and demolition waste suitable for concrete production,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 65, no. October 2017, pp. 201–217, 2014, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.04.117.
- [37] I. Mendoza and S. Chávez, “Revista de Ingeniería Civil Residuos de construcción y demolición como agregado de concreto hidráulico nuevo,” *Diciembre*, vol. 1, no. 2, pp. 9–14, 2017, [Online]. Available: [www.ecorfan.org/republicofperu](http://www.ecorfan.org/republicofperu)
- [38] R. Yáñez Velázquez and J. A. Cruz Garcia, “C O N C R E T O R E C I C L A D O,” 2004.









- [39] J. S. Bolaños Noboa, “Estudio del uso de materiales reciclados como hormigones, cerámicas y otros productos de derrocamiento o desperdicio de obra como agregados para un hormigón.,” p. 132, 2016, [Online]. Available: <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/2197>
- [40] A. Matos, “Investigación Bibliográfica: Definición, Tipos, Técnicas,” *Lifeder*, pp. 1–4, 2020, [Online]. Available: <https://www.lifeder.com/investigacion-bibliografica/>
- [41] E. E. Gallardo Echenique, *Metodología de la Investigación*, Primera Ed. Hunacuya - Perú: Universidad Continental, 2017.
- [42] Norma Técnica Ecuatoriana, “NTE INEN 856,” *Rev. Styrene Assess. Natl. Toxicol. Progr. 12th Rep. Carcinog.*, pp. 1–178, 2014, doi: 10.17226/18725.
- [43] NTE INEN 857, “Áridos. Determinación de la Densidad Relativa(Gravedad Especifica) y Absorción del Arido Grueso.,” *Norma Técnica Ecuatoriana*, no. Primera Edición, pp. 1–14, 2010, [Online]. Available: <http://apps.normalizacion.gob.ec>
- [44] A. B. Fonseca Acosta, “El Hormigón De Baja Densidad Y Su Aplicación En Bloques Para La Construcción De Viviendas,” p. 201, 2015.
- [45] E. R. Arequipa Maldonado, W. A. Coba Santa Maria, D. F. Garzon Chavez, and L. A. Vargas Quishpe, “Modulo estatico de elasticidad del hormigon en base a su resistencia a la compresion simple  $F'_c=21\text{MPa}$  y  $30\text{MPa}$ ,” p. 257, 2012, [Online]. Available: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/3014/1/T-UC-0011-123.pdf>
- [46] NTE INEN 1578, “Determinación del asentamiento, cemento hidráulico.,” *Norma Técnica Ecuatoriana*, vol. 2165, p. 8, 2010, [Online]. Available: <http://bit.ly/2P2iu4u>
- [47] “Obras y Protagonistas - Ed. Nro 224.” <https://www.oyp.com.ar/nueva/revistas/224/1.php?con=1> (accessed Feb. 11, 2023).
- [48] J. Montoya, Á. García, M. Francisco, and A. Juan, “Hormigòn Armado,” 2008.
- [49] Instituto Nacional de Vías, “Elaboración Y Curado En Obra De Especímenes De Concreto Para Ensayo INEN 1576,” *Sección 400 - CONCRETO HIDRÁULICO*, vol. E-420, p. 1, 2013, [Online]. Available: <https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/139-documento-tecnicos/1988-especificaciones-generales-de-construccion-de-carreteras-y-normas-de-ensayo-para-materiales-de-carreteras>
- [50] INEN, “NTE INEN 1573: Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico.,” *Norma Técnica Ecuatoriana Nte Inen*, vol. 2165, p. 8, 2010.

















