



**UNIVERSIDAD TÉCNICA AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TRABAJO EXPERIMENTAL**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL**

**TEMA:**

---

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN  
DEL HORMIGÓN TRADICIONAL CON HORMIGÓN AL EMPLEAR  
BIOMASA NATURAL TORREFACTADA”**

---

**AUTORA:** María Fernanda Miranda Rogel

**TUTOR:** Ing. Mg. Alex Xavier Frías Torres

**AMBATO - ECUADOR**

**Febrero - 2023**

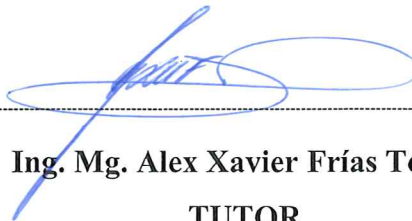
## CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniera Civil, con el tema **“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL CON HORMIGÓN AL EMPLEAR BIOMASA NATURAL TORREFACTADA.”** elaborado por la **Srta. Miranda Rogel María Fernanda**, portadora de la cédula de ciudadanía C.I. 1804840955, 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 autora.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, febrero 2023



---

**Ing. Mg. Alex Xavier Frías Torres**  
**TUTOR**

## AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, **María Fernanda Miranda Rogel**, con C.I. 1804840955, declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente Trabajo Experimental, con el tema: **“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL CON HORMIGÓN AL EMPLEAR BIOMASA NATURAL TORREFACTADA.”** Así como también tablas, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autora del trabajo experimental, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, febrero 2023



---

**María Fernanda Miranda Rogel**

**C.I. 1804840955**

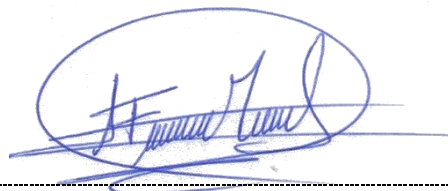
**AUTORA**

## **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, febrero 2023



---

**María Fernanda Miranda Rogel**

**C.I. 1804840955**

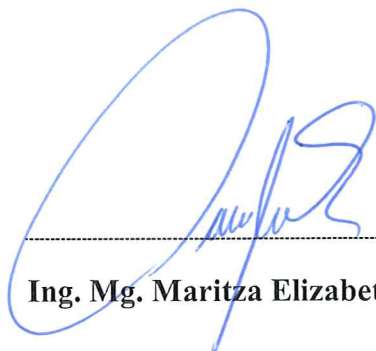
**AUTORA**

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado, aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por la estudiante María Fernanda Miranda Rogel, de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL CON HORMIGÓN AL EMPLEAR BIOMASA NATURAL TORREFACTADA.”.

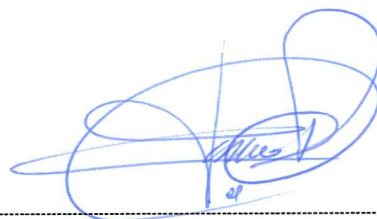
Ambato, febrero 2023

Para constancia firman:



Ing. Mg. Maritza Elizabeth Ureña Aguirre

**MIEMBRO CALIFICADOR**



Ing. Mg. Carlos Patricio Navarro Peñaherrera

**MIEMBRO CALIFICADOR**

## **DEDICATORIA**

*El esfuerzo y voluntad del presente trabajo se lo dedico con mucho amor y gratitud a toda mi familia especialmente a mis padres y hermanos por ser el pilar fundamental de apoyo, motivación y fortaleza en mi vida. A mis abuelos y tíos por el orgullo y fe puesta en mi persona. Espero contar siempre con su valioso e incondicional apoyo.*

*Att. Mafer*

## AGRADECIMIENTO

*A Dios por otorgarme su grandioso amor y bondad en el transcurso de mi vida, dándome la bendición de haber culminado esta meta tan anhelada.*

*A mis padres, Franklin y Melva por ser quienes siempre me han brindado su apoyo incondicional, por impulsarme a perseguir mis objetivos y no decaer, y sobre todo por brindarme el soporte económico y moral para concentrarme en los estudios y culminarlos. A mi hermana Keyla por brindarme su confianza, apoyo y por ser el espejo en el cual me quiero reflejar por sus virtudes infinitas.*

*A mis amigos y compañeros por el tiempo compartido en nuestra formación profesional, les agradezco por sus consejos, palabras de ánimo y tantas historias vividas.*

*Finalmente, agradezco a mi pareja Adrián por el apoyo brindado en todo momento, por su paciencia, por estar a mi lado en cada situación requerida y por darme su amor durante este tiempo motivándome a cumplir todo lo que me proponga. Te amo.*

*Att. Mafer*

## ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN .....	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	iii
DERECHOS DE AUTOR .....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	v
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTO .....	vii
ÍNDICE GENERAL .....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	xv
RESUMEN .....	xvi
ABSTRACT .....	xvii
<b>CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>1</b>
1.1 Tema de Investigación.....	1
1.2 Antecedentes.....	1
1.3 Justificación.....	2
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 Objetivo General .....	4
1.4.2 Objetivos específicos .....	4
1.5 Fundamentación Teórica .....	5
1.5.1 Materiales cementantes .....	5
1.5.2 Cemento .....	5



1.5.2.1	Clasificación del cemento.....	6
1.5.2.2	Características del cemento .....	6
1.5.2.3	Componentes químicos del cemento .....	7
1.5.3	Cemento Portland.....	7
1.5.4	Agua de amasado .....	9
1.5.5	Agregados o áridos.....	10
1.5.5.1	Tipos de agregados .....	10
1.5.6	Agregados ligeros.....	11
1.5.7	Agregado Grueso (Especificaciones).....	12
1.5.8	Agregado Fino (Especificaciones).....	14
1.5.9	Biomasa.....	16
1.5.9.1	Tipos de Biomasa.....	17
1.5.9.2	Cenizas de Biomasa.....	17
1.5.10	Aditivos .....	20
1.5.11	Hormigón .....	20
1.5.11.1	Propiedades del hormigón en estado fresco.....	20
1.5.11.2	Propiedades del hormigón en estado endurecido.....	23
1.6	Hipótesis.....	24
1.6.1	Variable independiente.....	24
1.6.2	Variable dependiente.....	24
<b>2</b>	<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....</b>	<b>26</b>
2.1	Materiales y Equipos .....	26
2.1.1	Materiales.....	26
2.1.2	Equipos.....	28
2.2	Métodos.....	31

2.2.1	Nivel o tipo de investigación.....	31
2.2.1.1	Nivel exploratorio.....	31
2.2.1.2	Nivel experimental.....	32
2.2.1.3	Nivel descriptivo.....	32
2.2.1.4	Nivel o tipo aplicada.....	32
2.2.1.5	Nivel de laboratorio.....	32
2.2.2	Población y muestra.....	33
2.2.3	Operacionalización de variables.....	34
2.2.3.1	Variable independiente.....	34
2.2.3.2	Variable dependiente.....	35
2.2.4	Plan de recolección de información.....	36
2.2.4.1	Información a preguntas básicas.....	36
2.2.4.2	Adquisición de los materiales.....	36
2.2.4.3	Ensayos de laboratorio.....	36
2.2.4.4	Elaboración y curado de probetas.....	37
2.2.5	Plan de procesamiento y análisis.....	37
2.2.5.1	Plan de procesamiento de información.....	37
2.2.5.2	Plan de análisis e interpretación de resultados.....	42
<b>3</b>	<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>43</b>
3.1	Análisis de los ensayos realizados a los agregados.....	43
3.1.1	Análisis granulométrico del agregado grueso.....	43
3.1.2	Análisis granulométrico del agregado fino.....	44
3.1.3	Densidad Aparente Suelta y Compactada del agregado fino y grueso.....	46
3.1.4	Densidad aparente compactada de la mezcla.....	48
3.1.5	Densidad Real y Capacidad de absorción del agregado grueso.....	50

3.1.6	Densidad Real y Capacidad de absorción del agregado fino. ....	51
3.1.7	Densidad Real del Cemento. ....	52
3.1.8	Densidad Ceniza de Biomasa Natural. ....	53
3.2	Dosificación del hormigón según el método de la Densidad Óptima. ....	54
3.3	Análisis y discusión de resultados. ....	61
3.3.1	Propiedades del hormigón en estado fresco. ....	61
3.3.2	Propiedades del hormigón en estado endurecido. ....	67
3.3.3	Comportamiento a compresión de los cilindros de hormigón con $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ . ....	73
3.4	Verificación de la hipótesis. ....	83
<b>4</b>	<b>CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>84</b>
4.1	Conclusiones. ....	84
4.2	Recomendaciones. ....	85
<b>5</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>87</b>
<b>6</b>	<b>ANEXOS</b> .....	<b>96</b>
6.1	Anexos fotográficos. ....	96
6.2	Anexos costo - beneficio. ....	103

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA N°1.</b>	Contenido químico del cemento. ....	7
<b>TABLA N°2.</b>	Tipos de cemento portland.....	8
<b>TABLA N°3.</b>	Resistencia a la compresión de acuerdo con la relación agua/cemento. ....	9
<b>TABLA N°4.</b>	Tamaño de tamices ASTM C33 Del agregado grueso. ....	13
<b>TABLA N°5.</b>	Tamaño de tamices ASTM C33 Del agregado fino.....	15
<b>TABLA N°6.</b>	Composición química de biomasa de origen forestal. ....	19
<b>TABLA N°7.</b>	Consistencia y trabajabilidad del hormigón en función del asentamiento. ....	22
<b>TABLA N°8.</b>	Cuadro de experimentos. ....	33
<b>TABLA N°9.</b>	Operacionalización de la variable independiente. ....	34
<b>TABLA N°10.</b>	Conceptualización de la variable dependiente.....	35
<b>TABLA N°11.</b>	Análisis granulométrico del agregado grueso.....	43
<b>TABLA N°12.</b>	Análisis granulométrico del agregado fino.....	44
<b>TABLA N°13.</b>	Densidad Aparente Suelta del agregado fino y grueso. ....	46
<b>TABLA N°14.</b>	Densidad Aparente Compactada del agregado fino y grueso. ....	46
<b>TABLA N°15.</b>	Densidad aparente compactada de la mezcla.....	48
<b>TABLA N°16.</b>	Densidad Real y Capacidad de absorción del agregado grueso....	50
<b>TABLA N°17.</b>	Densidad Real y Capacidad de absorción del agregado fino.....	51
<b>TABLA N°18.</b>	Densidad Real del Cemento.....	52
<b>TABLA N°19.</b>	Densidad Ceniza de Biomasa Natural. ....	53

<b>TABLA N°20.</b>	Obtención de Ceniza de Biomasa Natural. ....	54
<b>TABLA N°21.</b>	Ensayos preliminares método de la Densidad Óptima. ....	55
<b>TABLA N°22.</b>	Resistencia a la compresión en basa a la relación Agua/Cemento. .....	55
<b>TABLA N°23.</b>	Cantidad de Pasta en función al Asentamiento.....	56
<b>TABLA N°24.</b>	Cantidades de cada material. ....	58
<b>TABLA N°25.</b>	Dosificación del hormigón.....	59
<b>TABLA N°26.</b>	Dosificación para 9 cilindros por cada porcentaje de ceniza de biomasa en reemplazo parcial de la arena.....	60
<b>TABLA N°27.</b>	Propiedades del hormigón convencional en estado fresco. ....	61
<b>TABLA N°28.</b>	Propiedades del hormigón adicionado el 5% de ceniza de biomasa en estado fresco. ....	62
<b>TABLA N°29.</b>	Propiedades del hormigón adicionado el 10% de ceniza de biomasa en estado fresco.....	63
<b>TABLA N°30.</b>	Propiedades del hormigón adicionado el 15% de ceniza de biomasa en estado fresco.....	64
<b>TABLA N°31.</b>	Propiedades del hormigón adicionado el 25% de ceniza de biomasa en estado fresco.....	65
<b>TABLA N°32.</b>	Propiedades del hormigón convencional en estado endurecido. ..	67
<b>TABLA N°33.</b>	Propiedades del hormigón adicionado el 5% de ceniza de biomasa en estado endurecido.....	68
<b>TABLA N°34.</b>	Propiedades del hormigón adicionado el 10% de ceniza de biomasa en estado endurecido.....	69

<b>TABLA N°35.</b>	Propiedades del hormigón adicionado el 15% de ceniza de biomasa en estado endurecido.....	70
<b>TABLA N°36.</b>	Propiedades del hormigón adicionado el 25% de ceniza de biomasa en estado endurecido.....	71
<b>TABLA N°37.</b>	Resistencia a compresión del hormigón a los 7 días de edad. ....	73
<b>TABLA N°38.</b>	Resistencia a compresión del hormigón a los 14 días de edad. ....	74
<b>TABLA N°39.</b>	Resistencia a compresión del hormigón a los 28 días de edad. ....	75
<b>TABLA N°40.</b>	Costo hormigón convencional de 210 kg/cm <sup>2</sup> para 1m <sup>3</sup> .....	103
<b>TABLA N°41.</b>	Costo hormigón adicionado parcialmente ceniza de biomasa en un 10% para 1m <sup>3</sup> .....	104

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>GRÁFICO N°1.</b>	Composición estructural de la biomasa. ....	19
<b>GRÁFICO N°2.</b>	Molde para ensayo de asentamiento (Cono de Abrams).....	21
<b>GRÁFICO N°3.</b>	Curva granulométrica del agregado fino.....	45
<b>GRÁFICO N°4.</b>	Densidad aparente compactada de la mezcla.....	49
<b>GRÁFICO N°5.</b>	Densidades de los hormigones con reemplazo porcentual de ceniza de biomasa. ....	72
<b>GRÁFICO N°6.</b>	Resistencia a la compresión del hormigón convencional. ....	76
<b>GRÁFICO N°7.</b>	Resistencia a la compresión del hormigón adicionado 5% de ceniza de biomasa natural.....	76
<b>GRÁFICO N°8.</b>	Resistencia a la compresión del hormigón adicionado 10% de ceniza de biomasa natural. ....	77
<b>GRÁFICO N°9.</b>	Resistencia a la compresión del hormigón adicionado 15% de ceniza de biomasa natural. ....	77
<b>GRÁFICO N°10.</b>	Resistencia a la compresión del hormigón adicionado 25% de ceniza de biomasa natural. ....	78
<b>GRÁFICO N°11.</b>	Resistencia a la compresión del hormigón a los 7 días de edad vs porcentaje de ceniza de biomasa añadido. ....	79
<b>GRÁFICO N°12.</b>	Resistencia a la compresión del hormigón a los 14 días de edad vs porcentaje de ceniza de biomasa añadido.....	80
<b>GRÁFICO N°13.</b>	Resistencia a la compresión del hormigón a los 28 días de edad vs porcentaje de ceniza de biomasa añadido.....	81
<b>GRÁFICO N°14.</b>	Resistencia a la compresión de la mezcla hormigón – ceniza de biomasa de 210 kg/cm <sup>2</sup> . ....	82

## RESUMEN

Con el fin de aprovechar al máximo los recursos renovables e innovar hormigones con materiales no comunes, el presente trabajo experimental abarcó la elaboración de un hormigón convencional tradicional y un hormigón con adición de cenizas de biomasa natural torrefactada en un 5, 10, 15 y 25 por ciento para su comparación.

Se realizaron ensayos de laboratorio de todos los agregados que componen la mezcla de hormigón siendo de granulometría, peso específico y capacidad de absorción. Determinadas las propiedades de los agregados se realizó la dosificación mediante el método de Densidad Óptima donde se comprendió la elaboración de 45 especímenes cilíndricos, los mismos que fueron evaluados a los 7, 14 y 28 días de edad.

Realizadas las probetas de hormigón se analizó la densidad real en estado fresco y en estado endurecido, posteriormente se determinó la resistencia a compresión verificando como influye la biomasa natural torrefactada en las propiedades del hormigón.

Los resultados que se obtuvieron demostraron que las densidades fueron óptimas ya que estuvieron entre los rangos establecidos para hormigones ordinarios; en cuanto a la resistencia a compresión la adición de biomasa natural torrefactada se incrementó en edades tempranas en ciertos porcentajes mucho más que el hormigón tradicional.

Finalmente, el hormigón que tuvo una mayor resistencia a la compresión fue el hormigón con adición del 10 por ciento de biomasa natural demostrando una mejora en la resistencia a la compresión sin perder las propiedades que caracterizan a un hormigón que sea de buena calidad.

**Palabras claves:** hormigón, biomasa natural, resistencia a compresión, propiedades mecánicas, ensayos de laboratorio.



## ABSTRACT

In order to make the most of renewable resources and innovate concrete with unusual materials, this experimental work included the production of a traditional conventional concrete and a concrete with the addition of natural biomass ash torrefied in 5, 10, 15 and 25 percent for your comparison.

Laboratory tests of all the aggregates that make up the concrete mixture were carried out, being of granulometry, specific weight and absorption capacity. Once the properties of the aggregates were determined, the dosage was carried out using the Optimal Density method, where the elaboration of 45 cylindrical specimens was included, the same ones that were evaluated at 7, 14 and 28 days of age.

Once the concrete specimens were made, the real density was analyzed in the fresh state and in the hardened state, later the compressive strength was determined, verifying how the torrefied natural biomass influences the properties of the concrete.

The results obtained showed that the densities were optimal since they were within the ranges established for ordinary concrete; In terms of compressive strength, the addition of torrefied natural biomass increased at early ages in certain percentages much more than traditional concrete.

Finally, the concrete that had a higher resistance to compression was the concrete with the addition of 10 percent of natural biomass, demonstrating an improvement in the resistance to compression without losing the properties that characterize a concrete that is of good quality.

**Keywords:** concrete, natural biomass, compressive strength, mechanical properties, laboratory tests.

# CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

## 1.1 Tema de Investigación

“Análisis comparativo de la resistencia a compresión del hormigón tradicional con hormigón al emplear biomasa natural torrefactada”.

## 1.2 Antecedentes

Desde tiempo atrás, el hormigón ha sido considerado como material de construcción de gran importancia y al mismo se le ha innovado cada vez más creando así nuevos métodos para el mejoramiento de sus características mecánicas [1]. El primer aglomerante con propiedades cementicias data aproximadamente 7000 años A.C., encontrado en la antigüedad en 1985 en Galilea en la construcción de la carretera Yiftah. Mientras que hace 100 años A.C. se usaban mezclas con características similares en la antigua Roma para la elaboración de hormigones, los mismos que llegaban a una resistencia de 5MPa construyendo así grandes edificaciones como el coliseo Romano que perduran hasta la actualidad [1]. De igual forma en Sudamérica alrededor de 5000 años atrás, al norte de Chile descubren lo que viene siendo las primeras obras con piedra (paredes, chozas) en las cuales para su unión se hizo uso de un ligante hidráulico a base de cenizas de algas mediante su calcinación considerándose éstas como puzolanas de origen vegetal [2].

En la actualidad se puede visualizar varios proyectos e investigaciones donde el objetivo es romper esquemas y dentro de estos también se ha estimado la idea de usar materiales reutilizables en el hormigón, por lo que con el uso de cenizas de biomasa incorporadas en el hormigón se pretende considerar como un material nuevo, moderno y reutilizable, además de que este material se lo encuentra en recursos disponibles y renovables al alcance del ser humano [3].

La difusión del hormigón elaborado con diferentes materiales reutilizables no cesa, por lo contrario, cada día se ha venido desarrollando investigaciones muy interesantes e importantes. Se han realizado estudios de diferentes tipos de biomasa de las cuales se considera la región de la que provienen y también la materia prima que esta genere, estas cenizas presentan una actividad puzolánica alta, este material en presencia de

agua y a una temperatura ordinaria reacciona con el hidróxido cálcico en donde se origina productos sólidos que dotan de una buena resistencia mecánica [4].

Por otra parte, un estudio realizado en Ecuador en el Departamento de Energía y Mecánica de la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE), desarrollaron bloques aislantes térmicos naturales basados en residuos de biomasa en un 80% para la mejora de la eficiencia energética de las edificaciones, obteniendo una reducción del 25% de calor por parte de los aislamientos térmicos, teniendo un efecto positivo en la eficiencia y confort térmico del hábitat [5].

Así mismo una investigación realizada en Córdova por parte de Laza O. Elías M. y Araujo B. Moisés D. analizaron el efecto de la ceniza de biomasa de estiércol de bovino como sustituto parcial del cemento en un hormigón simple, en base a las propiedades químicas, físicas y actividad puzolánica alta que posee este material es ideal usarlo como reemplazo de cemento ya que funciona de muy buena manera, el mejor resultado fue del 15% para su reemplazo, además que en la combustión de las cenizas la mejor temperatura varía entre los 550°C y los 650°C ya que aquí se garantiza un idóneo tamaño de las partículas para mejorar las propiedades de la mezcla de hormigón, no obstante moler las cenizas de biomasa traería beneficios para el estudio de la resistencia a compresión del concreto [6].

Otro estudio realizado en Brasil, caracteriza la viabilidad del uso de cenizas de biomasa vegetal en morteros de hormigón en donde reemplazan parcialmente el agregado fino en un 15% y 30% por las cenizas siendo estas provenientes de astillas de eucalipto, caña de azúcar y cáscara de café, de los resultados los morteros con 15% de sustitución presentaron una mejor ganancia de resistencia del 64% más de lo esperado debido al relleno de la mezcla ocupando vacíos en la matriz del concreto, además del comportamiento de las partículas por sus reacciones puzolánicas; lo cual presenta un enfoque factible para aplicaciones de estos morteros como mamposterías en zonas de exterior e interior, colocación de revestimientos, etc. [7].

### **1.3 Justificación**

En nuestro país es abundante la biomasa debido a que es un país agrícola forestal, sin embargo, esta no ha sabido ser explotada como debería, pero hoy en día el desarrollo

de nuevas tecnologías está creciendo para aprovechar al máximo el uso de recursos disponibles y así contribuir con el medio ambiente de una manera más amigable ya que se considera como un aporte para evitar el desperdicio de recursos y materias primas [8].

El mayor aprovechamiento de la biomasa se da a través del uso de estos residuos para la producción de energía, pero al realizar esto se generan nuevos desechos siendo estos las cenizas de biomasa que se da por la combustión generando una nueva problemática ya sea en el manejo y colocación de estos desechos, y mediante este trabajo experimental se pretende buscar una solución a esto y a la vez aprovechar estas cenizas por medio de su uso en mezclas de hormigón [5]. En países como Brasil la quema de residuos vegetales es muy extensa, aproximadamente 2.2 millones de toneladas de cáscara de arroz que abarca el 20% de residuos de procesos industriales [9], otro ejemplo está en España con un consumo térmico de 3,655 ktep (kilotoneladas equivalentes de petróleo) de biomasa proveniente del sector forestal [10], son ejemplos de análisis para buscar nuevas alternativas para el uso racional de esta materia.

Se sabe que el hormigón es un material indispensable en cuanto a construcción y para la elaboración de este es necesario la adición de agregados tanto como la arena y ripio, los mismos que se consideran como recursos que no son renovables, siendo esta la razón de encontrar un material de construcción ecológico para poder ser mezclado con el hormigón [11].

Se tiene como objetivo comparar la resistencia mecánica de un hormigón tradicional con un hormigón dosificado en distintos porcentajes con cenizas de biomasa en sustitución parcial de áridos y comprobar su resistencia. Las cenizas de biomasa se obtendrán de forma artesanal mediante el proceso de combustión a una temperatura que va entre 580 y 800°C para conservar sus propiedades puzolánicas [12]

Investigaciones similares a la que se pretende hacer se han efectuado alcanzando buenas expectativas como la incorporación de ceniza de bagazo de caña y cáscara de arroz en el hormigón alcanzando un asentamiento de la mezcla de 10cm, una resistencia de 28MPa a 28 días de edad, con un reemplazo del 20% de cenizas [13].

Tomando en cuenta lo antes mencionado con este tipo de hormigón se pretende ofrecer una gran alternativa en construcción de obras civiles basándose en su ligereza en peso mediante el aprovechamiento de los residuos de biomasa, además de que sería más económico por el ahorro en materiales, siendo factible aplicar estas soluciones a las comunidades que más lo necesiten [14]. Con este trabajo experimental se aporta de cierta forma con los Objetivos del Desarrollo Sostenible planteados por la ONU, en este caso con el objetivo 11 donde las ciudades y comunidades deben ser más resilientes y sostenibles aportando así a la protección del patrimonio cultural y natural del mundo, reduciendo el impacto ambiental negativo y al manejo responsable de desechos de todo tipo. Se basa también en el objetivo 12 donde se garantiza una producción y consumo de recursos de forma responsable, promoviendo nuevos estilos de vida sostenible en la población; mediante la producción y consumo sostenible se contribuye de cierta manera a la mitigación de la pobreza y al cambio hacia economías verdes [15].

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

Elaborar un hormigón mediante el uso de cenizas de biomasa y desarrollar un análisis comparativo en base a la resistencia a compresión con un hormigón tradicional.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Evaluar el comportamiento a compresión del hormigón elaborado con cenizas de biomasa en estado endurecido.
- Realizar un análisis de las propiedades del hormigón con biomasa en estado fresco siendo estas la consistencia, trabajabilidad y homogeneidad.
- Analizar los resultados de las probetas ensayadas del hormigón tanto con biomasa como el tradicional para evidenciar los cambios en las propiedades del material debido al empleo de biomasa.

