



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

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

TEMA:

**“DISEÑO DE UN HORMIGÓN LIVIANO ELABORADO CON CENIZA DE
MADERA COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL AGREGADO FINO”**

AUTORA: Karol Natalí Vivas Villarreal

TUTOR: Ing. Mg. Diego Chérrez Gavilanes

Ambato – Ecuador

2016

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Certifico que el presente trabajo experimental fue elaborado por Karol Natalí Vivas Villarreal, egresada de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, bajo mi dirección de manera personal e inédita y ha sido concluido bajo el tema **“DISEÑO DE UN HORMIGÓN LIVIANO ELABORADO CON CENIZA DE MADERA COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL AGREGADO FINO”**

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Ambato, Junio de 2016

Ing. Mg. Diego Chérrez Gavilanes

DOCENTE TUTOR DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

AUTORÍA DEL TRABAJO

El trabajo experimental con tema “**DISEÑO DE UN HORMIGÓN LIVIANO ELABORADO CON CENIZA DE MADERA COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL AGREGADO FINO**” incluye criterios emitidos, contenidos presentados, ideas, análisis, síntesis que son de mi exclusiva responsabilidad en calidad de autora de este trabajo investigativo.

Ambato, Junio de 2016

Karol Natalí Vivas Villarreal
AUTORA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

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 proceso 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 trabajo experimental 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, 09 de Junio de 2016

Autor,

Karol Natalí Vivas Villarreal

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos Profesores Calificadores, una vez revisado, aprueban el informe de investigación, sobre el tema **“DISEÑO DE UN HORMIGÓN LIVIANO ELABORADO CON CENIZA DE MADERA COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL AGREGADO FINO”**, de Karol Natalí Vivas Villarreal egresada de la carrera de Ingeniería Civil, el mismo que guarda conformidad con las disposiciones reglamentarias emitidas por el Centro de Estudios de Pregrado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman.

Ambato, Junio de 2016

Ing. Mg. Byron Cañizares
PROFESOR CALIFICADOR

Ing. Mg. Eduardo Paredes
PROFESOR CALIFICADOR

DEDICATORIA

A Dios por el camino recorrido
A mis hermanos, por ser mi fuerza y templanza
A mis padres, por su amor y apoyo
A la vida por lo aprendido y aprehendido

Karol Vivas

AGRADECIMIENTO

Un trabajo de investigación es siempre fruto de ideas, proyectos y esfuerzos previos que corresponden a varias personas, por lo cual expreso mi reconocimiento de gratitud al Ingeniero Diego Chérrez; quien como tutor de tesis supo orientar este proyecto hasta su culminación.

Surge también del reconocimiento y del apoyo vital que nos ofrecen aquellos que nos estiman, sin el cual no tendríamos la fuerza y energía que nos anima a continuar.

Karol Vivas

ÍNDICE GENERAL

A. PÁGINAS PRELIMINARES

CARÁTULA	¡Error! Marcador no definido.
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	II
AUTORÍA DEL TRABAJO	III
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	V
DEDICATORIA	VI
AGRADECIMIENTO	VII
ÍNDICE GENERAL	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	XII
ÍNDICE DE GRÁFICOS	XIV
RESUMEN EJECUTIVO	XV

B. TEXTO

CAPÍTULO I ANTECEDENTES

1.1	TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL	1
1.2	ANTECEDENTES	1
1.3	JUSTIFICACIÓN	4
1.4	OBJETIVOS	5
1.4.1	Objetivo General	5
1.4.2	Objetivos Específicos	5

CAPÍTULO II FUNDAMENTACIÓN

2.1	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	6
2.1.1	AGREGADOS	6
2.1.2	TIPOS DE AGREGADOS	7
2.1.2.1	Por su procedencia	7
2.1.2.2	Por su Tamaño	7

2.1.2.3	Por su Gravedad Específica.....	7
2.1.3	AGREGADOS LIGEROS	8
2.1.4	CENIZA DE MADERA	8
2.1.4.1	Producción de ceniza de madera.....	8
2.1.5	MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN.....	9
2.1.5.1	Materiales Metálicos.....	9
2.1.5.2	Materiales Orgánicos	9
2.1.5.3	Materiales Aglomerantes.	9
2.1.6	HORMIGÓN.....	10
2.1.6.1	Componentes del hormigón.....	10
2.1.6.1.1	Cemento.....	10
2.1.6.1.2	Agua de amasado.....	11
2.1.6.1.3	Aditivos	11
2.1.6.1.4	Agregados.....	12
2.1.6.1.4.1	Especificaciones para el agregado fino	12
2.1.6.1.4.2	Especificaciones para el agregado grueso	14
2.1.6.2	Propiedades del Hormigón en estado fresco.....	16
2.1.6.2.1	Trabajabilidad.....	16
2.1.6.2.2	Homogeneidad.....	16
2.1.6.2.3	Consistencia.....	16
2.1.6.2.4	Densidad del Hormigón Fresco	18
2.1.6.3	Propiedades del Hormigón en estado endurecido.....	18
2.1.6.3.1	Resistencia a la Compresión.....	18
2.1.6.3.2	Densidad del Hormigón Endurecido	19
2.1.7	TIPOS DE HORMIGÓN	19
2.1.7.1	Hormigón Normal.....	19
2.1.7.2	Hormigón Liviano.....	19
2.1.7.3	Hormigón Lanzado	19
2.1.7.4	Hormigón Ciclópeo.....	19
2.1.8	HORMIGÓN LIVIANO	20
2.1.8.1	Tipos básicos de Hormigón Liviano.....	20
2.1.8.2	Propiedades funcionales del Hormigón Liviano.....	20
2.1.8.2.1	Comportamiento ante el fuego	20
2.1.8.2.2	Comportamiento Térmico	21
2.1.8.2.3	Comportamiento Acústico.....	21
2.1.8.3	Aplicaciones del Hormigón Liviano	21

2.2	HIPÓTESIS	22
2.3	SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS	22
2.3.1	Variable Independiente	22
2.3.2	Variable Dependiente	22

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1	NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	23
3.1.1	Nivel Exploratorio	23
3.1.2	Nivel Descriptivo	23
3.2	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	24
3.2.1	Muestra	24
3.3	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	26
3.3.1	Variable Independiente	26
3.3.2	Variable Dependiente	27
3.4	PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	29
3.5	PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS	31
3.5.1	Plan de Procesamiento	31
3.5.2	Plan de Análisis	31

CAPÍTULO IV ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1	RECOLECCIÓN DE DATOS	32
4.1.1	Selección del Material	32
4.1.2	Ensayos de Laboratorio	32
4.1.3	Dosificación del Hormigón.....	44
4.1.3.1	Método de la Densidad Óptima.....	44
4.2	ANÁLISIS DE RESULTADOS	50
4.2.1	Propiedades del Hormigón en Estado Fresco	50
4.2.2	Propiedades del Hormigón en Estado Endurecido	54
4.3	VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS	68

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	CONCLUSIONES	69
5.2	RECOMENDACIONES	71

C. MATERIALES DE REFERENCIA

BIBLIOGRAFÍA.....	73
ANEXOS.....	77
IMÁGENES DEL DESARROLLO DEL PROYECTO EXPERIMENTAL	77

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA N° 1: Resistencia a la Compresión de acuerdo a la Relación agua / cemento.	11
TABLA N° 2: Tamaño de Tamices ASTM C-33 – Agregado Fino.	13
TABLA N° 3: Tamaño de Tamices ASTM – C33 – Agregado Grueso.....	15
TABLA N° 4: Consistencia del Hormigón en función del Asentamiento.	17
TABLA N° 5: Definición de la muestra.....	25
TABLA N° 6: Operacionalización de la Variable Independiente.	26
TABLA N° 7: Operacionalización de la Variable Dependiente.	27
TABLA N° 8: Plan de Recolección de Información.	29
TABLA N° 9: Análisis Granulométrico del Agregado Grueso.	34
TABLA N° 10: Análisis Granulométrico del Agregado Fino.....	35
TABLA N° 11: Densidad Aparente Suelta del Agregado Fino y Grueso.....	36
TABLA N° 12: Densidad Aparente Compactada del Agregado Fino y Grueso.	36
TABLA N° 13: Densidad Aparente Compactada de la Mezcla.....	37
TABLA N° 14: Densidad Real y Capacidad de Absorción del Agregado Grueso. ..	39
TABLA N° 15: Densidad Real y Capacidad de Absorción del Agregado Fino / Arena.	40
TABLA N° 16: Densidad Real del Agregado Fino / Ceniza de Madera.	41
TABLA N° 17: Producción de la ceniza de madera.....	42
TABLA N° 18: Densidad Real del Cemento.	43
TABLA N° 19: Datos necesarios para la dosificación.....	44
TABLA N° 20: Resistencia a la compresión del hormigón basada en la relación agua / cemento.....	44
TABLA N° 21: Cantidad de pasta en función del asentamiento requerido.	45
TABLA N° 22: Dosificación por el Método de la Densidad Óptima.	47
TABLA N° 23: Dosificación para un $f^c = 180 \text{ kg/cm}^2$	48
TABLA N° 24: Dosificación por el Método de la Densidad Óptima para 36 cilindros.....	49
TABLA N° 25: Propiedades en estado fresco de un hormigón convencional.	50
TABLA N° 26: Propiedades en estado fresco de un hormigón con una sustitución del 30% del agregado fino.....	51

TABLA N° 27: Propiedades en estado fresco de un hormigón con una sustitución del 50% del agregado fino.....	52
TABLA N° 28: Propiedades en estado fresco de un hormigón con una sustitución del 70% del agregado fino.....	53
TABLA N° 29: Densidad endurecida de un hormigón convencional.....	54
TABLA N° 30: Densidad endurecida de un hormigón con una sustitución del 30% del agregado fino.....	55
TABLA N° 31: Densidad endurecida de un hormigón con una sustitución del 50% del agregado fino.....	56
TABLA N° 32: Densidad endurecida de un hormigón con una sustitución del 70% del agregado fino.....	57
TABLA N° 33: Resistencia a la Compresión de un hormigón convencional.....	59
TABLA N° 34: Resistencia a la Compresión de un hormigón con una sustitución del 30% del agregado fino.....	61
TABLA N° 35: Resistencia a la Compresión de un hormigón con una sustitución del 50% del agregado fino.....	63
TABLA N° 36: Resistencia a la Compresión de un hormigón con una sustitución del 70% del agregado fino.....	65

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO N° 1: Especificaciones del Cono de Abrams.	17
GRÁFICO N° 2: Curva Granulométrica del Agregado Grueso.....	34
GRÁFICO N° 3: Curva Granulométrica del Agregado Fino.	35
GRÁFICO N° 4: Porcentaje Óptimo vs. Densidad Aparente Promedio.....	38
GRÁFICO N° 5: Porcentaje de Sustitución vs. Densidad en Estado Endurecido... 58	
GRÁFICO N° 6: Edad vs. Esfuerzo a la Compresión / Hormigón Convencional.. 60	
GRÁFICO N° 7: Edad vs. Esfuerzo a la Compresión / Sustitución al 30%.....	62
GRÁFICO N° 8: Edad vs. Esfuerzo a la Compresión / Sustitución al 50%.....	64
GRÁFICO N° 9: Edad vs. Esfuerzo a la Compresión / Sustitución al 70%.....	66
GRÁFICO N° 10: Esfuerzo a la compresión a los 28 días vs. Porcentaje de sustitución.	67

RESUMEN EJECUTIVO

La presente investigación abarca el diseño de un hormigón elaborado con ceniza de madera como sustituto parcial del agregado fino, para lo cual se planteó un hormigón base de 180 kg/cm^2 y hormigones con 30, 50 y 70% de reemplazo.

Se efectuaron ensayos de laboratorio de todos los componentes del hormigón como: granulometría, densidad real y aparente, capacidad de absorción; información necesaria para la dosificación calculada por el método de la densidad óptima y para la elaboración de especímenes de prueba que comprende una muestra de 36 probetas cilíndricas evaluadas a los 7,14 y 28 días.

Posteriormente se hizo un análisis de la densidad real endurecida y la resistencia a compresión, cuyos resultados evidenciaron la influencia de la ceniza de madera en dichas propiedades.

Las densidades de $2233,75 \text{ kg/m}^3$, $2210,38 \text{ kg/m}^3$ y $2176,96 \text{ kg/m}^3$ que disminuyen progresivamente de acuerdo a los porcentajes de reemplazo no permiten una clasificación dentro de los hormigones livianos pues se sobrepasa el límite considerado de 2.000 kg/m^3 .

Con respecto a la resistencia a compresión que presenta una disminución se determinó que para cumplir con el diseño el reemplazo no excederá el 30%.

En definitiva este hormigón podría ser empleado en la construcción de aceras y bordillos, construcciones de mampostería prefabricadas usadas en la división de ambientes y para hormigón ciclópeo.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1 TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

Diseño de un hormigón liviano elaborado con ceniza de madera como sustituto parcial del agregado fino.

1.2 ANTECEDENTES

A través de los tiempos, la investigación ha buscado conseguir cualidades en la producción del hormigón realmente novedosas que requieran y permitan cambios para aprovechar todas las posibilidades de éste.

Es así que desde la antigüedad los hormigones livianos han sido utilizados, por ejemplo; los romanos lo emplearon en el siglo II para realizar la cúpula del Panteón en Roma empleando un hormigón con piedra pómez como agregado. [1]

El Hotel Park Plaza de St. Louis, el edificio de la Southwestern Bell Telephone, en Kansas City, y la calzada superior del puente colgante de la bahía de San Francisco Oakland, son ejemplos de los primeros usos del hormigón liviano armado, en los años veinte y treinta de este siglo. [1]

La difusión de este tipo de hormigón, elaborado con distintos materiales y la existencia de edificaciones construidas con el mismo, no quiere decir que las posibilidades para su innovación hayan cesado.

La tesis “El hormigón de baja densidad y su aplicación en bloques para la construcción de viviendas” del autor A. B. Fonseca de la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil, establece las siguientes conclusiones:

- En la elaboración del hormigón de baja densidad con piedra pómez como agregado grueso se buscaron dosificaciones para resistencia a la compresión de 60 kg/cm^2 y de 45 kg/cm^2 .
- Para el hormigón de 60 kg/cm^2 , las muestras cilíndricas no curadas alcanzaron una resistencia a la compresión igual a $62,94 \text{ kg/cm}^2$ y las muestras cilíndricas curadas obtuvieron una resistencia a la compresión de $63,66 \text{ kg/cm}^2$; en los dos casos a los 28 días de edad. Para el hormigón de 45 kg/cm^2 , las muestras cilíndricas no curadas alcanzaron una resistencia a la compresión igual a $45,18 \text{ kg/cm}^2$ y las muestras cilíndricas curadas obtuvieron una resistencia a la compresión de $47,48 \text{ kg/cm}^2$ para los dos estados a los 28 días de edad. Lo que indica la importancia del curado de las probetas de hormigón, pues esto influye directamente en la resistencia a la compresión.
- El hormigón realizado en los laboratorios de ensayo de materiales para una resistencia de $f'c = 60 \text{ kg/cm}^2$ tiene una densidad promedio de $1649,50 \text{ kg/m}^3$; lo cual se encuentra dentro de los límites y se lo denomina como un hormigón liviano.
- El hormigón realizado en los laboratorios de ensayo de materiales para una resistencia $f'c = 45 \text{ kg/cm}^2$ tiene una densidad promedio de $1631,17 \text{ kg/m}^3$; lo cual se encuentra dentro de los límites y se lo denomina como un hormigón liviano.

Según el artículo “Durability studies on concrete with wood ash additive (Estudios de durabilidad del hormigón con adiciones de ceniza de madera)” de los autores C. Sashidhar, H. Sudarsana Rao en la 35^a Conferencia - Nuestro Mundo en Concreto y Estructuras concluye que:

- La resistencia a la compresión a los 28 días de curado normal del concreto con adición de ceniza de madera decrece a medida que el contenido de la

ceniza de madera aumenta en cantidades expresadas en porcentaje en un intervalo de 0 a 30.

De acuerdo a la Revista Electrónica de Prácticas y Tecnologías Leonardo en base al artículo “Characteristics of wood ash/opc concrete (Características de la ceniza de madera/ hormigón opc)” del autor M. Abdullahi del Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Federal de Tecnología evidencia que:

- En los resultados obtenidos de las muestras de edades de 28 y 60 días se establece una comparación de los porcentajes de ceniza de madera contenidos en la mezcla con relación a su resistencia a la compresión, para el caso del 0% se considera los valores más elevados de la resistencia.
- Se puntualiza como porcentaje adecuado de sustitución del cemento por ceniza de madera al 20%.

Según el artículo “Application of wood ash in the production of concrete (Aplicación de ceniza de madera en la producción de hormigón)” de los autores M. Elahi, A. UllahQazi, M. Yousaf, U. Akmal del Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Ingeniería y Tecnología Lahore se concluye que:

- Los ensayos a compresión de las muestras cilíndricas con una relación de agua / cemento de 0,60 ejecutados a los 7, 28 y 56 días, manifiestan que la mezcla con el 10% obtuvo la más alta resistencia a la compresión definiéndolo como un porcentaje recomendable, lo que indica una relación inversamente proporcional es decir; a mayor contenido de ceniza de madera menor resistencia a la compresión.

Según la Revista Internacional de Investigación en Ingeniería y Tecnología mediante la publicación “Wood ash as an effective raw material for concrete blocks (Ceniza de madera como materia prima para bloques de hormigón)” de los autores P. Subramaniam, K. Subasinghe, W. Keerthi en la Sección de Tecnología Ambiental del Instituto de Tecnología Industrial se concluye que:

- En la utilización de ceniza de madera como sustituto parcial del contenido de cemento en una mezcla con arena como agregado fino para la elaboración de bloques con una edad de 7, 14 y 21 días, la óptima resistencia a la compresión está dada por el 15% de reemplazo del cemento después de 21 días de curado.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Esta investigación parte con el diseño de un hormigón para una resistencia a la compresión de 180 kg/cm^2 con la incorporación de ceniza de madera como agregado liviano en sustitución parcial del agregado fino, que será añadida en porcentajes desde el 0, 30, 50 hasta el 70%, verificando la densidad en conjunto y la resistencia a compresión del hormigón en estado endurecido, para establecer lineamientos sobre el comportamiento de éste en relación a las propiedades mencionadas.

