





**UNIVERSIDAD LATINA  
DE COSTA RICA**

POWERED BY **Arizona State University**

**Universidad Latina de Costa Rica**

**Facultad de Ingeniería y Tecnologías de Información**

**Escuela de Ingeniería Civil**

**Licenciatura en Ingeniería Civil**

**Trabajo final de graduación para optar al grado académico de Licenciatura en Ingeniería Civil, modalidad tesis**

**DESARROLLO DE UNA MEZCLA DE CONCRETO SECO  
LIVIANO MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE FRASSON JR.  
UTILIZANDO PARTÍCULAS DE CELULOSA RECICLADA**

**Autor: Jefferson Andrey León Gamboa**

**Tutor: Ing. Minor Murillo Chacón**

**Lector: Ing. Andrés Reyes Bonilla**

**Heredia, 07 de mayo del 2021**



## TRIBUNAL EXAMINADOR

Este proyecto titulado: “***Desarrollo de una mezcla de concreto seco liviano mediante la metodología de Frasson Jr. utilizando partículas de celulosa reciclada***”, por el (la) estudiante: Jefferson Andrey León Gamboa, fue aprobada por el Tribunal Examinador de la carrera de **Ingeniería Civil** de la Universidad Latina, Sede Heredia, como requisito para optar por el grado de Licenciatura en **Ingeniería Civil**:

---

Minor Murillo Chacón

Tutor

---

Andrés Reyes Bonilla

Lector

---

Giovanni Arguedas Morales

Representante



COMITÉ ASESOR

---

Ing. Minor Murillo Chacón

Tutor

---

Ing. Andrés Reyes Bonilla

Lector

---

Ing. Giovanni Arguedas Morales

Representante

## CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL TUTOR DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Heredia, 07 de mayo del 2021

Sres. Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación  
SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, denominado: “Desarrollo de una mezcla de concreto seco liviano mediante la metodología de Frasson Jr. utilizando partículas de celulosa reciclada”, elaborado por el estudiante: Jefferson Andrey León Gamboa, como requisito para que el citado estudiante pueda optar por la Licenciatura de Ingeniería Civil.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.

Suscribe cordialmente:

MINOR EDUARDO MURILLO  
CHACON (FIRMA)

Firmado digitalmente por  
MINOR EDUARDO MURILLO  
CHACON (FIRMA)  
Fecha: 2021.04.30 14:41:52  
-06'00'

---

Ing. Minor Murillo Chacón

CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL LECTOR DEL TRABAJO FINAL DE  
GRADUACIÓN

Heredia, 07 de mayo del 2021

Sres. Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación

SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, denominado: “Desarrollo de una mezcla de concreto seco liviano mediante la metodología de Frasson Jr. utilizando partículas de celulosa reciclada”, elaborado por el estudiante: Jefferson Andrey León Gamboa, como requisito para que el citado estudiante pueda optar por la Licenciatura de Ingeniería Civil.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.

Suscribe cordialmente:

**ANDRES REYES**  
**BONILLA**  
**(FIRMA)**

Firmado digitalmente  
por ANDRES REYES  
BONILLA (FIRMA)  
Fecha: 2021.05.07  
10:41:34 -06'00'

---

Ing. Andrés Reyes Bonilla



**UNIVERSIDAD LATINA DE COSTA RICA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LAS**  
**COMUNICACIONES**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

Heredia, 13 de mayo de 2021

### **CARTA DE REVISIÓN FILOLÓGICA DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACION**

Señores y señoras Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación.

A quien corresponda:

Leí y corregí el Trabajo Final de Graduación, denominado *Desarrollo de una mezcla de concreto seco liviano mediante la metodología de Frasson Jr. utilizando partículas de celulosa reciclada*, elaborado por el estudiante Jefferson Andrey León Gamboa; para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, modalidad tesis.

Corregí el trabajo en aspectos tales como: construcción de párrafos, vicios del lenguaje que se trasladan a lo escrito, ortografía, puntuación, y otros puntos relacionados con el campo filológico. Además, se han realizados los ajustes correspondientes al formato APA 7ª Edición, al lenguaje inclusivo, y a la coherencia y cohesión de la propuesta. Desde ese punto de vista, considero que está listo para ser presentado como Proyecto Final de Graduación para optar por el título de Licenciatura en Ingeniería Civil; por cuanto cumple con los requisitos establecidos por la Universidad.

Se suscribe de ustedes, cordialmente,

M. Sc. Karen Padilla Fallas  
Filóloga española, Universidad de Costa Rica  
Código: 05560  
ACFIL: 345

## “Carta autorización del autor (es) para uso didáctico del Trabajo Final de Graduación”

Vigente a partir del 31 de Mayo de 2016, revisada el 24 de Abril de 2020

---

*Instrucción: Complete el formulario en PDF, imprima, firme, escanee y adjunte en la página correspondiente del Trabajo Final de Graduación.*

Yo (Nosotros):

Escriba Apellidos, Nombre del Autor(a). Para más de un autor separe con " ; "

Jefferson Andrey León Gamboa

De la Carrera / Programa:

autor(es) del trabajo final de graduación titulado:

Con el trabajo de tesis "Desarrollo de una mezcla de concreto seco liviano mediante la metodología de de Frasson Jr. utilizando partículas de celulosa reciclada", para optar por el grado académico de licenciatura en Ingeniería Civil.

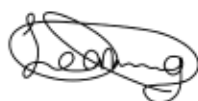
Autorizo (autorizamos) a la Universidad Latina de Costa Rica, para que exponga mi trabajo como medio didáctico en el Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación (CRAI o Biblioteca), y con fines académicos permita a los usuarios su consulta y acceso mediante catálogos electrónicos, repositorios académicos nacionales o internacionales, página Web institucional, así como medios electrónicos en general, Internet, intranet, DVD, u otro formato conocido o por conocer; así como integrados en programas de cooperación bibliotecaria académicos, que permitan mostrar al mundo la producción académica de la Universidad a través de la visibilidad de su contenido.