## 1.5 Fundamentación Teórica

### 1.5.1 Materiales cementantes

Se considera materiales cementantes aquellos que poseen propiedades tanto de adhesión como de cohesión para unir fragmentos minerales o más conocidos como agregados y así formar una masa sólida, la misma que se encuentra acordemente distribuida y a la vez presenta características como resistencia y durabilidad. Entre los principales materiales cementantes se encuentran: cales, escorias, alquitranes, diferentes materiales que posean propiedades puzolánicas y cementos hidráulicos [16].

Los cementos hidráulicos al estar en contacto con el agua adquieren ciertas propiedades como las de fraguar y endurecer siendo esto su característica principal, el uso de este tipo de cemento se lo visualiza en la elaboración de hormigones estructurales, siendo el más común el cemento Portland [17].

### 1.5.2 Cemento

Es el ligante hidráulico que al ser mezclado con agua tiende a fraguar y endurecer ya sea que esté expuesto al aire o debajo del agua [18].

Para determinar la densidad del cemento hidráulico ( $\rho$ ) se acogerá de acuerdo con las especificaciones presentadas en la normativa NTE INEN 156 [19] en la que se define a la misma como “masa de un volumen unitario de los sólidos” que básicamente establece la relación entre la masa del cemento y el volumen del fluido que desplaza la masa.

Acorde a la misma Normativa anterior, específicamente en la sección 4.6 Cálculos, determina que el volumen de líquido desplazado es la diferencia entre la lectura inicial y final de la masa del cemento usado. [19]:

$$\rho \left( \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right) = \left( \frac{\text{Mg}}{\text{m}^3} \right) = \frac{\text{masa del cemento, g}}{\text{volumen desplazado, cm}^3}$$

En cuanto a la dosificación y control de las mezclas de hormigón la densidad puede ser de mejor utilidad expresada como gravedad específica (número adimensional), por lo que la normativa la expresa de esta forma [19]:

$$\text{Gr. esp} = \frac{\text{densidad del cemento}}{\text{densidad del agua a } 4^{\circ}\text{C}}$$

### 1.5.2.1 Clasificación del cemento

Los cementos se clasifican dependiendo del fraguado, composición química y su aplicación.

- **Por su fraguado:** Se considera el tiempo que emplea para pasar de un estado plástico a un estado sólido, pudiendo ser estos rápidos o lentos.
- **Por su composición química:** Hay naturales, portland, puzolánicos, escorias, etc.
- **Por sus aplicaciones:** Cuando presentan una alta resistencia inicial y también cuando son resistentes a sulfatos. [20]

### 1.5.2.2 Características del cemento

**Finura de molido:** Esta propiedad se considera una de las más importantes debido a que determina la velocidad de fraguado, así como también el proceso del calor de la hidratación. Mediante el uso de tamices se mide la finura del cemento en donde se plantea que el tamaño idóneo de las partículas del cemento es menor al 0.01mm, al ser mayores a este valor las partículas son de hidratación difícil [21].

**Peso específico real:** Es el peso por unidad de volumen (sólidos o partículas), por lo general su valor es de  $3\text{g/cm}^3$  aproximadamente ya que depende de las condiciones atmosféricas sin embargo su valor no varía mucho [21].

**Fraguado:** Es la propiedad que tiene la mezcla de cemento para endurecerse es decir pasar de un estado plástico a un estado sólido. Existen dos fases la inicial y la final; el fraguado inicial comprende el tiempo en que la mezcla de cemento con agua pierde trabajabilidad, consistencia y empieza a adquirir resistencia, mientras que el fraguado

final comprende el tiempo en que la mezcla endurece desde que está en contacto al agua [21].

**Resistencia mecánica:** Esta propiedad va a depender de la clase de agregado que se use en la mezcla tanto de su compactación como de su relación agua/cemento [21].

### 1.5.2.3 Componentes químicos del cemento

**TABLA N°1.** Contenido químico del cemento.

PORCENTAJES	ELEMENTOS QUÍMICOS	PROCEDENCIA USUAL
95%	Oxido de Calcio (CaO)	Rocas Calizas
	Óxido de Silice (SiO <sub>2</sub> )	Areniscas
	Óxido de Aluminio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	Arcillas
	Óxido de Hierro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	Arcillas, minerales de hierro, piritas
5%	Óxido de magnesio, sodio	Minerales varios
	Potasio, Titanio	
	Azufre, Fósforo	
	Manganeso	

**Fuente:** J. Hidalgo, Componentes y Procesos Químicos del cemento, Granada. [22]

### 1.5.3 Cemento Portland

Se encuentra formado por la mezcla de caliza y arcilla, se caracteriza por su lento fraguado y muy buena resistencia [23]. En la tabla a continuación se detalla los tipos de cemento Portland basándose en si son puros, compuestos y por desempeño:



**TABLA N°2.** Tipos de cemento portland.

TIPOS		DESCRIPCIÓN	NORMA	
			INEN	ASTM
PUROS	I	Uso común.	152	C 150
	II	Moderada resistencia a sulfatos.	152	C 150
		Moderado calor de hidratación.		
	III	Elevada resistencia inicial.	152	C 150
	IV	Bajo calor de hidratación.	152	C 150
V	Alta resistencia a la acción de sulfatos.	152	C 150	
COMPUESTOS	IS	Portland con escoria de altos hornos.	490	C 595
	IP	Portland puzolánico.	490	C 595
	P	Portland puzolánico (Cunado no se requieren resistencias iniciales altas).	490	C 595
	I (PM)	Portland puzolánico modificado.	490	C 595
	I (SM)	Portland con escoria modificado.	490	C 595
	S	Cemento de escoria.	490	C 595
POR DESEMPEÑO	GU	Uso en construcción en general.	2 380	C 1157
	HE	Elevada resistencia inicial.	2 380	C 1157
	MS	Moderada resistencia a sulfatos.	2 380	C 1157
	HS	Alta resistencia a los sulfatos.	2 380	C 1157
	MH	Moderado calor de hidratación.	2 380	C 1157
	UH	Bajo calor de hidratación.	2 380	C 1157

**Fuente:** S. Medina, Ensayo de Materiales II, Ambato. [24]

Tomando en cuenta también que, la NTE INEN 152 [25] cubre 8 tipos de cemento portland detallados así:

- **Tipo I:** Es de uso general, en la fabricación de hormigón.
- **Tipo IA:** Mismo usos del tipo I, con incorporación de aire.
- **Tipo II:** Es de uso general, específicamente al requerir con moderado calor de hidratación y resistencia a los sulfatos.
- **Tipo IIA:** Mismo uso del tipo II, con incorporación de aire.
- **Tipo III:** Uso para resistencia inicial alta o temprana, por lo general cuando está en contacto con el agua.
- **Tipo IIIA:** Mismo uso del tipo III, con incorporación de aire.
- **Tipo IV:** Uso al requerir bajo calor de hidratación con fraguado lento, específicamente en construcciones con magnas cantidades de volumen de concreto.

- **Tipo V:** Uso al requerir resistencia alta a sulfatos. [25]

#### 1.5.4 Agua de amasado

Es la cantidad de agua que permite las reacciones de hidratación de las partículas del cemento para obtener la pasta que une los agregados, además que aporta en las propiedades mecánicas del concreto [24]. Esta cantidad de agua se usa para determinar la relación agua/cemento (A/C).

Para instaurar la relación agua/cemento se considerará los requerimientos del trabajo a realizar conforme a la tabla N°3.

**TABLA N°3.** Resistencia a la compresión de acuerdo con la relación agua/cemento.

Resistencia a compresión a los 28 días en MPa ( $f'c$ )	Relación agua/cemento (A/C)
45	0,37
42	0,40
40	0,42
35	0,46
32	0,50
30	0,51
28	0,52
25	0,55
24	0,56
21	0,58
18	0,60

**Fuente:** S. Medina, Ensayo de Materiales II, Ambato. [24]

### 1.5.5 Agregados o áridos

Los agregados son materiales indispensables al momento de elaborar el concreto ya que funcionan como relleno del hormigón, en su mayoría se los obtiene mediante la desintegración o desgaste natural de rocas o también por la trituración de las mismas. Por lo general se ocupan agregados gruesos (ripió) y agregados finos (arena) [26].

#### 1.5.5.1 Tipos de agregados

Los agregados pueden ser clasificados según su procedencia, su tamaño, su gravedad específica o densidad [26].

##### Según su Procedencia

**Agregados naturales:** Se los obtiene mediante procesos geológicos, por lo general mediante la utilización de canteras o por medio del arrastre de ríos. Estos materiales son conocidos como material de cantera y material de río [26].

**Agregados artificiales:** Se los obtiene mediante procesos de transformación que se dan a los agregados naturales, pero también suelen ser extraídos mediante procesos industriales un ejemplo de estos es la escoria de altos hornos por nombrar una. [26]

##### Según su tamaño

**Agregados gruesos:** Es la ración de agregado que se retiene en el tamiz N°4 (4,75 mm abertura de la malla), también denominado “grava”, se obtiene por la trituración de rocas o por la desintegración de la misma [27].

**Agregados finos:** Es la ración de agregado que pasa del tamiz N°4 y se retiene en el tamiz N°200 (75  $\mu$ m abertura de la malla), también denominado “arena”, se obtiene del proceso que se realiza para sacar el agregado grueso [27].

**Fracción fina o finos:** Es la ración de agregado que pasa del tamiz N°200 y es inferior a 0,002mm y varía entre los 0,002 mm – 0,074 mm, también denominado “arcilla”. [26]

### **Según su gravedad específica**

Referente a esta propiedad los agregados son pesados, normales y ligeros.

**Agregados pesados:** la gravedad específica es mayor a  $2.75\text{gr/cm}^3$ , se emplean por lo general para contrapesos del hormigón, un ejemplo de estos son la magnetita [4].

**Agregados normales:** la gravedad específica varía entre los  $2.50\text{ gr/cm}^3$  y  $2.75\text{ gr/cm}^3$ . Se emplean para hormigones de peso normal, entre estos áridos están la arena y grava [27].

**Agregados ligeros:** la gravedad específica es menor a los  $2.50\text{ gr/cm}^3$ , la vermiculita, cenizas, arcilla expandida son algunos ejemplos de este tipo de árido. [26]

### **1.5.6 Agregados ligeros**

Los agregados ligeros son definidos según su densidad, esto quiere decir que un agregado se considera ligero cuando tiene una densidad real baja aproximadamente con valores menores a los  $2.50\text{ gr/cm}^3$  [28].

Los agregados ligeros son utilizados para la fabricación de hormigones ligeros, se producen a partir de distintos procesos como:

- Expansión de minerales por calor entre estos está: arcilla, perlita, vermiculita, pizarra.
- Expansión de escorias de alto horno: se dan mediante un procesamiento especial de enfriamiento.
- Aprovechamiento de yacimientos: piedra pómez, cenizas volcánicas, escorias, toba, diatomita.

- Uso de cenizas industriales [27].

### 1.5.7 Agregado Grueso (Especificaciones)

#### Densidad Real

La metodología del ensayo se basa a las normativas ASTM C 127 – 80 [29] y NTE INEN 857 [30], se realiza para determinar la densidad promedio en una muestra de árido grueso o grava donde no se incluye volumen de vacíos entre las partículas, para determinar la densidad relativa o gravedad específica además de la absorción del árido. Los parámetros de la densidad se expresan como: seco al horno (SH), saturada superficialmente seca o densidad aparente (SSS) [29]. El proceso que seguir es:

- Remojar en agua a temperatura ambiente una muestra de árido grueso seca por un período 24h ±4h. Con el fin de llenar los poros del agregado con agua.
- Sacar la muestra de árido del agua y secarlo superficialmente cada partícula de agregado para determinar la masa y el volumen [29].

Acorde a la misma Normativa anterior NTE INEN 857, específicamente en la sección 5.5 Cálculos, determina que la densidad relativa del árido (seca al horno) se obtiene mediante [30]:

$$\text{Densidad relativa (SH)} = \frac{A}{(B - C)}$$

Siendo:

A = masa en aire de la muestra seca al horno, g.

B = masa en aire de la muestra saturada superficialmente seca, g.

C = masa aparente en agua de la muestra saturada, g.

Para determinar la absorción se obtiene mediante [30]:

$$\text{Absorción (\%)} = \frac{(B - A)}{A} \times 100$$

### Granulometría

Este método se basa en la separación de las partículas del agregado grueso por tamaños y se hace uso de tamices (mallas), se rige a la Norma ASTM C-33 [31] en la tabla N°4 se especifica los límites de acuerdo con el tamaño de las partículas del agregado grueso.

**TABLA N°4.** Tamaño de tamices ASTM C33 Del agregado grueso.

Tamaño de la malla	Tamiz	Porcentaje que pasa en peso (%)
50, 80 mm	2"	100
38, 10 mm	1 ½ "	95-100
25, 40 mm	1"	-
19, 05 mm	¾"	35-70
12,70mm	½"	-
9,52 mm	3/8"	10-30
4,75mm	N°4	0-5

**Fuente:** Norma ASTM C33. [31].

### Tamaño Nominal Máximo (TNM)

De acuerdo con la tabla anterior de granulometría se toma en cuenta la columna de “%” que se refiere al retenido acumulado donde el primer valor que abarque al 15% o más de la muestra retenida, el tamaño nominal máximo será el tamaño del tamiz de dicho valor [32].

### 1.5.8 Agregado Fino (Especificaciones)

#### Densidad Real

La densidad relativa o gravedad específica es la relación entre la masa del árido fino y la masa del agua con volumen absoluto igual, por lo general este tipo de agregado tiene una densidad relativa que varía entre los 2,4 y 2,9. Para determinar la densidad relativa se basa al procedimiento de la norma ASTM C 128-80 [33] y NTE INEN 856 [34] donde se debe:

- Sumergir en agua una muestra de árido fino seca por un lapso de  $24h \pm 4h$  y lograr una masa constante, esto con el fin de llenar los poros del árido con agua.
- Determinar el volumen de la muestra mediante el método gravimétrico o volumétrico después hallar la masa secando al horno la muestra [34].

Acorde a la misma Normativa anterior NTE INEN 856 [34], específicamente en la sección 5.6 Cálculos, determina que la densidad relativa del árido se obtiene mediante [34]:

$$\text{Densidad relativa (SH)} = \frac{A}{(B + S - C)}$$

Siendo:

A = masa de la muestra seca al horno, g.

B = masa del picnómetro con agua hasta la marca de calibrado, g.

C = masa del picnómetro lleno tanto con agua y muestra hasta la marca de calibrado, g.

S = masa de muestra seca saturada superficial, g.

Para determinar la absorción se obtiene mediante [34]:

$$\text{Absorción (\%)} = \frac{(S - A)}{A} \times 100$$

### Granulometría

Este método se basa en la separación de las partículas del agregado fino por tamaños y se hace uso de tamices (mallas) por lo general de acuerdo con la serie de Tyler, se rige por la norma ASTM C33 [31], por medio de la tabla N°5 se muestra los límites del tamaño de las partículas del agregado fino.

**TABLA N°5.** Tamaño de tamices ASTM C33 Del agregado fino.

Tamaño de la malla	Tamiz	Porcentaje que pasa en peso (%)
9,52 mm	3/8"	100
4,75 mm	N°4"	95 - 100
2,36 mm	N°8"	80 - 100
1,18 mm	N°16"	50 - 85
0,60 mm	N°30"	25 - 60
0,30 mm	N°50"	10 - 30
0,15 mm	N°100	2 - 10
0,074 mm	N°200	-

**Fuente:** Norma ASTM C33. [31]

### Módulo de Finura (MF)

El módulo de finura se refiere al valor que establece el grosor y grado de finura que tiene el agregado fino, el cálculo del módulo de finura se da mediante la sumatoria de los porcentajes retenidos acumulados dividido para 100 acorde a los tamices N°100,



N°50, N°30, N°16, N°8, N°4, 3/8", 3/4"; de acuerdo con las especificaciones planteadas en la Norma ASTM C-125 [35].

Para que el agregado fino (arena) sea apto para usarse en el hormigón el módulo de finura debe estar en el rango 2,3 - 3,1. Tomando en cuenta lo anterior si el módulo de finura es menor a 2,0 se considera que es una arena fina, mientras que si el módulo de finura es mayor que 3,0 se considera que es una arena gruesa [35].

### **Contenido de Humedad**

Este método se lo realiza para conocer la cantidad de agua que existe en el agregado fino de acuerdo con la Norma NTE INEN 862 [36]. Los estados en que el agregado se puede presentar son:

- **Secado al Horno:** Se realiza a una temperatura aproximada de 110°C por 24h para eliminar la humedad superficial que exista en el agregado.
- **Humedad Natural:** No existe humedad superficial pero internamente los poros del agregado contienen agua.
- **Saturado Superficie Seco (SSS):** No existe humedad superficial pero los poros del agregado están saturados de agua.
- **Saturado Superficie Húmeda (SSH):** Existe humedad superficial por lo que es visible sus partículas mojadas y poros saturados de agua. [36]

### **1.5.9 Biomasa**

Se define como biomasa a toda materia orgánica ya sea de origen animal o vegetal, o descendiente de cualquier transformación de estas, tomando en cuenta las que son producidas de forma natural y artificial [37]. La biomasa ha sido conocida por el ser humano desde la antigüedad como una fuente renovable de energía ya que se la ha usado desde que nuestros ancestros conocieron el fuego. Los campos forestales tanto como los agrícolas son considerados como las fuentes de más importancia de biomasa, los residuos que hay en estos campos en su mayoría son dejados ahí después de consumirse y sólo un bajo porcentaje de estos son usados con fines energéticos [38].

### **1.5.9.1 Tipos de Biomasa**

Se considera dos tipos de biomasa procedentes de su transformación siendo esta natural o artificial.

#### **Según su transformación natural**

El ecosistema provee de forma natural recursos forestales es decir se produce de forma espontánea en la naturaleza sin intervención del hombre como bosques, matorrales, etc. Ejemplos de este tipo de biomasa son los recursos provenientes de la madera generados por las podas de árboles (hojas, leña), restos de la transformación de madera (astillas) [39].

#### **Según su transformación residual**

Estos residuos proceden de recursos que se producen a base de cualquier actividad del hombre, donde se destacan los residuos de industrias agrícolas, ganaderas, etc. [39]. Dentro de este tipo de residuo de biomasa se encuentran los residuos secos donde se destaca por lo general la cáscara de arroz, cacao, podas frutales, restos de granos, residuos de cultivos de cereales, etc. Mientras que dentro de los residuos de biomasa húmedos se encuentran las aguas residuales urbanas e industriales y residuos ganaderos (abonos) [40]. Los cultivos energéticos y biocarburantes también se consideran como residuos de biomasa artificial [41].

### **1.5.9.2 Cenizas de Biomasa**

Las cenizas de biomasa se obtienen mediante un proceso de torrefacción o comúnmente conocido como combustión [42].

#### **Producción de cenizas de biomasa**

La torrefacción es un proceso termoquímico que consiste en tratar la biomasa en hornos para que el calor proporcione la energía necesaria para romper los enlaces químicos de moléculas orgánicas de la biomasa, las mejores propiedades del material

torrefactado determinan beneficios en términos de densificación energética, facilidad de molienda y estabilización biológica [43]. En la combustión de la biomasa se generan dos tipos de cenizas; siendo estas las cenizas de fondo que son formadas por el material total o parcialmente quemado y las cenizas volantes que son partículas arrastradas por la corriente de gases al exterior de la cámara de combustión [44].

La combustión de este tipo de biomasa va desde sistemas simples, como estufas, hornos y calderas, hasta otros sistemas más tecnológicos como torrefacción de lecho fluidizado o de lecho fijo. Para este trabajo experimental se pretende aplicar un proceso tradicional el mismo que es muy eficiente donde la biomasa previamente escogida y seca es calentada a una temperatura de 280°C aproximadamente, en este transcurso la biomasa se comienza a fraccionar por lo que se comienza a dejar penetrar aire en el horno para que así cierta parte de la biomasa comience a quemarse. El oxígeno proveniente del aire se gastará en la quema de la biomasa, esto por encima de los 280°C, por lo general la combustión de las cenizas se da a una temperatura entre los 500°C y 600°C. [42]

### **Propiedades físicas de las cenizas de biomasa**

Las cenizas de biomasa que son obtenidas para su empleo en la fabricación de hormigón se caracterizan por sus propiedades puzolánicas.

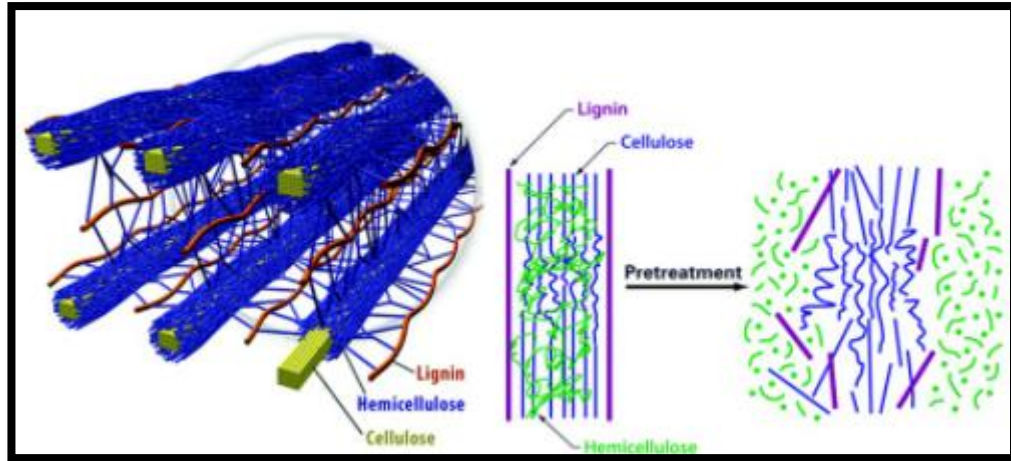
Las cenizas de fondo están formadas por partículas con textura rugosa y porosa, el tamaño de estas cenizas varía según el tipo de horno en donde han sido combustionadas por lo general están entre los 0 y 3 cm, con un porcentaje de absorción del 10-46% y presenta una densidad real entre 1.4 gr/cm<sup>3</sup> y 2.7 gr/cm<sup>3</sup>. Las cenizas volantes son partículas más finas, su tamaño va por debajo de 75µm y presentan una densidad real entre los 2.1 gr/cm<sup>3</sup> y 2.6 gr/cm<sup>3</sup> [45].

### **Propiedades químicas de las cenizas de biomasa**

La mayoría de la biomasa ya sea de origen vegetal o animal presenta en su composición compuestos químicos entre los principales está la celulosa, hemicelulosa y lignina,

pero también presentan constituyentes minoritarios como humedad, materia inorgánica que no ha sido extraída totalmente [46].

**GRÁFICO N°1.** Composición estructural de la biomasa.



**Fuente:** DIGIBUO Departamento de Energía, Universidad de Oviedo. [46]

Existe una evidente diferencia entre la composición química de las cenizas de biomasa, entre la más importante están las cenizas provenientes de madera ya que se caracterizan por su alto contenido en cal, mientras que las cenizas que provienen de cultivo de cereales se caracterizan por su alto contenido en sílice. La composición química de las cenizas de biomasa provenientes de madera es variable ya que depende básicamente de sus componentes [45], donde se pueden destacar los siguientes:

**TABLA N°6.** Composición química de biomasa de origen forestal.

<b>Composición química de biomasa proveniente de madera</b>			
Mayor concentración		Menor concentración	
> 5%		< 5%	
<b>Sílice</b>	SiO <sub>2</sub>	<b>Magnesia</b>	MgO
<b>Alumina</b>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<b>Óxido de Azufre</b>	SO <sub>3</sub>
<b>Óxidos de hierro</b>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<b>Alcalinos</b>	Na <sub>2</sub> O
<b>Cal</b>	CaO		K <sub>2</sub> O

**Fuente:** A. Rodríguez, Caracterización química de biomasa, Oviedo, 2016. [45]

### **1.5.10 Aditivos**

Los aditivos son componentes que al añadirse al concreto altera las propiedades de este ya sea en estado fresco o en estado rígido, se presentan en diversas formas (polvo, líquido, emulsiones). El uso de aditivos se emplea según el requerimiento puede ser para acelerar o retardar el fraguado y el endurecimiento de la mezcla de hormigón, también para aumentar la resistencia, para una fácil trabajabilidad o hasta para disminuir la permeabilidad. [47]

### **1.5.11 Hormigón**

El hormigón es una mezcla amplia de uso común en la construcción, se compone de: agregado fino (arena), agregado grueso (grava), agua, cemento y en ciertas ocasiones aditivos para optimizar características de la mezcla. Esta mezcla en su fase inicial es plástica lo que le permite su fácil moldeo, esta propiedad va disminuyendo con el pasar del tiempo y adquiere un comportamiento rígido que se va desarrollando con el fraguado, después de alcanzar todos los constituyentes se produce el endurecimiento total de la mezcla y adquiere resistencia mecánica [48].

Como principal característica del hormigón es la resistencia que presenta a compresión, aunque también resiste cargas tanto a tracción como flexión, pero con la necesidad de elementos que le faciliten un comportamiento dúctil (varillas de acero) [49].