La obtención artesanal de la ceniza de madera se hará mediante un proceso de calcinación a una temperatura promedio de entre 580 y $600 \text{ }^\circ\text{C}$ [2] y [3], con el uso parcial de este agregado se buscará un hormigón de características distintas al convencional, con algunas propiedades especiales que posee el hormigón liviano entre las cuales podemos destacar el aislamiento térmico, acústico y resistencia al fuego para lo cual su densidad no debe exceder los 2.000 kg/m^3 . [4]

Este tipo de hormigón constituiría una gran alternativa de construcción para obras civiles en general, y para nuestro país una respuesta al problema actual del costo de vivienda debido a que por su ligereza en peso y por el aprovechamiento de desechos de madera, sería más económico y conveniente permitiendo así el ahorro de materiales, reducción de áreas de sección asimismo otorgaría la posibilidad de erigir estructuras en terrenos de baja capacidad de soporte y a su vez contribuir a mayores innovaciones de obras.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Diseñar un hormigón liviano elaborado con ceniza de madera como sustituto parcial del agregado fino.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Analizar las siguientes propiedades del hormigón en estado fresco la consistencia, trabajabilidad, homogeneidad y la resistencia a compresión en estado endurecido.
- Proponer aplicaciones en el campo de la construcción civil para el hormigón con cenizas de madera.
- Establecer el porcentaje óptimo de ceniza de madera que defina un comportamiento favorable a compresión del hormigón.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN

2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1.1 AGREGADOS

Según IRAM 1627 [5]; el agregado es el material granular, generalmente inerte, resultante de la desintegración natural y/o desgaste de rocas, o que se obtiene mediante la trituración de ellas, de escorias siderúrgicas convenientemente preparadas para tal fin o de otros materiales suficientemente duros, que permiten obtener partículas de forma y tamaños estables, destinadas a ser empleadas en hormigones.

Los agregados fino y grueso ocupan cerca del 60 al 75% del volumen del hormigón e influyen fuertemente en sus propiedades tanto en estado fresco como endurecido, en las proporciones de la mezcla y en la economía del hormigón. [6]

El agregado dentro del hormigón cumple principalmente las siguientes funciones:

- Como armazón apropiado para la pasta, reduciendo el contenido de ésta en un metro cúbico.
- Comprende una masa de partículas con la cualidad de resistir las acciones mecánicas de desgaste o intemperismo. [7]
- Disminuir los cambios de volumen ocasionados por el fraguado y endurecimiento.
- Bajar el costo del hormigón. [8]

2.1.2 TIPOS DE AGREGADOS

Los agregados se pueden clasificar por su procedencia, por su tamaño y por su gravedad específica.

2.1.2.1 Por su procedencia [9]

Agregados naturales. Son aquellos formados por procesos geológicos.

Agregados artificiales. Proceden de un proceso de transformación de los agregados naturales, dichos agregados artificiales son productos secundarios. Ejemplos de este tipo de agregados son: la escoria siderúrgica, la arcilla horneada, el hormigón reciclado, piedra triturada y demás.

2.1.2.2 Por su Tamaño [9]

Agregado grueso. Aquella porción de un agregado que es retenida por el tamiz N° 4 de abertura de malla de 4,75 mm.

El agregado grueso más utilizado se denomina grava y es el resultado de la desintegración y abrasión natural de la roca o procede de la trituración de ésta.

Agregado fino. Aquella porción de un agregado que pasa por el tamiz N° 4 de abertura de malla de 4,75 mm y es retenida de modo predominante por el tamiz N° 200 de 75 μm .

El agregado fino más utilizado es la arena y es el producto del proceso utilizado para la obtención del agregado grueso.

2.1.2.3 Por su Gravedad Específica [7] y [10]

De acuerdo a esta propiedad los agregados pueden ser: **Pesados**, como la magnetita, barita o el hierro con Gs mayores a 2,75 gr/cm^3 que son empleados principalmente

para contrapesos de hormigón. **Normales**, entre 2,50 gr/cm³ y 2,75 gr/cm³ en éstos se encuentran las arenas y gravas para hormigón de peso normal y los **Ligeros** que poseen Gs menores a 2,50 gr/cm³; algunos ejemplos son: la arcilla expandida y esquistosa, la vermiculita, la perlita, la piedra pómez y cenizas.

2.1.3 AGREGADOS LIGEROS

Se los define en relación a su densidad es decir, un agregado ligero es aquel que presenta baja densidad real con valores menores a 2,50 gr / cm³.

Los agregados ligeros son usados para la fabricación de hormigones livianos. Estos agregados pueden producirse a partir de diversos procesos: expansión de minerales por calor: arcilla, esquisto, pizarra, perlita, obsidiana y vermiculita; expansión de escorias de alto horno usando procesos especiales de enfriamiento; explotación de yacimientos de piedra pómez, escorias, cenizas volcánicas, toba y diatomita y por la utilización de cenizas industriales. [11]

2.1.4 CENIZA DE MADERA

Este tipo de ceniza se obtiene por un proceso de combustión de los residuos de madera o cortezas de madera provenientes de las diferentes industrias.

2.1.4.1 Producción de ceniza de madera

Para producir ceniza de madera, su proceso comienza cuando la madera está seca y es calentada a una temperatura de aproximadamente 280 °C, ésta comienza a fraccionarse, entonces se deja entrar aire en el horno o fosa de carbonización para que parte de la madera se quemé. El oxígeno del aire será gastado en la quema de parte de la madera, arriba de la temperatura de 280 °C. [3]

Este proceso de fraccionamiento espontáneo o carbonización, continúa hasta que queda sólo carbón vegetal. Sin embargo este carbón contiene todavía apreciables cantidades de residuos alquitranosos, junto con las cenizas de la madera original.

Usualmente se lleva a cabo la producción de cenizas en un rango de 580 a 600 ° C.
[3]

2.1.5 MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN

Se define a un material de construcción como a cada uno de los elementos que constituyen las obras civiles, cualquiera que sea su naturaleza, composición y forma.
[12]

La clasificación de acuerdo a [12] toma en cuenta los orígenes y propiedades de los materiales de construcción:

2.1.5.1 Materiales Metálicos. Los materiales que se emplean deben ser de fácil obtención, ser moldeables y tener resistencias químicas y físicas.

Uno de los materiales metálicos utilizados con mayor frecuencia es el *Acero* una aleación de hierro y carbono en diversas proporciones que se emplea en la fabricación de barras corrugadas para el hormigón armado y de perfiles laminados y piezas auxiliares.

2.1.5.2 Materiales Orgánicos. Los materiales orgánicos empleados en la construcción son específicamente las *maderas*, que a su vez son un producto constituido por el conjunto de tejidos que forman la masa de los troncos de los árboles. Es el material más ligero, resistente y de fácil trabajo utilizado por el hombre.

2.1.5.3 Materiales Aglomerantes. Los cuerpos que tienen la propiedad de unirse a otros empleándose en construcción para enlazar materiales, formando pastas más o menos plásticas conocidas como morteros y *hormigones* que permiten extenderse y moldearse.

2.1.6 HORMIGÓN

El hormigón o concreto es un material resistente de uso convencional conformado por cemento, agua, agregado fino y grueso previamente dosificados; a esta combinación se le incorpora en ocasiones un aditivo, necesario para optimizar alguna de las características del conjunto.

Inicialmente la mezcla íntima de estos componentes produce una masa plástica con facilidad para ser moldeada y compactada, propiedad que se pierde al cabo de un tiempo al adquirir el aspecto y comportamiento de un cuerpo rígido por medio de una fase inicial de hidratación llamada fraguado, posteriormente continúan estas reacciones alcanzando a todos los constituyentes produciéndose el endurecimiento de la masa que se caracteriza por un progresivo desarrollo de resistencia mecánica. [13]

2.1.6.1 Componentes del hormigón

2.1.6.1.1 Cemento. Aquel material aglomerante que en estado pastoso tiene propiedades de adhesión y cohesión.

Los cementos hidráulicos son aquellos que se endurecen en forma pétreo en presencia de aire o agua con la que reaccionan químicamente. [8]

Para la determinación de la densidad del cemento hidráulico (ρ) se adoptará las especificaciones planteadas en la Norma NTE INEN 156 [14] que define a la misma como “la masa de un volumen unitario de los sólidos y consiste en establecer la relación entre una masa de cemento y el volumen del líquido no reactivo que esta masa desplaza”.

En la misma norma en la sección de cálculos se expone que: la diferencia entre las lecturas inicial y final representa el volumen del líquido desplazado por la masa de cemento [14] así;

$$\rho \text{ (g/cm}^3\text{)} = \text{(Mg/m}^3\text{)} = \frac{\text{masa del cemento , g}}{\text{volumen desplazado, cm}^3} \quad \text{Ec.1 [14]}$$

2.1.6.1.2 Agua de amasado. El componente que participa en las reacciones de hidratación de las partículas de cemento para producir la pasta que liga los agregados y a su vez contribuye en las propiedades mecánicas del hormigón. [8]

Para establecer la relación agua / cemento se tomará en cuenta los requerimientos de la obra o de la investigación conforme a la Tabla N° 1.

TABLA N° 1: Resistencia a la Compresión de acuerdo a la Relación agua / cemento. [8]

Resistencia a la 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

2.1.6.1.3 Aditivos. Son sustancias que añadidas al hormigón, alteran sus propiedades tanto en estado fresco como endurecido. [15]

Los aditivos son utilizados para acelerar o retardar el fraguado y el endurecimiento, para mejorar la trabajabilidad, para aumentar la resistencia y la durabilidad, para disminuir la permeabilidad, en general proporcionan o afectan las propiedades iniciales del hormigón. [16]

2.1.6.1.4 Agregados. Se entiende por agregado a la combinación de partículas inorgánicas como la arena y piedra de granulometría variable y normalizada que se encuentran embebidos en los aglomerados. [10]

Para que los agregados se consideren aptos para formar parte de la mezcla del hormigón a prepararse deberán cumplir con los siguientes aspectos:

2.1.6.1.4.1 Especificaciones para el agregado fino

Densidad Real del Agregado Fino

La densidad relativa (gravedad específica) es la característica generalmente utilizada para el cálculo del volumen ocupado por el árido en las mezclas que los contienen, incluyendo hormigón de cemento portland, hormigón bituminoso y otras mezclas que son dosificadas o analizadas en base al volumen absoluto. [17]

Este ensayo se realiza bajo la norma ASTM C 128 – 80 [18], NTE INEN 856 [17] que en resumen sigue el procedimiento:

- Sumergir en agua por $24 \text{ h} \pm 4 \text{ h}$, una muestra previamente secada, hasta conseguir una masa constante, con el propósito de llenar con agua sus poros. Retirar la porción de árido del agua para ponerlo a secar superficialmente.
- Luego, colocar la muestra en un recipiente graduado y determinar el volumen de la muestra por el método gravimétrico o volumétrico; secar la muestra al horno y hallar su masa.
- La densidad se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Densidad relativa} = \frac{A}{(B+S-C)} \quad \text{Ec.2 [17]}$$

En donde:

- A = masa de la muestra seca al horno, g.
- B = masa del picnómetro lleno con agua, hasta la marca de calibración, g.
- C = masa del picnómetro lleno con muestra y agua hasta la marca de calibración, g.
- S = masa de muestra saturada superficialmente seca (utilizada en el procedimiento gravimétrico, para determinar la densidad y la densidad relativa (gravedad específica), g.

Para calcular la capacidad de absorción:

$$\text{Absorción, \%} = \frac{S-A}{A} \times 100 \quad \text{Ec.3 [17]}$$

Granulometría

Es la distribución de los distintos tamaños de los granos que componen el agregado, se determina mediante el tamizado de una muestra en los tamices de la Serie de Tyler, para el agregado fino se usarán los tamices N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50 y N° 100. [8]

La graduación del Agregado Fino se rige por la Norma ASTM C-33 [19] que establece mediante la Tabla N° 2 los límites con respecto al tamaño de las partículas.

TABLA N° 2: Tamaño de Tamices ASTM C-33 – Agregado Fino. [19]

Tamaño de la malla	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

Módulo de finura (MF)

La Norma ASTM C – 125 [20] determina el módulo de finura del agregado fino como la centésima parte de la suma de los porcentajes retenidos acumulados en los tamices N° 100, N° 50, N° 30, N° 16, N° 8, N° 4, 3/8", 3/4", etc.

Para que una arena se considere apta o adecuada para la elaboración de hormigón el módulo de finura debe estar entre 2,3 y 3,1.

2.1.6.1.4.2 Especificaciones para el agregado grueso

Densidad Real del Agregado Grueso

Este método de ensayo se aplica para la determinación de la densidad promedio en una muestra de árido grueso (sin incluir el volumen de vacíos entre partículas), la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del árido. Dependiendo del procedimiento utilizado, la densidad es expresada como: seca al horno (SH), saturada superficialmente seca (SSS) o como densidad aparente. [21]

En resumen el proceso se realiza en base a la norma ASTM C 127 – 80 [22], NTE INEN 857 [21] y es el siguiente:

- Sumergir en agua por $24\text{ h} \pm 4\text{ h}$, una muestra de árido previamente secada, hasta conseguir masa constante, con el propósito de llenar con agua sus poros.
- Retirar la muestra del agua y secar el agua superficial de las partículas para determinar su masa. Luego, determinar el volumen de la muestra por el método del desplazamiento de agua; finalmente, la muestra se seca al horno y se determina su masa.
- Para la obtención de la densidad relativa se utiliza:

$$\text{Densidad relativa} = \frac{A}{(B-C)} \quad \text{Ec.4 [21]}$$

En donde:

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.

Y se calcula el porcentaje de absorción de la siguiente manera:

$$\text{Absorción, \%} = \frac{B-A}{A} \times 100 \quad \text{Ec.5 [21]}$$

Granulometría

La graduación del Agregado Grueso se rige por la Norma ASTM C – 33 [19] que establece mediante la Tabla N° 3 los límites con respecto al tamaño de las partículas, para cuyo ensayo serán necesarios los tamices 2", 1 ½", 1", ¾", 3/8" y N° 4.

TABLA N° 3: Tamaño de Tamices ASTM – C33 – Agregado Grueso. [19]

Tamaño de la malla	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
12,70 mm (1/2 ")	-
9,52 mm (3/8")	10 - 30
4,75 mm (N° 4)	0 - 5

Tamaño Nominal Máximo

Es el tamaño del tamiz comercial anterior al primer tamiz en el que hubo el 15% o más retenido. [8]

Se requiere más agua y cemento en concretos con agregados gruesos de tamaño máximo menor comparado con agregados de tamaño máximo mayor, debido al aumento del área superficial total del agregado. [23]

2.1.6.2 Propiedades del Hormigón en estado fresco

Se entiende como las propiedades del hormigón a las particularidades que pueden cambiar mediante la regulación de los componentes de éste, para esta investigación se consideran como las más relevantes:

2.1.6.2.1 Trabajabilidad. Puede considerarse como la aptitud de un hormigón para ser puesto en obra con los medios de compactación de que se dispone. [24]

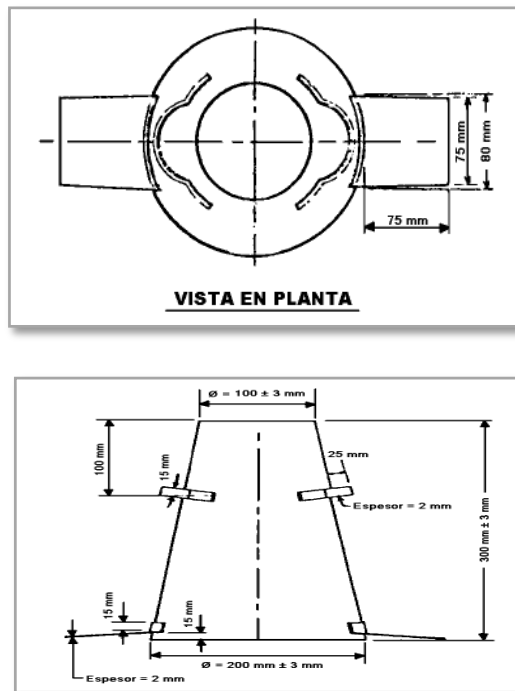
2.1.6.2.2 Homogeneidad. Es la cualidad por la cual los diferentes componentes del hormigón aparecen regularmente distribuidos en toda la masa. Esta propiedad se obtiene con un buen amasado. [24]

2.1.6.2.3 Consistencia. Es la facilidad que tiene o no el hormigón fresco para deformarse o adaptarse a una forma específica. [24]

La Norma NTE INEN 1578 [25] y la ASTM C – 143 [26] nos presenta el procedimiento a seguir para obtener el valor del asentamiento para lo cual:

- Se toma una muestra de hormigón recién mezclado, se coloca en tres capas dentro de un molde con forma de un cono truncado conocido como Cono de Abrams y se compacta con una varilla de apisonamiento de sección circular de 16 mm de diámetro y aproximadamente 600 mm de longitud, teniendo uno o ambos extremos redondeados con punta hemisférica.
- Compactar cada capa con 25 golpes de la varilla de apisonamiento de manera uniforme sobre la sección transversal.

GRÁFICO N° 1: Especificaciones del Cono de Abrams. [25]



- Se levanta el molde permitiendo que el hormigón se asiente. Se mide la distancia vertical entre la altura original y la del centro desplazado de la superficie superior del hormigón, luego de su deformación. Este valor se reporta como el asentamiento del hormigón. [25]. La prueba se debe realizar sin interrupción desde el inicio del llenado hasta la remoción del molde, en un periodo de 2 ½ minutos [26].

La Tabla mostrada a continuación expone las cualidades de la consistencia y la trabajabilidad con respecto al valor obtenido del asentamiento.

TABLA N° 4: Consistencia del Hormigón en función del Asentamiento. [23]

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

2.1.6.2.4 Densidad del Hormigón Fresco

Para obtener el valor de la densidad la Norma NTE INEN 1579 [27] presenta la sección de cálculos en donde: “la masa neta del hormigón en kilogramos, se obtiene restando la masa del recipiente M_m de la masa del recipiente lleno con hormigón M_c . La densidad D , se halla dividiendo la masa neta de hormigón para el volumen del recipiente V_m ” de la siguiente manera:

$$D = \frac{M_c - M_m}{V_m} \quad \text{Ec.6 [27]}$$

Con unidades,

$$D = \frac{\text{kg} - \text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$D = \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

2.1.6.3 Propiedades del Hormigón en estado endurecido

2.1.6.3.1 Resistencia a la Compresión

El método de ensayo que presenta la Norma NTE INEN 1573 [28] y la ASTM C - 39 [29] “consiste en aplicar una carga axial de compresión a los cilindros moldeados o núcleos de hormigón de cemento hidráulico a una velocidad que se encuentra dentro de un rango definido hasta que ocurra la falla del espécimen”.