De acuerdo a lo dispuesto en la Ley No. 6683 sobre derechos de autor y derechos conexos de Costa Rica, permita copiar, reproducir o transferir información del documento, conforme su uso educativo y debiendo citar en todo momento la fuente de información; únicamente podrá ser consultado, esto permitirá ampliar los conocimientos a las personas que hagan uso, siempre y cuando resguarden la completa información que allí se muestra, debiendo citar los datos bibliográficos de la obra en caso de usar información textual o paráfrasis de la misma.

La presente autorización se extiende el día (Día, fecha) 07 del mes mayo de año 2021 a las 4:00 pm. Asimismo doy fe de la veracidad de los datos incluidos en el documento y eximo a la Universidad de cualquier responsabilidad por su autoría o cualquier situación de perjuicio que se pudiera presentar.

Firma(s) de los autores

Según orden de mención al inicio de ésta carta:





## **Agradecimientos**

Primeramente, quiero agradecerle a mis padres Dayana Irene Gamboa Scott y Carlos León Salazar, también a una de las personas que significa mucho para mí, Davis Oviedo Bermúdez, quienes fueron un pilar fundamental para el desarrollo de este presente trabajo y, a su vez, durante mis cuatro años de carrera, siempre estuvieron atentos a mis necesidades, pendientes de que nada me faltara en mi tiempo viviendo en Heredia, y estos últimos cuatro meses que me tuve que transportar a San Rafael de Alajuela, ubicación de la empresa de Productos de Concreto. Gracias a ellos, tuve la fortuna y oportunidad de únicamente dedicarme a estudiar y no trabajar durante el proceso.

Seguidamente, no perder la oportunidad de agradecer la Universidad Latina de Costa Rica, ya que esta me dio la oportunidad de conocer mentores y verdaderos expertos en la carrera de ingeniería civil, además de las verdaderas amistades que me dejó este proceso. Usualmente, cuando ingresamos a la universidad, se nos dice que no nos acostumbremos a las amistades ya que durante los cursos se van a estar cambiando, que cuesta coincidir con esa persona de nuevo, etc., en mi caso no fue así, durante estos cuatro años conté con la amistad incondicional de dos personas y que, hasta la fecha, son mis amigos y prácticamente colegas, Laura Andreoli Salas y Fabricio Quesada Chávez, años después, estudiando alcancé a conocer a tres verdaderas amistades más, Orlando Gonzales Lizano, Yeril Marín Ramírez y Virginia Hernández Barquero, personas con las cuales las noches de estudios, prácticas y tareas no se hacían cansadas.

Finalmente, agradecer a la empresa Productos de Concreto, a su vez, a Minor Murillo Chacón y Andrés Reyes Bonilla, que me dieron la oportunidad de ser parte de un grupo de selección para realizar un trabajo como este y, de la misma forma, en una empresa tan importante como esta, dándome, hasta cierto punto, una experiencia laboral en estos cuatro meses de desarrollo.

## Resumen

El presente trabajo cuenta con la exhaustiva búsqueda de la innovación constructiva mediante la incorporación de celulosa reciclada, es decir, madera proveniente de residuos de tarimas, a una mezcla de concreto convencional, está evaluada de tal forma que se obtenga una resistencia mínima a la compresión de 8 MPa y, a su vez, una densidad estimada de 1600 kg/m<sup>3</sup> a 1800 kg/m<sup>3</sup>, para así ser catalogada como una mezcla liviana, donde se variarán sus dosificaciones. El desarrollo de una mezcla de concreto con baja densidad mejora, de modo relevante, la trabajabilidad de la misma y, siendo esta de categoría seca, se pretende obtener una manipulación temprana.

Para la elaboración de los objetos de pruebas catalogados como especímenes cilíndricos, se trabajó con 3 tipos de celulosa reciclada: una liviana, balsa; una media, pino; una densa, teca. Cada una de estas, evaluadas en 3 formas distintas: fibra, la cual se asocia a viruta; la segunda forma planteada, en polvo, asociada a aserrín y, por último, de manera cúbica, forma porcentual sobre el kg de cemento es decir, manera en la que se adicionó este componente. Siendo así para la fibra con una incorporación del 1%, 2% y 3%, la forma cúbica, se manejaron las opciones de la adición en un 5%, 10% y 15%, y para el aserrín un 2%, 4% y 6%; rescatando que, experimentalmente, se llegó a la elección de un único porcentaje de incorporación por forma, llegando así a un análisis del comportamiento de cada una de ellas en la incorporación de una mezcla de concreto convencional; además del desarrollo de especímenes con una mezcla patrón, el cual tiene una adición del 0%, mediante análisis, esta sirve de forma comparativa y evaluativa con respecto a las dosificaciones planteadas.

La investigación se plantea mediante la metodología de Frasson Jr., la cual trata de la fabricación de especímenes cilíndricos de 5 cm x 10 cm, a los cuales se les realiza la prueba de resistencia a la compresión, a su vez, de una correlación de densidades, para proyectar una curva de resistencia de cada cilindro evaluado mediante la herramienta Microsoft Excel, con la excepción de que este es el único ensayo no normado. Esta investigación contó con pruebas de laboratorio avaladas por estándares vigentes en Costa Rica, en este caso, por el Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO), de la mano con la normativa de “American Society for Testing and Materials” por sus siglas en inglés (ASTM).

## Abstract

This work has the exhaustive search for constructive innovation, by incorporating recycled cellulose, wood from pallet residues, into a conventional concrete mixture, it is evaluated in such a way that it obtains a minimum compressive resistance of 8 MPa and in turn an estimated density of 1600 kg/m<sup>3</sup> to 1800 kg/m<sup>3</sup>, in order to be classified as a light, where its dosages will be varied. The development of a mixture of concrete with low density significantly improves the workability of the same and being this of dry category, it is intended to obtain early handling.