## ANEXOS





### A1. Anexos Fotográficos

<b>Fotografía 1</b>	<b>Fotografía 2</b>
	
<b>Descripción:</b> Botadero del laboratorio de Ingeniería Civil cilindros ensayados	<b>Descripción:</b> Recolección de hormigón del botadero municipal de Pelileo
<b>Fotografía 3</b>	<b>Fotografía 4</b>
	
<b>Descripción:</b> Tamices para el agregado fino	<b>Descripción:</b> Tamices para el agregado grueso
<b>Fotografía 5</b>	<b>Fotografía 6</b>
	
<b>Descripción:</b> Densidad Real del agregado grueso (canastilla suspendida en el aire)	<b>Descripción:</b> Muestra de agregado grueso en estado (sss)

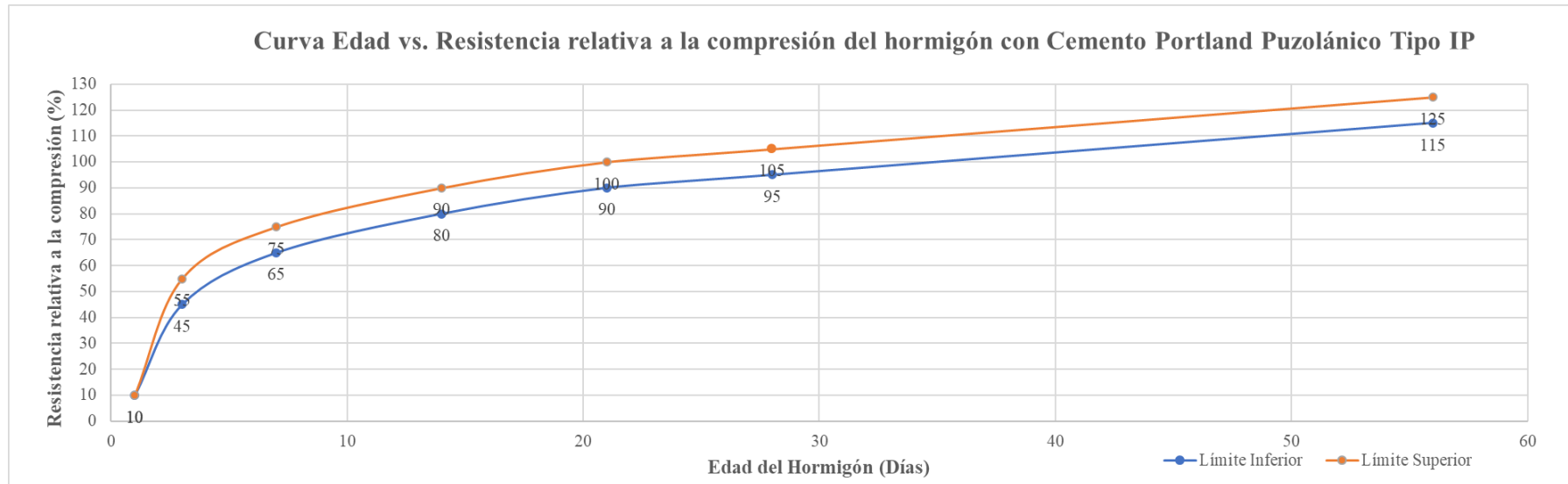
<p style="text-align: center;"><b>Fotografía 7</b></p> 	<p style="text-align: center;"><b>Fotografía 8</b></p> 
<p><b>Descripción:</b> Densidad Real del agregado grueso (canastilla sumergida en el agua)</p>	<p><b>Descripción:</b> Densidad real del agregado fino en estado (sss)</p>
<p style="text-align: center;"><b>Fotografía 9</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>Fotografía 10</b></p>
	
<p><b>Descripción:</b> Muestra de agregado fino en estado (sss)</p>	<p><b>Descripción:</b> Peso de pipeta más muestra de agregado fino (sss)</p>
<p style="text-align: center;"><b>Fotografía 11</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>Fotografía 12</b></p>
	
<p><b>Descripción:</b> Contenido de Humedad del agregado fino y grueso</p>	<p><b>Descripción:</b> Colocación de muestras en el horno para secado</p>
<p style="text-align: center;"><b>Fotografía 13</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>Fotografía 14</b></p>
	
<p><b>Descripción:</b> Densidad real del Cemento</p>	<p><b>Descripción:</b> Densidad compactada de la arena</p>