La resistencia a la compresión de un espécimen se calcula dividiendo la carga máxima alcanzada durante el ensayo para el área de la sección transversal del espécimen. [28]

Para la elaboración de los especímenes de hormigón se verificará el cumplimiento de la Norma NTE INEN 1576 [30] para que pasadas 24 horas, estén aptas para el

desmolde y colocación dentro de las condiciones de curado de acuerdo a la Norma NTE INEN 2528 [31].

2.1.6.3.2 Densidad del Hormigón Endurecido

Dentro de la Norma NTE INEN 1573 [28], se indica que para el cálculo de la densidad de las muestras de hormigón se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{Densidad} = \frac{W}{V} \quad \text{Ec.7 [28]}$$

En donde,

W = Masa del espécimen en kilogramos.

V= Volumen del espécimen, calculado a partir del diámetro promedio y la longitud promedio, en metros cúbicos.

2.1.7 TIPOS DE HORMIGÓN [32]

2.1.7.1 Hormigón Normal. Es aquel que se elabora con agregados pétreos densos, para alcanzar una masa volumétrica seca mayor de 2.000 kg/m³, una vez compactado.

2.1.7.2 Hormigón Liviano. Es aquel que se elabora con agregados pétreos de baja densidad, para alcanzar una masa volumétrica seca menor de 2.000 kg/m³, una vez compactado.

2.1.7.3 Hormigón Lanzado. Es aquel que mediante la fuerza controlada de aire a presión a través de una boquilla, se proyecta sobre una superficie a fin de obtener una capa de recubrimiento compacta, homogénea y resistente.

2.1.7.4 Hormigón Ciclópeo. Es aquel que está formado por una mezcla cuyos agregados pétreos se componen hasta en un 60% por fragmentos de roca con una

masa máxima de 30 kg por pieza, que se colocan a mano embebidos en el hormigón normal, en el lugar definitivo de la obra.

2.1.8 HORMIGÓN LIVIANO

Aquel hormigón de estructura cerrada, cuya densidad aparente, medida en condición de seco hasta peso constante, es inferior a 2.000 kg/m^3 pero superior a 1.200 kg/m^3 y que contiene una cierta proporción de agregado ligero, tanto natural como artificial, y que tiene una resistencia mínima de 15 a 20 MPa. [33]

2.1.8.1 Tipos básicos de Hormigón Liviano

Básicamente la reducción de densidad puede conseguirse mediante tres procedimientos [33]:

- Eliminando de un hormigón normal las fracciones más finas del agregado, con lo que quedaría un hormigón de tipo poroso con gran cantidad de huecos. Este hormigón también se denomina *hormigón sin finos*.
- Incorporando al hormigón aire o espumantes, formando burbujas de gran tamaño con diferente proporción y diámetro. Este hormigón recibe el nombre de *hormigón celular*, *hormigón aireado*, u *hormigón espuma*.
- Utilizando agregados de reducida gravedad específica con densidades inferiores a 2.500 kg/m^3 , denominándose estos hormigones como *hormigones con agregados ligeros*.

2.1.8.2 Propiedades funcionales del Hormigón Liviano [33]

2.1.8.2.1 Comportamiento ante el fuego

Los hormigones livianos son en general más resistentes a los efectos del fuego que los hormigones convencionales en vista de que los agregados ligeros son materiales

fabricados a grandes temperaturas por lo que permanecen estables hasta alcanzar esa temperatura de formación.

La baja conductividad térmica de estos hormigones mejora su estabilidad frente a las altas temperaturas que unida a una mayor elasticidad, reduce los riesgos de choque térmico.

2.1.8.2.2 Comportamiento Térmico

El comportamiento térmico de los hormigones livianos está directamente ligado a su densidad. Este comportamiento es muy superior al de otros hormigones, tanto los convencionales como los de alta resistencia.

Aislamiento térmico. El aire contenido en la estructura porosa del agregado ligero reduce considerablemente la conductividad de los hormigones confeccionados con dichos agregados.

2.1.8.2.3 Comportamiento Acústico

Aislamiento a ruido aéreo. La Ley de Berger relaciona directamente el aislamiento de un material del ruido aéreo con su densidad. Para una pared simple, la ley de masa y frecuencia indica que el aislamiento acústico es mayor cuanto mayor sea su masa superficial; es decir, cuanto más pesadas sean las paredes.

Según esta explicación, los hormigones livianos deberían ser menos aislantes que los hormigones más pesados. Sin embargo, existen ensayos que han probado que su reacción es notablemente mejor de lo que cabría esperar por su masa.

2.1.8.3 Aplicaciones del Hormigón Liviano

El hormigón liviano es empleado en: fachadas, tanto macizas como huecas; rellenos o revestimientos en construcciones de madera, acero u hormigón armado; tabiques interiores; rellenos para aislamientos térmicos en paredes, techos y depósitos; placas

resistentes para techos y cubiertas. Lo más ventajoso es emplear prefabricados de hormigón liviano en forma de ladrillos, bloques, placas, etc. [1]

2.2 HIPÓTESIS

El incremento de la ceniza de madera como sustituto parcial del agregado fino en el hormigón, disminuirá su densidad real produciendo un hormigón liviano.

2.3 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS

2.3.1 Variable Independiente

Ceniza de madera.

2.3.2 Variable Dependiente

Hormigón liviano.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

En base a [34] se definen los niveles o tipos de investigación que serán alcanzados en este proyecto.

3.1.1 Nivel Exploratorio

Se efectúa para examinar un tema de investigación poco estudiado, del cual se tiene muchas dudas o no se ha abordado antes. Es decir, si deseamos indagar sobre temas y áreas desde nuevas perspectivas o ampliar las existentes.

Estos estudios sirven para familiarizarse con fenómenos relativamente desconocidos, establecer prioridades para investigaciones futuras o sugerir afirmaciones o postulados.

La presente investigación está dentro del nivel exploratorio en vista de que la bibliografía referente a hormigones livianos es escasa y el tema *Diseño de un Hormigón Liviano elaborado con ceniza de madera como sustituto parcial del agregado fino* es poco profundizado; en consideración de ello y con el objeto de ampliar el tema desde una nueva perspectiva, se busca encontrar un porcentaje de ceniza de madera adecuado para sustituir parcialmente al agregado fino.

3.1.2 Nivel Descriptivo

Busca especificar las propiedades, las características relevantes de cualquier tema que se someta a un análisis, es decir mide, evalúa o recolecta datos sobre diversos aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno a investigar.

Para cumplir con el nivel descriptivo en el tema *Diseño de un Hormigón Liviano elaborado con ceniza de madera como sustituto parcial del agregado fino*, se requiere un análisis por medio de probetas de hormigón con diferentes contenidos de ceniza de madera; que luego de ser ensayados a compresión a la edad de 7, 14 y 28 días, exterioricen el comportamiento mecánico del hormigón.

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

Para [35] la población o universo es la totalidad de elementos a investigar respecto a ciertas características, y en vista de ello se considera que una población para esta investigación no es cuantificable debido a su vastedad, cuyo principal impedimento radica en la inversión de recursos.

3.2.1 Muestra

Se requiere seleccionar un conjunto representativo de elementos denominado muestra cuya finalidad dentro de esta experimentación será reflejar las características de un hormigón elaborado con ceniza de madera como sustituto parcial del agregado fino.

En la Norma NTE INEN 1576 [30] la *sección 5.3.1 Cilindros* señala que el número de los cilindros moldeados deben ser los indicados en las especificaciones en la NTE INEN 1855-2 [36] que indica “Para cada ensayo de resistencia deben elaborarse por lo menos dos especímenes de mezclas. Un ensayo será el resultado del promedio de las resistencias de los especímenes ensayados a la edad especificada.

Considerando lo expuesto y para mayor confiabilidad se elaborarán tres probetas cilíndricas para cada edad 7, 14 y 28 días, las que a su vez corresponden a cuatro porcentajes de sustitución parcial del agregado fino por ceniza de madera y estos son 0, 30, 50 y 70 %; es decir la muestra suma 36 probetas de acuerdo a la siguiente tabla:

TABLA N° 5: Definición de la muestra.

Edad en días	Sustitución Parcial en %			
	0	30	50	70
7	3	3	3	3
14	3	3	3	3
28	3	3	3	3
Subtotal	9	9	9	9
Total	36			

Elaborado por: Karol Natalí Vivas Villarreal.

3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.3.1 Variable Independiente

TABLA N° 6: Operacionalización de la Variable Independiente.

Ceniza de Madera

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
La ceniza de madera es aquella que se obtiene por un proceso de combustión de los residuos de madera o cortezas de madera provenientes de las diferentes industrias.	Proceso de Combustión	Temperatura de Combustión: - Rango de 580 ° C a 600 ° C	¿Cuál es la temperatura en el proceso de combustión?	- Observación Directa - Ficha de Registro
	Residuos de Madera	Condición de la Madera: - Seca - Húmeda	¿En qué condición está la madera previo al proceso de combustión?	- Observación Directa - Ficha de Registro

Elaborado por: Karol Natalí Vivas Villarreal.

3.3.2 Variable Dependiente

TABLA N° 7: Operacionalización de la Variable Dependiente.

Hormigón Liviano

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Los hormigones livianos son hormigones de características propias es decir; poseen una densidad menor a las de los hormigones normales hechos con variedad de agregados.	Propiedades en Estado Fresco	Trabajabilidad: <ul style="list-style-type: none"> - Muy Baja - Baja - Media - Alta - Muy Alta 	¿De acuerdo a la relación agua / cemento cómo es la trabajabilidad?	<ul style="list-style-type: none"> - Observación de Laboratorio - Ficha de Registro
		Consistencia: <ul style="list-style-type: none"> - Seca - Plástica - Blanda - Fluida - Líquida 	¿En función del asentamiento cuál es la consistencia?	<ul style="list-style-type: none"> - Observación de Laboratorio - Ficha de Registro

	Propiedades en Estado Endurecido	Resistencia a la Compresión (MPa): - Entre 15 y 20	¿Cuál es el valor de la resistencia a compresión de este hormigón?	- Observación de Laboratorio - Ficha de Registro
		Densidad (kg / m³): - Entre 1.200 y 2.000	¿Cuál es la densidad del hormigón?	- Observación de Laboratorio - Ficha de Registro

Elaborado por: Karol Natalí Vivas Villarreal.

3.4 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

TABLA N° 8: Plan de Recolección de Información.

PREGUNTAS BÁSICAS	EXPLICACIÓN
¿Qué evaluar?	<ul style="list-style-type: none"> - La Resistencia a Compresión y la densidad de un hormigón elaborado con ceniza de madera como sustituto parcial del agregado fino.
¿Sobre qué evaluar?	<ul style="list-style-type: none"> - Los constitutivos de este tipo de hormigón: cemento, agua de amasado, agregado fino y grueso.
¿Sobre qué aspectos?	<ul style="list-style-type: none"> - Las características mecánicas de los materiales empleados en la mezcla como: agregado fino y grueso, cemento. - Las propiedades en estado fresco: densidad, trabajabilidad, consistencia y homogeneidad. - La densidad en estado endurecido y la resistencia a la compresión del hormigón elaborado con ceniza de madera como sustituto parcial del agregado fino.
¿Quién evalúa?	<ul style="list-style-type: none"> - Egresada: Karol Natalí Vivas Villarreal - Tutor: Ing. Mg. Diego Chérrez Gavilanes
¿A quiénes evalúa?	<ul style="list-style-type: none"> - 36 probetas cilíndricas con 150 mm de diámetro y 300 mm de altura.
¿Dónde evalúa?	<ul style="list-style-type: none"> - Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

<p>¿Cómo y con qué?</p>	<p>A través de pruebas y ensayos de laboratorio normalizados por la INEN y ASTM.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Norma NTE INEN 156: Cemento Hidráulico. Determinación de la densidad. - Norma ASTM C 128 – 80 / NTE INEN 856: Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino. - Norma ASTM C 127 – 80/ NTE INEN 857: Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso. - Norma ASTM C – 125: Módulo de finura del agregado fino. - Norma NTE INEN 1578: Hormigón de cemento hidráulico. Determinación del asentamiento. - Norma NTE INEN 1579: Determinación de la densidad del hormigón fresco. - Norma NTE INEN 1573: Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la Resistencia a la Compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico. - Norma NTE INEN 1576: Hormigón de cemento hidráulico. Elaboración y curado en obra de especímenes para ensayo. <p>Con la utilización de materiales y equipos como:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Herramienta menor - Moldes metálicos para los cilindros de hormigón - Máquina de compresión - Cámara de curado
-------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Elaborado por: Karol Natalí Vivas Villarreal.

3.5 PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

Para [35], los datos obtenidos se transforman siguiendo ciertos procedimientos:

3.5.1 Plan de Procesamiento

- Revisión crítica de la información recogida; es decir limpieza de información defectuosa: contradictoria, incompleta, no pertinente.
- Tabulación mediante hojas electrónicas según variables de cada hipótesis: cuadros de una sola variable.

3.5.2 Plan de Análisis

- Análisis de los resultados, destacando relaciones fundamentales de acuerdo con los objetivos e hipótesis.
- Comprobación de la hipótesis
- Interpretación de los resultados, con apoyo del marco teórico, en el aspecto pertinente.
- Dependiendo de los resultados obtenidos en la investigación, establecimiento de conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 RECOLECCIÓN DE DATOS

Comprende la selección del material, ensayos de laboratorio que justifiquen la calidad de los componentes que intervienen en la dosificación, así también los valores numéricos que representan las propiedades mecánicas de este tipo de hormigón.

4.1.1 Selección del Material

Los agregados fino y grueso provienen de la Cantera Villacrés, ubicada en la parroquia La Península sector bajo a 5 kilómetros al Este de la ciudad de Ambato.

La ceniza de madera que sustituye parcialmente al agregado fino fue producida en un horno de ladrillo localizado en la propiedad de la Familia Villacís, en el cantón Cevallos, barrio Francisco Arias, provincia de Tungurahua.

4.1.2 Ensayos de Laboratorio

Los ensayos de laboratorio a ejecutarse en base a las normas INEN y ASTM necesarios para la dosificación del hormigón son los detallados en el Capítulo II:

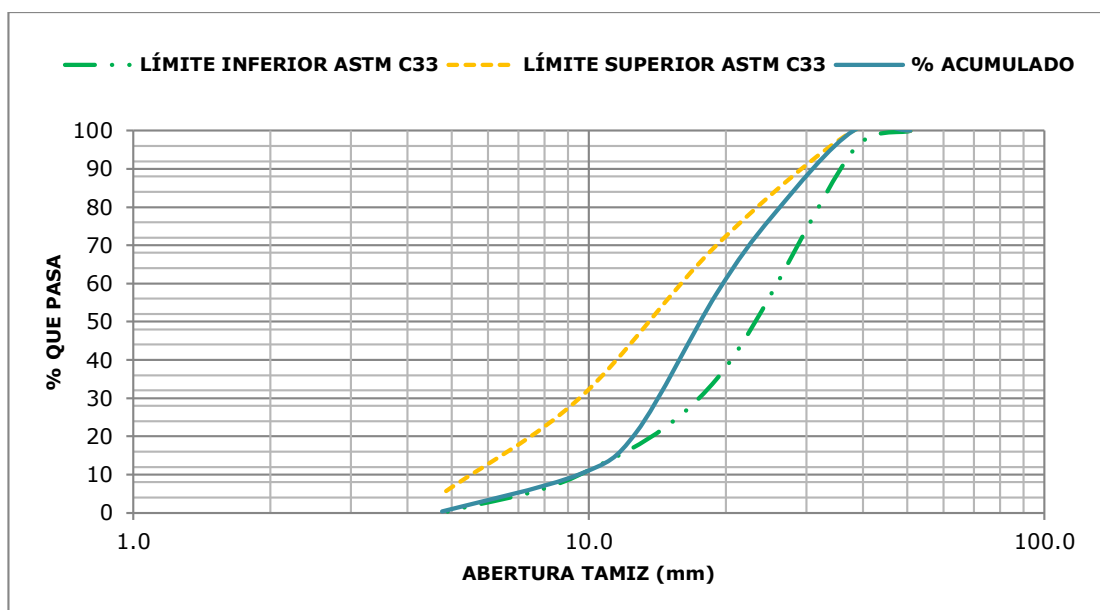
- **Agregado Grueso / Ripio:** Análisis Granulométrico, Determinación de la Densidad Aparente Suelta, Densidad Aparente Compactada, Densidad Real y Capacidad de Absorción.
- **Agregado Fino / Arena:** Análisis Granulométrico, Determinación de la Densidad Aparente Suelta, Densidad Aparente Compactada, Densidad Real y Capacidad de Absorción.

- **Mezcla de los Agregados / Arena y Ripio:** Determinación de la Densidad Aparente Compactada de la mezcla.
- **Agregado Fino/ Ceniza de Madera:** Determinación de la Densidad Real.
- **Cemento Hidráulico Tipo GU:** Determinación de la densidad real del cemento.

TABLA N° 9: Análisis Granulométrico del Agregado Grueso.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
TEMA: "DISEÑO DE UN HORMIGÓN LIVIANO ELABORADO CON CENIZA DE MADERA COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL AGREGADO FINO".						
<u>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO</u>						
ORIGEN:		Cantera Villacrés		PÉRDIDA DE MUESTRA (%):		0,28
PESO DE LA MUESTRA (gr.):		9000		FECHA:		19/11/2015
ENSAYADO POR:		Egda. Karol Vivas				
NORMA:		INEN 696				
TAMIZ (plg.)	TAMIZ (mm)	RETENIDO PARCIAL (gr.)	RETENIDO ACUMULADO (gr.)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	LÍMITES ASTM % QUE PASA
2"	50,80	0,0	0,0	0,0	100,0	100
1 1/2 "	38,10	0,0	0,0	0,0	100,0	95 - 100
1 "	25,40	1984,6	1984,6	22,1	77,9	-
3/4 "	19,05	1856,3	3840,9	42,7	57,3	35 - 70
1/2 "	12,70	3265,3	7106,2	79,0	21,0	-
3/8 "	9,53	985,6	8091,8	89,9	10,1	10 - 30
# 4	4,76	874,3	8966,1	99,6	0,4	0 - 5
FUENTE		8,6	8974,7	99,7	0,3	-
TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO			1 1/2 "			

GRÁFICO N° 2: Curva Granulométrica del Agregado Grueso.