For the production of test objects, classified as cylindrical specimens, it was worked with 3 types of recycled cellulose, one light: raft, a stocking: pine and a dense: teca. Each of these evaluated in 3 different forms, fiber, which is associated with chip, the second form raised, powdered, associated with sawdust and finally cubic, where the way this component was added was by percentage on the kg of cement, thus being for the fiber with an incorporation of 1%, 2% and 3%, the cubic form, the addition options were handled by 5%, 10% and 15%, and for sawdust 2%, 4% and 6%, rescuing that, experimentally, only one percentage of incorporation per form was reached, thus reaching an analysis of the behavior of each of them in the incorporation of a mixture of conventional concrete, in addition to the development of specimens with a standard mixture, which has an addition of 0%, where it is used by analysis serves comparatively and evaluatively with respect to the dosages raised.

The research is presented by the methodology of Frasson Jr., which deals with the manufacture of cylindrical specimens of 5 cm x 10 cm, which are tested for compressive resistance and in addition to a correlation of densities, in order to project a resistance curve of each evaluated cylinder, with the exception of this being the only non-standard test. This research will have laboratory tests, which will be endorsed by standards in force in Costa Rica, in this case by the Institute of Technical Standards of Costa Rica (INTECO), hand in hand with the regulations of "American Society for Testing and Materials" (ASTM).

## Tabla de contenido

CAPÍTULO 1. Introducción .....	1
1.1 Antecedentes .....	1
1.2 Planteamiento del Problema.....	3
1.3 Objetivo General .....	4
1.4 Objetivos Específicos.....	4
1.5 Justificación.....	5
1.6 Alcances y Limitaciones .....	6
1.6.1 Alcances.....	6
1.6.2 Limitaciones.....	6
1.7 Impacto.....	7
1.8 Hipótesis.....	7
CAPÍTULO 2. Marco Teórico.....	8
2.1 Componentes del Concreto .....	8
2.1.1 Cemento Hidráulico.....	8
2.1.2 Agua.....	10
2.1.3 Agregados .....	11
2.1.3.1 Granulometría de los Agregados. ....	12
2.1.3.2 Agregado Fino. ....	13
2.1.3.3 Agregado Grueso. ....	13
2.1.3.4 Módulo de Finura.....	13
2.2 Concreto .....	14
2.2.1 Concreto en Estado Fresco.....	16
2.2.1.1 Trabajabilidad. ....	16
2.2.1.2 Cohesividad.....	17
2.2.1.3 Exudación. ....	17
2.2.1.4 Segregación.....	17
2.2.2 Concreto en Estado de Fraguado .....	17
2.2.3 Concreto en Estado Endurecido.....	17
2.2.3.1 Resistencia. ....	18
2.2.3.2 Durabilidad. ....	20
2.2.4 Curado del Concreto .....	21

2.3	Concreto Liviano.....	23
2.3.1	Producción de Concreto Liviano .....	24
2.3.1.1	Agregados de Origen Natural. ....	25
2.3.1.2	Agregados de Origen Artificial.....	25
2.3.1.3	Agregados de Carácter Orgánico.....	26
2.3.1.4	Agentes Espumantes. ....	27
2.3.1.5	Materiales de Reciclaje.....	27
2.4	Concreto Seco .....	28
2.5	Vibrocompactación .....	30
2.5.1	Vibro-Prensas.....	31
2.6	Celulosa (Madera).....	33
2.6.1	Madera Liviana.....	35
2.6.1.1	Balsa.....	35
2.6.2	Madera Media.....	36
2.6.2.1	Pino. ....	37
2.6.3	Madera Densa .....	38
2.6.3.1	Teca.....	38
2.7	Método de Diseño de Mezcla de Frasson Jr.....	39
CAPÍTULO 3. Marco Metodológico.....		42
3.1	Enfoque Metodológico de la Investigación.....	42
3.2	Operacionalización de Variables.....	44
3.3	Técnicas de Muestreo.....	45
3.3.1	Población.....	45
3.3.2	Muestra .....	45
3.3.3	Confiabilidad de la Muestra.....	45
3.4	Técnicas e Instrumentos Para la Recolección de Datos .....	48
3.4.1	Determinación del Contenido Total de Humedad Evaporable en Agregados Mediante Secado (INTE C71) .....	49
3.4.2	Método de Prueba de Frasson Jr. Para el Moldeo de Especímenes (Ensayo no Normado).....	51
3.4.3	Método de Prueba de Frasson Jr. Para la Cohesión (Ensayo No Normado).....	53
3.4.4	Elaboración y Curado de Especímenes de Concreto para Ensayo en Laboratorio (INTE C18).....	54

3.4.5	Método de Prueba de Frasson Jr. Para Determinar la Densidad Seca y la Absorción de los Especímenes (Ensayo No Normado).....	55
3.4.6	Resistencia a la Compresión Uniaxial de Especímenes Cilíndricos de Concreto (INTE C39).....	58
3.5	Técnicas e Instrumentos Para el Procesamiento y Análisis de Datos .....	60
CAPÍTULO 4. Resultados y Análisis de Resultados.....		61
4.1	Resultados .....	62
4.1.1	Agregados .....	62
4.1.2	Formas de Celulosa.....	63
4.1.3	Mezcla de Referencia (Patrón).....	69
4.1.4	Mezcla con Celulosa (Balsa) .....	77
4.1.4.1	Balsa-Aserrín. ....	77
4.1.4.2	Balsa-Fibra.....	84
4.1.5	Mezcla con Celulosa (Pino).....	89
4.1.5.1	Pino-Aserrín.....	89
4.1.5.2	Pino-Fibra. ....	95
4.1.6	Mezcla con Celulosa (Teca).....	101
4.1.6.1	Teca-Aserrín. ....	101
4.1.6.2	Teca-Fibra. ....	107
4.2	Análisis de Resultados .....	112
4.2.1	Humedad de Mezclas.....	113
4.2.2	Absorción de Especímenes .....	116
4.2.3	Densidad Seca de Especímenes a 28 Días .....	119
4.2.4	Resistencia a la Compresión de Especímenes vs. Edad.....	121
4.2.5	Correlación de Resistencia a la Compresión vs. Densidad Seca .....	125
4.2.6	Curvas de Desarrollo de Resistencia.....	128
CAPÍTULO 5. Conclusiones, Recomendaciones y Hallazgos .....		133
5.1	Conclusiones .....	133
5.2	Recomendaciones.....	133
5.3	Hallazgos.....	134
Referencias Bibliográficas.....		135
Anexos.....		138
Anexo A. Celulosas .....		138