<b>Fotografía 15</b>	<b>Fotografía 16</b>
	
<b>Descripción:</b> Toma de peso del cilindro hueco y arena	<b>Descripción:</b> Toma de peso del cilindro hueco y ripio
<b>Fotografía 17</b>	<b>Fotografía 18</b>
	
<b>Descripción:</b> Hormigón triturado para reemplazo	<b>Descripción:</b> Mezclado de los agregados en carretilla
<b>Fotografía 19</b>	<b>Fotografía 20</b>
	
<b>Descripción:</b> Determinación del asentamiento con el cono de Abrams	<b>Descripción:</b> Toma de peso del cilindro en estado fresco más el molde
<b>Fotografía 21</b>	<b>Fotografía 22</b>
	
<b>Descripción:</b> Cilindros de hormigón fresco elaborados para 7 días de curado	<b>Descripción:</b> Cilindros de hormigón fresco elaborados para 14 días de curado

<p style="text-align: center;"><b>Fotografía 23</b></p> 	<p style="text-align: center;"><b>Fotografía 24</b></p> 
<p><b>Descripción:</b> Cilindros de hormigón fresco elaborados para 28 días de curado</p>	<p><b>Descripción:</b> Desmoldado de probetas de hormigón</p>
<p style="text-align: center;"><b>Fotografía 25</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>Fotografía 26</b></p>
 <p><b>Descripción:</b> Peso del hormigón sin el molde</p>	 <p><b>Descripción:</b> Medición de la altura de los cilindros de hormigón</p>
<p style="text-align: center;"><b>Fotografía 27</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>Fotografía 28</b></p>
 <p><b>Descripción:</b> Medición del diámetro de los cilindros de hormigón</p>	 <p><b>Descripción:</b> Colocación de probeta en la máquina de compresión</p>

<b>Fotografía 29</b>	<b>Fotografía 30</b>
	
<p><b>Descripción:</b> Ensayo a la compresión de probetas de hormigón</p>	<p><b>Descripción:</b> Tipo de falla presentada en probeta con porcentaje de reemplazo del 100%</p>
<b>Fotografía 31</b>	<b>Fotografía 32</b>
	
<p><b>Descripción:</b> Probetas ensayadas con porcentaje de hormigón reciclado</p>	<p><b>Descripción:</b> Obtención de los datos a compresión</p>

## A2. Resistencia a compresión más comunes del laboratorio de Ingeniera Civil en probetas cilíndricas



Resistencia relativa a la compresión (%)				f'c = 180 kg/cm <sup>2</sup>			f'c = 210 kg/cm <sup>2</sup>			f'c = 240 kg/cm <sup>2</sup>			f'c = 350 kg/cm <sup>2</sup>		
Edad Días	Límite Inferior	Promedio	Límite Superior	Límite Inferior	Promedio	Límite Superior	Límite Inferior	Promedio	Límite Superior	Límite Inferior	Promedio	Límite Superior	Límite Inferior	Promedio	Límite Superior
0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1	10	10	10	18.0	18.0	18.0	21.0	21.0	21.0	24.0	24.0	24.0	35.0	35.0	35.0
3	45	50	55	81.0	90.0	99.0	94.5	105.0	115.5	108.0	120.0	132.0	157.5	175.0	192.5
7	65	70	75	117.0	126.0	135.0	136.5	147.0	157.5	156.0	168.0	180.0	227.5	245.0	262.5
14	80	85	90	144.0	153.0	162.0	168.0	178.5	189.0	192.0	204.0	216.0	280.0	297.5	315.0
21	90	95	100	162.0	171.0	180.0	189.0	199.5	210.0	216.0	228.0	240.0	315.0	332.5	350.0
28	95	100	105	171.0	180.0	189.0	199.5	210.0	220.5	228.0	240.0	252.0	332.5	350.0	367.5
56	115	120	125	207.0	216.0	225.0	241.5	252.0	262.5	276.0	288.0	300.0	402.5	420.0	437.5