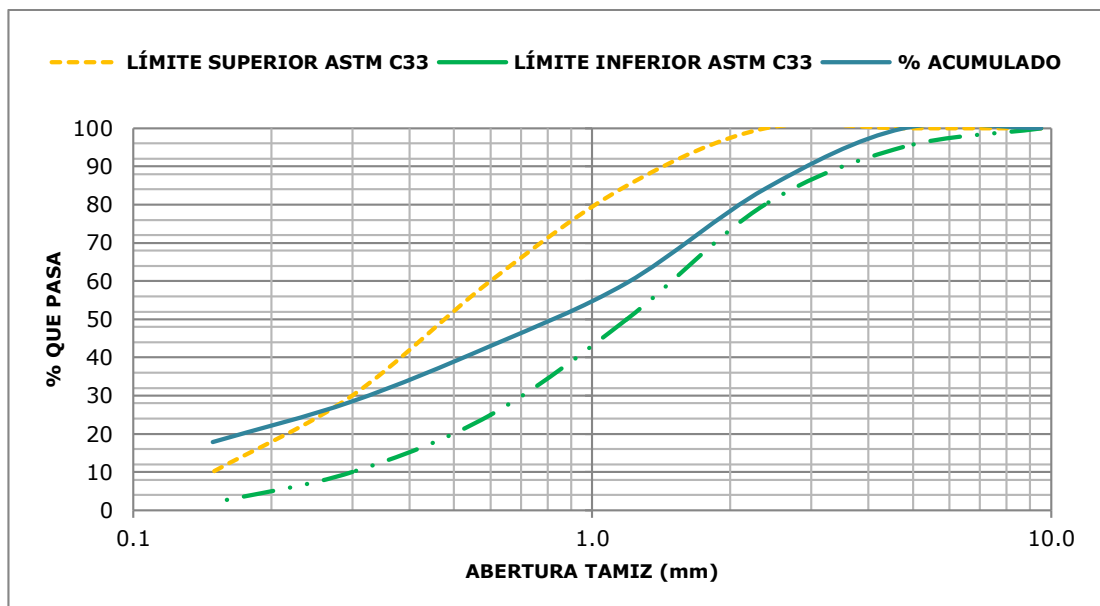


Elaborado por: Karol Natalí Vivas Villarreal.

TABLA N° 10: Análisis Granulométrico del Agregado Fino.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
TEMA: "DISEÑO DE UN HORMIGÓN LIVIANO ELABORADO CON CENIZA DE MADERA COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL AGREGADO FINO".						
<u>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO</u>						
ORIGEN:		Cantera Villacrés		PÉRDIDA DE MUESTRA (%):	0,3	
PESO DE LA MUESTRA (gr.):		750,10		FECHA:	19/11/2015	
ENSAYADO POR:		Egda. Karol Vivas				
NORMA:		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	0,6	0,6	0,1	99,9	95 - 100
# 8	2,38	118,4	119,0	15,9	84,1	80 - 100
# 16	1,19	184,3	303,3	40,4	59,6	50 - 85
# 30	0,60	123,9	427,2	57,0	43,0	25 - 60
# 50	0,30	108,5	535,7	71,4	28,6	10 - 30
# 100	0,15	79,8	615,5	82,1	17,9	2 - 10
# 200	0,08	59,5	675,0	90,0	10,0	-
FUENTE		73,1	748,1	99,7	0,3	-
MÓDULO DE FINURA			2,7			

GRÁFICO N° 3: Curva Granulométrica del Agregado Fino.



Elaborado por: Karol Natalí Vivas Villarreal.

TABLA N° 11: Densidad Aparente Suelta del Agregado Fino y Grueso.

<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p> <p style="text-align: center;">TEMA: "DISEÑO DE UN HORMIGÓN LIVIANO ELABORADO CON CENIZA DE MADERA COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL AGREGADO FINO".</p> <p style="text-align: center;"><u>DENSIDAD APARENTE SUELTA DEL AGREGADO FINO Y AGREGADO GRUESO</u></p>				
ORIGEN:	Cantera Villacrés			
ENSAYADO POR:	Egda. Karol Vivas	FECHA:	19/11/2015	
NORMA:	INEN 858			
MASA RECIPIENTE (kg):	9,85			
VOLUMEN RECIPIENTE (dm³):	20,56			
AGREGADO	AGREGADO + RECIPIENTE (kg)	AGREGADO (kg)	DENSIDAD APARENTE (kg/dm³)	DENSIDAD APARENTE PROMEDIO
FINO	41,70	31,85	1,55	1,55
	41,80	31,95	1,55	
GRUESO	37,80	27,95	1,36	1,36
	37,70	27,85	1,35	

TABLA N° 12: Densidad Aparente Compactada del Agregado Fino y Grueso.

<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p> <p style="text-align: center;">TEMA: "DISEÑO DE UN HORMIGÓN LIVIANO ELABORADO CON CENIZA DE MADERA COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL AGREGADO FINO".</p> <p style="text-align: center;"><u>DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DEL AGREGADO FINO Y AGREGADO GRUESO</u></p>				
ORIGEN:	Cantera Villacrés			
ENSAYADO POR:	Egda. Karol Vivas	FECHA:	19/11/2015	
NORMA:	INEN 858			
MASA RECIPIENTE (kg):	9,85			
VOLUMEN RECIPIENTE (dm³):	20,56			
AGREGADO	AGREGADO + RECIPIENTE (kg)	AGREGADO (kg)	DENSIDAD APARENTE (kg/dm³)	DENSIDAD APARENTE PROMEDIO
FINO	45,10	35,25	1,71	1,71
	45,10	35,25	1,71	
GRUESO	39,80	29,95	1,46	1,45
	39,70	29,85	1,45	

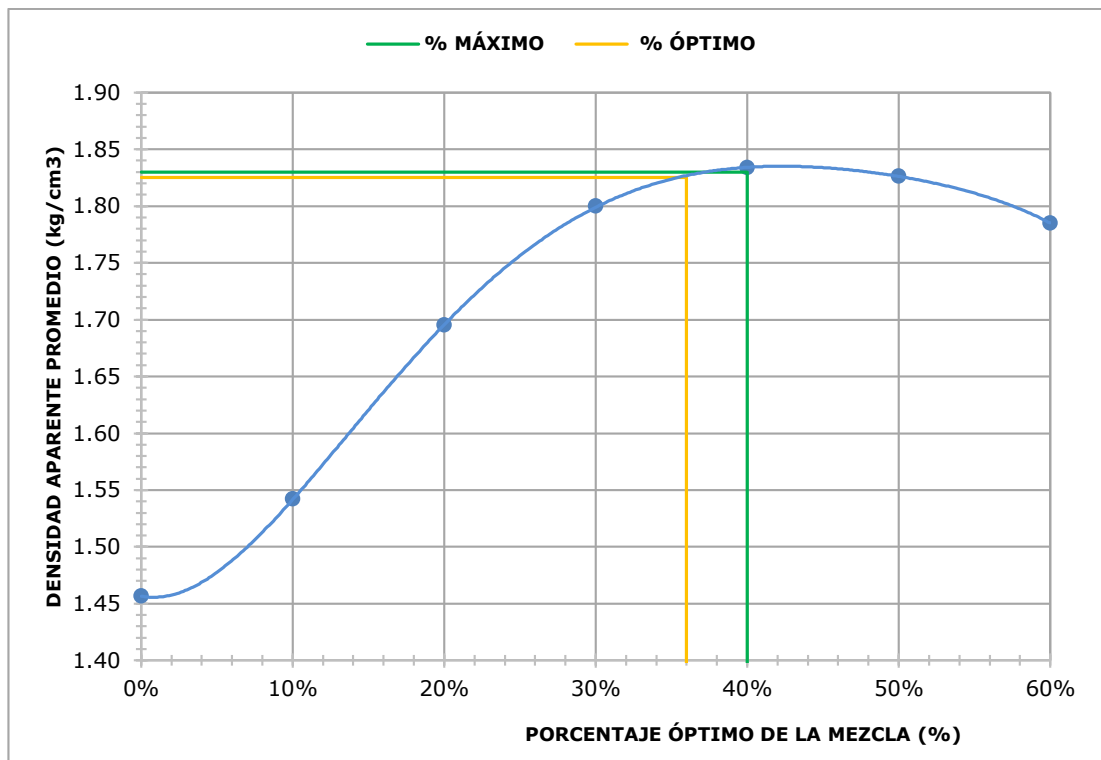
Elaborado por: Karol Natalí Vivas Villarreal.

TABLA N° 13: Densidad Aparente Compactada de la Mezcla.

<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p> <p style="text-align: center;">TEMA: "DISEÑO DE UN HORMIGÓN LIVIANO ELABORADO CON CENIZA DE MADERA COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL AGREGADO FINO".</p> <p style="text-align: center;"><u>DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DE LA MEZCLA</u></p>									
ORIGEN:			Cantera Villacrés						
MASA RECIPIENTE (kg):			9,85						
ENSAYADO POR:			Egda. Karol Vivas			FECHA:		19/11/2015	
VOLUMEN RECIPIENTE (dm³):			20,56						
NORMA:			INEN 858						
% 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	39,80	29,95	1,46	1,45	
					39,70	29,85	1,45		
90,00%	10,00%	40,00	4,44	4,44	41,30	31,45	1,53	1,54	
					41,70	31,85	1,55		
80,00%	20,00%	40,00	10,00	5,56	44,80	34,95	1,70	1,69	
					44,50	34,65	1,69		
70,00%	30,00%	40,00	17,14	7,14	46,90	37,05	1,80	1,80	
					46,70	36,85	1,79		
60,00%	40,00%	40,00	26,67	9,53	47,40	37,55	1,83	1,83	
					47,60	37,75	1,84		
50,00%	50,00%	40,00	40,00	13,33	47,30	37,45	1,82	1,82	
					47,40	37,55	1,83		
40,00%	60,00%	40,00	60,00	20,00	46,50	36,65	1,78	1,78	
					46,50	36,65	1,78		
PORCENTAJE MÁXIMO DE AGREGADO FINO						40,00 %			
PORCENTAJE MÁXIMO DE AGREGADO GRUESO						60,00 %			
PORCENTAJE ÓPTIMO DE AGREGADO FINO						36,00 %			
PORCENTAJE ÓPTIMO DE AGREGADO GRUESO						64,00 %			
DENSIDAD MÁXIMA DE LA MEZCLA						1,83 gr / cm³			
DENSIDAD ÓPTIMA DE LA MEZCLA						1,825 gr / cm³			

Elaborado por: Karol Natalí Vivas Villarreal.

GRÁFICO N° 4: Porcentaje Óptimo vs. Densidad Aparente Promedio.



Elaborado por: Karol Natalí Vivas Villarreal.

TABLA N° 14: Densidad Real y Capacidad de Absorción del Agregado Grueso.

<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p> <p style="text-align: center;">TEMA: "DISEÑO DE UN HORMIGÓN LIVIANO ELABORADO CON CENIZA DE MADERA COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL AGREGADO FINO".</p> <p style="text-align: center;"><u>DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO</u></p>				
ORIGEN:	Cantera Villacrés			
ENSAYADO POR:	Egda. Karol Vivas	FECHA:	19/11/2015	
NORMA:	INEN 857			
<u>DENSIDAD REAL DEL AGREGADO GRUESO</u>				
DATO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR	
m1	Masa de la Canastilla en el aire	gr.	1246,50	
m2	Masa de la Canastilla en el agua	gr.	1078,00	
m3	Masa de la Canastilla + Muestra S.S.S. en el aire	gr.	6229,50	
m4	Masa de la Canastilla + Muestra S.S.S. en el agua	gr.	4122,00	
da	Densidad Real del Agua	gr. / cc	1,000	
m5 = m3 - m1	Masa de la Muestra S.S.S. en el aire	gr.	4983,00	
m6 = m4 - m2	Masa de la Muestra S.S.S. en el agua	gr.	3044,00	
VR = (m5 - m6) / da	Volumen Real de la Muestra	cc	1939,00	
DR = m5 / VR	Densidad Real del Ripio	gr. / cc	2,57	
<u>CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO</u>				
m7	Masa del Recipiente	gr.	28,90	23,10
m8	Masa del Recipiente + Muestra S.S.S.	gr.	142,20	127,20
m9 = m8 - m7	Masa de la Muestra S.S.S.	gr.	113,30	104,10
m10	Masa del Recipiente + Muestra Seca	gr.	140,20	125,40
m11 = m10 - m7	Masa de la Muestra Seca	gr.	111,30	102,30
CA = ((m9 - m11) / m11) x 100	Capacidad de Absorción	%	1,80	1,76
CAP = (CA1 + CA2) / 2	Capacidad de Absorción Promedio	%	1,78	

Elaborado por: Karol Natalí Vivas Villarreal.

TABLA N° 15: Densidad Real y Capacidad de Absorción del Agregado Fino / Arena.

<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p> <p style="text-align: center;">TEMA: "DISEÑO DE UN HORMIGÓN LIVIANO ELABORADO CON CENIZA DE MADERA COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL AGREGADO FINO".</p> <p style="text-align: center;"><u>DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO</u></p>				
ORIGEN:	Cantera Villacrés			
ENSAYADO POR:	Egda. Karol Vivas	FECHA:	19/11/2015	
NORMA:	INEN 856			
<u>DENSIDAD REAL DEL AGREGADO FINO</u>				
DATO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR	
m1	Masa del Picnómetro	gr.	146,40	
m2	Masa del Picnómetro + Muestra S.S.S.	gr.	474,70	
m3	Masa del Picnómetro + Muestra S.S.S. + Agua	gr.	845,10	
m4= m3 - m2	Masa Agua añadida	gr.	370,40	
m5	Masa Picnómetro + 500 cc Agua	gr.	642,80	
m6 = m5 - m1	Masa de 500 cc Agua	gr.	496,40	
da= m6 / 500 cc	Densidad del Agua	gr. / cc	0,993	
m7 = m6 - m4	Masa del agua desalojada por la Muestra	gr.	126,00	
Msss= m2 - m1	Masa del Agregado	gr.	328,30	
Vsss= m7 / da	Volumen de agua desalojada	cc	126,91	
DRA= Msss / Vsss	Densidad Real de la Arena	gr. / cc	2,59	
<u>CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO</u>				
m7	Masa del Recipiente	gr.	26,30	23,10
m8	Masa del Recipiente + Muestra S.S.S.	gr.	118,00	129,60
m9 = m8 - m7	Masa de la Muestra S.S.S.	gr.	91,70	106,50
m10	Masa del Recipiente + Muestra Seca	gr.	117,30	129,20
m11 = m10 - m7	Masa de la Muestra Seca	gr.	91,00	106,10
CA=((m9 - m11) / m11) x 100	Capacidad de Absorción	%	0,77	0,38
CAP = (CA1 + CA2) /2	Capacidad de Absorción Promedio	%	0,57	

Elaborado por: Karol Natalí Vivas Villarreal.

TABLA N° 16: Densidad Real del Agregado Fino / Ceniza de Madera.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
TEMA: "DISEÑO DE UN HORMIGÓN LIVIANO ELABORADO CON CENIZA DE MADERA COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL AGREGADO FINO".			
<u>DENSIDAD REAL DE LA CENIZA DE MADERA</u>			
ORIGEN:	Horno Cevallos		
ENSAYADO POR:	Egda. Karol Vivas	FECHA:	17/02/2016
NORMA:	INEN 856		
<u>DENSIDAD REAL DE LA CENIZA DE MADERA</u>			
DATO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR
m1	Masa del Picnómetro	gr.	163,10
m2	Masa del Picnómetro + Muestra S.S.S.	gr.	267,60
m3	Masa del Picnómetro + Muestra S.S.S. + Agua	gr.	712,60
m4= m3 - m2	Masa Agua añadida	gr.	445,00
m5	Masa Picnómetro + 500 cc Agua	gr.	659,70
m6 = m5 - m1	Masa de 500 cc Agua	gr.	496,60
da= m6 / 500 cc	Densidad del Agua	gr. / cc	0,993
m7 = m6 - m4	Masa del agua desalojada por la Muestra	gr.	51,60
Msss= m2 - m1	Masa del Agregado	gr.	104,50
Vsss= m7 / da	Volumen de agua desalojada	cc	51,95
DRA= Msss / Vsss	Densidad Real de la Ceniza	gr. / cc	2,01

Elaborado por: Karol Natalí Vivas Villarreal.

La densidad real de la ceniza de madera es $2,01 \text{ gr} / \text{cm}^3$, misma que la define como un agregado ligero, en vista de que éstos poseen densidades con valores menores a $2,50 \text{ gr} / \text{cm}^3$ conforme a lo citado en el Capítulo II.

TABLA N° 17: Producción de la ceniza de madera.

<p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p> <p>TEMA: "DISEÑO DE UN HORMIGÓN LIVIANO ELABORADO CON CENIZA DE MADERA COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL AGREGADO FINO".</p> <p><u>PRODUCCIÓN DE LA CENIZA DE MADERA</u></p>			
ORIGEN:	Cantón Cevallos		
LECTURA TOMADA POR:	Egda. Karol Vivas	FECHA:	02/02/2016
<u>TIPO DE MADERA : EUCALIPTO</u>			
CONDICIÓN MADERA		TEMPERATURA COMBUSTIÓN (° C)	
Seca		572,9	
Seca		585,8	
Seca		589,1	

Elaborado por: Karol Natalí Vivas Villarreal.

TABLA N° 18: Densidad Real del Cemento.

<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p> <p style="text-align: center;">TEMA: "DISEÑO DE UN HORMIGÓN LIVIANO ELABORADO CON CENIZA DE MADERA COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL AGREGADO FINO".</p> <p style="text-align: center;"><u>DENSIDAD REAL DEL CEMENTO</u></p>				
ORIGEN:	CEMENTO HOLCIM TIPO GU			
ENSAYADO POR:	Egda. Karol Vivas	FECHA:	19/11/2015	
DATOS	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	ENSAYO 1	ENSAYO 2
m1	Masa del Picnómetro	gr.	174,20	174,20
m2	Masa del Picnómetro + Cemento	gr.	349,30	349,80
m3	Masa del Picnómetro + Cemento + Gasolina	gr.	670,20	670,40
m4= m3 - m2	Masa Gasolina añadida	gr.	320,90	320,60
m5	Masa del Picnómetro + 500 cc Gasolina	gr.	537,40	537,40
m6= m5 - m1	Masa 500 cc Gasolina	gr.	363,20	363,20
dg= m6/ 500 cc	Densidad de la Gasolina	gr. / cc	0,726	0,726
m7 = m6 - m4	Masa Gasolina desalojada por el Cemento	gr.	42,30	42,60
mc = m2 - m1	Masa de Cemento	gr.	175,10	175,60
VG = vc = m7 / dg	Volumen de Gasolina desalojada = Volumen del Cemento añadido	cc	58,23	58,65
DRC = mc / vc	Densidad Real del Cemento	gr. / cc	3,01	2,99
DPC	Densidad Promedio	gr. / cc	3,00	

Elaborado por: Karol Natalí Vivas Villarreal.