Anexo B. Equipo Para la Metodología de Frasson Jr. ....	139
Anexo C. Caracterización de Agregado Fino .....	140
Anexo D. Caracterización de Agregado Grueso.....	141
Anexo E. Certificado del Cemento Tipo MP/A-28 .....	142
Anexo F. Coronación de Especímenes .....	143
Anexo G. Resistencia a la Compresión Uniaxial de Especímenes con Adición de Celulosa. ....	144
Glosario.....	145

## Índice de figuras

<b>Figura 1</b>	Tipos de cemento hidráulico.....	9
<b>Figura 2</b>	Requisitos de los agregados para el concreto .....	12
<b>Figura 3</b>	Dosificaciones usuales de una mezcla de concreto.....	16
<b>Figura 4</b>	Espécimen cilíndrico de prueba a la compresión.....	20
<b>Figura 5</b>	Efecto del tiempo de curado .....	22
<b>Figura 6</b>	Clasificación del concreto liviano según su densidad.....	24
<b>Figura 7</b>	Agregado de piedra pómez .....	25
<b>Figura 8</b>	Aserrín para uso como agregado .....	26
<b>Figura 9</b>	Equipo de producción de cemento celular liviano.....	27
<b>Figura 10</b>	Unidad de reciclado de Coca-Cola Femsa.....	28
<b>Figura 11</b>	Producción de bloques de concreto utilizando equipo de vibrocompactación.....	32
<b>Figura 12</b>	Desperdicio de madera de tarimas .....	35
<b>Figura 13</b>	Equipo de moldeo para especímenes de 5 cm x 10 cm.....	41
<b>Figura 14</b>	Alcances que puede tener un estudio cuantitativo .....	43
<b>Figura 15</b>	Colocación de agregado al horno.....	50
<b>Figura 16</b>	Procedimiento de moldeo de especímenes .....	52
<b>Figura 17</b>	Moldeo de especímenes .....	52
<b>Figura 18</b>	Espécimen de 5 cm x 10 cm desmoldado .....	53
<b>Figura 19</b>	Ensayo de cohesión para la metodología de diseño de Frasson Jr... 54	
<b>Figura 20</b>	Caja de espuma de poliestireno .....	55
<b>Figura 21</b>	Proceso para obtener el peso de superficie saturada seca .....	56
<b>Figura 22</b>	Especímenes secos .....	57
<b>Figura 23</b>	Obtención de peso sumergido.....	58
<b>Figura 24</b>	Máquina de falla de PC.....	59
<b>Figura 25</b>	Sellos de calibración .....	60
<b>Figura 26</b>	Representación de celulosa.....	63
<b>Figura 27</b>	Aserrín balsa .....	64
<b>Figura 28</b>	Aserrín pino .....	65
<b>Figura 29</b>	Aserrín teca.....	66
<b>Figura 30</b>	Forma prismática y cúbica.....	67



<b>Figura 31</b>	Especímenes con adición de celulosa en forma prismática .....	68
<b>Figura 32</b>	Prueba de cohesión de especímenes con celulosa en forma prismática.....	69
<b>Figura 33</b>	Medición de espécimen con vernier .....	72
<b>Figura 34</b>	Datos para el ensayo a compresión.....	74
<b>Figura 35</b>	Espécimen cilíndrico con adición de balsa-aserrín.....	83
<b>Figura 36</b>	Espécimen cilíndrico con adición de balsa-fibra .....	89
<b>Figura 37</b>	Espécimen cilíndrico con adición de pino-aserrín.....	95
<b>Figura 38</b>	Espécimen cilíndrico con adición de pino-fibra .....	100
<b>Figura 39</b>	Espécimen cilíndrico con adición de teca-aserrín.....	106
<b>Figura 40</b>	Espécimen cilíndrico con adición de teca-fibra.....	112
<b>Figura 41</b>	Porcentaje de humedad de mezcla patrón vs. celulosa-aserrín.....	114
<b>Figura 42</b>	Porcentaje de humedad de mezcla patrón vs. celulosa-fibra .....	115
<b>Figura 43</b>	Porcentaje de absorción de especímenes patrón vs. celulosa-aserrín.....	117
<b>Figura 44</b>	Porcentaje de absorción de especímenes patrón vs. celulosa-fibra.	118
<b>Figura 45</b>	Densidad seca de especímenes patrón vs. celulosa-aserrín .....	119
<b>Figura 46</b>	Densidad seca de especímenes patrón vs. celulosa-fibra.....	120
<b>Figura 47</b>	Resistencia a la compresión de especímenes-aserrín de densidad máxima.....	121
<b>Figura 48</b>	Resistencia a la compresión de especímenes-aserrín de densidad media.....	122
<b>Figura 49</b>	Resistencia a la compresión de especímenes-aserrín de densidad mínima.....	122
<b>Figura 50</b>	Resistencia a la compresión de especímenes-fibra de densidad máxima.....	123
<b>Figura 51</b>	Resistencia a la compresión de especímenes-fibra de densidad media.....	124
<b>Figura 52</b>	Resistencia a la compresión de especímenes-fibra de densidad mínima.....	124
<b>Figura 53</b>	Resistencia a la compresión vs. densidad, mezcla celulosa-aserrín.....	126
<b>Figura 54</b>	Resistencia a la compresión vs. densidad, mezcla celulosa-fibra..	127
<b>Figura 55</b>	Curva de desarrollo de resistencia de especímenes-aserrín de densidad máxima.....	128