#### **1.5.11.1 Propiedades del hormigón en estado fresco**

Son propiedades que tiene el hormigón cuando presenta plasticidad y se puede moldear, por lo general estas propiedades mediante su regulación cambia los componentes del hormigón y depende mucho del tipo de agregado, de la cantidad de agua en la mezcla y también de la temperatura ambiente [50], estas características son:

#### **Trabajabilidad**

Es la propiedad que permite al hormigón su fácil manipulación, transportación y colocación además de una sencilla compactación evitando la pérdida excesiva de homogeneidad en la mezcla. [50]

## Homogeneidad

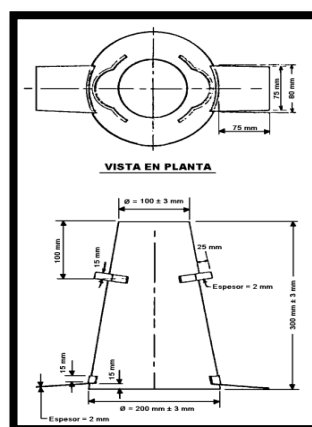
Esta propiedad se alcanza mediante un buen amasado donde los distintos componentes que presenta el hormigón están perfectamente distribuidos en toda la mezcla. [50]

## Consistencia

Es un factor que impide deformaciones en la mezcla de hormigón, este factor depende tanto de las características que muestren los agregados, el cemento en la mezcla y de la cantidad de agua. El valor del asentamiento es fundamental para esta propiedad y procedimiento para conocer dicho valor se obtiene en base a la Norma NTE INEN 1578 [51] y ASTM C-143 [52]. El procedimiento para obtener el asentamiento consiste en:

- Tomar una muestra de la mezcla de hormigón y colocarlo en tres partes en un molde Cono de Abrams como se muestra en el gráfico N°2 e irlo compactando con la varilla de apisonamiento [51].

**GRÁFICO N°2.** Molde para ensayo de asentamiento (Cono de Abrams).



**Fuente:** Norma NTE INEN 1578. [51]

- La compactación de cada capa de hacerse con 25 golpes por capa de forma uniforme.
- Levantar el molde después de haberse realizado la compactación sin ninguna interrupción y sin sobrepasar los 2 ½ minutos, se mide las distancias, la vertical con la altura original y la central de la superficie superior del hormigón, el valor obtenido es el valor del asentamiento del hormigón. [51]

Las cualidades de la consistencia se muestran en la siguiente tabla:

**TABLA N°7.** Consistencia y trabajabilidad del hormigón en función del asentamiento.

Consistencia	Asentamiento (Cono de Abrams) (cm)	Trabajabilidad
Seca	0 - 2	Muy baja
Plástica	3 - 5	Baja
Blanda	6 - 9	Media
Fluida	10 - 15	Alta
Líquida	> 16	Muy alta

**Fuente:** Norma NTE INEN 1578. [51]

## **Densidad o peso específico**

Es el parámetro para medir la uniformidad que tiene el hormigón en estado fresco, para la obtención de este valor se sigue el procedimiento que presenta la Norma NTE INEN 1579 [53], específicamente en la sección 6.5 Cálculos donde se resta la masa del recipiente menos la masa del recipiente lleno para obtener la masa total del hormigón y para obtener la densidad se obtiene dividiendo dicha masa para el volumen del recipiente, así [53]:

$$D \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = \frac{M_c - M_m}{V_m}$$

Siendo:

$M_m$  = masa del recipiente de medición, kg.

$M_c$  = masa del recipiente de medición lleno con hormigón, kg.

$V_m$  = volumen del recipiente de medición,  $\text{m}^3$ .

### **1.5.11.2 Propiedades del hormigón en estado endurecido**

Se dice que el hormigón está en estado endurecido cuando pasa de estar de un estado plástico a un estado sólido, y por sus condiciones este ya no puede cambiar de forma [54], estas propiedades son:

#### **Permeabilidad**

Es la facilidad que tiene el hormigón para que un fluido lo traspase a través de su superficie siendo este líquido o gaseoso, esto se debe a la porosidad que presenta el hormigón. La relación agua/cemento influye de forma directa en la permeabilidad [54].

#### **Dureza**



Es la propiedad que se da en el hormigón después de un proceso de carbonatación, esto se debe a una modificación propia del concreto al avanzar el tiempo, para medir la dureza se hace uso de un instrumento denominado esclerómetro. [54]

### **Resistencia a compresión**

Es la propiedad que el hormigón endurecido presenta al soportar una carga por unidad de área, para realizar el procedimiento del ensayo correspondiente se sigue las especificaciones de las Normas NTE INEN 1573 [55] y ASTM C-39 [56]. La resistencia a compresión de una muestra de hormigón (probeta) se obtiene mediante la división de la carga máxima que se alcanzó en el ensayo para el área de la sección transversal de la muestra [55].

En la elaboración de las probetas de hormigón para el ensayo mencionado anteriormente se cumplirá las especificaciones de la Norma NTE INEN 1576 [57], así como también para el desmolde y curado de las mismas bajo la Norma NTE INEN 2528 [58].

## **1.6 Hipótesis**

El hormigón adicionado cenizas de biomasa torrefactada mantiene o mejora su resistencia a la compresión.

### **1.6.1 Variable independiente**

El hormigón adicionado cenizas de biomasa.

### **1.6.2 Variable dependiente**


Resistencia a la compresión.

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA


### 2.1 Materiales y Equipos

En el presente trabajo experimental se desarrollan diferentes ensayos tanto a los agregados en forma individual como a los especímenes a elaborar, por tanto, en lo general se hace uso de:


#### 2.1.1 Materiales

MATERIALES	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS
<p><b>Cemento Tipo GU:</b></p> 	<p>Es el cemento de mayor consumo, compuesto de Clinker de cemento portland, sulfato de calcio y la adición de una o varias puzolanas naturales. Con alta tecnología y reducción del 30% de emisiones de CO<sub>2</sub>. Excelente resistencia mecánica para todo tipo de construcciones. Mejora la trabajabilidad de las mezclas y reduce la segregación y exudación y el calor de hidratación y por consiguiente la tendencia a la fisuración. Llega a exceder propiedades de resistencia y durabilidad exigidas por las normas NTE INEN 2380, 152 y 490.</p>
<p><b>Agregado fino: Arena</b></p>	<p>Proveniente de la cantera Villacrés de la ciudad de Ambato, formado por arena natural, arena fabricada o una combinación de estas. La dosificación de una mezcla de hormigón puede ser</p>

	<p>dependiente del módulo de finura del agregado fino que se va a utilizar. El agregado fino deberá estar libre de impurezas orgánicas.</p>
<p><b>Agregado grueso: Grava</b></p> 	<p>Proveniente de la cantera Villacrés de la ciudad de Ambato, constituido por grava, gravilla, piedra triturada o una combinación de estos. El tamaño nominal máximo o tamaños permitidos, está basado en el espesor de la sección o el espaciamiento de las barras de refuerzo y son esenciales para utilizar un adecuado tamaño del agregado grueso.</p>
<p><b>Ceniza de Biomasa Natural:</b></p> 	<p>Las cenizas de biomasa natural suelen presentarse como arenas o polvos finos, muy suaves al tacto de colores grises claros de acuerdo con la proporción de hierro y carbón sin quemar.</p> <p>El tamaño del gran oscila entre 0.2 y 200 micras de diámetro. La densidad del conjunto es por lo general de 0,89 g/cm<sup>3</sup></p>

	y peso específico de las partículas oscila entre los 2,0 y 2,9 g/cm <sup>3</sup> .
<b>Agua:</b> 	No tiene color, sabor ni olor. Su punto de congelación es a cero grados Celsius (°C), mientras que el de ebullición es a 100 °C (a nivel del mar). El agua posee una tensión superficial muy alta, lo que significa que es pegajosa y elástica.

### 2.1.2 Equipos

EQUIPOS	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS
<b>Picnómetro:</b> 	Es un frasco de vidrio que se usa para determinar el volumen desplazado o densidad de un material sólido o líquido con gran precisión, brinda resultados en unidades de g/cm <sup>3</sup> y kg/m <sup>3</sup> . Se basa en la norma ASTM C188-03 y se encuentra estandarizado en la norma NTE INEN 156.

<p><b>Máquina de compresión:</b></p> 	<p>Modelo Concreto 2000x, marca Shimadzu. Velocidad de 0.02 MPa/s. La capacidad de prueba es de 40 a 2000 kN en rango de 6 etapas, el método de control es de tipo servo hidráulico con función a prueba de explosiones y el diámetro de la placa superior e inferior es de 220mm. Esta máquina tiene un indicador de carga de aguja ideal para lectura de la carga total y está controlado bajo el software Trapezium X.</p>
<p><b>Concretera:</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Capacidad: 350 lts, 1 saco de cemento.</li> <li>- Vuelta de la olla: 30 a 40 RPM.</li> <li>- Peso: 710 libras.</li> <li>- Lámina: Tol de 3mm de espesor de olla y 6mm de espesor en el asiento de la olla.</li> <li>- Llantas: RIN 13.</li> <li>- Tensores en la parte interna de la olla para mezclado más rápido.</li> <li>- Sistema de volteo con eje de transmisión de carro.</li> </ul>
<p><b>Tamizadora:</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Marca: CONTROLS.</li> <li>- Modelo: 15-D0407 / BZ.</li> <li>- Voltaje: 110V - 220 V.</li> <li>- Frecuencia 50-60 Hz.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dimensiones: 496x406x946 mm</li> <li>- Potencia: 400W.</li> <li>- Peso: 30 kg</li> <li>- Temporizador: 0-99 minutos.</li> </ul>
<p><b>Juego de tamices:</b></p> 	<p>Juego de tamices de acero inoxidable con 8 pulgadas de diámetro, de fabricación Humboldt, con mallas No 8', #16, #30, #50, #100, #200 y fuente con tapa, se los ordena uno encima de otro de acuerdo a su tamaño de malla.</p>
<p><b>Balanza electrónica: (1500 gr)</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Marca: Sartorius</li> <li>- Modelo: AZ4101</li> <li>- Dimensiones: 200x270x299 mm</li> <li>- Voltaje: 115 V</li> <li>- Frecuencia 48 Hz a 60 Hz</li> <li>- Peso máximo: 1500g</li> <li>- Sensibilidad :0,01gr</li> <li>- Consumo de energía promedio: 1W</li> <li>- fuente de alimentación: adaptador de AC de 230 V o 115 V, +15% a - 20%</li> </ul>

**Equipo usado para la dosificación y elaboración de los especímenes de hormigón:**

- Concretera a gasolina.
- Horno eléctrico.
- Báscula de 30 kg de capacidad con precisión de 1gr.
- Báscula de 6 kg de capacidad con precisión de 1gr.
- Carretilla.
- Pala de mano.
- Cepillo de acero.
- Flexómetro.
- Moldes cilíndricos.
- Palustre.
- Pipeta.
- Embudo.
- Recipientes metálicos.
- Varilla lisa con punta redondeada.
- Martillo de goma.

## **2.2 Métodos**

### **2.2.1 Nivel o tipo de investigación**

Los niveles de investigación del presente trabajo experimental se basan a [59].

#### **2.2.1.1 Nivel exploratorio**

Esta es una investigación de carácter exploratorio ya que se busca indagar un tema de investigación poco estudiado el cual genera muchas interrogantes, es decir si se pretende examinar áreas con nuevas perspectivas o sino ampliar las que ya existen.

#### **2.2.1.2 Nivel experimental**

Se considera que esta investigación es de tipo experimental ya que se busca determinar la influencia de las cenizas de biomasa en la resistencia a compresión del hormigón variando cada uno de los porcentajes de cenizas de biomasa añadidos en la mezcla, siendo esto un fenómeno nuevo y novedoso. Esta clase de investigación es aplicable al elaborar los ensayos de laboratorio en su totalidad, los mismos que son requeridos para conocer cada una de las propiedades de los materiales que abarcan el hormigón con cenizas de biomasa.

#### **2.2.1.3 Nivel descriptivo**

Mediante el tema “*Análisis comparativo de la resistencia a compresión del hormigón tradicional con hormigón al emplear biomasa natural torrefactada*” se busca describir el análisis por medio de la elaboración de probetas de hormigón con diferentes contenidos de ceniza de biomasa, para posteriormente ensayar dichas probetas a compresión a una edad de 7, 14 y 28 días mostrando el comportamiento del hormigón mecánicamente.

#### **2.2.1.4 Nivel o tipo aplicada**

Esta investigación también se considera de tipo aplicada debido a que se pone en práctica aquellos conocimientos que se han adquirido durante las cátedras de ensayos de materiales en el transcurso de la carrera, los resultados que se obtendrán mediante este trabajo experimental servirán como orientación tanto para estudiantes como para profesionales en el área de la ingeniería civil.

#### **2.2.1.5 Nivel de laboratorio**

Se considera esta investigación de laboratorio ya que se realizará en laboratorios de ensayos de materiales en donde se hará diferentes estudios y ensayos a cada uno de los agregados que se ocuparán para elaborar el hormigón, además de determinar la dosificación óptima de cenizas de biomasa en el hormigón para la obtención de una resistencia a compresión máxima.



### 2.2.2 Población y muestra

Para el desarrollo del presente trabajo experimental la población y muestra se considerarán las mismas, por lo tanto, se requiere una agrupación representativa de elementos que en este caso serán las muestras (cilindros) para la experimentación del hormigón elaborado con cenizas de biomasa.

De acuerdo a la Norma NTE INEN 1576 [57], específicamente en la sección 5.3.1 Cilindros, informa que el número de cilindros modelados deben estar acorde a las especificaciones de la Norma NTE INEN 1855-2 [60], donde se menciona que de cada tipo de hormigón elaborado debe tener mínimo 2 especímenes, para realizar la evaluación del ensayo de resistencia a compresión debido a que el resultado de este es el promedio de las resistencias obtenidas de los ejemplares.

En consecuencia, a lo expuesto anteriormente para más seguridad y para evitar posibles equivocaciones se elaborarán 3 probetas cilíndricas de cada tipo de hormigón elaborado en función del período de tiempo de ensayo y concentración de cenizas de biomasa, la muestra suma un total de 45 probetas de acuerdo con la tabla N°8:

**TABLA N°8.** Cuadro de experimentos.

Edad en días	Sustitución parcial en (%)				
	0	5	10	15	25
7	3	3	3	3	3
14	3	3	3	3	3
28	3	3	3	3	3
Subtotal	9	9	9	9	9
TOTAL	45				

## 2.2.3 Operacionalización de variables

### 2.2.3.1 Variable independiente

#### El hormigón adicionado cenizas de biomasa.

**TABLA N°9.** Operacionalización de la variable independiente.

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e instrumentos
El hormigón con adiciones de cenizas de biomasa natural es una mezcla de cemento hidráulico, agua, agregados, más cenizas de biomasa que se obtienen mediante un proceso de combustión orientadas a mejora o mantener sus propiedades.	Hormigón	Calidad del hormigón	¿Qué requerimientos debe cumplir un hormigón de buena calidad?	Investigación bibliográfica.  Normas INEN y ASTM.
	Cenizas de biomasa	Características de cenizas de biomasa natural.	¿Cómo influyen las características de las cenizas de biomasa en el hormigón?	Investigación bibliográfica.  Normas INEN y ASTM.
		Cantidad de cenizas de biomasa natural.	¿Cuál es la cantidad adecuada de cenizas para el hormigón?	Investigación experimental y de laboratorio.

**Elaborado por:** Miranda Rogel María Fernanda.

### 2.2.3.2 Variable dependiente

#### Resistencia a la compresión.

**TABLA N°10.** Conceptualización de la variable dependiente.

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e instrumentos
<p>La resistencia a la compresión es una de las características principales del hormigón, ésta depende de las condiciones que presenta el hormigón tanto en estado fresco como endurecido, también depende de la calidad y como están proporcionados sus componentes.</p>	Propiedades en estado fresco	<p><b>Trabajabilidad:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Muy baja</li> <li>- Baja</li> <li>- Media</li> <li>- Alta</li> <li>- Muy Alta</li> </ul>	<p>¿En cuánto a la relación agua/cemento cómo es la trabajabilidad?</p>	<p>Investigación bibliográfica.</p> <p>Normas INEN y ASTM.</p>
		<p><b>Consistencia:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Seca</li> <li>- Plástica</li> <li>- Blanda</li> <li>- Fluida</li> <li>- Líquida</li> </ul>	<p>¿Qué método es el apropiado para determinar el asentamiento del hormigón y cuál es la consistencia?</p>	<p>Investigación de laboratorio.</p> <p>Ficha de registro.</p>
	Propiedades en estado endurecido	<p><b>Resistencia a Compresión (MPA):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Entre 15 y 20</li> </ul>	<p>¿Qué valor se obtiene de resistencia a la compresión en este hormigón?</p>	<p>Investigación bibliográfica.</p> <p>Investigación de laboratorio.</p> <p>Normas INEN y ASTM.</p>
		<p><b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Entre 2000 y 2600</li> </ul>	<p>¿Cuál es la densidad del hormigón?</p>	<p>Investigación de laboratorio. Ficha de registro.</p>

**Elaborado por:** Miranda Rogel María Fernanda.

#### **2.2.4 Plan de recolección de información.**

Respecto al proceso de recolección de información se realiza en cuatro etapas que se describen así:

##### **2.2.4.1 Información a preguntas básicas.**

Lo que se pretende evaluar mediante esta investigación experimental es la comparación de la resistencia a la compresión de un hormigón tradicional con un hormigón elaborado con cenizas de biomasa torrefactada; esto se realizará a probetas cilíndricas de hormigón de 30cm de altura con 15 cm de diámetro. El lugar donde se realizará estos ensayos es en el Laboratorio de Ensayo de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato. Las técnicas de recolección que se aplicará son investigaciones bibliográficas además del uso de Normas INEN y ASTM mediante de pruebas y ensayos de laboratorio.

##### **2.2.4.2 Adquisición de los materiales.**

En cuanto a la adquisición de los agregados a usar en el presente trabajo experimental es por medio de la visita a la Cantera Villacrés ubicada en la ciudad de Ambato para una inspección visual de los agregados que se producen en la misma y verificar que tengan buenas propiedades, mientras que las cenizas de biomasa que serán adicionadas al hormigón son obtenidas mediante su combustión en un horno de ladrillo tradicional localizado en la propiedad de la familia Silva en el cantón Ambato provincia de Tungurahua; y finalmente se realizará la compra de cemento Tipo GU para la elaboración del hormigón. Posteriormente se trasladará todos los materiales hacia los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica ya que en este lugar se elaborará cada uno de los ensayos dispuestos.

##### **2.2.4.3 Ensayos de laboratorio.**

Los ensayos que se realizan de acuerdo con las normas INEN y ASTM son los siguientes:

- Determinación de la densidad (Cemento hidráulico): Norma NTE INEN 156.

- Determinación de la densidad, densidad relativa y absorción del agregado fino (Áridos): Norma ASTM C 128-80 y NTE INEN 856. [34]
- Determinación de la densidad, densidad relativa y absorción del agregado grueso (Áridos): Norma ASTM C 127-80 y NTE INEN 857. [30]
- Módulo de finura del agregado fino: Norma ASTM C 125. [35]
- Determinación del asentamiento: Norma NTE INEN 1578 y ASTM C 143. [52]
- Determinación de la densidad del hormigón fresco: Norma NTE INEN 1579. [53]
- Determinación de la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de hormigón: Norma NTE INEN 1573. [55]
- Elaboración y curado de especímenes de hormigón: NTE INEN 1576 y 2528. [58]

#### **2.2.4.4 Elaboración y curado de probetas.**

Mediante la Norma NTE INEN 3124 [61] y ASTM C 192 [62] se realiza la elaboración y curado de las muestras de hormigón, después de elaborar las probetas se considera importante identificarlas con etiquetas acorde a las edades y porcentajes.

#### **2.2.5 Plan de procesamiento y análisis.**

##### **2.2.5.1 Plan de procesamiento de información.**

Se procede a la elaboración de los ensayos respectivos de todos los materiales que intervienen en la mezcla de hormigón para posterior realizar la dosificación de los cilindros a elaborar.

##### **Análisis granulométrico de los agregados.**

El análisis granulométrico tanto del agregado fino como del agregado grueso se desarrolla con lo que emite la norma NTE INEN 696 [63], donde se especifican los límites de porcentajes retenidos en cada tamiz, tomando en cuenta el orden de los tamices que deben estar colocados en forma descendente para el tamizaje respectivo

de cada agregado, el mismo que durará cinco minutos como tiempo prudente para el análisis. El tamaño de la muestra del agregado fino tendrá un peso mínimo de 1000 gr, mientras que el peso de la muestra del agregado grueso será de 10000 gr.

El máximo tamaño de las partículas de los agregados será la mínima abertura de los tamices por donde pasará el 100% de los agregados.

Para el análisis granulométrico del agregado fino, el módulo de finura se establece en base a la sumatoria de todos los porcentajes acumulados que se retuvieron por cada tamiz y se divide para 100, el valor obtenido debe estar entre el rango de 2,0 a 3,0 para que se considere idóneo para su empleo en la mezcla de hormigón según la NTE INEN 696 [63].

Para el análisis granulométrico del agregado grueso, el tamaño nominal máximo (TMN) se establece al identificar el tamiz que está antes del que retiene el 15% o más del agregado grueso [63]. En el ítem 6.1 Anexos se puede visualizar las fotografías 1 – 4 del procedimiento de estos ensayos.

### **Densidad Aparente Suelta y Compactada de los agregados.**

La densidad aparente (DA) suelta y compactada de los agregados fino y grueso se basará conforme lo que indica la norma NTE INEN 858 [64], el peso volumétrico incluye el volumen de vacíos y de las partículas individuales, su cálculo se realizará mediante la fórmula que se encuentra en la misma norma [64]:

$$DA = \frac{(\text{Masa recpt} + \text{Masa muestra}) - \text{Masa recpt}}{\text{Volumen recpt}}$$

Para la densidad aparente suelta se realiza el procedimiento mediante paladas hasta llenar el recipiente para luego pesar, el valor que se obtiene se da por medio de la masa de los agregados dividida para el volumen del molde.

Para la densidad aparente compactada será similar a la anterior, pero con la diferencia que se ocupará el varillado para compactar con 25 golpes en cada capa [64], donde el valor que se obtiene se da por medio de la división entre la masa del agregado y el volumen que ocupó.

Para la densidad aparente compactada de la mezcla se realiza mediante la combinación tanto del agregado grueso y fino en diferentes cantidades, con el mismo proceso de compactación mencionado anteriormente, en donde se toma el peso del agregado más el recipiente, obteniendo así el valor de la densidad por medio de la relación de la masa con el volumen ocupado. Los valores obtenidos se muestran en un gráfico (densidad vs porcentaje óptimo de mezcla), en donde se determina los porcentajes máximos y óptimos de los agregados.

### **Densidad real y capacidad de absorción de los agregados.**

Se determina la densidad promedio de muestras de agregados tanto fino y grueso mediante ensayos que se basan a las normas NTE INEN 856 [34] para agregado fino (arena) y NTE INEN 857 [30] para agregado grueso.

Para la densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso, se realiza por el método de la canastilla en donde se toma los pesos de esta en el aire y en el agua, se escoge un tamaño de muestra y se lo sumerge por 24 horas en agua, después se seca superficialmente cada partícula de agregado, hecho esto se toma el peso de la masa del agregado en estado SSS, posterior a esto con el desplazamiento del agua se obtendrá el volumen de la muestra. Para la capacidad de absorción se toma pequeñas muestras antes de llevarlas al horno y después de sacarlas del horno para registrar su masa.

Para la densidad real y capacidad de absorción del agregado fino, se realiza a través del método del picnómetro, donde el volumen del agregado se determina por medio del desplazamiento del agua. Para esto se toma la masa del picnómetro vacío, después la masa del picnómetro más la muestra, consecuente a esto se pesa la masa del picnómetro más 500cc de agua, la densidad del agregado va a depender de la relación

entre la masa del agregado para el volumen de agua que es desalojada. En el ítem 6.1 Anexos se puede visualizar las fotografías 5 – 8 del procedimiento de estos ensayos.

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

Para la densidad real del cemento, se realiza a través del método del picnómetro, que se rige en base a la norma NTE INEN 156 [19], donde el volumen del cemento se determina por medio del desplazamiento de la gasolina. Para esto se toma la masa del picnómetro vacío, después la masa del picnómetro más la muestra, consecuente a esto se pesa la masa del picnómetro más 500cc de gasolina, la masa de la gasolina añadida se obtiene por medio de la resta de la masa del picnómetro con la muestra más gasolina menos la masa del picnómetro más la muestra. La densidad del cemento va a depender de la relación entre la masa del cemento para el volumen de la gasolina desalojada.

La densidad de la ceniza de biomasa natural es un dato primordial ya que este material forma parte de la mezcla de hormigón en el presente trabajo experimental, por lo que el proceso para la obtención de esta se lo realiza con el método del picnómetro según la norma NTE INEN 856 ya que es un agregado fino muy similar a la arena. En el ítem 6.1 Anexos se puede visualizar las fotografías 13 – 14 del procedimiento de este ensayo.

### **Dosificación del hormigón.**

La dosificación del hormigón se la realizará por el método de la Densidad Óptima, comenzando por el uso de los valores resultantes de los agregados que se analizaron anteriormente, con ello se seguirá el procedimiento respectivo que impone este método desarrollado en la Universidad Central del Ecuador y renovado con la investigación del Seminario del Ing. Garzón Marcos [24]. Donde se obtendrá las dosificaciones correspondientes a cada material tanto de cemento, agua, arena, ceniza y ripio para elaborar la mezcla de hormigón para los especímenes planteados. En el ítem 6.1 Anexos se puede visualizar las fotografías 17 – 18 del procedimiento de la dosificación.