4.1.3 Dosificación del Hormigón

4.1.3.1 Método de la Densidad Óptima

En esta investigación se trabaja en base a la densidad óptima para obtener una dosificación de $f'c = 180 \text{ kg / cm}^2$. Para los cálculos se requiere la información de la Tabla N° 11 a la 18:

TABLA N° 19: Datos necesarios para la dosificación.

DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
Densidad Real del Cemento / DRC	3,00	kg / dm ³
Densidad Real del Agregado Fino / DRA	2,59	kg / dm ³
Densidad Real del Agregado Grueso / DRR	2,57	kg / dm ³
Densidad Aparente del Agregado Fino (Suelta) / DAA	1,55	kg / dm ³
Densidad Aparente del Agregado Grueso (Suelta) / DAR	1,36	kg / dm ³
Porcentaje Óptimo de Agregado Fino / POA	36	%
Porcentaje Óptimo del Agregado Grueso / POR	64	%
Densidad Óptima de la Mezcla / DOM	1,825	kg / dm ³

Elaborado por: Karol Natalí Vivas Villarreal.

A continuación se explica el procedimiento de cálculo para el método:

- a. Establecer la relación agua / cemento de acuerdo a la resistencia a la compresión solicitada:

TABLA N° 20: Resistencia a la compresión del hormigón basada en la relación agua / cemento. [8]

Resistencia a la compresión a los 28 días en MPa ($f'c$)	Relación agua / cemento (w/c)
25	0,55
24	0,56
21	0,58
18	0,60

a. Determinar la densidad real de la mezcla (DRM).

$$\text{DRM} = \frac{\text{DRA} \times \text{POA} + \text{DRR} \times \text{POR}}{100} \quad \text{Ec.8 [8]}$$

$$\text{DRM} = \frac{2,59 \times 36 + 2,57 \times 64}{100}$$

$$\text{DRM} = 2,577 \text{ kg / dm}^3$$

b. Calcular el porcentaje óptimo de vacíos (POV).

$$\text{POV} = \frac{\text{DRM} - \text{DOM}}{\text{DRM}} \times 100 \quad \text{Ec.9 [8]}$$

$$\text{POV} = \frac{2,577 - 1,825}{2,577} \times 100$$

$$\text{POV} = 28,99 \%$$

c. Definir la cantidad de pasta (CP) de acuerdo al asentamiento requerido.

Para llenar los vacíos dejados por el agregado y cubrirlos totalmente se añade una cantidad extra equivalente al 2% de pasta.

TABLA N° 21: Cantidad de pasta en función del asentamiento requerido. [8]

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

$$CP = POV + 2 \% + 8 \% \times POV \quad \text{Ec.10 [8]}$$

$$CP = 28,99 + 2 \% + 8 \% \times 28,99$$

$$CP = 28,99 + 2 \% + 0,08 \times 28,99$$

$$CP = 33,309 \%$$

La cantidad de pasta en volumen corresponde al porcentaje obtenido por el volumen total del hormigón así:

$$CP = 0,33309 \times 1.000 \text{ dm}^3$$

$$CP = 333,12 \text{ dm}^3$$

d. Calcular la cantidad de cemento (C).

$$C = \frac{CP}{\frac{w}{c} + \frac{1}{DRC}} \quad \text{Ec.11 [8]}$$

$$C = \frac{333,12 \text{ dm}^3}{0,60 + \frac{1}{3,00 \text{ kg / dm}^3}}$$

$$C = 356,92 \text{ kg}$$

e. Calcular la cantidad de agua (W).

Cuando es conocida la cantidad de cemento y la dosificación de un material, la cantidad de éste se obtiene con:

$$\text{Cantidad de un Material} = \text{Dosificación del Material} \times \text{Cantidad de Cemento}$$

$$w = \frac{W}{c} \times c \quad \text{Ec.12 [8]}$$

$$w = 0,60 \times 356,92 \text{ kg}$$

$$w = 214,15 \text{ lts}$$

f. Determinar la cantidad de agregado fino (A).

$$A = (1.000 - CP) \times DRA \times POA / 100 \quad \text{Ec.13 [8]}$$

$$A = (1.000 - 333,12) \text{ dm}^3 \times 2,59 \text{ kg / dm}^3 \times 36 / 100$$

$$A = 621,80 \text{ kg}$$

g. Determinar la cantidad de agregado grueso (R).

$$R = (1.000 - CP) \times DRR \times POR / 100 \quad \text{Ec.14 [8]}$$

$$R = (1.000 - 333,12) \text{ dm}^3 \times 2,57 \text{ kg / dm}^3 \times 64 / 100$$

$$R = 1096,88 \text{ kg}$$

En resumen las cantidades de cada material son:

TABLA N° 22: Dosificación por el Método de la Densidad Óptima.

Material	Cantidad para 1 m³:		Dosificación al peso
W	214,15	lts	0,60
C	356,92	kg	1
A	621,80	kg	1,74
R	1096,88	kg	3,07

Elaborado por: Karol Natalí Vivas Villarreal.

TABLA N° 23: Dosificación para un $f'c = 180 \text{ kg/cm}^2$.

DOSIFICACIÓN MÉTODO DE LA UNIVERSIDAD CENTRAL						
DATOS DE ENSAYOS			DATOS DE TABLAS			
f'c	180	Kg/cm²	W/C	0,6		
Asentamiento	6 - 9	cm	CP (%)	POV + 2% + 8%(POV)		
DRC	3,000	gr/cm ³	CÁLCULOS			
DRA	2,590	gr/cm ³	DRM	2,577	kg/dm ³	
DRR	2,570	gr/cm ³	POV	28,99	%	
DSA	1,550	gr/cm ³	CP	333,12	dm ³	
DSR	1,360	gr/cm ³	C	356,92	Kg	
POA	36	%	W	214,15	lts	
POR	64	%	A	621,80	kg	
DOM	1,830	gr/cm ³	R	1096,88	kg	
DOSIFICACIÓN AL PESO						
MATERIAL		CANTIDAD EN Kg POR CADA m³ DE HORMIGÓN		DOSIFICACIÓN AL PESO		
W		214,15		0,60		
C		356,92		1,00		
X		621,80		1,74		
R		1096,88		3,07		
TOTAL		2289,74		kg/m³ Densidad del Horm.		
DOSIFICACIÓN AL VOLUMEN						
MATERIAL	CANTIDAD EN Kg POR CADA m³ DE HORMIGÓN	DOSIFICACIÓN AL PESO	CANTIDAD EN Kg POR SACO DE CEMENTO	VOLUMEN APARENTE SUELTO EN dm³ POR CADA SACO DE CEMENTO	DOSIFICACIÓN AL VOLUMEN EN OBRA	
W	214,15	0,60	30,00	-	30,00	litros
C	356,92	1,00	50,00	-	1	saco
A	621,80	1,74	87,11	56,20	2,10	cajones
R	1096,88	3,07	153,66	112,99	4,20	cajones
VOLUMEN REAL DEL HORMIGÓN			320,77	dm³ c/saco		
DIMENSIONES CAJÓN: B = L = H = 3,00 dm				VOLUMEN CAJÓN	27,00 dm³	
NOMENCLATURA:						
DRC	Densidad Real del Cemento		CP (%)	Cantidad de Pasta en %		
DRA	Densidad Real del Agregado Fino		DRM	Densidad Real de la Mezcla		
DRR	Densidad Real del Agregado Grueso		POV	Porcentaje Óptimo de Vacíos		
DSA	Densidad Suelta del Agregado Fino		CP	Cantidad de Pasta		
DSR	Densidad Suelta del Agregado Grueso		C	Cantidad de Cemento		
POA	Porcentaje Óptimo del Agregado Fino		W	Cantidad de Agua		
POR	Porcentaje Óptimo del Agregado Grueso		A	Cantidad de Agregado Fino		
DOM	Densidad Óptima de la Mezcla		R	Cantidad de Agregado Grueso		
W/C	Relación Agua Cemento					

Elaborado por: Karol Natalí Vivas Villarreal.

Finalmente, los cálculos para la dosificación del número de cilindros propuestos (36 probetas cilíndricas) se harán mediante la ecuación:

Dosificación de Cilindros Propuestos = Dosificación en kg por m³ × Volumen de cilindros

Para ello:

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

TABLA N° 24: Dosificación por el Método de la Densidad Óptima para 36 cilindros.

Material	Cantidad para 0,19085 m³:		Dosificación al peso
W	40,87	lts	0,60
C	68,12	kg	1
A	118,67	kg	1,74
R	206,34	kg	3,07

Elaborado por: Karol Natalí Vivas Villarreal.

4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.2.1 Propiedades del Hormigón en Estado Fresco

TABLA N° 25: Propiedades en estado fresco de un hormigón convencional.

<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p> <p style="text-align: center;">TEMA: "DISEÑO DE UN HORMIGÓN LIVIANO ELABORADO CON CENIZA DE MADERA COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL AGREGADO FINO".</p> <p style="text-align: center;"><u>PROPIEDADES DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO EN CILINDROS DE HORMIGÓN $f'c = 180 \text{ kg / cm}^2$</u></p>											
REALIZADO POR:	Egda. Karol Vivas				ALTURA CILINDRO:	0,30 m					
NORMA:	NTE INEN 1578 - NTE INEN 1579										
PROBETA N°	FECHA DE ELABORACIÓN	DIÁMETRO (cm)	MASA DEL RECIPIENTE LLENO DE HORMIGÓN (kg)	MASA DEL RECIPIENTE VACÍO (kg)	MASA DE HORMIGÓN (kg)	VOLUMEN DEL RECIPIENTE (m³)	TRABAJABILIDAD	CONSISTENCIA (cm)	HOMOGENEIDAD	DENSIDAD (kg/m³)	DENSIDAD PROMEDIO (kg/m³)
1	08/03/2016	15,2	24,0	11,2	12,80	0,005	MEDIA	7,0	BUENA	2351,32	2348,12
2		15,2	23,9	11,2	12,70	0,005				2332,95	
3		15,0	24,0	11,6	12,40	0,005				2338,99	
4		15,2	23,9	11,3	12,60	0,005				2314,58	
5		15,2	23,9	11,2	12,70	0,005				2332,95	
6		15,2	24,0	11,4	12,60	0,005		2314,58			
7		15,1	18,5	5,8	12,70	0,005		2363,95			
8		15,1	18,6	5,8	12,80	0,005		2382,57			
9		15,1	18,7	5,8	12,90	0,005		2401,18			

Elaborado por: Karol Natalí Vivas Villarreal.

TABLA N° 26: Propiedades en estado fresco de un hormigón con una sustitución del 30% del agregado fino.

<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p> <p style="text-align: center;">TEMA: "DISEÑO DE UN HORMIGÓN LIVIANO ELABORADO CON CENIZA DE MADERA COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL AGREGADO FINO".</p> <p style="text-align: center;"><u>PROPIEDADES DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO EN CILINDROS DE HORMIGÓN f'c = 180 kg / cm²</u></p>											
REALIZADO POR:	Egda. Karol Vivas				ALTURA CILINDRO:	0,30 m					
NORMA:	NTE INEN 1578 - NTE INEN 1579										
PROBETA N°	FECHA DE ELABORACIÓN	DIÁMETRO (cm)	MASA DEL RECIPIENTE LLENO DE HORMIGÓN (kg)	MASA DEL RECIPIENTE VACÍO (kg)	MASA DE HORMIGÓN (kg)	VOLUMEN DEL RECIPIENTE (m ³)	TRABAJABILIDAD	CONSISTENCIA (cm)	HOMOGENEIDAD	DENSIDAD (kg/m ³)	DENSIDAD PROMEDIO (kg/m ³)
19	09/03/2016	15,1	23,6	11,3	12,30	0,005	MEDIA	7,0	BUENA	2289,50	2253,62
20		15,2	23,4	11,4	12,00	0,005				2204,36	
21		15,2	23,4	11,4	12,00	0,005				2204,36	
22		15,1	23,5	11,3	12,20	0,005				2270,88	
23		15,1	19,1	6,8	12,30	0,005				2289,50	
24		15,2	23,5	11,4	12,10	0,005		2222,73			
25		15,2	23,6	11,3	12,30	0,005		2259,47			
26		15,1	23,4	11,3	12,10	0,005		2252,27			
27		15,1	23,6	11,3	12,30	0,005		2289,50		BLANDA	

Elaborado por: Karol Natalí Vivas Villarreal.

TABLA N° 27: Propiedades en estado fresco de un hormigón con una sustitución del 50% del agregado fino.

<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p> <p style="text-align: center;">TEMA: "DISEÑO DE UN HORMIGÓN LIVIANO ELABORADO CON CENIZA DE MADERA COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL AGREGADO FINO".</p> <p style="text-align: center;"><u>PROPIEDADES DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO EN CILINDROS DE HORMIGÓN f'c = 180 kg / cm²</u></p>											
REALIZADO POR:	Egda. Karol Vivas				ALTURA CILINDRO:	0,30 m					
NORMA:	NTE INEN 1578 - NTE INEN 1579										
PROBETA N°	FECHA DE ELABORACIÓN	DIÁMETRO (cm)	MASA DEL RECIPIENTE LLENO DE HORMIGÓN (kg)	MASA DEL RECIPIENTE VACÍO (kg)	MASA DE HORMIGÓN (kg)	VOLUMEN DEL RECIPIENTE (m ³)	TRABAJABILIDAD	CONSISTENCIA (cm)	HOMOGENEIDAD	DENSIDAD (kg/m ³)	DENSIDAD PROMEDIO (kg/m ³)
28	08/03/2016	15,0	23,4	11,5	11,90	0,005	MEDIA	7,0	BUENA	2244,67	2250,01
29		15,2	23,6	11,5	12,10	0,005				2222,73	
30		15,2	23,4	11,3	12,10	0,005				2222,73	
31		15,1	23,6	11,4	12,20	0,005				2270,88	
32		15,0	23,5	11,4	12,10	0,005				2282,40	
33		15,2	23,6	11,6	12,00	0,005		2204,36			
34		15,2	23,6	11,4	12,20	0,005		2241,10			
35		15,2	23,6	11,4	12,20	0,005		2241,10			
36		15,0	23,9	11,6	12,30	0,005		2320,13		BLANDA	

Elaborado por: Karol Natalí Vivas Villarreal.

TABLA N° 28: Propiedades en estado fresco de un hormigón con una sustitución del 70% del agregado fino.

<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p> <p style="text-align: center;">TEMA: "DISEÑO DE UN HORMIGÓN LIVIANO ELABORADO CON CENIZA DE MADERA COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL AGREGADO FINO".</p> <p style="text-align: center;"><u>PROPIEDADES DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO EN CILINDROS DE HORMIGÓN $f'c = 180 \text{ kg/cm}^2$</u></p>											
REALIZADO POR:	Egda. Karol Vivas				ALTURA CILINDRO:	0,30 m					
NORMA:	NTE INEN 1578 - NTE INEN 1579										
PROBETA N°	FECHA DE ELABORACIÓN	DIÁMETRO (cm)	MASA DEL RECIPIENTE LLENO DE HORMIGÓN (kg)	MASA DEL RECIPIENTE VACÍO (kg)	MASA DE HORMIGÓN (kg)	VOLUMEN DEL RECIPIENTE (m³)	TRABAJABILIDAD	CONSISTENCIA (cm)	HOMOGENEIDAD	DENSIDAD (kg/m³)	DENSIDAD PROMEDIO (kg/m³)
10	09/03/2016	15,0	23,1	11,5	11,60	0,005	MEDIA	7,0	BUENA	2188,09	2190,16
11		15,2	23,3	11,5	11,80	0,005				2167,62	
12		15,2	23,1	11,3	11,80	0,005				2167,62	
13		15,1	23,2	11,4	11,80	0,005				2196,43	
14		15,0	23,2	11,4	11,80	0,005				2225,81	
15		15,2	23,4	11,6	11,80	0,005		2167,62			
16		15,2	23,3	11,4	11,90	0,005		2185,99			
17		15,2	23,2	11,4	11,80	0,005		2167,62			
18		15,0	23,5	11,6	11,90	0,005		2244,67			

Elaborado por: Karol Natalí Vivas Villarreal.

4.2.2 Propiedades del Hormigón en Estado Endurecido

TABLA N° 29: Densidad endurecida de un hormigón convencional.

<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p> <p style="text-align: center;">TEMA: "DISEÑO DE UN HORMIGÓN LIVIANO ELABORADO CON CENIZA DE MADERA COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL AGREGADO FINO".</p> <p style="text-align: center;"><u>DENSIDAD DEL HORMIGÓN EN ESTADO ENDURECIDO DE $f'c = 180 \text{ kg / cm}^2$</u></p>							
REALIZADO POR:	Egda. Karol Vivas			ALTURA CILINDRO:	0,30 m		
NORMA:	NTE INEN 1573						
PROBETA N°	EDAD EN DÍAS	DIÁMETRO (cm)	ÁREA (cm ²)	VOLUMEN DEL CILINDRO (m ³)	MASA DE HORMIGÓN (kg)	DENSIDAD DEL HORMIGÓN (kg/m ³)	DENSIDAD PROMEDIO (kg/m ³)
1	7	15,2	181,5	0,005	12,4	2283,35	2294,73
2		15,2	181,5	0,005	12,4	2270,13	
3		15,0	176,7	0,005	12,1	2289,94	
4	14	15,1	179,1	0,005	12,2	2275,16	
5		15,2	181,5	0,005	12,4	2271,41	
6		15,1	179,1	0,005	12,3	2283,17	
7	28	15,2	181,5	0,005	12,5	2296,58	
8		15,2	181,5	0,005	12,7	2331,48	
9		15,2	181,5	0,005	12,8	2351,32	

Elaborado por: Karol Natalí Vivas Villarreal.

TABLA N° 30: Densidad endurecida de un hormigón con una sustitución del 30% del agregado fino.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL							
TEMA: "DISEÑO DE UN HORMIGÓN LIVIANO ELABORADO CON CENIZA DE MADERA COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL AGREGADO FINO".							
<u>DENSIDAD DEL HORMIGÓN EN ESTADO ENDURECIDO DE $f'c = 180 \text{ kg / cm}^2$</u>							
REALIZADO POR:	Egda. Karol Vivas			ALTURA CILINDRO:	0,30 m		
NORMA:	NTE INEN 1573						
PROBETA N°	EDAD EN DÍAS	DIÁMETRO (cm)	ÁREA (cm²)	VOLUMEN DEL CILINDRO (m³)	MASA DE HORMIGÓN (kg)	DENSIDAD DEL HORMIGÓN (kg/m³)	DENSIDAD PROMEDIO (kg/m³)
19	7	15,1	179,1	0,005	12,0	2234,40	2233,75
20		15,1	179,1	0,005	12,0	2241,47	
21		15,2	181,5	0,005	12,1	2224,20	
22	14	15,1	179,1	0,005	12,1	2260,46	
23		15,2	181,5	0,005	12,1	2223,65	
24		15,2	181,5	0,005	12,0	2202,71	
25	28	15,2	181,5	0,005	12,0	2203,99	
26		15,0	176,7	0,005	12,0	2264,48	
27		15,1	179,1	0,005	12,1	2248,36	

Elaborado por: Karol Natalí Vivas Villarreal.