**Figura 56** Curva de desarrollo de resistencia de especímenes-aserrín de densidad media..... 129

**Figura 57** Curva de desarrollo de resistencia de especímenes-aserrín de densidad mínima..... 129

**Figura 58** Curva de desarrollo de resistencia de especímenes-fibra de densidad máxima..... 131

**Figura 59** Curva de desarrollo de resistencia de especímenes-fibra de densidad media..... 131

**Figura 60** Curva de desarrollo de resistencia de especímenes-fibra de densidad mínima..... 132

## Índice de tablas

<b>Tabla 1</b>	Definición de variables .....	44
<b>Tabla 2</b>	Matriz de ensayos .....	47
<b>Tabla 3</b>	Plan de ensayos.....	49
<b>Tabla 4.</b>	Humedad de los agregados .....	62
<b>Tabla 5.</b>	Caracterización de aserrín balsa .....	64
<b>Tabla 6</b>	Caracterización de aserrín pino.....	65
<b>Tabla 7</b>	Caracterización de aserrín teca .....	66
<b>Tabla 8</b>	Cohesión de forma prismática .....	68
<b>Tabla 9</b>	Matriz de ensayos patrón .....	70
<b>Tabla 10</b>	Proporción de los agregados en masa (kg) mezcla patrón .....	70
<b>Tabla 11</b>	Humedad y cohesión de los especímenes patrón.....	71
<b>Tabla 12</b>	Densidad y absorción de concreto endurecido mezcla patrón .....	71
<b>Tabla 13.</b>	Resultados de mediciones de especímenes patrón a 3 días .....	72
<b>Tabla 14</b>	Resistencia a la compresión especímenes patrón edad 3 días.....	73
<b>Tabla 15</b>	Resultados de mediciones de especímenes patrón a 7 días .....	74
<b>Tabla 16</b>	Resistencia a la compresión especímenes patrón edad 7 días.....	75
<b>Tabla 17</b>	Resultados de mediciones de especímenes patrón a 28 días .....	75
<b>Tabla 18</b>	Resistencia a la compresión especímenes patrón edad 28 días.....	76
<b>Tabla 19</b>	Matriz de ensayos balsa-aserrín.....	77
<b>Tabla 20</b>	Proporción de los agregados en masa (kg) mezcla balsa-aserrín.....	78
<b>Tabla 21</b>	Humedad y cohesión de los especímenes balsa-aserrín.....	79
<b>Tabla 22</b>	Densidad y absorción de concreto endurecido mezcla balsa-aserrín	79
<b>Tabla 23</b>	Resultados de mediciones de especímenes balsa-aserrín a 3 días ....	80
<b>Tabla 24</b>	Resistencia a la compresión especímenes balsa-aserrín edad 3 días	80
<b>Tabla 25</b>	Resultados de mediciones de especímenes balsa-aserrín a 7 días ....	81
<b>Tabla 26</b>	Resistencia a la compresión especímenes balsa-aserrín edad 7 días	81
<b>Tabla 27</b>	Resultados de mediciones de especímenes balsa-aserrín a 28 días ..	82
<b>Tabla 28</b>	Resistencia a la compresión especímenes balsa-aserrín edad 28 días.....	82
<b>Tabla 29</b>	Matriz de ensayos balsa-fibra .....	84
<b>Tabla 30</b>	Proporción de los agregados en masa (kg) mezcla balsa-fibra.....	85

<b>Tabla 31</b>	Humedad y cohesión de los especímenes balsa-fibra.....	85
<b>Tabla 32</b>	Densidad y absorción de concreto endurecido mezcla balsa-fibra ...	85
<b>Tabla 33</b>	Resultados de mediciones de especímenes balsa-fibra a 3 días.....	86
<b>Tabla 34</b>	Resistencia a la compresión especímenes balsa-fibra edad 3 días....	86
<b>Tabla 35</b>	Resultados de mediciones de especímenes balsa-fibra a 7 días.....	87
<b>Tabla 36</b>	Resistencia a la compresión especímenes balsa-fibra edad 7 días....	87
<b>Tabla 37</b>	Resultados de mediciones de especímenes balsa-fibra a 28 días.....	88
<b>Tabla 38</b>	Resistencia a la compresión especímenes balsa-fibra edad 28 días..	88
<b>Tabla 39</b>	Matriz de ensayos pino-aserrín .....	90
<b>Tabla 40</b>	Proporción de los agregados en masa (kg) mezcla pino-aserrín.....	90
<b>Tabla 41</b>	Humedad y cohesión de los especímenes pino-aserrín.....	90
<b>Tabla 42</b>	Densidad y absorción de concreto endurecido mezcla pino-aserrín.	91
<b>Tabla 43</b>	Resultados de mediciones de especímenes pino-aserrín a 3 días .....	91
<b>Tabla 44</b>	Resistencia a la compresión especímenes pino-aserrín edad 3 días .	92
<b>Tabla 45</b>	Resultados de mediciones de especímenes pino-aserrín a 7 días .....	92
<b>Tabla 46</b>	Resistencia a la compresión especímenes pino-aserrín edad 7 días	93
<b>Tabla 47</b>	Resultados de mediciones de especímenes pino-aserrín a 28 días ...	93
<b>Tabla 48</b>	Resistencia a la compresión especímenes pino-aserrín edad 28 días	94
<b>Tabla 49</b>	Matriz de ensayos pino-fibra .....	95
<b>Tabla 50</b>	Proporción de los agregados en masa (kg) mezcla pino-fibra .....	96
<b>Tabla 51</b>	Humedad y cohesión de los especímenes pino-fibra .....	96
<b>Tabla 52</b>	Densidad y absorción de concreto endurecido mezcla pino-fibra ....	96
<b>Tabla 53</b>	Resultados de mediciones de especímenes pino-fibra a 3 días.....	97
<b>Tabla 54</b>	Resistencia a la compresión especímenes pino-fibra edad 3 días.....	97
<b>Tabla 55</b>	Resultados de mediciones de especímenes pino-fibra a 7 días.....	98
<b>Tabla 56</b>	Resistencia a la compresión especímenes pino-fibra edad 7 días.....	98
<b>Tabla 57</b>	Resultados de mediciones de especímenes pino-fibra a 28 días.....	99
<b>Tabla 58</b>	Resistencia a la compresión especímenes pino-fibra edad 28 días...	99
<b>Tabla 59</b>	Matriz de ensayos teca-aserrín.....	101
<b>Tabla 60</b>	Proporción de los agregados en masa (kg) mezcla teca-aserrín .....	101
<b>Tabla 61</b>	Humedad y cohesión de los especímenes teca-aserrín .....	102
<b>Tabla 62</b>	Densidad y absorción de concreto endurecido mezcla teca-aserrín	102