### **Propiedades del hormigón en estado fresco.**

Realizada la mezcla de hormigón se analizarán las propiedades que presenta, siendo la trabajabilidad, consistencia, homogeneidad y densidad. Para la trabajabilidad la mezcla de hormigón debe presentar un fácil manipulado y amasado, mientras que para la homogeneidad los elementos que conforman la mezcla deben estar en las proporciones requeridas además de estar muy bien amasados, estas dos propiedades se las identifica de forma visual desde muy buena hasta en ocasiones mala; para la consistencia se ocupará el Cono de Abrams colocándolo sobre una bandeja rígida y se lo llenará en tres capas de mezcla de hormigón dando 25 golpes con la varilla hasta llenarlo y enzararlo uniformemente siguiendo la normativa NTE INEN 1578 [51], el asentamiento se lo determina mediante la medición de la diferencia de altura de la muestra de la mezcla con el molde. Para la densidad de la mezcla de hormigón se la obtendrá por medio de la división entre el peso del hormigón para el volumen. En el ítem 6.1 Anexos se puede visualizar las fotografías 19 – 21 del procedimiento de estos ensayos.

### **Propiedades del hormigón en estado endurecido.**

Una vez fraguados los especímenes cilíndricos de hormigón y desencofrados respectivamente, además de haber pasado las edades de 7, 14 y 28 días, se analizarán las propiedades que presenta el hormigón ya endurecido tales como la densidad y resistencia a la compresión. En donde para obtener el valor de la densidad se lo determina mediante la relación de la masa del hormigón y su volumen, en cuanto a la resistencia a compresión se seguirá las especificaciones que indican la norma NTE INEN 1573 [55] donde se tomará el peso, y se medirá la altura y diámetro de cada espécimen elaborado, posterior a esto se colocará cada espécimen en la máquina a compresión ajustándolo con las pesas de la máquina para que pueda ser aplicada la carga, la carga se detendrá cuando el indicador de la misma muestre una decrecida en su gráfica cuando el espécimen llegue a su punto máximo de resistencia, después de esto comienza a fracturarse. En el ítem 6.1 Anexos se puede visualizar las fotografías 23 – 27 del procedimiento de estos ensayos.

#### **2.2.5.2 Plan de análisis e interpretación de resultados.**



- Análisis de los resultados arrojados en cada ensayo relacionando los objetivos e hipótesis planteados.
- Examinar la hipótesis en base a los resultados obtenidos.
- Generar las conclusiones y recomendaciones dependiendo de los resultados de la investigación y proceso de la misma.

## CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 Análisis de los ensayos realizados a los agregados.

#### 3.1.1 Análisis granulométrico del agregado grueso.

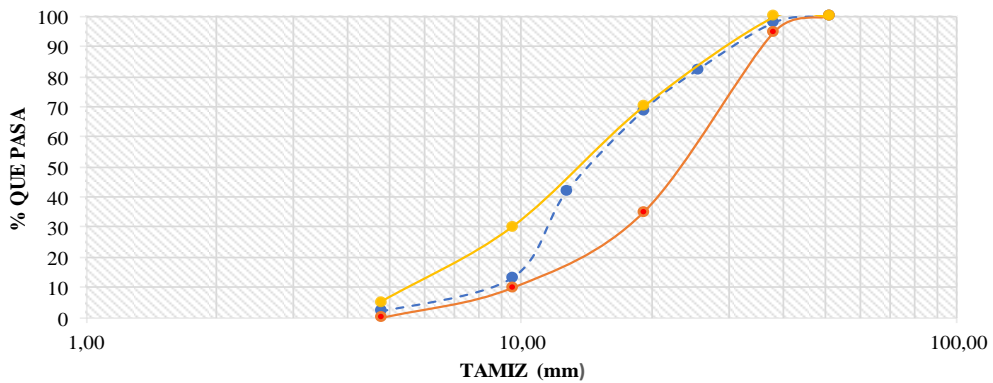
TABLA N°11. Análisis granulométrico del agregado grueso.

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>						
<b>ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL CON HORMIGÓN AL EMPLEAR BIOMASA TORREFACTADA</b>						
<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO</b>						
<b>ORIGEN:</b>		Cantera Villacrés		<b>PÉRDIDA DE MUESTRA (%):</b>		0,2
<b>PESO DE LA MUESTRA (gr.):</b>		10000		<b>FECHA:</b>		15/8/2022
<b>ENSAYADO POR:</b>		Egda. Fernanda Miranda				
<b>NORMA:</b>		INEN 696 - ASTM C 136				
TAMIZ (plg.)	TAMIZ (mm)	RETENIDO PARCIAL (gr.)	RETENIDO ACUMULADO (gr.)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	LÍMITES ASTM % QUE PASA
2"	50,80	0,00	0,00	0,00	100,00	100
1 1/2"	38,10	203,10	203,10	2,03	97,97	95 - 100
1"	25,40	1573,70	1776,80	17,77	82,23	-
3/4"	19,05	1354,30	3131,10	31,31	68,69	35 - 70
1/2"	12,70	2685,10	5816,20	58,16	41,84	-
3/8"	9,53	2858,50	8674,70	86,75	13,25	10 - 30
#4	4,76	1114,90	9789,60	97,90	2,10	0 - 5
<b>BANDEJA</b>		192,10	9981,70	99,82	0,18	-
<b>TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO</b>				1"		

**Curva granulométrica**

—●— % QUE PASA    
 —●— LÍMITE INFERIOR    
 —●— LÍMITE SUPERIOR



The graph plots the percentage of material passing through various sieve sizes (1.00 mm to 100.00 mm) against the sieve size in millimeters. The y-axis represents '% QUE PASA' from 0 to 100. The x-axis represents 'TAMIZ (mm)' on a logarithmic scale. Three curves are shown: a dashed blue line for the actual test results, a solid orange line for the lower limit, and a solid yellow line for the upper limit. The test results curve stays between the two limit curves, indicating compliance with the standard.

Elaborado por: Miranda Rogel María Fernanda.


### Análisis:

Como se muestra en la Tabla 11, se pudo determinar un tamaño nominal máximo igual a 1" para el agregado grueso que se obtuvo de la Cantera Villacrés, por lo que se considera la aceptación del agregado ya que el diámetro mínimo de las probetas de hormigón que se van a realizar es (100 x 200mm) partiendo del agregado que es el triple del tamaño nominal máximo obtenido en el ensayo granulométrico.

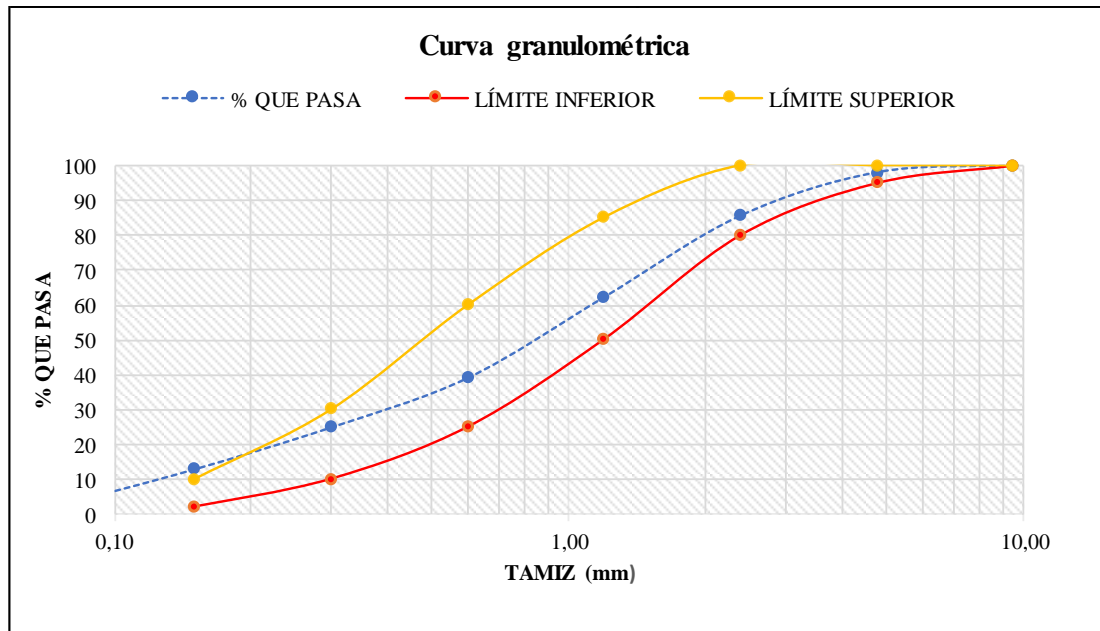
En cuanto a la curva granulométrica del agregado grueso obtenida en el ensayo se observó que es un material de óptima distribución de tamaños en sus partículas ya que se encuentra dentro de los límites ASTM.

### 3.1.2 Análisis granulométrico del agregado fino.

**TABLA N°12.** Análisis granulométrico del agregado fino.

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>						
<b>ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL CON HORMIGÓN AL EMPLEAR BIOMASA TORREFACTADA</b>						
<b><u>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO</u></b>						
<b>ORIGEN:</b>		Cantera Villacrés		<b>PÉRDIDA DE MUESTRA (%):</b>	0,3	
<b>PESO DE LA MUESTRA (gr.):</b>		1000		<b>FECHA:</b>	16/8/2022	
<b>ENSAYADO POR:</b>		Egda. Fernanda Miranda				
<b>NORMA:</b>		INEN 696				
TAMIZ (plg.)	TAMIZ (mm)	RETENIDO PARCIAL (gr.)	RETENIDO ACUMULADO (gr.)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	LÍMITES ASTM % QUE PASA
3/8"	9,50	0,0	0,0	0,0	100,0	100
#4	4,76	20,3	20,3	2,0	98,0	95 - 100
#8	2,38	124,1	144,4	14,4	85,6	80 - 100
#16	1,19	234,2	378,6	37,9	62,1	50 - 85
#30	0,60	229,4	608,0	60,8	39,2	25 - 60
#50	0,30	142,0	750,0	75,0	25,0	10 - 30
#100	0,15	119,0	869,0	86,9	13,0	2 - 10
#200	0,08	96,4	965,4	96,5	3,5	-
<b>FUENTE</b>		31,6	997,0	99,7	0,3	-
<b>MÓDULO DE FINURA</b>				2,8		

**GRÁFICO N°3.** Curva granulométrica del agregado fino.



**Elaborado por:** Miranda Rogel María Fernanda.


**Análisis:**

Como se muestra en la Tabla 12, basada en el ensayo de granulometría del agregado fino extraído de la cantera Villacrés, se pudo determinar un módulo de finura con valor de 2.8 el mismo que se encuentra en el intervalo 2.3 a 3.1 que rige en la Norma NTE INEN 872 considerándose así un material óptimo para ser empleado en la elaboración de hormigones.

En cuanto a la curva granulométrica obtenida del agregado fino tiene una buena distribución del tamaño de las partículas ya que la curva generada se encuentra dentro de los límites ASTM.

### 3.1.3 Densidad Aparente Suelta y Compactada del agregado fino y grueso.

**TABLA N°13.** Densidad Aparente Suelta del agregado fino y grueso.

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 				
<b>ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL CON HORMIGÓN AL EMPLEAR BIOMASA TORREFACTADA</b>				
<b><u>DENSIDAD APARENTE SUELTA DEL AGREGADO FINO Y GRUESO</u></b>				
<b>ORIGEN:</b>	Cantera Villacrés			
<b>ENSAYADO POR:</b>	Egda. Fernanda Miranda	<b>FECHA:</b>	22/8/2022	
<b>NORMA:</b>	INEN 858			
<b>MASA DEL RECIPIENTE (kg):</b>	9,98			
<b>VOLUMEN DEL RECIPIENTE (dm3):</b>	20,22			
<b>AGREGADO</b>	<b>AGREGADO + RECIPIENTE (kg)</b>	<b>AGREGADO (kg.)</b>	<b>DENSIDAD APARENTE (kg/dm3)</b>	<b>DENSIDAD APARENTE PROMEDIO</b>
<b>FINO</b>	38,48	28,5	1,41	1,42
	38,76	28,78	1,42	
<b>GRUESO</b>	36,64	26,66	1,32	1,35
	37,84	27,86	1,38	

**Elaborado por:** Miranda Rogel María Fernanda.

**TABLA N°14.** Densidad Aparente Compactada del agregado fino y grueso.



**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL  
HORMIGÓN TRADICIONAL CON HORMIGÓN AL EMPLEAR BIOMASA  
TORREFACTADA**

**DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DEL AGREGADO FINO Y GRUESO**

<b>ORIGEN:</b>	Cantera Villacrés			
<b>ENSAYADO POR:</b>	Egda. Fernanda Miranda	<b>FECHA:</b>	22/8/2022	
<b>NORMA:</b>	INEN 858			
<b>MASA DEL RECIPIENTE (kg):</b>	9,98			
<b>VOLUMEN DEL RECIPIENTE (dm<sup>3</sup>):</b>	20,22			
<b>AGREGADO</b>	<b>AGREGADO + RECIPIENTE (kg)</b>	<b>AGREGADO (kg.)</b>	<b>DENSIDAD APARENTE (kg/dm<sup>3</sup>)</b>	<b>DENSIDAD APARENTE PROMEDIO</b>
<b>FINO</b>	41,92	31,94	1,58	1,57
	41,55	31,57	1,56	
<b>GRUESO</b>	39,07	29,09	1,44	1,46
	39,63	29,65	1,47	

**Elaborado por:** Miranda Rogel María Fernanda.

**Análisis:**

Como se muestra en la tabla 13, se pudo determinar la densidad aparente suelta tanto del agregado grueso como fino, en donde se obtiene un valor de 1.42 kg/dm<sup>3</sup> para el agregado fino y 1.35 kg/dm<sup>3</sup> para el agregado grueso, estos valores son menores a diferencia de los valores obtenidos de la densidad aparente compactada que se muestra en la tabla 14, siendo 1.57 kg/dm<sup>3</sup> para el agregado fino y para el agregado grueso 1.46 kg/dm<sup>3</sup> esta diferencia de valores se da debido a que al realizar el varillado en el proceso del ensayo para la densidad compactada se va reduciendo con cada golpe los vacíos entre las partículas. Por otra parte, las densidades aparentes del agregado fino son mayores a las del agregado grueso esto debido a que tanto el tamaño y forma de las partículas son permisibles para un mejor acomodo en el recipiente.

### 3.1.4 Densidad aparente compactada de la mezcla.

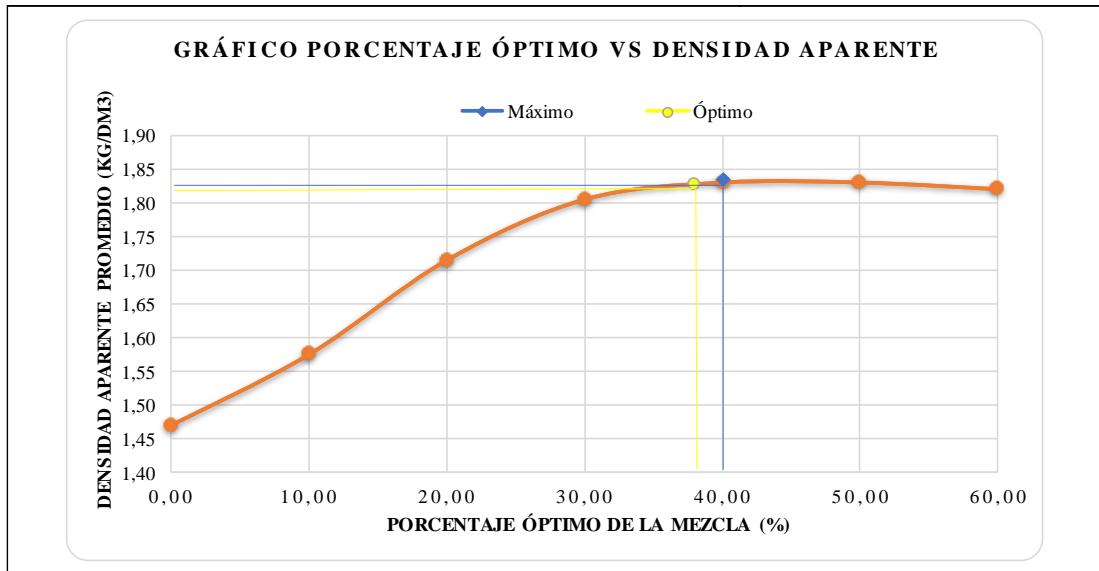
**TABLA N°15. Densidad aparente compactada de la mezcla.**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
								
<b>ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL CON HORMIGÓN AL EMPLEAR BIOMASA TORREFACTADA</b>								
<b><u>DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DE LA MEZCLA</u></b>								
<b>ORIGEN:</b>		Cantera Villacrés						
<b>ENSAYADO POR:</b>		Egda. Fernanda Miranda	<b>FECHA:</b>		15/9/2022			
<b>NORMA:</b>		INEN 858						
<b>MASA DEL RECIPIENTE (kg):</b>		9,98						
<b>VOLUMEN DEL RECIPIENTE (dm3):</b>		20,22						
% MEZCLA		CANTIDAD (kg)		FINO AÑADIDO (kg.)	AGREGADO + RECIPIENTE (kg)	AGREGADO (kg)	DENSIDAD APARENTE MEZCLA (kg/dm3)	DENSIDAD APARENTE PROMEDIO
GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	FINO	AGREGADO FINO + GRUESO			
100,00	0,00	40,00	0,00	0,00	39,70	29,72	1,47	1,470
					39,75	29,77	1,47	
90,00	10,00	40,00	4,44	4,44	41,70	31,72	1,57	1,575
					42,00	32,02	1,58	
80,00	20,00	40,00	10,00	5,56	44,60	34,62	1,71	1,715
					44,80	34,82	1,72	
70,00	30,00	40,00	17,14	7,14	46,70	36,72	1,82	1,805
					46,20	36,22	1,79	
60,00	40,00	40,00	26,67	9,53	46,55	36,57	1,80	1,830
					47,40	37,42	1,85	
50,00	50,00	40,00	40,00	13,33	46,60	36,62	1,81	1,830
					47,40	37,42	1,85	
40,00	60,00	40,00	60,00	20,00	46,40	36,42	1,80	1,820
					47,20	37,22	1,84	
PORCENTAJE MÁXIMO DE AGREGADO FINO							40%	
PORCENTAJE MÁXIMO DE AGREGADO GRUESO							60%	
PORCENTAJE ÓPTIMO DE AGREGADO FINO							38%	
PORCENTAJE ÓPTIMO DE AGREGADO GRUESO							62%	
DENSIDAD MÁXIMA DE LA MEZCLA (gr/dm3)							1,84	
DENSIDAD ÓPTIMA DE A MEZCLA (gr/dm3)							1,83	

**Elaborado por:** Miranda Rogel María Fernanda.



**GRÁFICO N°4.** Densidad aparente compactada de la mezcla.





**Elaborado por:** Miranda Rogel María Fernanda.

**Análisis:**

Como se muestra en la tabla 15, se pudo determinar el valor de la densidad óptima de la mezcla (agregados fino y grueso) resultando un valor de 1,83 gr/cm<sup>3</sup> y un valor óptimo del agregado fino del 38% y del agregado grueso del 62%.

### 3.1.5 Densidad Real y Capacidad de absorción del agregado grueso.

**TABLA N°16.** Densidad Real y Capacidad de absorción del agregado grueso.

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 				
<b>ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL CON HORMIGÓN AL EMPLEAR BIOMASA NATURAL TORREFACTADA</b>				
<b>DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO</b>				
<b>ORIGEN:</b>	Cantera Villacrés			
<b>ENSAYADO POR:</b>	Egda. Fernanda Miranda	<b>FECHA:</b>	5/9/2022	
<b>NORMA:</b>	INEN 857 - ASTM C 127			
DENSIDAD REAL DEL AGREGADO GRUESO				
DATO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR	
<b>m1</b>	Masa de la canastilla en el aire	gr.	1238,00	
<b>m2</b>	Masa de la canastilla en el agua	gr.	1076,00	
<b>m3</b>	Masa de la canastilla + Muestra S.S.S en el aire	gr.	5337,00	
<b>m4</b>	Masa de la canastilla + Muestra S.S.S en el agua	gr.	3575,00	
<b>da</b>	Densidad real del agua	gr./cc	1,00	
<b>m5=m3-m1</b>	Masa de la muestra S.S.S. en el aire	gr.	4099,00	
<b>m6=m4-m2</b>	Masa de la muestra S.S.S. en el agua	gr.	2499,00	
<b>VR=(m5-m6)/da</b>	Volumen real de la muestra	cc	1600,00	
<b>DR=m5/VR</b>	Densidad real	gr./cc	2,56	
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO				
<b>m7</b>	Masa del recipiente	gr.	24,71	25,81
<b>m8</b>	Masa del recipiente + Muestra S.S.S.	gr.	133,39	148,88
<b>m9=m8-m7</b>	Masa de la muestra S.S.S.	gr.	108,68	123,07
<b>m10</b>	Masa del recipiente + muestra seca	gr.	131,67	146,90
<b>m11=m10-m7</b>	Masa de la muestra seca	gr.	106,96	121,09
<b>CA=(m9-m11)/m11x100</b>	Capacidad de absorción	%	1,61	1,64
<b>CAP=(CA1+CA2)/2</b>	Capacidad de absorción promedio	%	1,63	

**Elaborado por:** Miranda Rogel María Fernanda.

#### **Análisis:**

Como se muestra en la tabla 16, Se pudo determinar la densidad real del agregado grueso donde se obtiene un valor igual a 2,56 gr/ cm<sup>3</sup> el mismo que señala una calidad apta aplicable en hormigón ya que la densidad de un árido grueso no debe ser menor a 2,3gr/ cm<sup>3</sup>. En cuanto a la capacidad de absorción que tiene el árido se obtiene un valor igual 1,63% mismo valor que se encuentra dentro del rango admisible para agregados

gruesos que va entre 0,2% y 4% demostrando así que es un agregado apto para el uso en hormigón.

### 3.1.6 Densidad Real y Capacidad de absorción del agregado fino.

**TABLA N°17.** Densidad Real y Capacidad de absorción del agregado fino.

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 				
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL CON HORMIGÓN AL EMPLEAR BIOMASA NATURAL				
<b>DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO</b>				
<b>ORIGEN:</b>	Cantera Villacrés			
<b>ENSAYADO POR:</b>	Egda. Fernanda Miranda	<b>FECHA:</b>	7/9/2022	
<b>NORMA:</b>	INEN 856 - ASTM C 128			
<b>DENSIDAD REAL DEL AGREGADO FINO</b>				
<b>DATO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>	
<b>M1</b>	Masa del picnómetro	gr.	153,62	
<b>M2</b>	Masa del picnómetro + muestra S.S.S.	gr.	203,61	
<b>M3</b>	Masa del picnómetro + Muestra S.S.S + agua	gr.	682,26	
<b>M4=M3-M2</b>	Masa del agua añadida	gr.	478,65	
<b>M5</b>	Masa picnómetro + 500 cc de agua	gr.	652,09	
<b>M6=M5-M1</b>	Masa de 500 cc de agua	gr.	498,47	
<b>DA=M6/500cm3</b>	Densidad del agua	gr./cm3	0,996	
<b>M7=M6-M4</b>	Masa del agua desalojada por la muestra	gr.	19,82	
<b>Msss=M2-M1</b>	Masa del agregado	gr.	49,99	
<b>Vsss=M7/DA</b>	Volumen del agua desalojada	cm3	19,89	
<b>DRA=Msss/Vsss</b>	Densidad real de la arena	gr./cm3	2,51	
<b>CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO</b>				
<b>M7</b>	Masa del recipiente	gr.	32,29	24,81
<b>M8</b>	Masa del recipiente + Muestra S.S.S.	gr.	194,41	184,82
<b>M9=M8-M7</b>	Masa de la muestra S.S.S.	gr.	162,12	160,01
<b>M10</b>	Masa del recipiente + muestra seca	gr.	191,93	182,36
<b>M11=M10-M7</b>	Masa de la muestra seca	gr.	159,64	157,55
<b>CA=((M9-M11)/M11)x100</b>	Capacidad de absorción	%	1,55	1,56
<b>CAP=(CA1+CA2)/2</b>	Capacidad de absorción promedio	%	1,56	

**Elaborado por:** Miranda Rogel María Fernanda.

#### **Análisis:**

Como se muestra en la tabla 17, Se pudo determinar la densidad real del agregado fino donde se obtiene un valor igual a 2,51 gr/ cm<sup>3</sup> el mismo que señala una calidad apta aplicable en hormigón ya que la densidad de un árido fino no debe ser menor a 2,3gr/

cm<sup>3</sup>. En cuanto a la capacidad de absorción que tiene el árido se obtiene un valor igual 1,56% mismo valor que se encuentra dentro del rango admisible para agregados gruesos que va entre 0,2% y 2% demostrando así que es un agregado apto para el uso en hormigón.