TABLA N° 31: Densidad endurecida de un hormigón con una sustitución del 50% del agregado fino.

<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p> <p style="text-align: center;">TEMA: "DISEÑO DE UN HORMIGÓN LIVIANO ELABORADO CON CENIZA DE MADERA COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL AGREGADO FINO".</p> <p style="text-align: center;"><u>DENSIDAD DEL HORMIGÓN EN ESTADO ENDURECIDO DE $f'c = 180 \text{ kg / cm}^2$</u></p>							
REALIZADO POR:	Egda. Karol Vivas			ALTURA CILINDRO:	0,30 m		
NORMA:	NTE INEN 1573						
PROBETA N°	EDAD EN DÍAS	DIÁMETRO (cm)	ÁREA (cm ²)	VOLUMEN DEL CILINDRO (m ³)	MASA DE HORMIGÓN (kg)	DENSIDAD DEL HORMIGÓN (kg/m ³)	DENSIDAD PROMEDIO (kg/m ³)
28	7	15,2	181,5	0,005	12,0	2204,73	2210,38
29		15,1	179,1	0,005	11,9	2210,02	
30		15,1	179,1	0,005	12,0	2229,19	
31	14	15,2	181,5	0,005	11,9	2186,18	
32		15,1	179,1	0,005	12,1	2255,06	
33		15,2	181,5	0,005	12,0	2196,65	
34	28	15,2	181,5	0,005	12,1	2223,10	
35		15,2	181,5	0,005	12,0	2196,83	
36		15,2	181,5	0,005	11,9	2191,69	

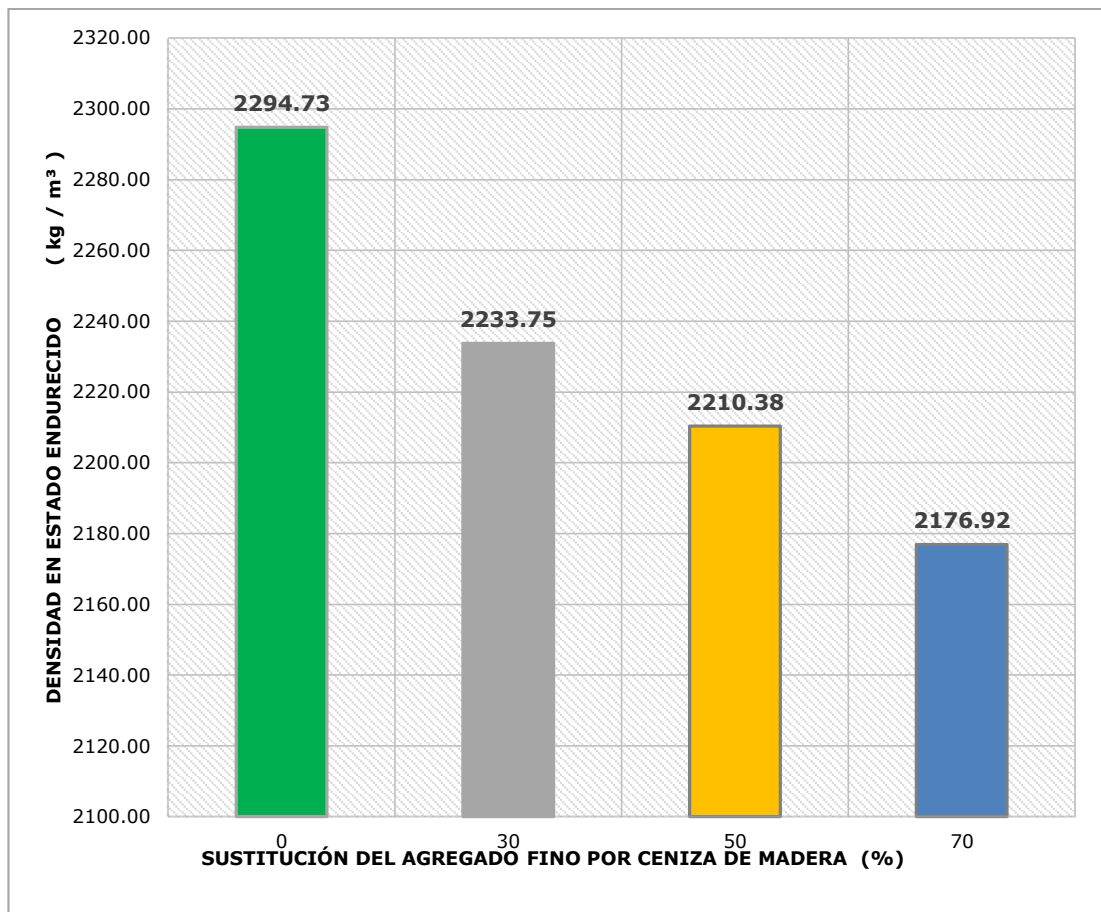
Elaborado por: Karol Natalí Vivas Villarreal.

TABLA N° 32: Densidad endurecida de un hormigón con una sustitución del 70% del agregado fino.

<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p> <p style="text-align: center;">TEMA: "DISEÑO DE UN HORMIGÓN LIVIANO ELABORADO CON CENIZA DE MADERA COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL AGREGADO FINO".</p> <p style="text-align: center;"><u>DENSIDAD DEL HORMIGÓN EN ESTADO ENDURECIDO DE $f'c = 180 \text{ kg / cm}^2$</u></p>							
REALIZADO POR:	Egda. Karol Vivas			ALTURA CILINDRO:	0,30 m		
NORMA:	NTE INEN 1573						
PROBETA N°	EDAD EN DÍAS	DIÁMETRO (cm)	ÁREA (cm ²)	VOLUMEN DEL CILINDRO (m ³)	MASA DE HORMIGÓN (kg)	DENSIDAD DEL HORMIGÓN (kg/m ³)	DENSIDAD PROMEDIO (kg/m ³)
10	7	15,1	179,1	0,005	11,6	2166,65	2176,92
11		15,1	179,1	0,005	11,8	2187,31	
12		15,2	181,5	0,005	11,9	2181,22	
13	14	15,2	181,5	0,005	11,8	2163,40	
14		15,1	179,1	0,005	11,8	2192,71	
15		15,2	181,5	0,005	11,8	2164,50	
16	28	15,1	179,1	0,005	12,0	2227,33	
17		15,2	181,5	0,005	11,7	2144,66	
18		15,2	181,5	0,005	11,8	2164,50	

Elaborado por: Karol Natalí Vivas Villarreal.

GRÁFICO N° 5: Porcentaje de Sustitución vs. Densidad en Estado Endurecido.



Elaborado por: Karol Natalí Vivas Villarreal.

Según el **Gráfico N° 5**: en base a la densidad del hormigón convencional, tenemos una disminución de 2,66%; 3,68% y 5,13% al sustituir el agregado fino en un 30%, 50% y 70% respectivamente.

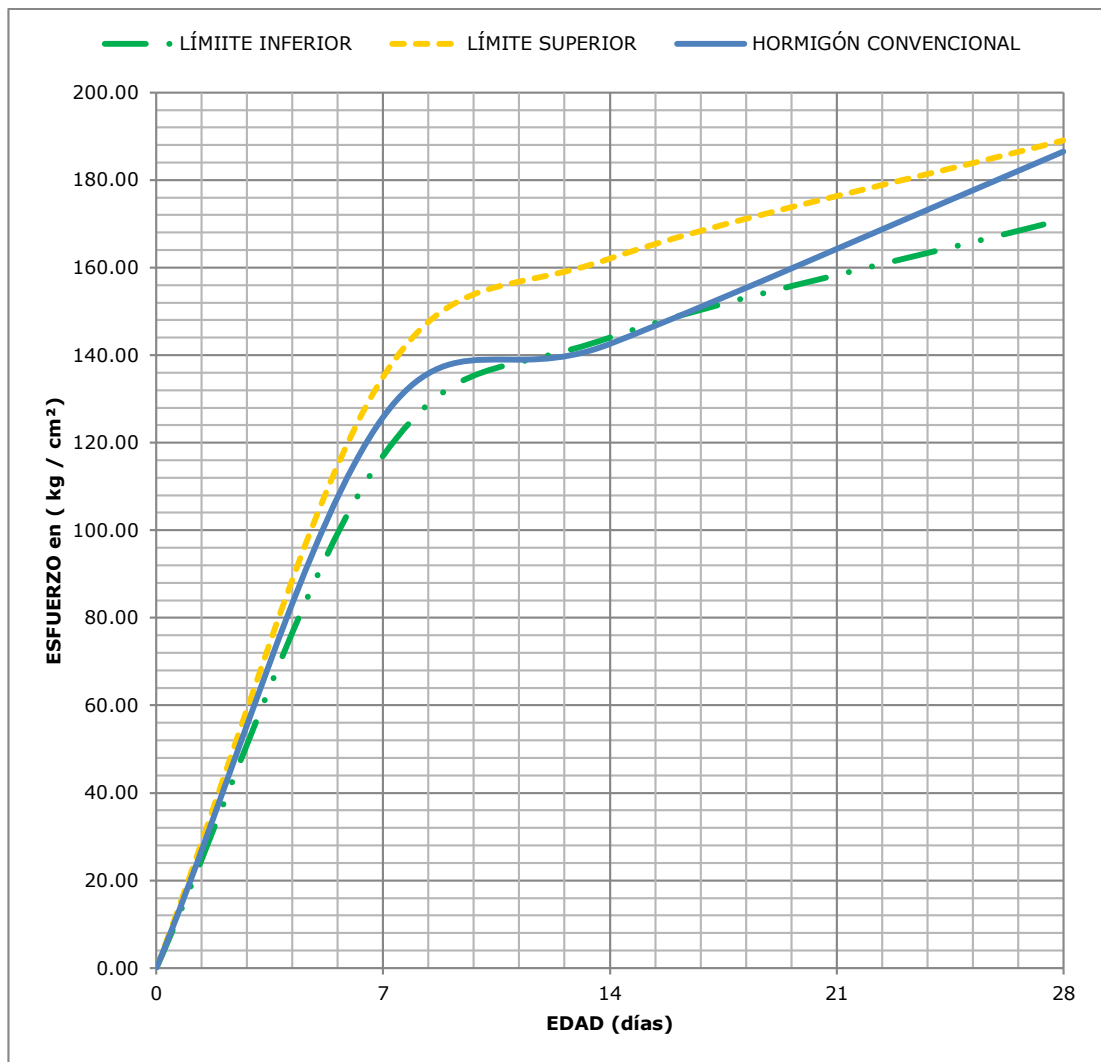
La densidad del hormigón con ceniza de madera disminuye a medida que aumenta el porcentaje de sustitución. Sin embargo, estas densidades exceden la de un hormigón liviano que es 2.000 kg/m³.

TABLA N° 33: Resistencia a la Compresión de un hormigón convencional.

<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p> <p style="text-align: center;">TEMA: "DISEÑO DE UN HORMIGÓN LIVIANO ELABORADO CON CENIZA DE MADERA COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL AGREGADO FINO".</p> <p style="text-align: center;"><u>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN DE $f'c = 180 \text{ kg/cm}^2$</u></p>											
REALIZADO POR:	Egda. Karol Vivas					ALTURA CILINDRO:	0,30 m				
NORMA:	NTE INEN 1573										
PROBETA N°	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE ENSAYO	EDAD EN DÍAS	DIÁMETRO (cm)	ÁREA (cm ²)	CARGA		ESFUERZO	ESFUERZO	ESFUERZO	ESFUERZO
						(kN)	(kg)	COMPRESIÓN (kg/cm ²)	COMPRESIÓN (%)	PROMEDIO (kg/cm ²)	PROMEDIO (%)
1	08/03/2016	15/03/2016	7	15,2	181,5	223,63	22803,88	125,67	70	125,84	70
2				15,2	181,5	224,93	22936,48	126,40	70		
3				15,0	176,7	217,40	22168,63	125,45	70		
4	08/03/2016	22/03/2016	14	15,1	179,1	253,50	25849,81	144,35	80	142,55	79
5				15,2	181,5	254,06	25906,91	142,77	79		
6				15,1	179,1	246,81	25167,62	140,54	78		
7	08/03/2016	05/04/2016	28	15,2	181,5	330,28	33679,19	185,60	103	186,49	104
8				15,2	181,5	324,58	33097,95	182,40	101		
9				15,2	181,5	340,70	34741,73	191,46	106		
7 Días - (LÍMITE INFERIOR 65% - LÍMITE SUPERIOR 75%)											
14 Días - (LÍMITE INFERIOR 80% - LÍMITE SUPERIOR 90%)											
28 Días - (LÍMITE INFERIOR 95% - LÍMITE SUPERIOR 105%)											

Elaborado por: Karol Natalí Vivas Villarreal.

GRÁFICO N° 6: Edad vs. Esfuerzo a la Compresión / Hormigón Convencional.



Elaborado por: Karol Natalí Vivas Villarreal.

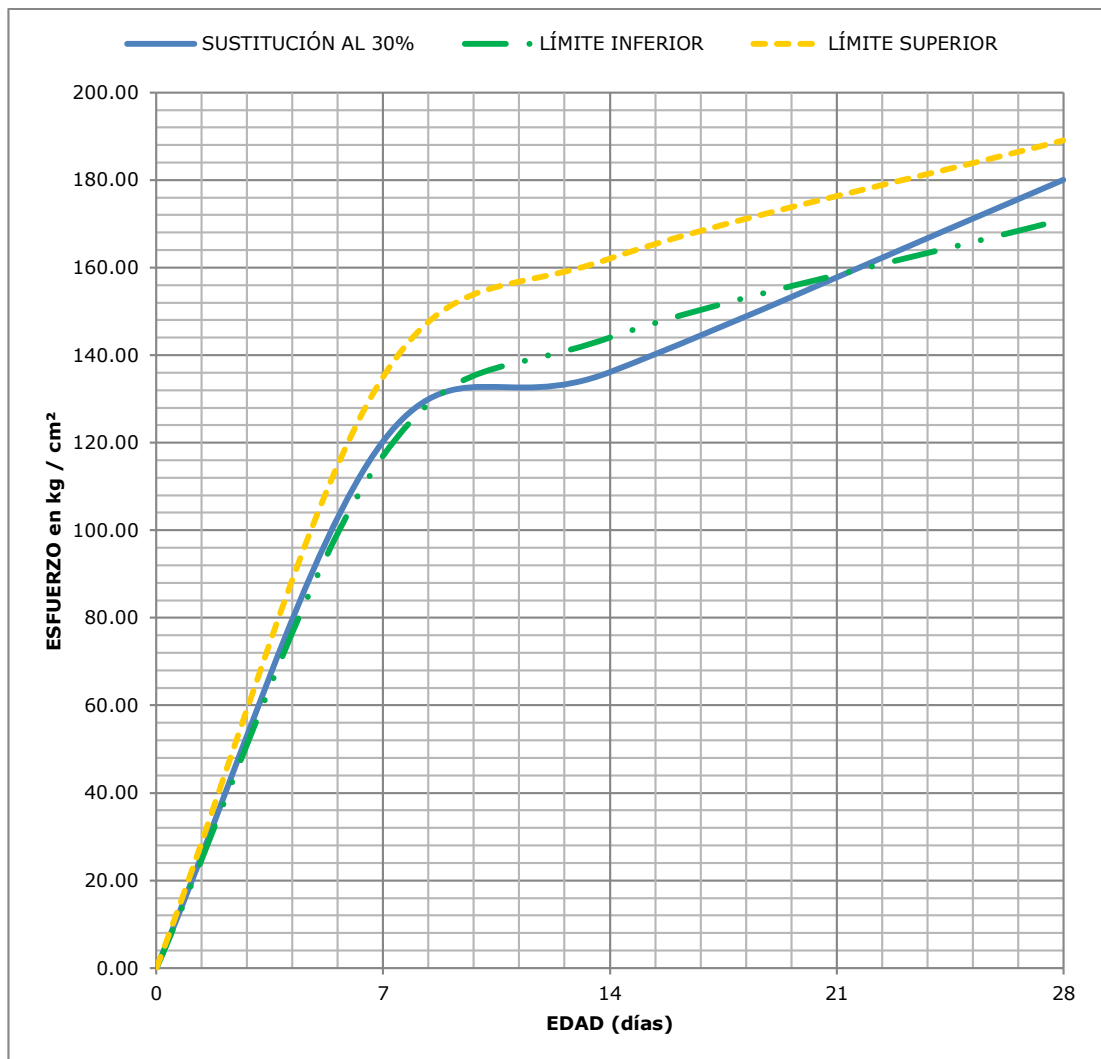
Según el **Gráfico N° 6**: se comprueba que la resistencia a la compresión del hormigón convencional se encuentra dentro de los límites superior e inferior definidos en [37] para 7, 14 y 28 días de edad. Siendo la resistencia máxima de 186,49 kg/cm² lo que lo define como un hormigón apto para la construcción puesto que cumple con el diseño propuesto.

TABLA N° 34: Resistencia a la Compresión de un hormigón con una sustitución del 30% del agregado fino.

<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p> <p style="text-align: center;">TEMA: "DISEÑO DE UN HORMIGÓN LIVIANO ELABORADO CON CENIZA DE MADERA COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL AGREGADO FINO".</p> <p style="text-align: center;"><u>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN DE $f'c = 180 \text{ kg/cm}^2$</u></p>											
REALIZADO POR:	Egda. Karol Vivas					ALTURA CILINDRO:	0,30 m				
NORMA:	NTE INEN 1573										
PROBETA N°	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE ENSAYO	EDAD EN DÍAS	DIÁMETRO (cm)	ÁREA (cm ²)	CARGA		ESFUERZO	ESFUERZO	ESFUERZO	ESFUERZO
						(kN)	(kg)	COMPRESIÓN (kg/cm ²)	COMPRESIÓN (%)	PROMEDIO (kg/cm ²)	PROMEDIO (%)
19	09/03/2016	16/03/2016	7	15,1	179,1	213,10	21730,15	121,34	67	120,23	67
20				15,1	179,1	211,56	21573,12	120,47	67		
21				15,2	181,5	211,56	21573,12	118,89	66		
22	09/03/2016	23/03/2016	14	15,1	179,1	235,29	23992,90	133,98	74	136,13	76
23				15,2	181,5	243,51	24831,11	136,84	76		
24				15,2	181,5	244,81	24963,67	137,57	76		
25	09/03/2016	06/04/2016	28	15,2	181,5	328,64	33511,95	184,68	103	180,06	100
26				15,0	176,7	311,36	31749,88	179,67	100		
27				15,1	179,1	308,80	31488,84	175,84	98		
7 Días - (LÍMITE INFERIOR 65% - LÍMITE SUPERIOR 75%)											
14 Días - (LÍMITE INFERIOR 80% - LÍMITE SUPERIOR 90%)											
28 Días - (LÍMITE INFERIOR 95% - LÍMITE SUPERIOR 105%)											

Elaborado por: Karol Natalí Vivas Villarreal.