<b>Tabla 63</b>	Resultados de mediciones de especímenes teca-aserrín a 3 días ....	103
<b>Tabla 64</b>	Resistencia a la compresión especímenes teca-aserrín edad 3 días	103
<b>Tabla 65</b>	Resultados de mediciones de especímenes teca-aserrín a 7 días ....	104
<b>Tabla 66</b>	Resistencia a la compresión especímenes teca-aserrín edad 7 días	104
<b>Tabla 67</b>	Resultados de mediciones de especímenes teca-aserrín a 28 días ..	105
<b>Tabla 68</b>	Resistencia a la compresión especímenes teca-aserrín edad 28 días.....	105
<b>Tabla 69</b>	Matriz de ensayos teca-fibra .....	107
<b>Tabla 70</b>	Proporción de los agregados en masa (kg) mezcla teca-fibra.....	107
<b>Tabla 71</b>	Humedad y cohesión de los especímenes teca-fibra.....	107
<b>Tabla 72</b>	Densidad y absorción de concreto endurecido mezcla teca-fibra...	108
<b>Tabla 73</b>	Resultados de mediciones de especímenes teca-fibra a 3 días .....	108
<b>Tabla 74</b>	Resistencia a la compresión especímenes teca-fibra edad 3 días ...	109
<b>Tabla 75</b>	Resultados de mediciones de especímenes teca-fibra a 7 días .....	109
<b>Tabla 76</b>	Resistencia a la compresión especímenes teca-fibra edad 7 días ...	110
<b>Tabla 77</b>	Resultados de mediciones de especímenes teca-fibra a 28 días .....	110
<b>Tabla 78</b>	Resistencia a la compresión especímenes teca-fibra edad 28 días	111

**Índice de ecuaciones**

<b>Ecuación 1</b> .....	19
<b>Ecuación 2</b> .....	46
<b>Ecuación 3</b> .....	50
<b>Ecuación 4</b> .....	56
<b>Ecuación 5</b> .....	57

## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

A través de los años, se ha evidenciado el impacto que tiene toda obra civil en aspectos tanto positivos como negativos. El desarrollo económico que obtiene un país debido a infraestructuras civiles es uno de los muchos aspectos positivos, ya que estos generan fuentes de empleo, mejoran la calidad de vida, satisfacen necesidades, entre otros. Pero, como se mencionó, no todo abarca lo positivo, actualmente, la alta huella de carbono que generan las obras civiles, principalmente su incremento es debido a las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que son perjudiciales, hasta cierto punto, para la salud de una persona. Según estadísticas se sabe que “por cada tonelada de cemento que se utiliza, se emite al medio ambiente una tonelada de CO<sub>2</sub>, ya que, la fabricación de cemento supone el 5% del balance total de emisiones mundiales” (Domoterra, 2016, párr. 1).

En relación con lo anterior, el objetivo que se tiene durante esta investigación es realizar una mezcla de concreto, a partir de la inclusión de partículas de celulosa reciclada, es decir, partículas de madera de desechos de tarimas, esto con el fin de incorporarse al mundo de la construcción sostenible. Además, una mezcla de concreto liviano, caracterizada con una densidad de 1600 kg/m<sup>3</sup> a 1800 kg/m<sup>3</sup>, con desechos reciclados, incentiva a la concientización del medio ambiente, siempre y cuando esta misma cumpla con parámetros óptimos para ser utilizada en áreas laborales.

En el mundo, el concreto liviano es algo que se ha venido trabajando años atrás, para su obtención, se ha empleado todo tipo de agregados livianos, así como el uso de materiales de reciclaje en distintas investigaciones.

En Costa Rica, Méndez (2014), del Tecnológico de Costa Rica (TEC), estudió la producción de adoquines a partir de residuos de madera de tarimas. Esta investigación se puede resumir de la siguiente manera: se trabajó la madera de “*Pinus sp*” con tres tratamientos distintos, una con lavado con agua caliente, otra de forma natural, es decir, sin lavar, por último, una de forma natural con una adición de carbonato de calcio, la cual fue añadida junto la mezcla del cemento, arena y polvo de piedra, cada una de estas en diferentes porciones para, así, observar el comportamiento del mismo. Concluyendo con una proporción de 60:40 (concreto: madera) para los adoquines elaborados mediante la mezcla del cemento, arena, polvo de piedra, y el tratamiento

de la madera de forma seca con el añadido de carbonato de calcio, es una de las que presenta el mejor comportamiento en cuanto a los parámetros en los que se evaluaron (Méndez, 2014).