### 3.1.7 Densidad Real del Cemento.

**TABLA N°18. Densidad Real del Cemento.**

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 				
<b>ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL CON HORMIGÓN AL EMPLEAR BIOMASA NATURAL TORREFACTADA</b>				
<b><u>DENSIDAD REAL DEL CEMENTO ( MÉTODO DEL PICNÓMETRO)</u></b>				
<b>ORIGEN:</b>	Cemento hidráulico TIPO GU			
<b>ENSAYADO POR:</b>	Egda. Fernanda Miranda	<b>FECHA:</b>	22/9/2022	
<b>NORMA:</b>	INEN 156 - ASTM C 188			
<b>NOMENCLATURA</b>	<b>DENOMINACIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>	
M1	Masa del picnómetro	gr.	153,64	152,32
M2	Masa del picnómetro + muestra	gr.	218,64	217,32
M3	Masa del picnómetro + muestra + gasolina	gr.	577,09	578,37
M4=M3-M2	Masa gasolina añadida	gr.	358,45	361,05
M5	Masa picnómetro + 500cc de gasolina	gr.	529,40	530,58
M6=M5-M1	Masa de 500cc de gasolina	gr.	375,76	378,26
DG=M6/500cm <sup>3</sup>	Densidad de la gasolina	gr/cm <sup>3</sup>	0,75	0,76
M7=M6-M4	Masa gasolina desalojada por la muestra	gr.	17,31	17,21
Mc= M2 - M1	Masa del cemento	gr.	65,00	65,00
V <sub>G</sub> = M <sub>7</sub> /D <sub>G</sub>	Volumen de gasolina desalojada	cm <sup>3</sup>	23,05	22,95
DRC=Mc/VG	Densidad real del cemento	gr/cm <sup>3</sup>	2,82	2,83
DRP=DRC/2	Densidad real promedio	gr/cm <sup>3</sup>	2,83	

**Elaborado por:** Miranda Rogel María Fernanda.

#### **Análisis:**

Como se visualiza en la tabla 18, Se realizó dos ensayos con el método del picnómetro determinando así la densidad real del cemento de tipo GU obteniendo de resultado en el primer ensayo un valor de 2,82 gr/ cm<sup>3</sup> mientras que para el segundo ensayo se

obtuvo un valor de  $2,83 \text{ gr/ cm}^3$  teniendo una mínima diferencia por lo que se pueden promediar los dos valores de acuerdo a la norma NTE INEN 156 resultando así el valor de la densidad real promedio de  $2,83 \text{ gr/ cm}^3$ , el valor es bajo dentro del intervalo de densidad real de cementos que va entre  $2,90 \text{ gr/ cm}^3$  y  $3,15 \text{ gr/ cm}^3$  pero como la diferencia es mínima se considera aceptable para la utilización dentro de la mezcla de hormigón.

### 3.1.8 Densidad Ceniza de Biomasa Natural.

**TABLA N°19.** Densidad Ceniza de Biomasa Natural.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL CON HORMIGÓN AL EMPLEAR BIOMASA NATURAL TORREFACTADA			
<u>DENSIDAD REAL DE LA CENIZA DE BIOMASA NATURAL</u>			
<b>ORIGEN:</b>	Horno Tradicional (Montalvo)		
<b>ENSAYADO POR:</b>	Egda. Fernanda Miranda	<b>FECHA:</b>	23/9/2022
<b>NORMA:</b>	INEN 856		
<b>NOMENCLATURA</b>	<b>DENOMINACIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>
M1	Masa del picnómetro	gr.	153,44
M2	Masa del picnómetro + muestra S.S.S.	gr.	218,44
M3	Masa picnómetro + muestra S.S.S. + agua	gr.	691,00
M4=M3-M2	Masa agua añadida	gr.	472,56
M5	Masa picnómetro + 500cc de agua	gr.	651,66
M6=M5-M1	Masa de 500cc de agua	gr.	498,22
Da=M6/500cm <sup>3</sup>	Densidad del agua	gr/cm <sup>3</sup>	1,00
M7=M6-M4	Masa del agua desalojada por la muestra	gr.	25,66
Msss= M2 - M1	Masa de la ceniza	gr.	65,00
Vsss= M <sub>7</sub> /D a	Volumen de agua desalojada	cm <sup>3</sup>	25,76
DRA=Msss/Vsss	Densidad real de la ceniza	gr/cm <sup>3</sup>	2,52

**Elaborado por:** Miranda Rogel María Fernanda.

#### **Análisis:**

Como se visualiza en la tabla 19, Se realizó el ensayo con el método del picnómetro determinando así la densidad real de la ceniza de biomasa natural obteniendo un

resultado de 2,52 gr/ cm<sup>3</sup> considerándose como un agregado ligero óptimo para el uso en la mezcla de hormigón.

**TABLA N°20.** Obtención de Ceniza de Biomasa Natural.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 	
<b>ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL          HORMIGÓN TRADICIONAL CON HORMIGÓN AL EMPLEAR          BIOMASA NATURAL TORREFACTADA</b>	
<u><b>PRODUCCIÓN DE LA CENIZA DE BIOMASA NATURAL</b></u>	
<b>ORIGEN TIPO:</b>	Forestal
<b>ENSAYADO POR:</b>	Egda. Fernanda Miranda
<b>FECHA:</b>	19/8/2022
<b>CONDICIÓN BIOMASA</b>	<b>TEMPERATURA (COMBUSTIÓN) °C</b>
Seca	497
Seca	552
Seca	571

**Elaborado por:** Miranda Rogel María Fernanda.

### 3.2 Dosificación del hormigón según el método de la Densidad Óptima.

Para esta investigación se calcula la dosificación de la mezcla por el método de la densidad óptima planteada por la Universidad Central del Ecuador, para llegar a la obtención de un  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  y para el desarrollo de esta es necesario ciertos datos y ensayos realizados anteriormente los mismos que se muestran en la siguiente Tabla N°21.

**TABLA N°21.** Ensayos preliminares método de la Densidad Óptima.

DESCRIPCIÓN	ABREVIATURA	VALOR	UNIDAD
Resistencia a la compresión del hormigón	f'c	210	k g/c m <sup>2</sup>
Densidad Real del Cemento	DRC	2,83	k g/d m <sup>3</sup>
Densidad Real de la Arena	DRA	2,51	k g/d m <sup>3</sup>
Densidad Real del Ripio	DRR	2,56	k g/d m <sup>3</sup>
Densidad aparente del agregado fino	DAA	1,42	k g/d m <sup>3</sup>
Densidad aparente del agregado grueso	DAR	1,35	k g/d m <sup>3</sup>
Porcentaje Óptimo de la Arena	POA	38	%
Porcenta Óptimo del Ripio	POR	62	%
Densidad Óptima de la mezcla de agregados	DOM	1,83	k g/d m <sup>3</sup>

**Elaborado por:** Miranda Rogel María Fernanda.

El procedimiento para el cálculo mediante este método se lo presenta a continuación tomando en cuenta que se lo realiza para 1m<sup>3</sup> de mezcla de hormigón:

- i. Determinar la relación agua/cemento en base a la resistencia a compresión planteada:

**TABLA N°22.** Resistencia a la compresión en basa a la relación Agua/Cemento.

Resistencia a compresión a los 28 días en Mpa(f'c)	Relación agua/cemento (W/C)
45	0.37
42	0.40
40	0.42
35	0.46
32	0.50
30	0.51
28	0.52
25	0.55
24	0.56
21	0.58
18	0.60

**Fuente:** Seminario de investigación sobre el módulo de elasticidad del hormigón.

Ing. Marco Garzón C. 2010. [24]

- ii. Cálculo de la densidad real de la mezcla de hormigón (DRM) [24]:

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

$$\text{DRM} = \frac{2,51 * 38 + 2,56 * 62}{100}$$

$$\text{DRM} = 2,541 \text{ kg/dm}^3$$

- iii. Cálculo del porcentaje óptimo de vacíos (POV) [24]:

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

$$\text{POV} = \frac{2,541 - 1,83}{2,541} * 100$$

$$\text{POV} = 27,98\%$$

- iv. Definir la cantidad de pasta (CP) en función del asentamiento requerido en base a la siguiente tabla:

**TABLA N°23.** Cantidad de Pasta en función al Asentamiento.

Asentamiento (cm)	Cantidad de Pasta (%)
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. 2010. [24]

$$\mathbf{CP = POV + 2\% + 8\%(POV)}$$

$$CP = 27,98 + 2\% + 0,08(27,98) = 32,22\%$$

$$CP = 32,22\% * 1000 \text{ dm}^3 = 322,18 \text{ dm}^3$$

v. Cálculo de la cantidad de Cemento ( C ) [24]:

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

$$C = \frac{322,18}{0,58 + \frac{1}{2,83}}$$

$$C = 345,18 \text{ kg}$$

vi. Cálculo de la cantidad de agua (W) [24]:

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

$$W = 0,58 * 345,18$$

$$W = 200,20 \text{ lts.}$$

vii. Cálculo de la cantidad de arena (A) [24]:

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

$$A = (1000 - 322,18) * 2,51 * 38/100$$

$$A = 646,50 \text{ kg}$$

viii. Cálculo de la cantidad de ripio (R) [24]:

$$R = (1000 - CP) * DRR * POR/100$$

$$R = (1000 - 322,18) * 2,56 * 62/100$$

$$R = 1075,84 \text{ kg}$$

ix. Dosificación al peso: Se toma en cuenta la condición (SSS) saturada superficie seca de los agregados obteniendo los factores del material: [24].

$$\text{Dosificación al peso} = \frac{\text{Cantidad de material (W, A, R)} * 1\text{m}^3}{\text{Cantidad de cemento (C)}}$$



$$\text{Cantidad de material (W, A, R)} * 1\text{m}^3 = \frac{\text{Dosificación(W, A, R)} * 50 \text{ kg}}{1}$$

**TABLA N°24.** Cantidades de cada material.

<b>MATERIAL</b>	<b>CANTIDAD PARA 1m3:</b>		<b>DOSIFICACIÓN AL PESO</b>
<b>W</b>	200,2	lts	0,58
<b>C</b>	345,18	kg	1
<b>A</b>	646,5	kg	1,87
<b>R</b>	1075,84	kg	3,12

**Elaborado por:** Miranda Rogel María Fernanda.

**TABLA N°25. Dosificación del hormigón.**

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 					
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL CON HORMIGÓN AL EMPLEAR BIOMASA NATURAL TORREFACTADA					
<b>FECHA:</b>			3/10/2022		
<b>ELABORADO POR:</b>			Egda. Fernanda Miranda		
DOSIFICACIÓN POR EL MÉTODO DE LA DENSIDAD ÓPTIMA					
DATOS DE ENSAYO			DATOS DE TABLAS		
f'c	210	kg/cm <sup>2</sup>	W/C	0,58	
Asentamiento	6 -9	cm	CP (%)	POV + 2% + 8%(POV)	
DRC	2,83	kg/dm <sup>3</sup>	CÁLCULOS		
DRA	2,51	kg/dm <sup>3</sup>	DRM	2,541	kg/dm <sup>3</sup>
DRR	2,56	kg/dm <sup>3</sup>	POV	27,98	%
DAA	1,42	kg/dm <sup>3</sup>	CP	322,18	dm <sup>3</sup>
DAR	1,35	kg/dm <sup>3</sup>	C	345,18	kg
POA	38	%	W	200,20	lts
POR	62	%	A	646,5	kg
DOM	1,83	kg/dm <sup>3</sup>	R	1075,84	kg
DOSIFICACIÓN AL PESO					
Material		Cantidad en kg por m <sup>3</sup> de hormigón		Dosificación al peso	
W		200,20		0,58	
C		345,18		1,00	
A		646,50		1,87	
R		1075,84		3,12	
Densidad del hormigón fresco:		2267,72		kg/m <sup>3</sup>	
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 apar.suelt. dm <sup>3</sup> por c/s de C	Dosificación al volumen en obra
W	200,20	0,58	28,99	-	29 lts
C	345,18	1,00	50	-	1 saco
A	646,5	1,87	93,65	65,95	2,4 cajones
R	1075,84	3,12	155,84	115,44	4,28 cajones
Volumen Real del Hormigón:			328,48	dm <sup>3</sup> cada saco	
Dimensiones cajón: B=L=H=3,00 dm			Volumen cajón:		27,00 dm <sup>3</sup>
NOMENCLATURA					
f'c	Resistencia a compresión		W/C	Relación Agua Cemento	
DRC	Densidad real del cemento		CP(%)	Cantidad de pasta en %	
DRA	Densidad real de la arena		DRM	Densidad real de la mezcla	
DRR	Densidad real del ripio		POV	Porcentaje óptimo de vacíos	
DAA	Densidad aparente suelta de la arena		CP	Cantidad de pasta	
DAR	Densidad aparente suelta del ripio		C	Cantidad de cemento	
POA	Porcentaje óptimo de la arena		A	Cantidad de arena	
POR	Porcentaje óptimo del ripio		W	Cantidad de agua	
DOM	Densidad óptima de la mezcla		R	Cantidad de ripio	


**Elaborado por:** Miranda Rogel María Fernanda.

- x. Cálculos para la dosificación del número de cilindros propuestos en el presente trabajo experimental (45 probetas cilíndricas 15cm x 30cm) [24]:

**Dosificación cilindros = Dosificación en kg por m<sup>3</sup> \* Volumen de cilindros**

$$\text{Volumen de cilindros} = \left( \frac{\pi * \text{Diámetro}^2}{4} * \text{Altura} \right) * \text{N}^\circ \text{ de cilindros}$$

**TABLA N°26.** Dosificación para 9 cilindros por cada porcentaje de ceniza de biomasa en reemplazo parcial de la arena.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 						
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL CON HORMIGÓN AL EMPLEAR BIOMASA NATURAL TORREFACTADA						
<b>FECHA:</b>			4/10/2022			
<b>ELABORADO POR:</b>			Egda. Fernanda Miranda			
DOSIFICACIÓN HORMIGÓN - CENIZA DE BIOMASA						
Cantidad de cilindros por porcentaje:			9	Volumen de cilindros:		0,0477m <sup>3</sup>
MATERIAL		SUSTITUCIÓN PARCIAL EN (%)				
Denominación	Unidad	0	5	10	15	25
Cemento	kg	16,47	16,47	16,47	16,47	16,47
Agua	lts	9,54	9,54	9,54	9,54	9,54
Ripio	kg	51,32	51,32	51,32	51,32	51,32
Arena	kg	30,85	29,31	27,77	26,22	23,14
Ceniza	kg	0	1,54	3,09	4,63	7,71

**Elaborado por:** Miranda Rogel María Fernanda.

### **Análisis:**

Como se visualiza en la tabla 25 y 26, Se calcularon las cantidades necesarias de cada uno de los materiales en base a la dosificación correspondiente, para la elaboración de un hormigón convencional y con reemplazo parcial de ceniza de biomasa por el agregado fino cuyas características alcancen una resistencia a la compresión de 210 kg/cm<sup>2</sup>, mediante la elaboración de 45 especímenes 9 por cada porcentaje parcial.

### 3.3 Análisis y discusión de resultados.

#### 3.3.1 Propiedades del hormigón en estado fresco.

**TABLA N°27.** Propiedades del hormigón convencional en estado fresco.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 											
TEMA: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL CON HORMIGÓN AL EMPLEAR BIOMASA NATURAL TORREFACTADA											
PROPIEDADES DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO (HORMIGÓN CONVENCIONAL)											
NORMA:		NTE INEN 1578 - NTE INEN 1579									
REALIZADO POR:		Egda. Fernanda Miranda				ALTURA DEL CILINDRO:		30 cm			
PROBETA N°	FECHA DE ELABORACIÓN	DIÁMETRO (cm)	MASA RECIPIENTE LLENO DE HORMIGÓN (kg)	MASA DE RECIPIENTE VACÍO (kg)	MASA DE HORMIGÓN (kg)	VOLUMEN DE RECIPIENTE (m <sup>3</sup> )	TRABAJABILIDAD	CONSISTENCIA (cm)	HOMOGENEIDAD	DENSIDAD (kg/m <sup>3</sup> )	DENSIDAD PROMEDIO (kg/m <sup>3</sup> )
1	17/10/2022	15,0	23,80	11,21	12,59	0,005	BUENA	6,8	MUY BUENA	2374,83	2375,73
2		15,1	24,20	11,12	13,08	0,005				2434,68	
3		15,0	23,45	11,49	11,96	0,005				2255,99	
4		15,1	24,58	11,53	13,05	0,005				2429,10	
5		15,1	24,60	11,41	13,19	0,005				2455,16	
6		15,0	23,66	11,41	12,25	0,005				2310,69	
7		15,1	24,23	11,45	12,78	0,005				2378,84	
8		15,0	23,64	11,14	12,50	0,005				2357,85	
9		15,2	24,37	11,39	12,98	0,005				2384,38	

**Elaborado por:** Miranda Rogel María Fernanda.

**TABLA N°28.** Propiedades del hormigón adicionado el 5% de ceniza de biomasa en estado fresco.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 											
TEMA: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL CON HORMIGÓN AL EMPLEAR BIOMASA NATURAL TORREFACTADA											
PROPIEDADES DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO (HORMIGÓN ADICIONADO 5% CENIZA DE BIOMASA)											
NORMA:		NTE INEN 1578 - NTE INEN 1579									
REALIZADO POR:		Egda. Fernanda Miranda				ALTURA DEL CILINDRO:		30 cm			
PROBETA N°	FECHA DE ELABORACIÓN	DIÁMETRO (cm)	MASA RECIPIENTE LLENO DE HORMIGÓN (kg)	MASA DE RECIPIENTE VACÍO (kg)	MASA DE HORMIGÓN (kg)	VOLUMEN DE RECIPIENTE (m <sup>3</sup> )	TRABAJABILIDAD	CONSISTENCIA (cm)	HOMOGENEIDAD	DENSIDAD (kg/m <sup>3</sup> )	DENSIDAD PROMEDIO (kg/m <sup>3</sup> )
10	19/10/2022	15,2	23,80	11,41	12,39	0,005	BUENA	7	MUY BUENA	2276,00	2358,06
11		15,1	23,98	11,43	12,55	0,005				2336,03	
12		15,1	24,16	11,41	12,75	0,005				2373,26	
13		15,1	24,37	11,41	12,96	0,005				2412,35	
14		15,2	24,40	11,48	12,92	0,005				2373,36	
15		15,1	23,82	11,48	12,34	0,005				2296,94	
16		15,0	24,07	11,45	12,62	0,005				2380,49	
17		15,0	23,99	11,43	12,56	0,005				2369,17	
18		15,1	24,12	11,2	12,92	0,005				2404,90	

**Elaborado por:** Miranda Rogel María Fernanda.

**TABLA N°29.** Propiedades del hormigón adicionado el 10% de ceniza de biomasa en estado fresco.

 											
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL											
TEMA: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL CON HORMIGÓN AL EMPLEAR BIOMASA NATURAL TORREFACTADA											
PROPIEDADES DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO (HORMIGÓN ADICIONADO 10% CENIZA DE BIOMASA)											
NORMA:		NTE INEN 1578 - NTE INEN 1579									
REALIZADO POR:		Egda. Fernanda Miranda				ALTURA DEL CILINDRO:		30 cm			
PROBETA N°	FECHA DE ELABORACIÓN	DIÁMETRO (cm)	MASA RECIPIENTE LLENO DE HORMIGÓN (kg)	MASA DE RECIPIENTE VACÍO (kg)	MASA DE HORMIGÓN (kg)	VOLUMEN DE RECIPIENTE (m3)	TRABAJABILIDAD	CONSISTENCIA (cm)	HOMOGENEIDAD	DENSIDAD (kg/m3)	DENSIDAD PROMEDIO (kg/m3)
19	24/10/2022	15,0	23,80	11,39	12,41	0,005	BUENA	7,2	MUY BUENA	2340,87	2345,03
20		15,1	23,97	11,61	12,36	0,005				2300,67	
21		15,2	23,82	11,48	12,34	0,005				2266,82	
22		15,0	23,87	11,47	12,40	0,005				2338,99	
23		15,2	24,65	11,51	13,14	0,005				2413,78	
24		15,0	23,92	11,4	12,52	0,005				2361,62	
25		15,1	24,60	11,45	13,15	0,005				2447,71	
26		15,1	23,94	11,59	12,35	0,005				2298,80	
27		15,1	23,78	11,23	12,55	0,005				2336,03	

**Elaborado por:** Miranda Rogel María Fernanda.

**TABLA N°30.** Propiedades del hormigón adicionado el 15% de ceniza de biomasa en estado fresco.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 											
TEMA: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL CON HORMIGÓN AL EMPLEAR BIOMASA NATURAL TORREFACTADA											
PROPIEDADES DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO (HORMIGÓN ADICIONADO 15% CENIZA DE BIOMASA)											
NORMA:		NTE INEN 1578 - NTE INEN 1579									
REALIZADO POR:		Egda. Fernanda Miranda				ALTURA DEL CILINDRO:		30 cm			
PROBETA N°	FECHA DE ELABORACIÓN	DIÁMETRO (cm)	MASA RECIPIENTE LLENO DE HORMIGÓN (kg)	MASA DE RECIPIENTE VACÍO (kg)	MASA DE HORMIGÓN (kg)	VOLUMEN DE RECIPIENTE (m <sup>3</sup> )	TRABAJABILIDAD	CONSISTENCIA (cm)	HOMOGENEIDAD	DENSIDAD (kg/m <sup>3</sup> )	DENSIDAD PROMEDIO (kg/m <sup>3</sup> )
28	26/10/2022	15,1	22,97	10,21	12,76	0,005	BUENA	7	BUENA	2375,12	2310,18
29		15,1	23,92	10,27	13,65	0,005				2540,78	
30		15,0	23,75	10,97	12,78	0,005				2410,67	
31		15,0	22,98	11,41	11,57	0,005				2182,43	
32		15,2	24,07	11,49	12,58	0,005				2310,91	
33		15,1	22,96	10,98	11,98	0,005				2229,93	
34		15,0	22,93	11,39	11,54	0,005				2176,77	
35		15,1	23,46	11,41	12,05	0,005				2242,96	
36		15,0	23,76	11,45	12,31	0,005				2322,01	

**Elaborado por:** Miranda Rogel María Fernanda.



**TABLA N°31.** Propiedades del hormigón adicionado el 25% de ceniza de biomasa en estado fresco.

				UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL							
TEMA: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL CON HORMIGÓN AL EMPLEAR BIOMASA NATURAL TORREFACTADA											
PROPIEDADES DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO (HORMIGÓN ADICIONADO 25% CENIZA DE BIOMASA)											
NORMA:		NTE INEN 1578 - NTE INEN 1579									
REALIZADO POR:		Egda. Fernanda Miranda				ALTURA DEL CILINDRO:		30 cm			
PROBETA N°	FECHA DE ELABORACIÓN	DIÁMETRO (cm)	MASA RECIPIENTE LLENO DE HORMIGÓN (kg)	MASA DE RECIPIENTE VACÍO (kg)	MASA DE HORMIGÓN (kg)	VOLUMEN DE RECIPIENTE (m3)	TRABAJABILIDAD	CONSISTENCIA (cm)	HOMOGENEIDAD	DENSIDAD (kg/m3)	DENSIDAD PROMEDIO (kg/m3)
37	27/10/2022	15,1	22,98	11,47	11,51	0,005	BUENA	6	BUENA	2142,45	2305,23
38		15,1	23,79	11,77	12,02	0,005				2237,38	
39		15,0	23,95	11,48	12,47	0,005				2352,19	
40		15,1	23,82	11,61	12,21	0,005				2272,74	
41		15,2	24,32	10,21	14,11	0,005				2591,96	
42		15,1	22,99	11,49	11,50	0,005				2140,59	
43		15,1	23,90	11,39	12,51	0,005				2328,59	
44		15,0	23,86	11,45	12,41	0,005				2340,87	
45		15,2	24,15	11,41	12,74	0,005				2340,30	

**Elaborado por:** Miranda Rogel María Fernanda.

**Análisis:**



Como se muestra desde la tabla N°27 a la tabla N°31 se presenta las propiedades en estado fresco de cada uno de los hormigones con diferentes porcentajes de ceniza de biomasa añadida, en cuanto a la trabajabilidad y homogeneidad de cada una de las mezclas se consideran que tuvieron en forma general una buena trabajabilidad, así como una muy buena homogeneidad en las tres primeras mezclas 0%, 5% y 10% y en las mezclas del 15% y 25% una homogeneidad buena.

Con respecto a la consistencia se aprecia un asentamiento de las mezclas de hormigón que va desde los 6cm a los 7,2cm mismos valores que se encuentran dentro del rango de (6 a 9) cm para el cual fueron diseñadas las mezclas.

De acuerdo con las densidades presentadas de las diferentes mezclas de hormigón se obtuvo valores que van desde los 2375,73 kg/m<sup>3</sup> a los 2305,23 kg/m<sup>3</sup>, valores que van disminuyendo conforme se va adicionando los porcentajes de ceniza de biomasa en el hormigón; aun así, estos valores se encuentran dentro del rango de un hormigón ordinario que está entre los 2000 kg/m<sup>3</sup> a los 2600 kg/m<sup>3</sup>.

### 3.3.2 Propiedades del hormigón en estado endurecido.

TABLA N°32. Propiedades del hormigón convencional en estado endurecido.