GRÁFICO N° 7: Edad vs. Esfuerzo a la Compresión / Sustitución al 30%.



Elaborado por: Karol Natalí Vivas Villarreal.

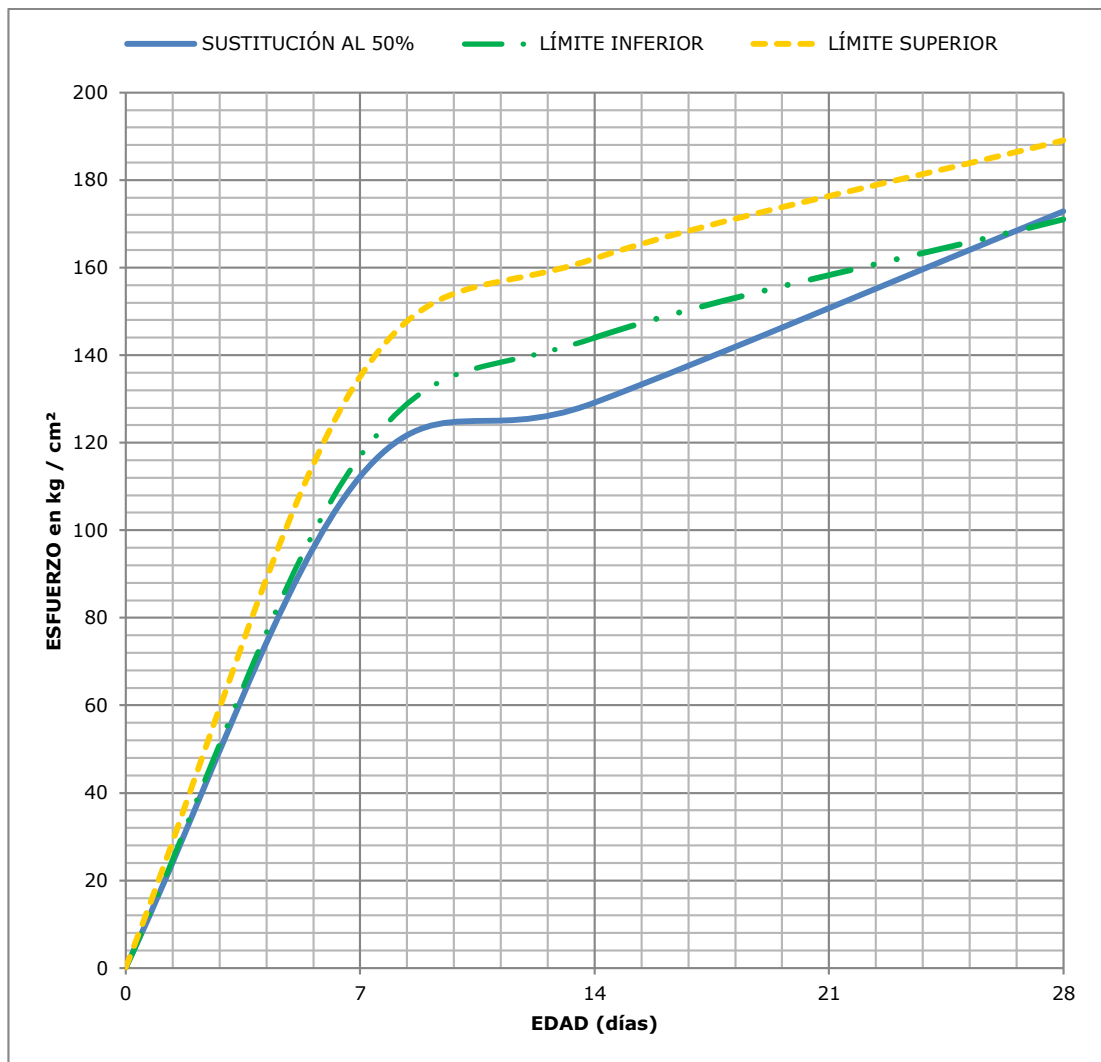
Según el **Gráfico N° 7:** se comprueba que la resistencia a la compresión del hormigón con una sustitución del 30% del agregado fino se encuentra dentro de los límites superior e inferior definidos en [37] para 7, 14 y 28 días de edad. Siendo la resistencia máxima de 180,06 kg/cm² lo que lo define como un hormigón apto para la construcción puesto que cumple con el diseño propuesto.

TABLA N° 35: Resistencia a la Compresión de un hormigón con una sustitución del 50% del agregado fino.

<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p> <p style="text-align: center;">TEMA: "DISEÑO DE UN HORMIGÓN LIVIANO ELABORADO CON CENIZA DE MADERA COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL AGREGADO FINO".</p> <p style="text-align: center;"><u>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN DE $f'c = 180 \text{ kg/cm}^2$</u></p>											
REALIZADO POR:	Egda. Karol Vivas					ALTURA CILINDRO:	0,30 m				
NORMA:	NTE INEN 1573										
PROBETA N°	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE ENSAYO	EDAD EN DÍAS	DIÁMETRO (cm)	ÁREA (cm ²)	CARGA		ESFUERZO	ESFUERZO	ESFUERZO	ESFUERZO
						(kN)	(kg)	COMPRESIÓN (kg/cm ²)	COMPRESIÓN (%)	PROMEDIO (kg/cm ²)	PROMEDIO (%)
28	08/03/2016	15/03/2016	7	15,2	181,5	192,10	19588,75	107,95	60	112,21	62
29				15,1	179,1	205,20	20924,58	116,85	65		
30				15,1	179,1	196,40	20027,23	111,83	62		
31	08/03/2016	22/03/2016	14	15,2	181,5	228,13	23262,79	128,20	71	129,13	72
32				15,1	179,1	233,71	23831,79	133,08	74		
33				15,2	181,5	224,41	22883,45	126,11	70		
34	08/03/2016	05/04/2016	28	15,2	181,5	304,35	31035,06	171,03	95	172,85	96
35				15,2	181,5	319,53	32582,99	179,56	100		
36				15,2	181,5	298,90	30479,32	167,97	93		
7 Días - (LÍMITE INFERIOR 65% - LÍMITE SUPERIOR 75%)											
14 Días - (LÍMITE INFERIOR 80% - LÍMITE SUPERIOR 90%)											
28 Días - (LÍMITE INFERIOR 95% - LÍMITE SUPERIOR 105%)											

Elaborado por: Karol Natalí Vivas Villarreal.

GRÁFICO N° 8: Edad vs. Esfuerzo a la Compresión / Sustitución al 50%.



Elaborado por: Karol Natalí Vivas Villarreal.

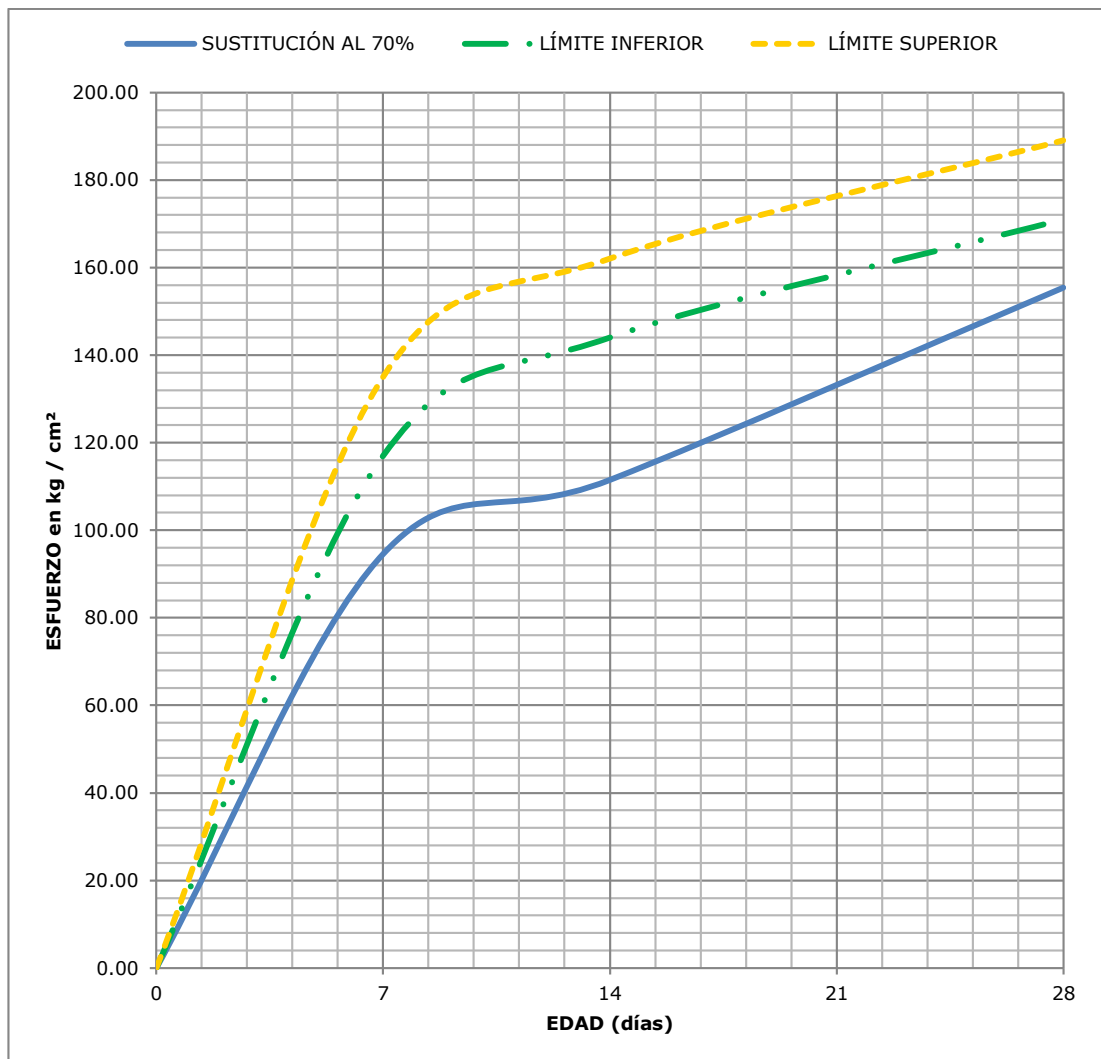
Según el **Gráfico N° 8**: se comprueba que la resistencia a la compresión del hormigón con una sustitución del 50% del agregado fino se encuentra por debajo de los límites superior e inferior definidos en [37] para 7 y 14 días de edad. No obstante, a los 28 días de edad alcanza una resistencia máxima de 172,85 kg/cm² de acuerdo a los límites.

TABLA N° 36: Resistencia a la Compresión de un hormigón con una sustitución del 70% del agregado fino.

<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p> <p style="text-align: center;">TEMA: "DISEÑO DE UN HORMIGÓN LIVIANO ELABORADO CON CENIZA DE MADERA COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL AGREGADO FINO".</p> <p style="text-align: center;"><u>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN DE $f'c = 180 \text{ kg / cm}^2$</u></p>											
REALIZADO POR:	Egda. Karol Vivas					ALTURA CILINDRO:	0,30 m				
NORMA:	NTE INEN 1573										
PROBETA N°	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE ENSAYO	EDAD EN DÍAS	DIÁMETRO (cm)	ÁREA (cm ²)	CARGA		ESFUERZO	ESFUERZO	ESFUERZO	ESFUERZO
						(kN)	(kg)	COMPRESIÓN (kg/cm ²)	COMPRESIÓN (%)	PROMEDIO (kg/cm ²)	PROMEDIO (%)
10	09/03/2016	16/03/2016	7	15,1	179,1	163,40	16662,16	93,04	52	94,55	53
11				15,1	179,1	171,30	17467,74	97,54	54		
12				15,2	181,5	165,60	16886,50	93,06	52		
13	09/03/2016	23/03/2016	14	15,2	181,5	194,73	19856,93	109,43	61	111,47	62
14				15,1	179,1	199,80	20373,93	113,77	63		
15				15,2	181,5	197,88	20178,14	111,20	62		
16	09/03/2016	06/04/2016	28	15,1	179,1	282,53	28810,04	160,88	89	155,40	86
17				15,2	181,5	269,22	27452,80	151,29	84		
18				15,2	181,5	274,10	27950,42	154,03	86		
7 Días - (LÍMITE INFERIOR 65% - LÍMITE SUPERIOR 75%)											
14 Días - (LÍMITE INFERIOR 80% - LÍMITE SUPERIOR 90%)											
28 Días - (LÍMITE INFERIOR 95% - LÍMITE SUPERIOR 105%)											

Elaborado por: Karol Natalí Vivas Villarreal.

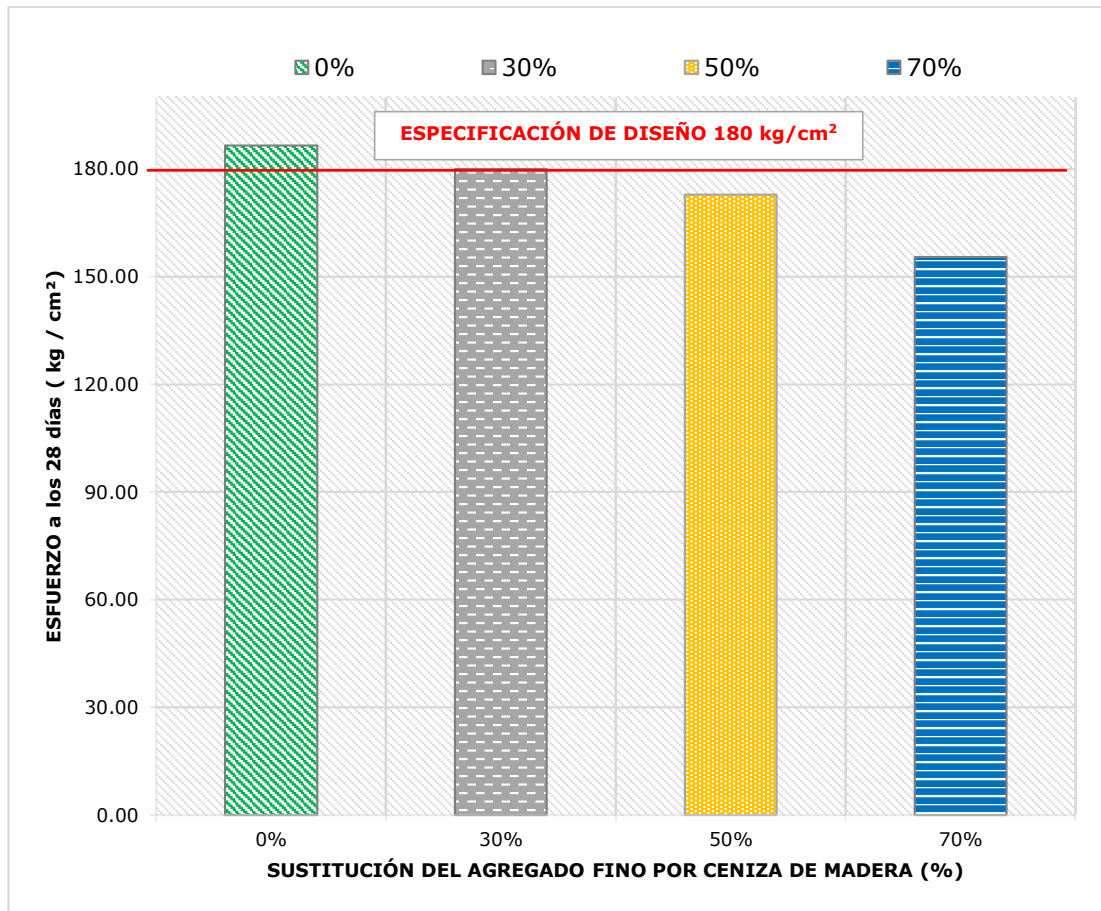
GRÁFICO N° 9: Edad vs. Esfuerzo a la Compresión / Sustitución al 70%.



Elaborado por: Karol Natalí Vivas Villarreal.

Según el **Gráfico N° 9:** se comprueba que la resistencia a la compresión del hormigón con una sustitución del 70% del agregado fino se encuentra por debajo de los límites superior e inferior definidos en [37] para 7, 14 y 28 días de edad. Siendo la resistencia máxima de 155,40 kg/cm² en lo que se evidencia un decremento de 16,67% con respecto al diseño.

GRÁFICO N° 10: Esfuerzo a la compresión a los 28 días vs. Porcentaje de sustitución.



Elaborado por: Karol Natalí Vivas Villarreal.

Según el **Gráfico N° 10:** se manifiesta un comportamiento inversamente proporcional debido a la disminución del esfuerzo a compresión a los 28 días, producido por el aumento del porcentaje de sustitución del agregado fino.

Tanto el hormigón convencional como el de 30% de sustitución cumplen con la especificación de diseño con esfuerzos equivalentes al 104% y 100% respectivamente. Sin embargo, los hormigones de 50 y 70 % de sustitución no llegan al diseño pues representan esfuerzos de 96 y 86 % respectivos.

4.3 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Con este proyecto experimental se busca verificar el diseño de un hormigón liviano elaborado con ceniza de madera como sustituto parcial del agregado fino.

En este punto es necesario comprobar la hipótesis planteada: “El incremento de la ceniza de madera como sustituto parcial del agregado fino en el hormigón disminuirá su densidad real produciendo un hormigón liviano”.

Se evidencia que la sustitución de agregado fino con ceniza de madera incide en la disminución de la densidad real del hormigón endurecido. A medida que aumenta dicha sustitución en un 30%, 50% y 70%, la densidad se reduce en un 2,66%; 3,68% y 5,13% respectivamente.