En el plano nacional, no solo se ha abordado el concreto liviano mediante celulosa reciclada. En el año 2010, Molina realizó una evaluación de la cascarilla de arroz en la fabricación de bloques de concreto; el siguiente trabajo se enfatiza en el mejoramiento de sistemas constructivos que se emplean actualmente en obras de viviendas unifamiliares; esto, tratando de lograr el desarrollo de un bloque de concreto ligero, los cuales deben tener una densidad menor con respecto a los bloques convencionales, este estudio quiso abarcar la implementación de la cascarilla de arroz para una construcción sostenible, además de observar la disponibilidad de esta misma a través del suministro de la materia prima a través de las industrias arroceras. En conclusión, con el estudio se concluye que la obtención de la cascarilla de arroz a corto plazo no es factible, también, que la cascarilla de arroz en estado puro (sin ningún tipo de tratamiento) no aporta beneficios de resistencia y propiedades de absorción para los bloques (Molina, 2010).

Por otro lado, la construcción sostenible se desarrolla prácticamente a nivel mundial. De esta forma, Franz (2018), estudiante de la Universidad de San Pedro en Perú, elaboró una tesis sobre el desarrollo de un concreto con una resistencia a la compresión de  $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$  con adición de ceniza de viruta de madera. Básicamente, este trabajo realizado se enfocó más en la parte experimental, ya que se analizaron muestras de 36 probetas, cada una de estas con distintos porcentajes de los agregados, llegando así a un análisis de datos mediante tablas, gráficas, porcentajes, promedios, etc. Concluyendo que la incorporación de la viruta de madera en un 2% conlleva a un diseño óptimo y funcional según los parámetros establecidos (Franz, 2018).

Como parte del material reciclado, Prieto (2014), de la Universidad de Cuenca, Ecuador, escribió un artículo sobre la creación de paneles prefabricados de concreto liviano a base de papel periódico y cartón reciclado, esto destinado a las viviendas de interés social, en resumen, lo que se pretende es buscar prácticas más amigables con el ambiente y la posibilidad de reducir los costos de materiales, tiempo de ejecución de construcción, mano de obra. Como conclusión el panel de concreto prefabricado, se llegó a determinar que esta misma puede brindar excelentes características (Prieto, 2014).



No solamente, se han hecho experimentos sobre el cómo se hacen estas mezclas, se puede apreciar que, a nivel tanto nacional como internacional se cuenta ya con el empleo del mismo y, poco a poco, con la introducción de elementos estructurales amigables con el ambiente.

## **1.2 Planteamiento del Problema**

A lo largo de los años, se ha evidenciado que la industria de la construcción es una base importante para el desarrollo de un país, abarcando desde viviendas unifamiliares pequeñas, escuelas, colegios, hospitales, hasta construcciones de gran escala donde se evidencia el uso del concreto como material principal en muchas de estas.

Es importante recalcar que los elementos de concreto, al ser más pesados, tienen un gran impacto en cualquier tipo de obra; por esta razón se puede observar que el uso de este material presenta dificultades, en muchos casos, a la hora de diseñar una edificación, ya sea con el traslado e inclusive en la colocación de elementos prefabricados.

Para producir concreto liviano, se debe elaborar una mezcla con una densidad inferior a la usual, es decir,  $2400 \text{ kg/m}^3$  a  $2200 \text{ kg/m}^3$ . Este proceso se logra con la implementación de agentes espumantes (aditivos), como el AGON C, FOAMIN C, para elaborar algo llamado “Concreto Celular Liviano” (CCL). También, con el uso de agregados livianos, ya sean de origen natural, artificial y de carácter orgánico; por ejemplo, piedra pómez, ceniza volcánica, poliestireno expandido; los cuales son materiales que ya han sido evaluados en trabajos finales de graduación para la Universidad Latina de Costa Rica, tales como “Desarrollo de una mezcla de concreto hidráulico seco liviano utilizando agregado pumita mediante el método de diseño de Frasson Jr.” (Méndez, 2018), y “Desarrollo de mezclas de concreto utilizando residuos de plásticos de poliestireno expandido (EPS) y tereftalato de polietileno (PET) en mezclas de concreto convencional” (Vásquez, 2016). A su vez, dando uso a materiales de reciclaje como materiales de desecho, es decir, el producto sobrante de las moliendas de quebradores, usualmente llamado “huevillo”, plástico de tereftalato de polietileno (PET), con el cual se logra llegar a una mezcla de concreto liviano mediante la sustitución por agregado grueso o fino.

Se desarrolló una investigación utilizando un material de carácter orgánico. En este caso, se quiere utilizar celulosa reciclada, extraída de desechos de tarimas, para obtener, como resultado, una mezcla de concreto seco liviano que cumpla con las especificaciones requeridas. Se pretende lograr una dosificación o sustitución de materiales que alcance una densidad del concreto de 1600

kg/m<sup>3</sup> a 1800 kg/m<sup>3</sup>, con una resistencia mínima a la compresión de 8 MPa. Además, al utilizar material de reciclaje para la producción de este tipo de mezclas de concreto, se estaría contribuyendo a la disminución de contaminación, ya que en apartados de plásticos, por ejemplo, se tiene que “cada año se producen un total de 300 millones de toneladas de plástico. De ellas, se estima que ocho millones acaban directamente en los mares y océanos de nuestro planeta” (Eljarrat, 2019, párr. 1). Llegando a una producción de concreto sostenible, ya que, como se refleja en la actualidad la huella de carbono de las construcciones incrementan cada vez más. Esto nos conduce a la siguiente interrogante:

¿Es posible desarrollar un diseño de mezcla de concreto seco liviano que satisfaga los parámetros establecidos, utilizando partículas de celulosa reciclada?

### **1.3 Objetivo General**

Desarrollar mezclas de concreto seco liviano mediante la metodología de Frasson Jr., utilizando partículas de celulosa reciclada para alcanzar una resistencia mínima a la compresión de 8 MPa.