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>							
<b>TEMA: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL CON HORMIGÓN AL EMPLEAR BIOMASA NATURAL TORREFACTADA</b>							
<b>PROPIEDADES DEL HORMIGÓN ENDURECIDO (HORMIGÓN ADICIONADO 5% CENIZA DE BIOMASA)</b>							
<b>NORMA:</b>		NTE INEN 1573					
<b>REALIZADO POR:</b>		Egda. Fernanda Miranda			<b>ALTURA DEL CILINDRO:</b>		30 cm
PROBETA N°	EDAD EN DÍAS	DIÁMETRO (cm)	ÁREA (cm)	VOLUMEN DE RECIPIENTE (m3)	MASA DEL HORMIGÓN (kg)	DENSIDAD (kg/m3)	DENSIDAD PROMEDIO (kg/m3)
10	7	15,2	181,46	0,005	12,25	2250,29	2321,16
11		15,1	179,08	0,005	12,38	2304,39	
12		15,2	181,46	0,005	12,66	2325,60	
13	14	15,1	179,08	0,005	12,88	2397,46	
14		15,1	179,08	0,005	12,75	2373,26	
15		15,2	181,46	0,005	12,11	2224,57	
16	28	15,0	176,71	0,005	12,43	2344,65	
17		15,1	179,08	0,005	12,37	2302,53	
18		15,1	179,08	0,005	12,72	2367,67	

**Elaborado por:** Miranda Rogel María Fernanda.

**TABLA N°33.** Propiedades del hormigón adicionado el 5% de ceniza de biomasa en estado endurecido.

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 							
<b>TEMA: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL CON HORMIGÓN AL EMPLEAR BIOMASA NATURAL TORREFACTADA</b>							
<b>PROPIEDADES DEL HORMIGÓN ENDURECIDO (HORMIGÓN ADICIONADO 5% CENIZA DE BIOMASA)</b>							
<b>NORMA:</b>		NTE INEN 1573					
<b>REALIZADO POR:</b>		Egda. Fernanda Miranda			<b>ALTURA DEL CILINDRO:</b>		30 cm
<b>PROBETA N°</b>	<b>EDAD EN DÍAS</b>	<b>DIÁMETRO (cm)</b>	<b>ÁREA (cm)</b>	<b>VOLUMEN DE RECIPIENTE (m3)</b>	<b>MASA DEL HORMIGÓN (kg)</b>	<b>DENSIDAD (kg/m3)</b>	<b>DENSIDAD PROMEDIO (kg/m3)</b>
10	7	15,2	181,46	0,005	12,25	2250,29	2321,16
11		15,1	179,08	0,005	12,38	2304,39	
12		15,2	181,46	0,005	12,66	2325,60	
13	14	15,1	179,08	0,005	12,88	2397,46	
14		15,1	179,08	0,005	12,75	2373,26	
15		15,2	181,46	0,005	12,11	2224,57	
16	28	15,0	176,71	0,005	12,43	2344,65	
17		15,1	179,08	0,005	12,37	2302,53	
18		15,1	179,08	0,005	12,72	2367,67	

**Elaborado por:** Miranda Rogel María Fernanda.

**TABLA N°34.** Propiedades del hormigón adicionado el 10% de ceniza de biomasa en estado endurecido.

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 							
<b>TEMA: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL CON HORMIGÓN AL EMPLEAR BIOMASA NATURAL TORREFACTADA</b>							
<b>PROPIEDADES DEL HORMIGÓN ENDURECIDO (HORMIGÓN ADICIONADO 10% CENIZA DE BIOMASA)</b>							
<b>NORMA:</b>		NTE INEN 1573					
<b>REALIZADO POR:</b>		Egda. Fernanda Miranda			<b>ALTURA DEL CILINDRO:</b>		30 cm
<b>PROBETA N°</b>	<b>EDAD EN DÍAS</b>	<b>DIÁMETRO (cm)</b>	<b>ÁREA (cm)</b>	<b>VOLUMEN DE RECIPIENTE (m3)</b>	<b>MASA DEL HORMIGÓN (kg)</b>	<b>DENSIDAD (kg/m3)</b>	<b>DENSIDAD PROMEDIO (kg/m3)</b>
19	7	15,0	176,71	0,005	12,32	2323,90	2313,88
20		15,1	179,08	0,005	12,18	2267,16	
21		15,1	179,08	0,005	12,23	2276,47	
22	14	15,2	181,46	0,005	12,29	2257,63	
23		15,1	179,08	0,005	12,97	2414,21	
24		15,2	181,46	0,005	12,27	2253,96	
25	28	15,0	176,71	0,005	12,75	2405,01	
26		15,1	179,08	0,005	12,31	2291,36	
27		15,0	176,71	0,005	12,38	2335,22	



**Elaborado por:** Miranda Rogel María Fernanda.

**TABLA N°35.** Propiedades del hormigón adicionado el 15% de ceniza de biomasa en estado endurecido.

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 							
<b>TEMA: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL CON HORMIGÓN AL EMPLEAR BIOMASA NATURAL TORREFACTADA</b>							
<b>PROPIEDADES DEL HORMIGÓN ENDURECIDO (HORMIGÓN ADICIONADO 15% CENIZA DE BIOMASA)</b>							
<b>NORMA:</b>		NTE INEN 1573					
<b>REALIZADO POR:</b>		Egda. Fernanda Miranda			<b>ALTURA DEL CILINDRO:</b>		30 cm
<b>PROBETA N°</b>	<b>EDAD EN DÍAS</b>	<b>DIÁMETRO (cm)</b>	<b>ÁREA (cm)</b>	<b>VOLUMEN DE RECIPIENTE (m3)</b>	<b>MASA DEL HORMIGÓN (kg)</b>	<b>DENSIDAD (kg/m3)</b>	<b>DENSIDAD PROMEDIO (kg/m3)</b>
28	7	15,0	176,71	0,005	11,91	2246,56	2301,11
29		15,0	176,71	0,005	12,26	2312,58	
30		15,1	179,08	0,005	12,31	2291,36	
31	14	15,1	179,08	0,005	12,33	2295,08	
32		15,1	179,08	0,005	12,46	2319,28	
33		15,1	179,08	0,005	12,40	2308,11	
34	28	15,2	181,46	0,005	12,35	2268,66	
35		15,1	179,08	0,005	12,31	2291,36	
36		15,1	179,08	0,005	12,77	2376,98	

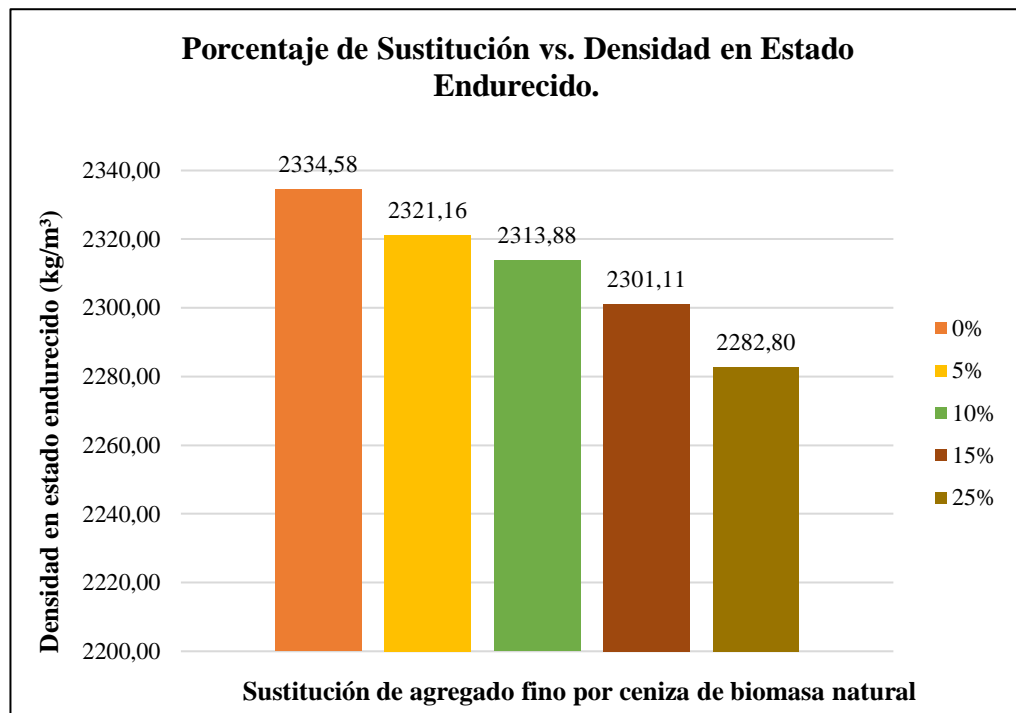
**Elaborado por:** Miranda Rogel María Fernanda.

**TABLA N°36.** Propiedades del hormigón adicionado el 25% de ceniza de biomasa en estado endurecido.

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 							
<b>TEMA: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL CON HORMIGÓN AL EMPLEAR BIOMASA NATURAL TORREFACTADA</b>							
<b>PROPIEDADES DEL HORMIGÓN ENDURECIDO (HORMIGÓN ADICIONADO 25% CENIZA DE BIOMASA)</b>							
<b>NORMA:</b>		NTE INEN 1573					
<b>REALIZADO POR:</b>		Egda. Fernanda Miranda			<b>ALTURA DEL CILINDRO:</b>		30 cm
<b>PROBETA N°</b>	<b>EDAD EN DÍAS</b>	<b>DIÁMETRO (cm)</b>	<b>ÁREA (cm)</b>	<b>VOLUMEN DE RECIPIENTE (m3)</b>	<b>MASA DEL HORMIGÓN (kg)</b>	<b>DENSIDAD (kg/m3)</b>	<b>DENSIDAD PROMEDIO (kg/m3)</b>
37	7	15,1	179,08	0,005	11,43	2127,56	2282,80
38		15,1	179,08	0,005	11,77	2190,84	
39		15,0	176,71	0,005	12,41	2340,87	
40	14	15,1	179,08	0,005	12,20	2270,88	
41		15,1	179,08	0,005	13,86	2579,87	
42		15,1	179,08	0,005	11,16	2077,30	
43	28	15,1	179,08	0,005	12,35	2298,80	
44		15,1	179,08	0,005	12,41	2309,97	
45		15,1	179,08	0,005	12,62	2349,06	

**Elaborado por:** Miranda Rogel María Fernanda

**GRÁFICO N°5.** Densidades de los hormigones con reemplazo porcentual de ceniza de biomasa.



**Elaborado por:** Miranda Rogel María Fernanda.

**Análisis:**

Con respecto a las tablas N°32 a la N°36 se determinan los valores de la densidad de los hormigones en estado endurecido, estos valores se enlazan en el gráfico N°5 que muestra la variación de densidades entre los porcentajes correspondientes de adición de biomasa donde la densidad del hormigón va disminuyendo cada vez que aumenta el porcentaje, no obstante el valor de las densidades siguen encontrándose en el rango de un hormigón convencional u ordinario que va entre 2000 kg/m<sup>3</sup> a los 2600 kg/m<sup>3</sup>.



### 3.3.3 Comportamiento a compresión de los cilindros de hormigón con $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ .

**TABLA N°37.** Resistencia a compresión del hormigón a los 7 días de edad.

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 							
<b>TEMA: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL CON HORMIGÓN AL EMPLEAR BIOMASA NATURAL TORREFACTADA</b>							
<b>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN A LOS 7 DÍAS DE EDAD; <math>f'c=210 \text{ kg/cm}^2</math></b>							
<b>NORMA:</b>		NTE INEN 1573		<b>ORIGEN:</b>		Laboratorios FICM	
<b>REALIZADO POR:</b>		Egda. Fernanda Miranda			<b>ALTURA DEL CILINDRO:</b>		30 cm
<b>Número de Cilindro</b>	<b>% Ceniza de biomasa</b>	<b>Área (cm)</b>	<b>Carga P (KN)</b>	<b>Carga P (Kg)</b>	<b>Esf. Compresión (Kg/cm2)</b>	<b>Esf. Compresión Promedio (Kg/cm2)</b>	<b>Rangos (kg/cm2)</b>
1	0	179,08	270,99	27632,78	156,25	144,62	RI=136,5
2		179,08	228,20	23269,71	131,54		PR=147
3		176,71	253,16	25814,83	146,07		RS=157,5
10	5	181,46	293,99	29978,12	154,25	148,85	RI=136,5
11		179,08	244,20	24901,25	140,64		PR=147
12		181,46	269,16	27446,38	154,67		RS=157,5
19	10	176,71	238,99	24369,69	154,15	149,87	RI=136,5
20		179,08	236,20	24085,48	150,98		PR=147
21		179,08	245,16	24999,06	153,47		RS=157,5
28	15	176,71	247,99	25287,43	151,25	149,69	RI=136,5
29		176,71	247,20	25207,17	150,34		PR=147
30		179,08	268,16	27344,40	162,47		RS=157,5
37	25	179,08	237,99	24267,71	152,55	146,59	RI=136,5
38		179,08	221,20	22555,91	148,64		PR=147
39		176,71	231,16	23571,46	153,57		RS=157,5



**Elaborado por:** Miranda Rogel María Fernanda.

#### **Análisis:**

Como se muestra en la tabla N°37, Se puede apreciar los valores que se obtuvieron de la resistencia a la compresión de 3 cilindros por cada porcentaje añadido de ceniza de biomasa natural ensayándose un total de 15 probetas a los 7 días de edad, en donde el valor más alto que se obtuvo fue de  $149,87 \text{ kg/cm}^2$  en el hormigón con el incremento del 10%, sin embargo el resto de las probetas de los hormigones con porcentaje añadidos alcanzaron valores mayores a diferencia del hormigón normal que alcanzó un valor de  $144,62 \text{ kg/cm}^2$  valor que está por debajo del rango promedio; aun así cumplen las condiciones del comportamiento de un hormigón a la edad de 7 días,

siguiendo los rangos correspondientes: rango inferior 136,5 kg/cm<sup>2</sup> que corresponde al 65%, rango promedio 147 kg/cm<sup>2</sup> que corresponde al 70% y rango superior 157,5 kg/cm<sup>2</sup> que corresponde al 75%.

**TABLA N°38.** Resistencia a compresión del hormigón a los 14 días de edad.

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>							
<b>TEMA: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL CON HORMIGÓN AL EMPLEAR BIOMASA NATURAL TORREFACTADA</b>							
<b>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN A LOS 14 DÍAS DE EDAD; f'c=210 kg/cm<sup>2</sup></b>							
<b>NORMA:</b>		NTE INEN 1573		<b>ORIGEN:</b>		Laboratorios FICM	
<b>REALIZADO POR:</b>		Egda. Fernanda Miranda		<b>ALTURA DEL CILINDRO:</b>		30 cm	
<b>Número de Cilindro</b>	<b>% Ceniza de biomasa</b>	<b>Área (cm)</b>	<b>Carga P (KN)</b>	<b>Carga P (Kg)</b>	<b>Esf. Compresión (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Esf. Compresión Promedio (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Rangos (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
4	0	179,08	318,45	32472,97	175,14	170,97	RI=168
5		179,08	280,88	28641,89	163,16		PR=178,5
6		181,46	343,50	35027,02	174,59		RS=189
13	5	181,46	344,45	35124,23	171,14	176,70	RI=168
14		179,08	364,88	37207,50	185,36		PR=178,5
15		181,46	350,50	35740,83	173,59		RS=189
22	10	181,46	323,45	32982,83	180,34	180,12	RI=168
23		179,08	309,88	31599,07	180,67		PR=178,5
24		181,46	335,50	34211,25	179,34		RS=189
31	15	179,08	348,45	35532,12	182,14	179,16	RI=168
32		179,08	315,88	32210,90	166,36		PR=178,5
33		179,08	381,50	38901,95	188,98		RS=189
40	25	179,08	299,45	30535,51	171,14	175,51	RI=168
41		179,08	291,88	29763,58	176,98		PR=178,5
42		179,08	315,50	32171,82	178,39		RS=189



**Elaborado por:** Miranda Rogel María Fernanda.

### **Análisis:**

Como se muestra en la tabla N°38, Se puede apreciar los valores que se obtuvieron de la resistencia a la compresión de 3 cilindros por cada porcentaje añadido de ceniza de biomasa natural ensayando 15 probetas totales transcurridos 14 días de edad, en donde se muestra que el valor mayor alcanzado a la resistencia a compresión es de 180,12 kg/cm<sup>2</sup> perteneciente al hormigón adicionado el 10% de ceniza de biomasa natural a diferencia del hormigón convencional que tuvo una resistencia menor de 170,97 kg/cm<sup>2</sup> sin embargo se encuentra en los rangos correspondientes: rango inferior 168

kg/cm<sup>2</sup> que corresponde al 80%, rango promedio 178,5 kg/cm<sup>2</sup> que corresponde al 85% y rango superior 189 kg/cm<sup>2</sup> que corresponde al 90%.

**TABLA N°39.** Resistencia a compresión del hormigón a los 28 días de edad.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>					
<b>TEMA: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL CON HORMIGÓN AL EMPLEAR BIOMASA NATURAL TORREFACTADA</b>							
<b>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN A LOS 28 DÍAS DE EDAD; f<sub>c</sub>=210 kg/cm<sup>2</sup></b>							
<b>NORMA:</b>		NTE INEN 1573		<b>ORIGEN:</b>		Laboratorios FICM	
<b>REALIZADO POR:</b>		Egda. Fernanda Miranda			<b>ALTURA DEL CILINDRO:</b>		30 cm
<b>Número de Cilindro</b>	<b>% Ceniza de biomasa</b>	<b>Área (cm)</b>	<b>Carga P (KN)</b>	<b>Carga P (Kg)</b>	<b>Esf. Compresión (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Esf. Compresión Promedio (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Rangos (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
7	0	179,08	357,15	36419,16	216,25	213,88	RI=199,5
8		179,08	350,15	35705,36	211,43		PR=210
9		181,46	355,49	36249,88	213,95		RS=220,5
16	5	176,71	383,15	39070,42	214,01	213,57	RI=199,5
17		179,08	434,15	44270,97	208,23		PR=210
18		179,08	362,49	36963,69	218,46		RS=220,5
25	10	176,71	392,32	40005,50	217,14	214,03	RI=199,5
26		179,08	401,83	40975,25	213,36		PR=210
27		176,71	351,68	35861,37	211,59		RS=220,5
34	15	181,46	398,32	40617,33	213,14	210,37	RI=199,5
35		179,08	382,83	39037,79	199,36		PR=210
36		179,08	384,68	39226,44	218,59		RS=220,5
43	25	179,08	347,32	35416,78	214,14	209,70	RI=199,5
44		179,08	344,83	35162,87	210,36		PR=210
45		179,08	330,68	33719,97	204,59		RS=220,5

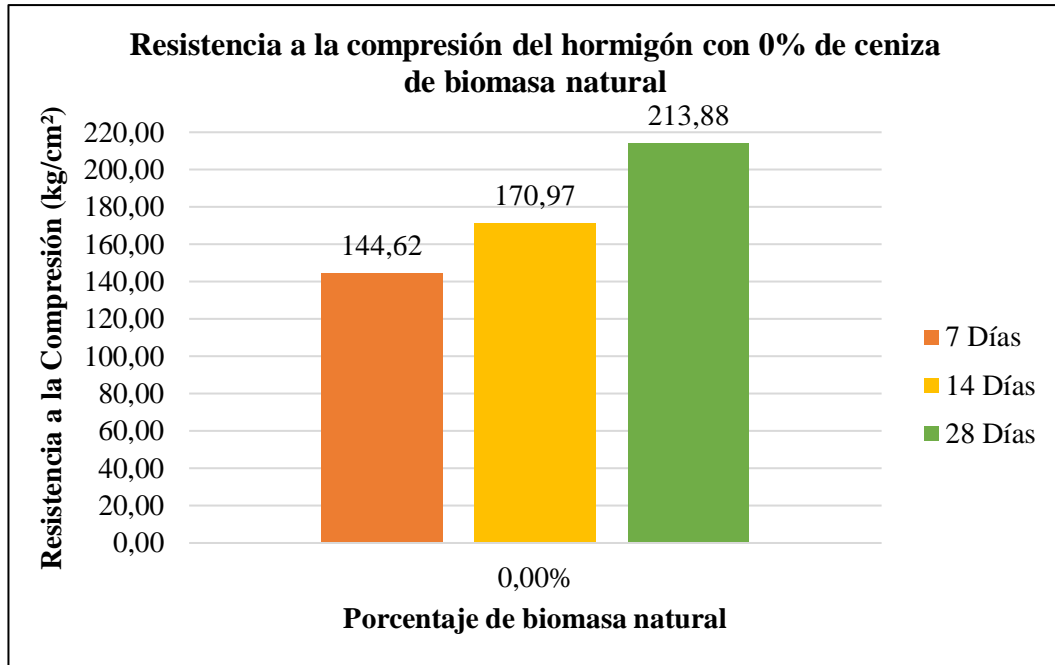
**Elaborado por:** Miranda Rogel María Fernanda.

### **Análisis:**

Como se muestra en la tabla N°39, Se puede apreciar los valores que se obtuvieron de la resistencia a la compresión de 3 cilindros por cada porcentaje añadido de ceniza de biomasa natural ensayando 15 probetas totales transcurridos 28 días de edad, en donde se muestra que el valor más alto alcanzado a la resistencia a compresión es de 214,03 kg/cm<sup>2</sup> perteneciente al hormigón adicionado el 10% de ceniza de biomasa natural, muy seguido del hormigón convencional tradicional con una resistencia de 213,88 kg/cm<sup>2</sup> a diferencia del hormigón adicionado el 25% de ceniza que tuvo la menor resistencia a la compresión con un valor de 209,70 kg/cm<sup>2</sup>; sin embargo todos los valores se encuentran en los rangos correspondientes para hormigones de 28 días de

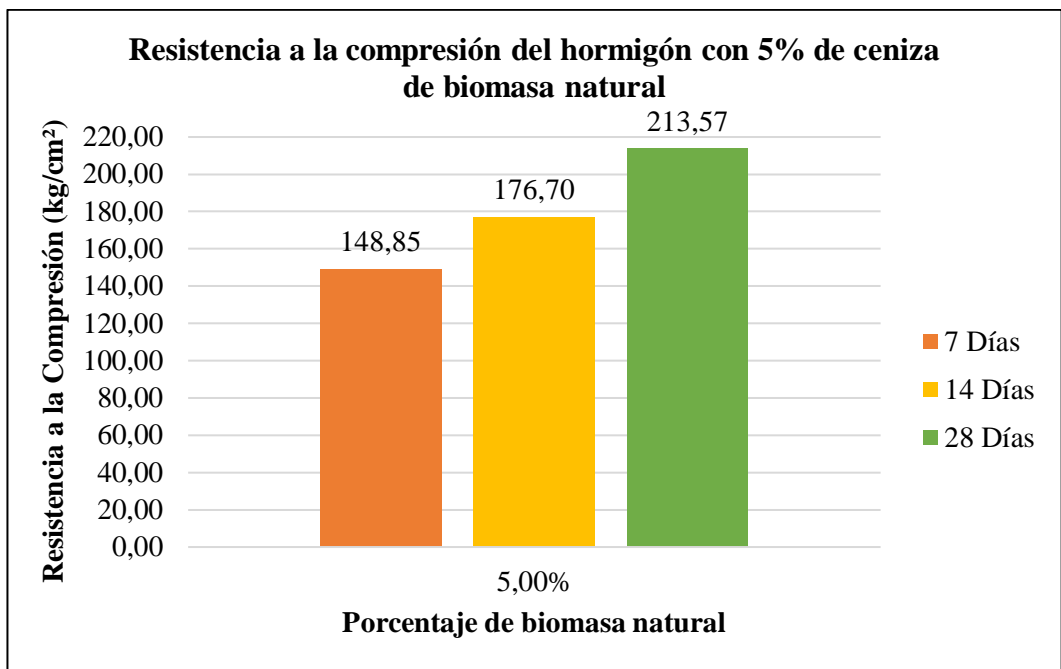
edad: rango inferior 168 kg/cm<sup>2</sup> que corresponde al 80%, rango promedio 178,5 kg/cm<sup>2</sup> que corresponde al 85% y rango superior 189 kg/cm<sup>2</sup> que corresponde al 90%.

**GRÁFICO N°6.** Resistencia a la compresión del hormigón convencional.



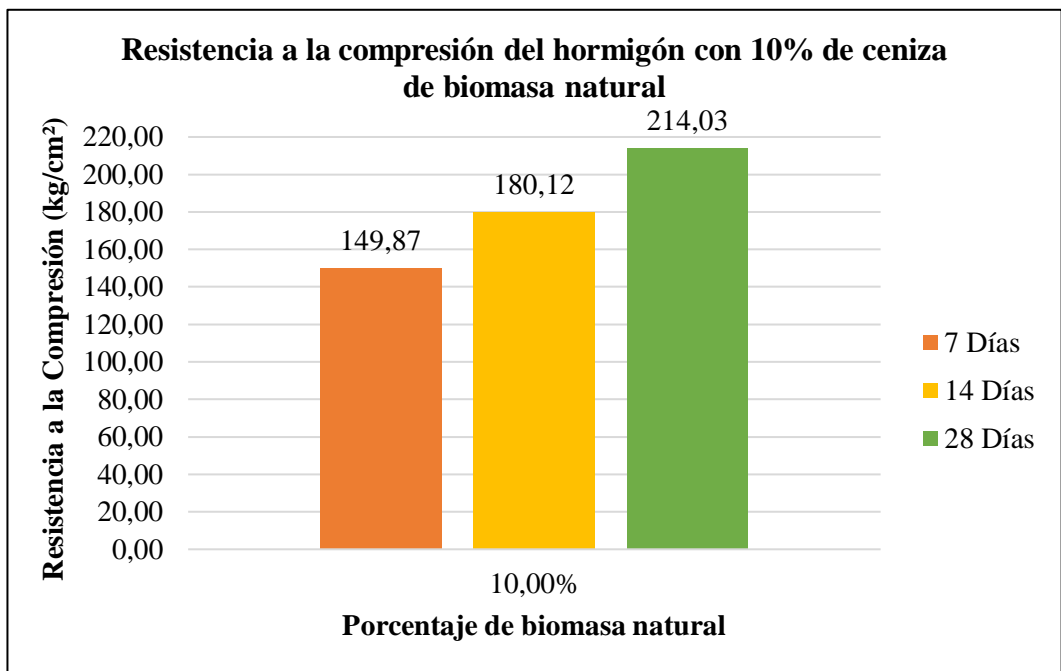
**Elaborado por:** Miranda Rogel María Fernanda.