La ceniza de madera redujo la densidad real del hormigón, no obstante el decremento no clasifica a este nuevo hormigón como liviano pues está sobre el límite superior de 2.000 kg/m³.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- El hormigón obtenido sustituyendo parcialmente al agregado fino con ceniza de madera, no alcanza la clasificación de hormigón liviano porque su densidad no se encuentra en el rango de 1.200 a 2.000 kg/m³.
- El hormigón con 30% de sustitución presenta una disminución en su densidad real de 2,66% con referencia al hormigón convencional (de 2294,73 kg/m³ a 2233,75 kg/m³).
- El hormigón con 50% de sustitución evidencia una disminución en su densidad real de 3,68% con referencia al hormigón convencional (de 2294,73 kg/m³ a 2210,38 kg/m³).
- El hormigón con 70% de sustitución muestra una disminución en su densidad real de 5,13% con referencia al hormigón convencional (de 2294,73 kg/m³ a 2176,92 kg/m³).
- La inclusión de la ceniza de madera mantiene la homogeneidad del hormigón en vista de su correcta distribución con los componentes de la mezcla.
- El hormigón con 30% de sustitución manifiesta una disminución en la resistencia a compresión de 3,45% respecto del hormigón convencional. (de 186,49 kg/cm² a 180,06 kg/cm²).
- El hormigón con 50% de sustitución indica una disminución en la resistencia a compresión de 7,31% respecto del hormigón convencional. (de 186,49 kg/cm² a 172,85 kg/cm²).

- El hormigón con 70% de sustitución muestra una disminución en la resistencia a compresión de 16,67% respecto del hormigón convencional. (de 186,49 kg/cm² a 155,40 kg/cm²).
- El hormigón resultado de esta investigación podría ser empleado principalmente en la construcción de mampostería prefabricada usada en la división de ambientes.

Inicialmente; si existe disponibilidad de ceniza de madera señalada como desecho de hornos, el hormigón con una sustitución del 30% del agregado fino tiene un costo de 96,89 USD/m³, resultando más económico que el convencional; en un porcentaje equivalente a 1,88.

Caso contrario se plantea la alternativa de producir ceniza empleando madera de desecho de bajo costo, así el hormigón elaborado es cotizado en 113,94 USD/m³ siendo más costoso en relación al convencional en un 13,33%; entonces el beneficio económico se hace funcional cuando el agregado fino (arena) es escaso en el sitio de obra o su valor es elevado por cuestiones de transporte.

- Basándose en el cumplimiento de la resistencia de diseño que es 180 kg/cm², el porcentaje de sustitución sugerido será aquel que no exceda el 30%.

5.2 RECOMENDACIONES

- La finura de la ceniza de madera genera mayor demanda de agua de amasado en el hormigón por tanto se debe realizar la corrección por humedad y si fuese necesario incorporar un aditivo superplastificante, para mantener un asentamiento entre 6 y 9 centímetros.
- A más de sustituir parcialmente el agregado fino, se puede optar por el reemplazo parcial o total del agregado grueso por agregados ligeros, dado que en peso y volumen es el componente de mayor presencia en el hormigón.
- Para acelerar el proceso de combustión, usar madera que se encuentre superficialmente seca.
- Usar un horno industrial ya que el mismo permite controlar la temperatura y que la calcinación de la madera sea uniforme.
- Tamizar la ceniza obtenida con la finalidad de eliminar residuos de carbón y conseguir un material de granulometría homogénea.
- Almacenar la ceniza producida en sacos dobles de plástico, así como en un ambiente seco y fresco.
- Trabajar con una dosificación al volumen para que el contenido de ceniza de madera no dificulte la trabajabilidad de la mezcla.
- Emplear una relación de contenido: porcentaje máximo de agregado grueso/porcentaje máximo de agregado fino de 50/50, lo que implica mayor cantidad de ceniza de madera en reemplazo del agregado fino y por ende reducción en la densidad real del hormigón.

- Manejar cuidadosamente las probetas en estado fresco para evitar irregularidades superficiales que dificulten la transmisión de cargas durante el ensayo a compresión.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] H. Weigler y K. Sieghart, Hormigones ligeros armados, Latinoamérica: Gustavo Gili, 1985.
- [2] G. Aramayo, V. Buncuga, M. Cahuapé, F. Forgione y A. Navarrete, «Hormigones con agregados livianos,» Buenos Aires, 2003.
- [3] M. Fonseca, *Determinación de la composición química de la madera de Pino Candelillo procedente de la Finca Río Frío, Tactic, Alta Verapaz*, Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, 2006.
- [4] A. Short y W. Kinniburgh, «Cálculo, fabricación, diseño y aplicaciones,» de *Concreto Ligero*, México, Limusa - Wiley S.A., 1967.
- [5] *IRAM 1627: Granulometría de agregados para hormigones*, 1997.
- [6] M. F. Carrasco, *Tecnología del Hormigón*, Santa Fe: Universidad Tecnológica Nacional , 2013.
- [7] S. Castillo, «Tecnología de los Materiales,» 21 Septiembre 2015. [En línea]. Available: http://tecnouap-2015.blogspot.com/2015_09_01_archive.html. [Último acceso: 19 Junio 2016].
- [8] S. Medina, Folleto de Ensayo de Materiales II.
- [9] L. Gutiérrez, «Agregados,» de *El Concreto y otros materiales para la construcción* , Manizales , Universidad Nacional de Colombia, 2003, p. 16.
- [10] G. Chávez, «Tecnología de Materiales,» 8 Septiembre 2015. [En línea]. Available: <http://geochoaz.blogspot.com/2015/09/semanavi-agregados.html>. [Último acceso: 19 Junio 2016].
- [11] L. Gonzáles, «Conceptos Generales sobre los Agregados,» Enero 2008. [En línea]. Available: http://www.academia.edu/6836894/CONCEPTOS_GENERALES_SOBRE_LO

S_AGREGADOS_LUIS_OCTAVIO_GONZALEZ_SALCEDO. [Último acceso: Diciembre 2015].

[12] *Materiales de Construcción*, Puebla: Universidad de la Américas.

[13] [En línea]. Available: <http://www.monografias.com/trabajos4/concreto/concreto.shtml>. [Último acceso: Diciembre 2015].

[14] *NTE INEN 156: Cemento Hidráulico. Determinación de la densidad*, Quito, 2009.

[15] T. Harsem, *Diseño de Estructuras de Concreto Armado*, Fondo Editorial, 2002, p. 36.

[16] A. Nilson, «Materiales,» de *Diseño de Estructuras de Concreto*, Santafé de Bogotá, Mc Graw Hill, 1999, p. 36.

[17] *NTE INEN 856: Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino*, Quito, 2010.

[18] *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, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate*, Philadelphia, 2007.

[19] *ASTM C - 33: Concrete Aggregates*, 2003.

[20] *ASTM C - 125: Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates*, 2003.

[21] *NTE INEN 857: Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso*, Quito, 2010.

[22] *ASTM C 127 - 80: Método de ensayo para determinar la densidad, densidad relativa (peso específico) y absorción del árido grueso. ASTM C 127 – 07. Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and*

Absorption of Coarse Aggregate, Philadelphia, 2007.

- [23] M. F. Millán, *Comportamiento del hormigón reforzado con fibras de polipropileno y su influencia en sus propiedades mecánicas*, Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2013.
- [24] P. Jimenez, A. García y F. Moran, «Propiedades del Hormigón,» de *Hormigón Armado*, Barcelona, Gustavo Gili, S.A., 1981, pp. 89-91.
- [25] NTE INEN 1578: *Hormigón de cemento hidráulico. Determinación del asentamiento*, Quito, 2010.
- [26] ASTM C-143: *Standard Test Method for Slump of Hydraulic Cement Concrete*.
- [27] NTE INEN 1579: *Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la densidad, rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico)*, Quito, 2010.
- [28] NTE INEN 1573: *Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico*, Quito, 2010.
- [29] ASTM C-39: *Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*, 2003.
- [30] NTE INEN 1576: *Hormigón de cemento hidráulico. Elaboración y curado en obra de especímenes para ensayo*, Quito, 2011.
- [31] 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*, Quito, 2010.
- [32] N-CTR-CAR-1-02-003/00: *Construcción de carreteras. Conceptos de obra. Estructuras. Concreto Hidráulico*.
- [33] G. Álvarez, *Hormigón Ligerero. Aspectos técnicos y estéticos*, Vicente Mas Llorens, 2012.
- [34] R. Hernández Sampieri, C. Fernández y P. Baptista, *Fundamentos de*

Metodología de la Investigación, España: McGraw - Hill Interamericana , 2007.

[35] L. Herrera, G. Naranjo y A. Medina, Tutoría de la Investigación Científica, Quito: Diemerino Editores , 2004.

[36] *NTE INEN 1855-2: Hormigones. Hormigón preparado en obra. Requisitos*, Quito, 2002.

[37] M. Garzón, Investigación sobre el módulo de elasticidad del hormigón, Seminario de Graduación, 2010.

ANEXOS

IMÁGENES DEL DESARROLLO DEL TRABAJO EXPERIMENTAL



FOTO N° 1: Ensayo Granulométrico Agregado Grueso.



FOTO N° 2: Ensayo Granulométrico Agregado Fino.



FOTO N° 3: Densidad Aparente Agregados.

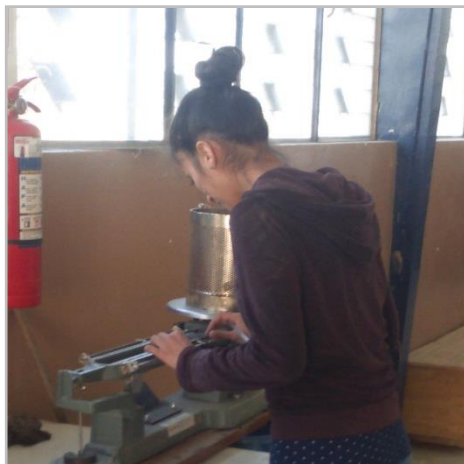


FOTO N° 4: Densidad Real Agregado Grueso.

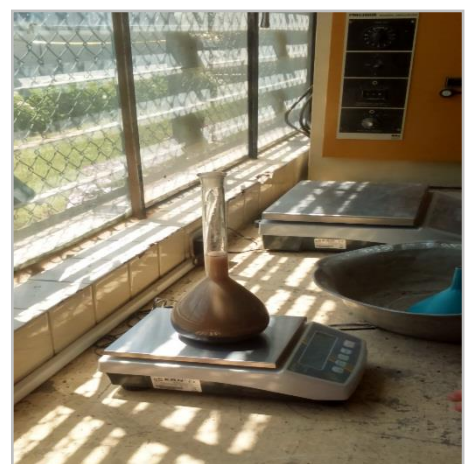


FOTO N° 5: Densidad Real Agregado Fino.



FOTO N° 6: Densidad Aparente Compactada de la Mezcla.

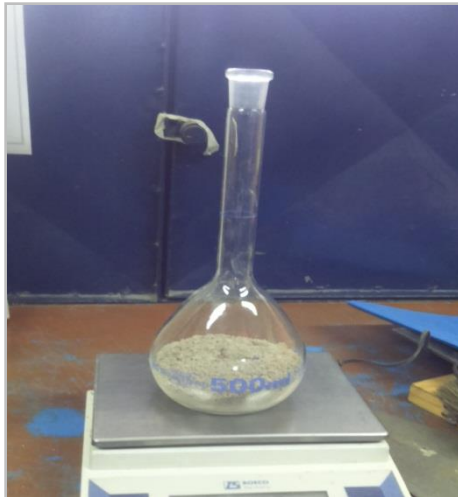


FOTO N° 7: Densidad Real del cemento.



FOTO N° 8: Producción de la ceniza de madera.



FOTO N° 9: Lectura de la temperatura de calcinación.



FOTO N° 10: Ceniza de madera tamizada.



FOTO N° 11: Pesaje de Materiales.



FOTO N° 12: Preparación de la mezcla y medición del asentamiento.



FOTO N° 13: Elaboración de probetas.



FOTO N° 14: Registro de datos.



FOTO N° 15: Ensayo a compresión de probetas.

ANÁLISIS COSTO BENEFICIO

Precio para 1m³ de hormigón convencional de f'c= 180 kg/cm²

TEMA: Diseño de un hormigón liviano elaborado con ceniza de madera como sustituto parcial del agregado fino.					
RUBRO:	1	de	2	UNIDAD:	m ³
DETALLE:	Hormigón convencional, f'c= 180 kg/cm ²				
EQUIPOS:					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C= A*B	R= H/U	D= C*R
Herramienta Manual		5% M.O.			0,33
Concretera	1	4,00	4,00	0,50	2,00
SUBTOTAL M					2,33
MANO DE OBRA:					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C= A*B	R= H/U	D= C*R
Albañil (E. O. D2)	1,00	3,30	3,30	0,50	1,65
Peón (E. O. E2)	3,00	3,26	9,78	0,50	4,89
SUBTOTAL N					6,54
MATERIALES:					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO	
		A	B	C= A*B	
Cemento Holcim tipo GU	sacos	7,14	8,00	57,12	
Arena	m ³	0,40	13,00	5,20	
Ripio	m ³	0,81	13,50	10,94	
Agua	m ³	0,21	0,80	0,17	
SUBTOTAL O					73,42
TRANSPORTE:					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	DISTANCIA	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
			A	B	C= A*B
SUBTOTAL P					
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					82,29
COSTO INDIRECTO 20%					16,46
OTROS INDIRECTOS:					0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO:					98,75

**Precio para 1m³ de hormigón con una sustitución del 30% del agregado fino;
f'c= 180 kg/cm².**

TEMA:	Diseño de un hormigón liviano elaborado con ceniza de madera como sustituto parcial del agregado fino.				
RUBRO:	2	de	2	UNIDAD:	m ³
DETALLE:	Hormigón 30 % sustitución				
EQUIPOS:					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C= A*B	R= H/U	D= C*R
Herramienta Manual		5% M.O.			0,33
Concretera	1	4,00	4,00	0,50	2,00
SUBTOTAL M					2,33
MANO DE OBRA:					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C= A*B	R= H/U	D= C*R
Albañil (E. O. D2)	1,00	3,30	3,30	0,50	1,65
Peón (E. O. E2)	3,00	3,26	9,78	0,50	4,89
SUBTOTAL N					6,54
MATERIALES:					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO	
		A	B	C= A*B	
Cemento Holcim tipo GU	sacos	7,14	8,00	57,12	
Arena	m ³	0,28	13,00	3,64	
Ripio	m ³	0,81	13,50	10,94	
Ceniza *	m ³	0,12	0,11 ⁺	0,01	
Agua	m ³	0,21	0,80	0,17	
SUBTOTAL O					71,88
TRANSPORTE:					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	DISTANCIA	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
			A	B	C= A*B
SUBTOTAL P					
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					80,74
COSTO INDIRECTO 20%					16,15
OTROS INDIRECTOS:					0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO:					96,89

*La ceniza de madera provista para el caso será aquella calificada como desecho, proveniente de hornos empleados en distintas actividades.

+ Este valor corresponde únicamente al costo de transporte cuantificado así: 0,18 ctvs./m³/km tomando una referencia de 5 km.

Detalle del costo para la producción de 1m³ de ceniza de madera

La finalidad de este trabajo experimental es la sustitución parcial del agregado fino por ceniza de madera. Partiendo de ello es necesario enfocar que la producción de ceniza es elemental cuando el agregado fino es escaso o cuando su costo es elevado por cuestiones de transporte, por lo que se requiere abaratar la producción del hormigón simple para la realización de obras civiles, manteniendo siempre las normas de diseño y especificaciones técnicas.

Es así que se detalla a continuación el análisis respectivo del precio unitario de producción.

1. El análisis del rubro contiene equipos, mano de obra y materiales utilizados.

Equipo: corresponde la herramienta manual cuyo costo está definido como el 5% de la mano de obra y la implementación de un horno artesanal de ladrillo con una tarifa de 2,50 USD por hora.

Mano de obra: se incluye dentro de este ítem el personal de estructura ocupacional tipo E2 con un jornal/ hora igual a 3,26 USD establecido por la Contraloría General del Estado para el año 2016.

Materiales: se requiere el acopio de la madera equivalente en volumen a 12 metros cúbicos en condición seca siendo ésta de desecho o de bajo costo, que para el caso se aproxima a 2,00 USD.

2. El valor correspondiente a costos indirectos se calcula con el 20% del total del costo directo de producción.
3. El rendimiento se delimita para un tiempo de una hora en la cual se produce 0,125 metros cúbicos de ceniza de madera con el equipo y mano de obra especificado.

Precio para obtener 1m³ de ceniza de madera

TEMA:		Diseño de un hormigón liviano elaborado con ceniza de madera como sustituto parcial del agregado fino.			
RUBRO:	1	de	1	UNIDAD:	m ³
DETALLE:		Producción ceniza de madera			
EQUIPOS:					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C= A*B	R= H/U	D= C*R
Herramienta Manual		5% M.O.			2,61
Horno	1	2,50	2,50	8,00	20,00
SUBTOTAL M					22,61
MANO DE OBRA:					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C= A*B	R= H/U	D= C*R
Peón (E. O. E2)	2,00	3,26	6,52	8,00	52,16
SUBTOTAL N					52,16
MATERIALES:					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO	
		A	B	C= A*B	
Madera	m ³	12,00	2,00	24,00	
SUBTOTAL O					24,00
TRANSPORTE:					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	DISTANCIA	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
			A	B	C= A*B
SUBTOTAL P					
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					98,77
COSTO INDIRECTO 20%					19,75
OTROS INDIRECTOS:					0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO:					118,52

**Precio para 1m³ de hormigón con una sustitución del 30% del agregado fino;
f'c= 180 kg/cm².**

TEMA:		Diseño de un hormigón liviano elaborado con ceniza de madera como sustituto parcial del agregado fino.			
RUBRO:	2	de	2	UNIDAD:	m ³
DETALLE:	Hormigón 30 % sustitución				
EQUIPOS:					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C= A*B	R= H/U	D= C*R
Herramienta Manual		5% M.O.			0,33
Concretera	1	4,00	4,00	0,50	2,00
SUBTOTAL M					2,33
MANO DE OBRA:					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C= A*B	R= H/U	D= C*R
Albañil (E. O. D2)	1,00	3,30	3,30	0,50	1,65
Peón (E. O. E2)	3,00	3,26	9,78	0,50	4,89
SUBTOTAL N					6,54
MATERIALES:					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO	
		A	B	C= A*B	
Cemento Holcim tipo GU	sacos	7,14	8,00	57,12	
Arena	m ³	0,28	13,00	3,64	
Ripio	m ³	0,81	13,50	10,94	
Ceniza	m ³	0,12	118,52*	14,22	
Agua	m ³	0,21	0,80	0,17	
SUBTOTAL O					86,09
TRANSPORTE:					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	DISTANCIA	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
			A	B	C= A*B
SUBTOTAL P					
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					94,95
COSTO INDIRECTO 20%					18,99
OTROS INDIRECTOS:					0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO:					113,94

*Este valor corresponde a la producción de ceniza usando madera de desecho de bajo costo.