**GRÁFICO N°7.** Resistencia a la compresión del hormigón adicionado 5% de ceniza de biomasa natural.



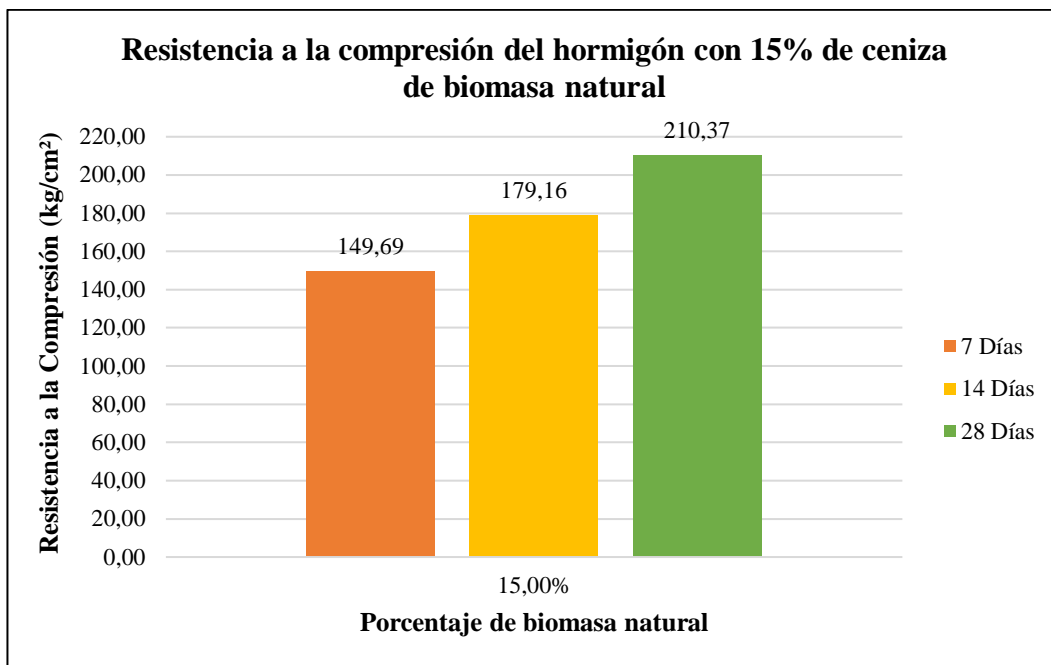
**Elaborado por:** Miranda Rogel María Fernanda.

**GRÁFICO N°8.** Resistencia a la compresión del hormigón adicionado 10% de ceniza de biomasa natural.



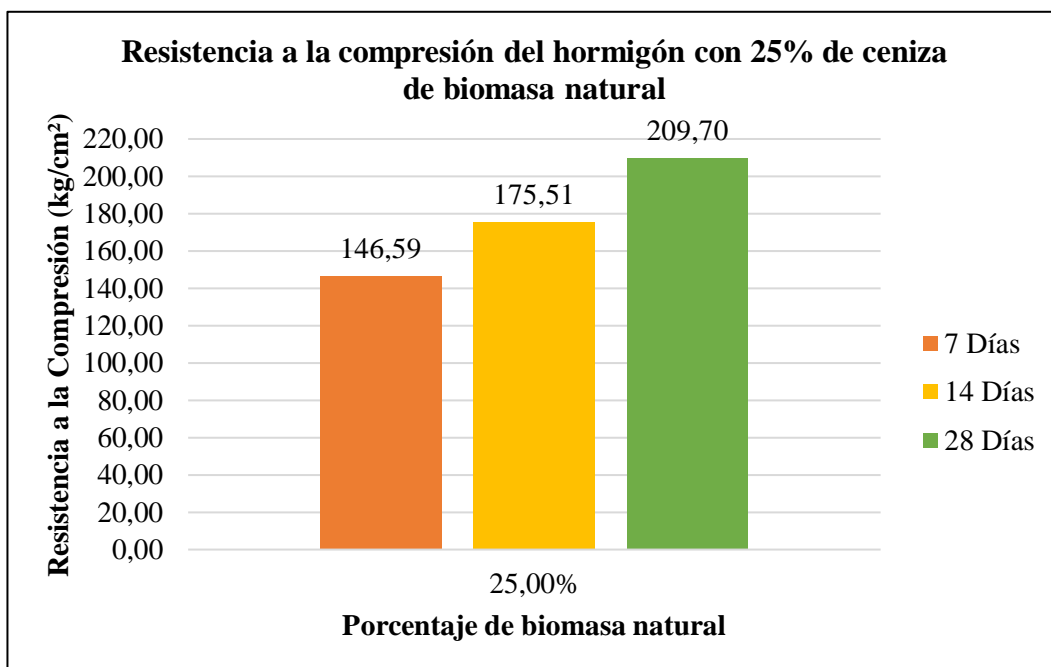
**Elaborado por:** Miranda Rogel María Fernanda.

**GRÁFICO N°9.** Resistencia a la compresión del hormigón adicionado 15% de ceniza de biomasa natural.



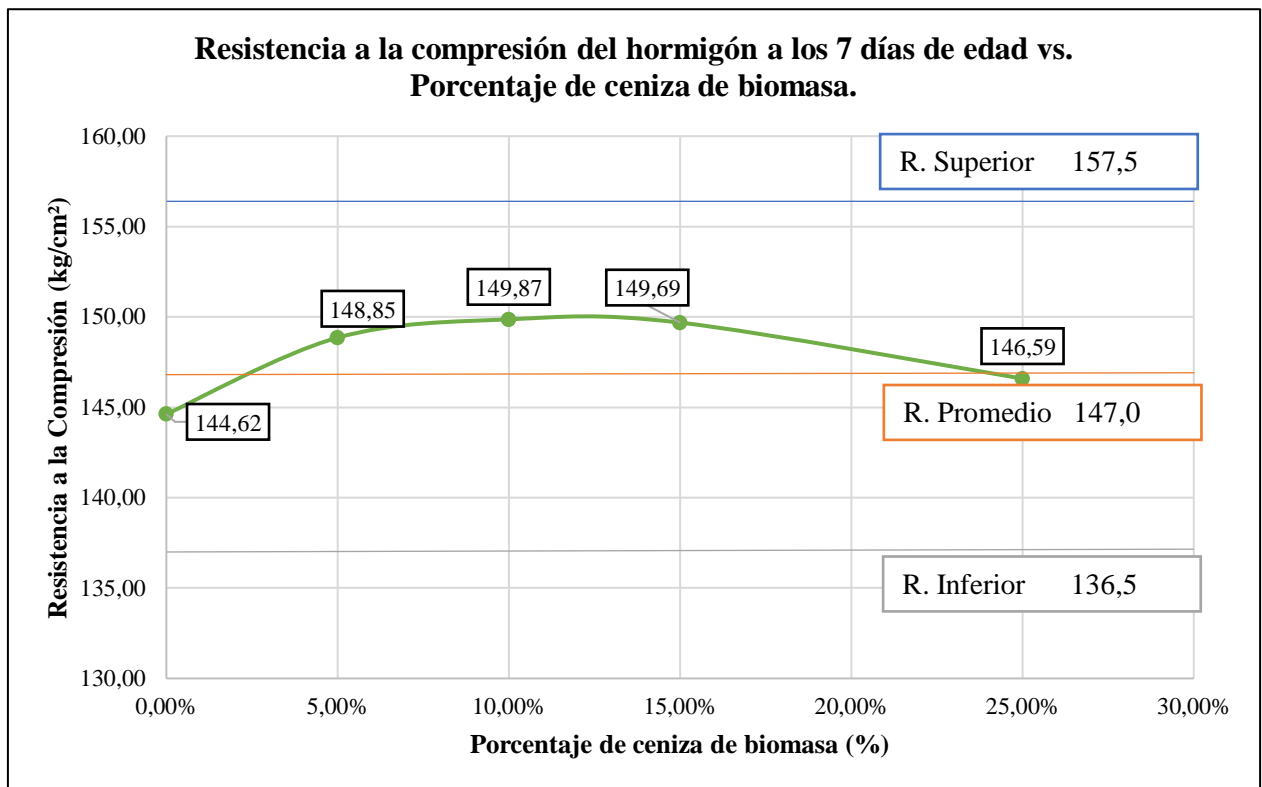
**Elaborado por:** Miranda Rogel María Fernanda.

**GRÁFICO N°10.** Resistencia a la compresión del hormigón adicionado 25% de ceniza de biomasa natural.



**Elaborado por:** Miranda Rogel María Fernanda.

**GRÁFICO N°11.** Resistencia a la compresión del hormigón a los 7 días de edad vs porcentaje de ceniza de biomasa añadido.

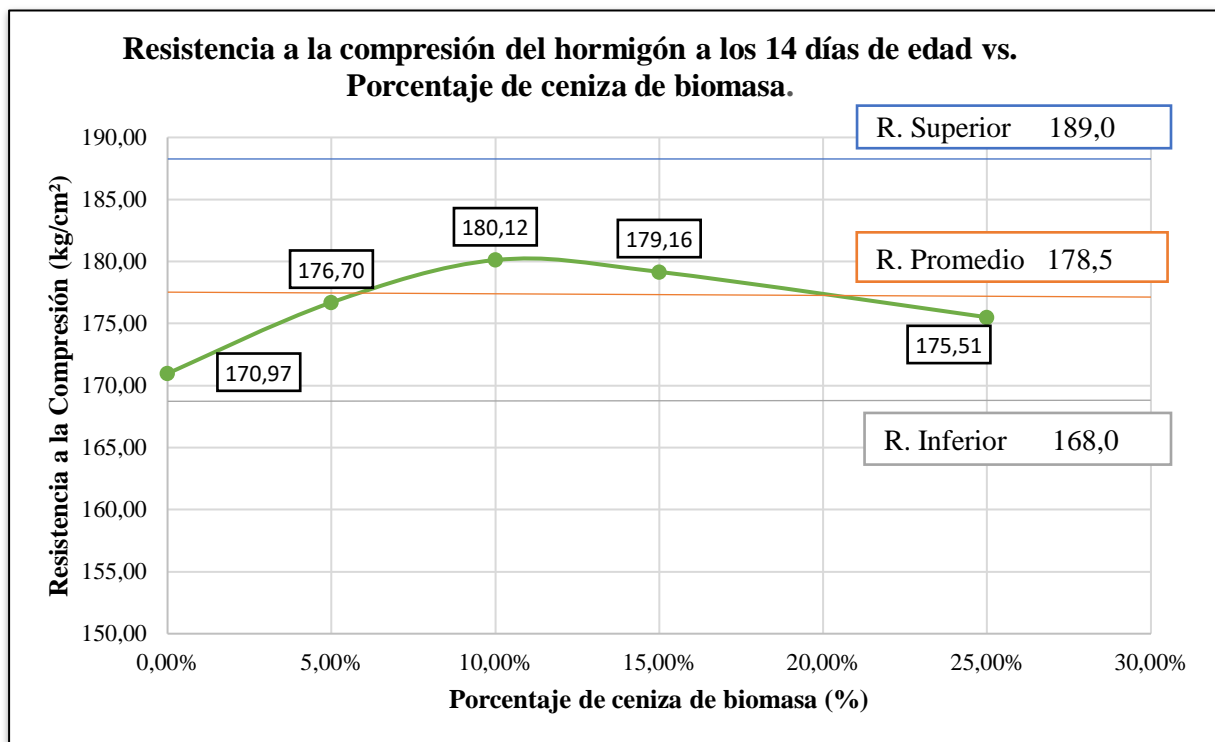


**Elaborado por:** Miranda Rogel María Fernanda.

### **Análisis:**

Como se muestra en el gráfico N°11, Se puede apreciar los valores que se obtuvieron de la resistencia a la compresión de las probetas de hormigón - ceniza de biomasa natural a los 7 días de edad en donde se puede identificar que la muestra que contiene el 10% de ceniza añadida es la que presenta una mayor resistencia a la compresión con respecto al resto de muestras, valores muy similares a esta muestra se visualiza en los hormigones del 5% y 15% mientras que los valores más bajos en cuanto a la resistencia presentan los hormigones del 25% de ceniza añadida y el hormigón común convencional.

**GRÁFICO N°12.** Resistencia a la compresión del hormigón a los 14 días de edad vs porcentaje de ceniza de biomasa añadido.



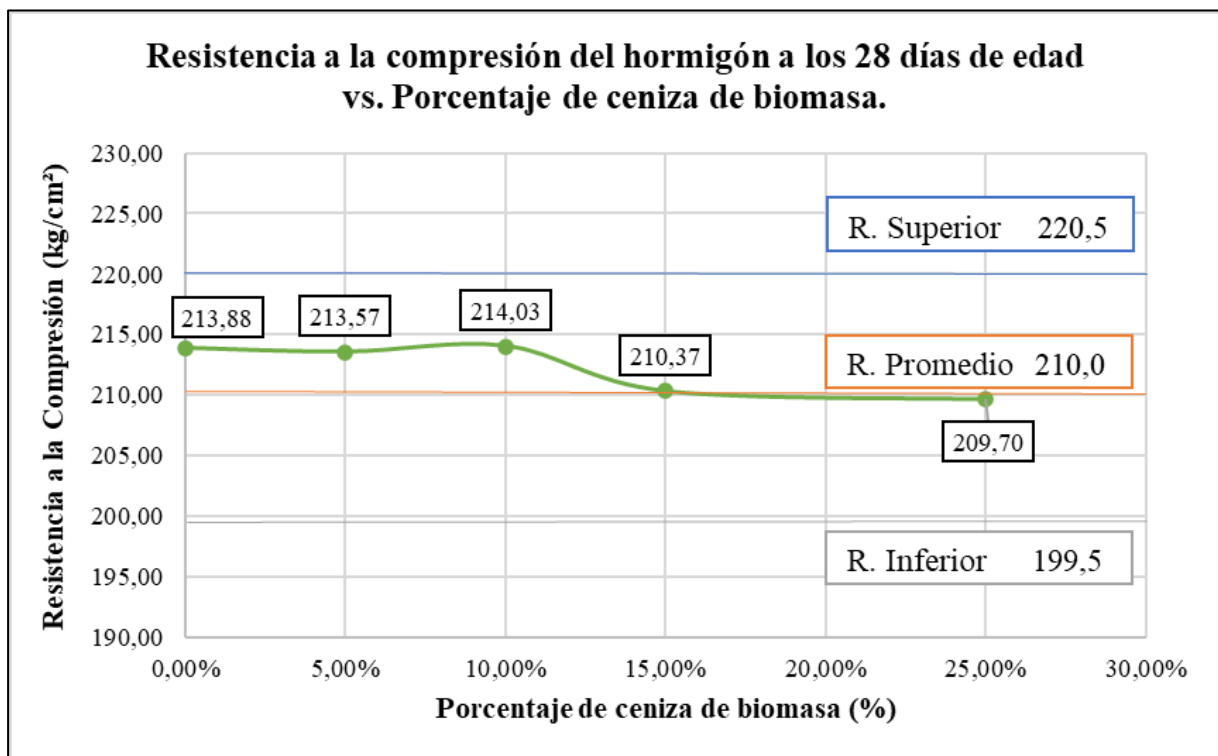
**Elaborado por:** Miranda Rogel María Fernanda.

**Análisis:**

Como se muestra en el gráfico N°12, Se puede apreciar los valores que se obtuvieron de la resistencia a la compresión de las probetas de hormigón - ceniza de biomasa natural a los 14 días de edad en donde se puede identificar que la muestra que contiene el 10% de ceniza añadida sigue siendo la que presenta una mayor resistencia a la compresión con respecto al resto de muestras, valores muy similares a esta muestra se visualiza en los hormigones del 5% ,15% y 25% de ceniza añadida mientras que el valor más bajo en cuanto a la resistencia a compresión presenta el hormigón común convencional con un valor de 170,97 kg/cm<sup>2</sup>. Sin embargo, todos los hormigones presentan ideales características ya que se encuentran dentro de los rangos para un hormigón de 14 días de edad.



**GRÁFICO N°13.** Resistencia a la compresión del hormigón a los 28 días de edad vs porcentaje de ceniza de biomasa añadido.

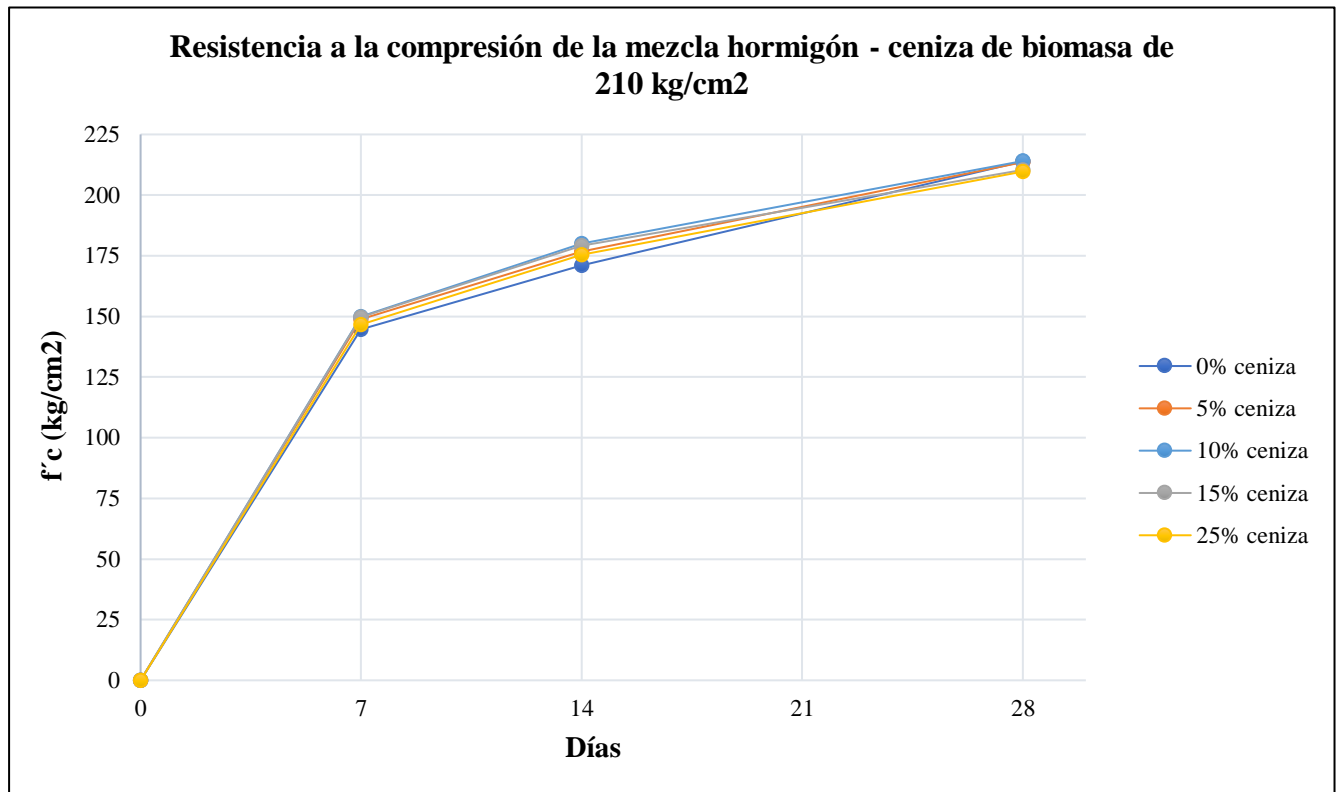


**Elaborado por:** Miranda Rogel María Fernanda.

#### **Análisis:**

Como se muestra en el gráfico N°13, Se puede apreciar los valores que se obtuvieron de la resistencia a la compresión de las probetas de hormigón - ceniza de biomasa natural a los 28 días de edad en donde se puede identificar que la muestra que contiene el 10% de ceniza añadida sigue siendo la que presenta una mayor resistencia a la compresión con respecto al resto de muestras, valores muy similares a esta muestra se visualiza en los hormigones del 5% de ceniza añadida y del hormigón convencional, mientras que el valor más bajo en cuanto a la resistencia a compresión presenta el hormigón con 25% de ceniza añadida con un valor de 209,70 kg/cm<sup>2</sup> a este le sigue el hormigón con el 15% de ceniza de biomasa añadida con valor de 210,37 kg/cm<sup>2</sup>. Sin embargo, todos los hormigones presentan características de resistencia similares ya que no existe mucha diferencia entre sus valores y se encuentran dentro de los rangos para un hormigón de 28 días de edad.

**GRÁFICO N°14.** Resistencia a la compresión de la mezcla hormigón – ceniza de biomasa de 210 kg/cm<sup>2</sup>.



**Elaborado por:** Miranda Rogel María Fernanda.

#### **Análisis:**

Como se muestra en el gráfico N°14, Se puede apreciar los valores que se obtuvieron de la resistencia a la compresión de las probetas de hormigón - ceniza de biomasa natural a los 7, 14 y 28 días de edad, la gráfica indica el porcentaje correspondiente al 10% de adición de ceniza de biomasa natural es el más alto con respecto al resto de porcentajes sin embargo los demás hormigones no tienen valores muy lejanos a este es por eso que todas las probetas de hormigón cumplen con las características de un hormigón de 21MPa y en ciertos porcentajes superan este valor.

### 3.4 Verificación de la hipótesis.

Mediante el desarrollo de este trabajo experimental se busca verificar el análisis del comportamiento de un hormigón convencional tradicional y hormigón adicionado cenizas de biomasa natural, para ello es importante constatar la hipótesis planteada “El hormigón adicionado cenizas de biomasa torrefacta mantiene o mejora su resistencia a la compresión”.

Se evidencia que la adición de cenizas de biomasa natural en el hormigón en las edades tempranas como a los 7 y 14 días aumenta su resistencia a diferencia del hormigón convencional en un 5% aproximadamente, sin embargo al alcanzar los 28 días de edad el hormigón adicionado el 10% de cenizas de biomasa obtiene la resistencia a compresión más alta con  $214,03 \text{ kg/cm}^2$  a diferencia del de 25% con la resistencia a compresión más baja de  $209,70 \text{ kg/cm}^2$  mientras que el hormigón convencional tradicional alcanza una resistencia de  $213,88 \text{ kg/cm}^2$ , planteado esto se establece que los hormigones con adición de cenizas de biomasa a edades tempranas alcanzan mayor resistencia que el hormigón convencional pero a la edad de 28 días tienden a bajar en un pequeño porcentaje su resistencia, aun así se considera que los hormigones mantienen una resistencia a la compresión aceptable comprobándose así la hipótesis planteada.

En cuanto a la densidad real del hormigón al adicionar los porcentajes de ceniza de biomasa tiende a disminuir su valor, pero mantiene la densidad de un hormigón común, no obstante, se plantea la idea de que al ir aumentando más porcentaje de ceniza de biomasa llegue el hormigón a alcanzar una densidad real de un hormigón liviano, pero con la misma resistencia de un hormigón convencional.

## CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones.

- El hormigón elaborado con el 10% de adición parcial de ceniza de biomasa fue la concentración con mejores características obtenidas, tanto en su estado fresco y endurecido demostrando una consistencia aceptable, una trabajabilidad muy buena y resistencia adecuada. El valor de su resistencia alcanzada a los 28 días de edad fue de  $214,03 \text{ kg/cm}^2$  sobrepasando el valor de resistencia del hormigón tradicional de  $213,88 \text{ kg/cm}^2$ .
- La mezcla de hormigón con la adición del 10% de ceniza de biomasa natural supera el comportamiento en la resistencia a la compresión establecida, sin embargo, al ir aumentando el porcentaje de adición de cenizas comienza a disminuir progresivamente afectando de forma considerable las propiedades mecánicas del hormigón principalmente en la resistencia a compresión.
- Los hormigones adicionados ceniza de biomasa natural en reemplazo parcial del agregado fino, mantienen la densidad del hormigón en estado endurecido encontrándose en el rango de  $2000 \text{ kg/m}^3$  a los  $2600 \text{ kg/m}^3$  para un hormigón convencional tradicional.
- El incremento de cenizas de biomasa natural al hormigón ocasiona un aumento de la resistencia a la compresión hasta el 15% en edades tempranas de 7 y 14 días, aunque al llegar a los 28 días de curado presenta una ligera disminución de un 2% en la resistencia a la compresión, pero siempre se mantienen en los rangos promedios establecidos.
- En base al cumplimiento de la resistencia que se pretendió alcanzar que es de  $210 \text{ kg/cm}^2$ , el hormigón sugerido será el hormigón con sustitución parcial de ceniza de biomasa del 10%, ya que presentó un incremento de la resistencia a compresión debido a los componentes químicos que posee la ceniza entre ellos el  $\text{SiO}_2$  y  $\text{CaO}$  compuestos fundamentales cementantes responsables del desarrollo de la resistencia del cemento.
- Al sustituir el agregado fino por ceniza de biomasa natural parcialmente, mediante un análisis de precios se determinó el costo por  $\text{m}^3$  del hormigón con el 10% es de 115,37 dólares mientras que el costo por  $\text{m}^3$  del hormigón

convencional tradicional es de 113,97 dólares, demostrándose una leve diferencia de precio del 1,2% aproximadamente, precio que es considerable ya que con el hormigón con ceniza de biomasa escogida se obtendrá más resistencia, al aplicarlo para grandes cantidades en obras será también beneficioso económicamente, además que cuando existan situaciones como escasez del agregado fino en el sitio o cuando este presenta un precio elevado por motivo de dificultad de transporte será la opción más viable.

- Las características obtenidas tanto en estado fresco y endurecido del hormigón adicionado parcialmente ceniza de biomasa natural indican la factibilidad de su aplicación al igual que un hormigón tradicional abriendo nuevas oportunidades para la aplicación de este material en diferentes campos de la construcción, minimizando impactos negativos tanto ambientales como económicos con el creciente uso que tiene la biomasa como combustible.

#### **4.2 Recomendaciones.**

- Antes de realizar la elaboración del hormigón se debe verificar el contenido de humedad de los agregados que serán parte de la mezcla para comprobar el estado que presentan y ver si se necesita realizar correcciones de humedad en la respectiva dosificación del hormigón.
- Durante la elaboración de los hormigones se debe revisar el estado de cada encofrado que se va a utilizar y descartar el que tenga alguna anomalía, además se los debe ajustar bien para evitar derramamientos de la mezcla, así también al momento de engrasar el encofrado no es adecuado engrasarlo en gran cantidad ya que el aceite puede afectar a la probeta de hormigón al momento de realizar el ensayo a compresión.
- Además de sustituir el agregado fino parcialmente por las cenizas de biomasa sería óptimo realizar este reemplazo por el cemento ya que en su composición química las cenizas de biomas presentan similares componentes con el cemento.
- El estado de la biomasa a usar debe encontrarse en lo más posible seco para acelerar su proceso de torrefacción.

- Una vez vaciada la mezcla de hormigón en los cilindros deben manejarse con el mejor cuidado posible para no formar alguna irregularidad cuando ya estén en un estado endurecido produciendo dificultados al momento de aplicar el ensayo de resistencia a compresión.
- Se recomendaría seguir con este tipo de investigaciones ya que se puede reducir de cierta forma el impacto ambiental por medio de la reducción de materias primas en la elaboración de un hormigón tradicional, y a la vez elaborar compuestos a base de residuos sólidos dando alternativas nuevas para el manejo de estos, ya que existe gran variedad de residuos con los que se puede tratar.
- Se recomienda realizar este tipo de investigaciones experimentales con cenizas de biomasa natural en función de reemplazo parcial por el cemento ya que es un material que genera mayores emisiones de CO<sub>2</sub>, además de que tienen propiedades similares entre estos dos materiales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] C. Simonnet, Hormigón: Historia de un material, Donostia - San Sebastián: NEREA, 2009.
- [2] R. M. Rodríguez, El concreto Fundamentos y Nuevas tecnologías, Madrid: Corona, 2017.
- [3] O. I. F. T. Natalia Fuentes Molina, «Ciencia en Ingeniería Neogranadina,» 4 Septiembre 2018. [En línea]. Available: <https://www.redalyc.org/pdf/911/91142868006.pdf>. [Último acceso: 7 Septiembre 2022].
- [4] I. A. Roldan Luis Velasco, «Enfoque UTE,» 4 Diciembre 2020. [En línea]. Available: <https://www.redalyc.org/pdf/5722/572260849002.pdf>. [Último acceso: 14 Agosto 2022].
- [5] L. G. P. L. F. A. Luis Velasco Roldan, «Scielo,» 19 Octubre 2015. [En línea]. Available: [http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1390-65422015000400023&lng=es&nrm=iso](http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-65422015000400023&lng=es&nrm=iso). [Último acceso: 20 Enero 2022].
- [6] M. D. A. B. Martín Elías Laza Ospina, «repositorio.unicordoba,» 24 Marzo 2020. [En línea]. Available: <https://repositorio.unicordoba.edu.co/bitstream/handle/ucordoba/3613/araujo-bravomoises-lazaospinamartin.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Último acceso: 7 Enero 2021].
- [7] S. A. F. Goncalves C.F, «Revista ALCONPAT, Scielo,» 12 Septiembre 2021. [En línea]. Available: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-68352021000200002&script=sci\\_arttext&lng=es](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-68352021000200002&script=sci_arttext&lng=es). [Último acceso: 10 Octubre 2022].

- [8] K. C. Ramón Irene Álvarez, «Alternative to portland cement as a storage media for solar thermal energy,» *ELSEVIER*, vol. I, n° 319, p. 14, 2021.
- [9] A. Beraldo, «ResearchGate,» 31 Mayo 2016. [En línea]. Available: [https://www.researchgate.net/profile/Antonio-Beraldo-2/publication/303687708\\_Compuesto\\_biomasa\\_vegetal\\_cemento/links/574d92a808ae061b33033cd6/Compuesto-biomasa-vegetal-cemento.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Antonio-Beraldo-2/publication/303687708_Compuesto_biomasa_vegetal_cemento/links/574d92a808ae061b33033cd6/Compuesto-biomasa-vegetal-cemento.pdf). [Último acceso: 23 Abril 2022].
- [10] B. M. E. V. L. Quesada Dolores, «incorporación de diferentes arcillas del sur de España en el desarrollo de sistemas cementantes de cenizas de biomasa de pinar y olivar-metacaolín,» *Dialnet*, vol. II, n° ISBN 978-84-09-19596-1, pp. 312-319, 2019.
- [11] R. T. A. modesto, «Repositorios UTA,» 23 Noviembre 2015. [En línea]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/17066/1/Tesis%20945%20-%20Rojas%20Torres%20%20c3%81ngel%20Modesto.pdf>. [Último acceso: 20 Enero 2022].
- [12] S. B. R. Martirena Hernández, «Revistas CSIC,» 24 Noviembre 2018. [En línea]. Available: [file:///C:/Users/Hp/Downloads/392-Article%20Text-507-1-10-20100730%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Hp/Downloads/392-Article%20Text-507-1-10-20100730%20(1).pdf). [Último acceso: 5 Mayo 2022].
- [13] D. V. A. Arbeláez Pérez Oscar Felipe, «Efecto de la incorporación de ceniza de bagazo de caña y cáscara de arroz en las propiedades mecánicas del hormigón,» *ELSEVIER*, vol. I, n° 353, pp. 1-9, 11 Abril 2021.
- [14] P. V. Santiago, «ResearchGate,» 11 Octubre 2018. [En línea]. Available: [https://www.researchgate.net/profile/Santiago-Pena-5/publication/311171316\\_La\\_biomasa\\_Importancia\\_tipos\\_y\\_caracteristicas\\_y\\_formas\\_de\\_preparacion/links/583ecc5d08ae8e63e617d4dc/La-biomasa-](https://www.researchgate.net/profile/Santiago-Pena-5/publication/311171316_La_biomasa_Importancia_tipos_y_caracteristicas_y_formas_de_preparacion/links/583ecc5d08ae8e63e617d4dc/La-biomasa-)



Importancia-tipos-y-caracteristicas-y-formas-de-preparacion.pdf. [Último acceso: 27 Agosto 2022].

- [15] ONU, «Agenda 2030 Desarrollo Sostenible,» UNHCR ACNUR, 3 Enero 2021. [En línea]. Available: [https://www.acnur.org/agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible.html?gclid=Cj0KCQiAkMGcBhCSARIsAIW6d0CaeDhvPq4kMEqjRocrBCDPTk-RLImp5PHQ0EmTyli3KY43wzMu-TsaAoKpEALw\\_wcB](https://www.acnur.org/agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible.html?gclid=Cj0KCQiAkMGcBhCSARIsAIW6d0CaeDhvPq4kMEqjRocrBCDPTk-RLImp5PHQ0EmTyli3KY43wzMu-TsaAoKpEALw_wcB). [Último acceso: 12 Septiembre 2022].
  
- [16] M. T. Mauro, «Repositorio UPV,» 21 Agosto 2017. [En línea]. Available: <http://hdl.handle.net/10251/16879>. [Último acceso: 1 Abril 2022].
  
- [17] G. R. H. Holcim, «Cementos Holcim Supercem,» Lorem, España, 2013.
  
- [18] H. Walter, Manual tecnológico del cemento, Barcelona: Reverté S.A, 2015.
  
- [19] N. I. 156, «Cemento hidráulico. Determinación de la densidad,» Quito, 2009.
  
- [20] B. K. Otto Labahn, Prontuario del cemento, España: Editores técnicos asociados S.A, 1996.
  
- [21] J. R. Izaguirre, Características y correcta aplicación de los diversos tipos de cemento, Barcelona: Gersa, 1987.
  
- [22] R. J. Hidago F, «Innovación Educativa,» 18 Mayo 2018. [En línea]. Available: [https://archivos.csif.es/archivos/andalucia/ensenanza/revistas/csicsif/revista/pdf/Numero\\_18/JAVIER\\_RUIZ\\_2.pdf](https://archivos.csif.es/archivos/andalucia/ensenanza/revistas/csicsif/revista/pdf/Numero_18/JAVIER_RUIZ_2.pdf). [Último acceso: 5 Agosto 2022].

- [23] F. Gomá, El cemento Portland y otros aglomerantes, Barcelona: HOSPITALET, 2001.
- [24] M. Santiago, Folleto de Ensayo de Materiales II, Ambato.
- [25] N. I. 1. «Cemento Portland Requisitos,» Norma Técnica Ecuatoriana, Quito, 2010.
- [26] L. O. G. Salcedo, «UNC,» 5 Enero 2018. [En línea]. Available: [https://sistemamid.com.ar/panel/uploads/biblioteca/2015-06-29\\_03-47-17126326.pdf](https://sistemamid.com.ar/panel/uploads/biblioteca/2015-06-29_03-47-17126326.pdf). [Último acceso: 4 Febrero 2022].
- [27] L. O. G. Salcedo, «DOC PLAYER,» 24 Enero 2008. [En línea]. Available: <https://docplayer.es/5769748-Conceptos-generales-sobre-los-agregados-luis-octavio-gonzalez-salcedo-ingeniero-civil-m-sc-profesor-asociado.html>. [Último acceso: 12 Mayo 2022].
- [28] M. P. Merino Díaz Lisete, «Scielo, Revista Hábitat Sustentable,» 12 Junio 2021. [En línea]. Available: [https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0719-07002022000100090&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0719-07002022000100090&script=sci_arttext). [Último acceso: 27 Abril 2022].
- [29] «ASTM C127-80: Método de ensayo para determinar la densidad, densidad relativa (peso específico) y absorción del árido grueso.,» Philadelphia, 2007.
- [30] NTE INEN 857, «Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso.,» Norma Técnica Ecuatoriana, Quito, 2010.
- [31] ASTM C-33, «Concrete Aggregates,» 2003.

- [32] L. G. S. Tipantasig, «Comportamiento del hormigón reforzado con fibras de acero y su influencia en sus propiedades mecánicas en el cantón Ambato.,» Ambato, 2014.
- [33] ASTM C 128-80, «Método de ensayo para determinar la densidad, densidad relativa (peso específico) y absorción del árido fino.,» ASTM C 128-07a Standard test Method for Density, Philadelphia, 2007.
- [34] NTE INEN 0856, «Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino.,» Norma Técnica Ecuatoriana, Quito, 2010.
- [35] ASTM C-125, «Standard terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates.,» 2003.
- [36] NTE INEN 862, «Áridos para hormigón. Determinación del contenido total de humedad.,» Norma Técnica Ecuatoriana, Quito, 2011.
- [37] U. (BUN-CA), «FOCER BUN-CA.,» 23 Septiembre 2002. [En línea]. Available: <https://www.bun-ca.org/wp-content/uploads/2019/02/BIOMASA.pdf>. [Último acceso: 12 Mayo 2022].
- [38] N. S. Fernando, Energía de la Biomasa, Zaragoza: CIRCE, 2010.
- [39] L. E. Q. G. Julián Rodrigo Quinteros González, «Revista Digital de Ingeniería Ambiental.,» 15 Agosto 2018. [En línea]. Available: <https://revistasdigitales.uniboyaca.edu.co/index.php/reiv3/article/view/109/108>. [Último acceso: 8 Julio 2022].
- [40] A. H. M. A. J.L. García Calvo, «INTECIN Universidad de Buenos Aires.,» 20 Abril 2017. [En línea]. Available:

[https://digital.csic.es/bitstream/10261/220523/1/Caracterizaci%  
de%20residuos%20procedentes%20de%20los%20procesos%20de%20combusti%  
de%20biomasa.pdf](https://digital.csic.es/bitstream/10261/220523/1/Caracterizaci%c3%b3n%20de%20residuos%20procedentes%20de%20los%20procesos%20de%20combusti%c3%b3n%20de%20biomasa.pdf). [Último acceso: 25 Mayo 2022].

- [41] F. Jesús., «IBERDROLA Energía Renovable Biomasa,» 4 Abril 2019. [En línea]. Available: <http://media1.webgarden.es/files/media1:4befe685c2de5.pdf.upl/E.Biomassa.pdf>. [Último acceso: 9 Mayo 2022].
- [42] R. G. W. Arroyo Vinuesa Juan Sebastián, «INGENIUS Revista de Ciencia y Tecnología,» 6 Octubre 2019. [En línea]. Available: <https://www.redalyc.org/journal/5055/505554800003/505554800003.pdf>. [Último acceso: 5 Septiembre 2022].
- [43] A. P. E. F. P. G. Toscano, «Elsevier Science Direct,» 1 Marzo 2015. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016236114011430?via%3Dihub>. [Último acceso: 27 Mayo 2022].
- [44] M. B., «Revistas Memoria de Trabajos de Difusión Científica y Técnica,» 22 Agosto 2018. [En línea]. Available: <http://www.revistas.um.edu.uy/index.php/ingenieria/article/view/366/435>. [Último acceso: 16 Septiembre 2022].
- [45] M. d. M. A. España, «CEDEX Ministerio de Fomento España,» 23 Diciembre 2014. [En línea]. Available: [http://www.cedexmateriales.es/upload/docs/es\\_CENIZASPROCEDENTES DELAINCINERACIONDEBIOMASADIC2014.pdf](http://www.cedexmateriales.es/upload/docs/es_CENIZASPROCEDENTES DELAINCINERACIONDEBIOMASADIC2014.pdf). [Último acceso: 27 Mayo 2022].
- [46] C. P. G. M. B. F. D. Ana Álvarez Rodríguez, «DIGIBUO Departamento de Energía, Universidad de Oviedo,» 13 Agosto 2017. [En línea]. Available: [https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/17777/TFM\\_Ana\\_](https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/17777/TFM_Ana_)

AlvarezProteg.pdf;jsessionid=88B2437820DB80185E08DFDB3215A504?s  
equence=6. [Último acceso: 27 Mayo 2022].





- [47] E. P. Carbajal, *Tópicos de Tecnología del Concreto en el Perú*, Lima: Colegio de Ingenieros del Perú, 1998.
  
- [48] M. T. R. A. M. J. R. M. Ángel Francisco Nistal Cordero, «Revista Tecnología y Desarrollo,» 3 Noviembre 2021. [En línea]. Available: [https://revistas.uax.es/index.php/tec\\_des/article/view/577](https://revistas.uax.es/index.php/tec_des/article/view/577). [Último acceso: 6 Septiembre 2022].
  
- [49] V. C. F. B. Castro Javier, «SciELO,» 23 Diciembre 2019. [En línea]. Available: [https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-50732009000300005&script=sci\\_arttext&tlng=pt](https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-50732009000300005&script=sci_arttext&tlng=pt). [Último acceso: 30 Mayo 2022].
  
- [50] F. G. Cabrera-Covarrubias y Gómez-Soberón, «Propiedades en estado fresco de morteros con árido reciclado de hormigón,» Universidad del Norte Colombia, Barranquilla, 2017.
  
- [51] NTE INEN 1578, «Hormigón de cemento hidráulico. Determinación del asentamiento.,» Norma Técnica Ecuatoriana, Quito, 2010.
  
- [52] ASTM C-143, «Standard Test Method for Slump of Hydraulic Cement Concrete,» 2003.
  
- [53] NTE INEN 1579, «Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la densidad, rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico),» Norma Técnica Ecuatoriana, Quito, 2013.

- [54] Escuela de Ingeniería Técnica Civil, «Revista Materiales II,» 14 Julio 2017. [En línea]. Available: [https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6203/mod\\_resource/content/1/Hormigon\\_02.\\_Tipos\\_y\\_propiedades.pdf](https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6203/mod_resource/content/1/Hormigon_02._Tipos_y_propiedades.pdf). [Último acceso: 11 Octubre 2022].
- [55] NTE INEN 1573, «Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico.,» Norma Técnica Ecuatoriana, Quito, 2010.
- [56] ASTM C-39, «Compressive Strenght of Cylindrical Concrete Specimens,» 2003.
- [57] NTE INEN 1576, «Hormigón de cemento hidráulico. Elaboración y curado en obra de especímenes para ensayo.,» Norma Técnica Ecuatoriana, Quito, 2011.
- [58] NTE INEN 2528, «Cámaras de curado, gabinetes húmedos, tanques para almacenamiento en agua y cuartos para elaborar mezclas, utilizados en ensayos de cemento hidráulico y hormigón. Requisitos,» Norma Técnica Ecuatoriana, Quito, 2010.
- [59] H. S. Roberto, Metodología de la Investigación, España: McGraw - Hill Interandina, 2007.
- [60] NTE INEN 1855-2, «Hormigones. Hormigón preparado en obra. Requisitos.,» Norma Técnica Ecuatoriana, Quito, 2015.
- [61] NTE INEN 3124, «Hormigón. Elaboración y curado de especímenes de ensayo en el laboratorio.,» Norma Técnica Ecuatoriana, Quito, 2017.

- [62] A. C192, «Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory.,» 2003.
- [63] NTE INEN 696, «Áridos. Análisis granulométrico en los áridos. Fino y Grueso.,» Norma Técnica Ecuatoriana, Quito, 2011.
- [64] NTE INEN 858, «Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos.,» Norma Técnica Ecuatoriana, Quito, 2010.

## ANEXOS





### 6.1 Anexos fotográficos.

FOTOGRAFÍA 1	FOTOGRAFÍA 2
	
Tamizaje del agregado fino.	Toma de pesos retenidos parciales por cada tamiz del agregado fino.
FOTOGRAFÍA 3	FOTOGRAFÍA 4
	
Tamizaje del agregado grueso.	Toma de pesos retenidos parciales por cada tamiz del agregado grueso.



<p align="center"><b>FOTOGRAFÍA 5</b></p>	<p align="center"><b>FOTOGRAFÍA 6</b></p>
	
<p align="center">Preparación de grava para ensayo de densidad real.</p>	<p align="center">Peso de la canastilla más grava en condición SSS.</p>
<p align="center"><b>FOTOGRAFÍA 7</b></p>	<p align="center"><b>FOTOGRAFÍA 8</b></p>
	
<p align="center">Muestra de grava secada partícula por partícula.</p>	<p align="center">Toma de peso de la muestra de agregado grueso.</p>





<b>FOTOGRAFÍA 9</b>	<b>FOTOGRAFÍA 10</b>
	
<p>Toma del peso del recipiente para el ensayo de densidad compactada de la mezcla.</p>	<p>Compactación de la mezcla de áridos con la varilla.</p>
<b>FOTOGRAFÍA 11</b>	<b>FOTOGRAFÍA 12</b>
	
<p>Enrose del material después de las tres capas correspondientes.</p>	<p>Peso de la mezcla de material más envase.</p>

<p align="center"><b>FOTOGRAFÍA 13</b></p>	<p align="center"><b>FOTOGRAFÍA 14</b></p>
	
<p align="center">Peso del picnómetro vacío.</p>	<p align="center">Colocación de la muestra en el picnómetro.</p>
<p align="center"><b>FOTOGRAFÍA 15</b></p>	<p align="center"><b>FOTOGRAFÍA 16</b></p>
	
<p align="center">Peso del picnómetro más gasolina.</p>	<p align="center">Proceso para sacar los vacíos de aire que se contiene dentro del picnómetro por la mezcla del cemento y gasolina.</p>





<p align="center"><b>FOTOGRAFÍA 17</b></p>	<p align="center"><b>FOTOGRAFÍA 18</b></p>
	
<p>Peso del agregado grueso para la mezcla de hormigón.</p>	<p>Peso del agregado fino y ceniza de biomasa para la mezcla de hormigón.</p>
<p align="center"><b>FOTOGRAFÍA 19</b></p>	<p align="center"><b>FOTOGRAFÍA 20</b></p>
	
<p>Mezcla del hormigón de forma manual.</p>	<p>Mezcla de hormigón en concretera.</p>

<b>FOTOGRAFÍA 21</b>	<b>FOTOGRAFÍA 22</b>
	
<p>Medición del asentamiento de la mezcla de hormigón.</p>	<p>Elaboración de cilindros de hormigón.</p>
<b>FOTOGRAFÍA 23</b>	<b>FOTOGRAFÍA 24</b>
	
<p>Peso de la probeta de hormigón en estado endurecido.</p>	<p>Curado de cilindros de hormigón.</p>

<b>FOTOGRAFÍA 25</b>	<b>FOTOGRAFÍA 26</b>
	
<p>Preparación de cilindros para el ensayo de resistencia a la compresión.</p>	<p>Colocación del cilindro en la máquina a compresión.</p>
<b>FOTOGRAFÍA 27</b>	<b>FOTOGRAFÍA 28</b>
	
<p>Ensayo de la resistencia a compresión del cilindro de hormigón.</p>	<p>Obtención de la ceniza de biomasa.</p>


## 6.2 Anexos costo - beneficio.

**TABLA N°40.** Costo hormigón convencional de 210 kg/cm<sup>2</sup> para 1m<sup>3</sup>.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>					
<b>TEMA: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL CON HORMIGÓN AL EMPLEAR BIOMASA NATURAL TORREFACTADA</b>							
<b>ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>							
DETALLE:		Hormigón simple 210 kg/cm <sup>2</sup>		RUBRO:		1 de 2	
EQUIPO:		CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
DESCRIPCIÓN		A	B	C=A*B	R	D=C*R	
Herramienta menor 5% de M.O.						0,33	
Concreteira		1	4	4	0,5	2	
<b>SUBTOTAL M</b>						2,33	
MANO DE OBRA:		CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
DESCRIPCIÓN		A	B	C=A*B	R	D=C*R	
Albañil (EO D2)		1	3,3	3,3	0,5	1,65	
Peón (EO E2)		3	3,26	9,78	0,5	4,89	
<b>SUBTOTAL N</b>						6,54	
MATERIALES:		UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO		
DESCRIPCIÓN			A	B	C=A*B		
Cemento Holcim tipo GU		saco	7,00	9,00	63,00		
Arena		m <sup>3</sup>	0,65	13,00	8,40		
Ripio		m <sup>3</sup>	1,08	13,50	14,52		
Agua		lts	0,22	0,80	0,18		
<b>SUBTOTAL O</b>						86,10	
TRANSPORTE:		UNIDAD	DISTANCIA	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
DESCRIPCIÓN				A	B	C=A*B	
<b>SUBTOTAL P</b>							
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)						94,97	
COSTO INDIRECTO 20%						18,99	
OTROS INDIRECTOS:						0,00	
COSTO TOTAL DEL RUBRO:						113,97	
<b>VALOR UNITARIO</b>						<b>113,97</b>	

**Elaborado por:** Miranda Rogel María Fernanda.

**TABLA N°41.** Costo hormigón adicionado parcialmente ceniza de biomasa en un 10% para 1m<sup>3</sup>.

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>					
<b>TEMA: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL CON HORMIGÓN AL EMPLEAR BIOMASA NATURAL TORREFACTADA</b>					
<b>ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>					
DETALLE:		Hormigón con 10% de ceniza		RUBRO:	1 de 2
<b>EQUIPO:</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>TARIFA</b>	<b>COSTO HORA</b>	<b>RENDIMIENTO</b>	<b>COSTO</b>
DESCRIPCIÓN	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Herramienta menor 5% de M.O.					0,33
Concreteira	1	4	4	0,5	2
Maquina de trituración	1	3	3	0,5	1,5
Horno de calcinación	1	1	1	0,5	0,5
<b>SUBTOTAL M</b>					4,33
<b>MANO DE OBRA:</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>JORNAL/HR</b>	<b>COSTO HORA</b>	<b>RENDIMIENTO</b>	<b>COSTO</b>
DESCRIPCIÓN	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Albañil (EO D2)	1	3,3	3,3	0,5	1,65
Peón (EO E2)	3	3,26	9,78	0,5	4,89
<b>SUBTOTAL N</b>					6,54
<b>MATERIALES:</b>		<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>COSTO</b>
DESCRIPCIÓN			A	B	C=A*B
Cemento Holcim tipo GU		saco	7,00	9,00	63,00
Arena		m <sup>3</sup>	0,58	13,00	7,56
Ripio		m <sup>3</sup>	1,08	13,50	14,52
Ceniza de biomasa		m <sup>3</sup>	0,06	0,08	0,01
Agua		lts	0,22	0,80	0,18
<b>SUBTOTAL O</b>					85,27
<b>TRANSPORTE:</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>DISTANCIA</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>TARIFA</b>	<b>COSTO</b>
DESCRIPCIÓN			A	B	C=A*B
<b>SUBTOTAL P</b>					
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					96,14
COSTO INDIRECTO 20%					19,23
OTROS INDIRECTOS:					0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO:					115,37
<b>VALOR UNITARIO</b>					<b>115,37</b>

**Elaborado por:** Miranda Rogel María Fernanda.