### **1.4 Objetivos Específicos**

- Establecer la relación cemento: celulosa reciclada para la producción de una mezcla óptima de concreto.
- Evaluar un diseño de mezcla de concreto con una densidad entre 1600 kg/m<sup>3</sup> y 1800 kg/m<sup>3</sup>.
- Determinar la cohesión mínima para que la mezcla seca se vuelva manipulable a edades tempranas.
- Analizar la densidad seca del concreto utilizando 3 formas de celulosa reciclada (aserrín: 2%, 4%, 6%; fibra: 1%, 2%, 3%; cúbica: 5%, 10%, 15%).
- Determinar la curva de desarrollo de resistencia a la compresión para los 3 escenarios planteados (3 días, 7 días y 28 días).

## 1.5 Justificación

El concreto es un material utilizado prácticamente en toda obra civil, es decir, es un material con una demanda muy elevada y, muchas veces, este genera complicaciones, ya sea en procesos constructivos, como la trabajabilidad del mismo. A través de los años, ha sido evidente la necesidad de innovar siempre ha estado presente en áreas tecnológicas.

Ahora, ¿por qué no hacerlo en áreas constructivas? Un paso importante que se puede evaluar es el cómo hacer una mezcla de concreto seco liviano, la cual cumpla con los estándares establecidos y, además, se llegue al desarrollo de un concreto verde.

Este trabajo final de graduación tuvo como propósito incorporar prácticas novedosas sostenibles en la construcción, a raíz de la elaboración de una mezcla de concreto seco liviano, utilizando partículas de celulosa reciclada; esto se desarrolló experimentalmente mediante pruebas de laboratorio, con métodos de ensayos normados y vigentes en el país, se basó en las normas establecidas por el Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO), de la mano con las normas en las cuales se basan las anteriores “American Society for Testing and Materials” por sus siglas en inglés (ASTM). Alcanzando aspectos que mejoren la calidad de vida, que satisfagan las necesidades ambientales y aporten beneficios en el área constructiva, debido a que facilita la trabajabilidad de mezclas.

Principalmente, se trabajó con celulosa reciclada proveniente de tarimas, es decir, aprovechando los desechos que generan las empresas en la creación de las mismas, trozos de tablas que simplemente no les funcionan o sirven para desecho. El fin de seleccionar madera proveniente de empresas se define porque, en estas mismas, se tiene madera certificada, la cual sirve para un óptimo análisis de las propiedades, sean densidades, resistencias, entre otras.

Mediante un gran estudio, se tiene como objetivo brindar un respaldo teórico y experimental de los componentes que inciden en la ganancia de la resistencia a la compresión, en distintas mezclas de concreto con variación de dosificaciones. A partir de los datos obtenidos y los procesos propuestos, se llega a un procedimiento ideal en el cual se cuente con un respaldo normativo, y sea viable presentar posibles mejoras a los diseños de mezclas propuestos a futuro. Con esto, un proceso más eficiente de la mano de una reducción de costos en la producción.

Gracias a este tipo de investigaciones, se beneficiará el país de manera indirecta, tanto en áreas constructivas, como en el impacto ambiental; puesto que, poco a poco, la construcción sostenible se incorpora al mundo. De una forma directa, se beneficia la empresa en la cual se llevarán a cabo las pruebas de laboratorio necesarias, Productos de Concreto S.A. (PC), pues esta muestra atracción a procesos innovadores, lo cual proporciona un avance importante al país.

## **1.6 Alcances y Limitaciones**

### **1.6.1 Alcances**

- Mediante el método de Frasson Jr. se revisará el estado del arte de una mezcla de concreto seco liviano.
- Se incorporarán partículas de celulosa reciclada a un diseño de mezcla convencional.
- Mediante pruebas de laboratorio, se determinará una densidad el cual deberá encontrarse entre  $1600 \text{ kg/m}^3$  a  $1800 \text{ kg/m}^3$ .
- Se estimará una resistencia a la compresión de 8 MPa mediante una matriz de ensayos.
- Todas las pruebas de laboratorio se llevarán a cabo en PC.

### **1.6.2 Limitaciones**

- No hay suficiente literatura con respecto a la metodología de Frasson Jr. para diseños de mezcla.
- El método propuesto por Frasson Jr. no está normado.
- No existen normas establecidas para un diseño de mezcla de concreto con incorporación de celulosa.
- Los residuos de celulosa reciclada se adquirirán directamente de la empresa Promaderas S.A.
- Los diseños de especímenes realizados se basan en las normas INTECO y ASTM.

## 1.7 Impacto

En Costa Rica, como en cualquier parte del mundo, el concreto es el material de construcción principal para una obra, ya sea en la construcción de edificaciones, de forma chorreada, sea para losas de entresijos, contrapisos, la construcción de muros de corte, entre otras muchas más opciones. Además, se emplea en la fabricación de elementos prefabricados, sistemas de entresijos, paneles para viviendas, tales como los brindados por la empresa PC y, de forma más común, se tiene para la fabricación de bloques de mampostería; todo lo cual se emplea para las construcciones de viviendas unifamiliares. Todo esto nos lleva al motivo del por qué es importante la innovación en la construcción.

Se sabe que un concreto catalogado como liviano tiene una densidad menor a la usual, es decir, menor a un rango entre  $2400 \text{ kg/m}^3$  y  $2200 \text{ kg/m}^3$ , esto nos lleva a que, cuanto menor densidad de este mismo, mejor trabajabilidad; ya sea para la colocación, transporte, entre otros. La incorporación de agregados de carácter orgánico, celulosa, cascarilla de arroz, poliestireno expandido (EPS) a una mezcla de concreto convencional (agua-cemento-agregado grueso-agregado fino) hace que esta se vuelva liviana y da paso a la innovación; debido a que, con la inclusión de estos elementos que varían porcentajes de lo que usualmente se emplea, se logra el desarrollo de una mezcla de concreto sostenible o como se le suele llamar usualmente, un concreto verde. Por tanto, esta investigación beneficia directamente al país, específicamente, al área constructiva, con motivo de la alta huella de carbono que esta misma produce.

## 1.8 Hipótesis

A través de una serie de pruebas, se procedió a diseñar la matriz de ensayos para obtener parámetros evaluativos de una mezcla de concreto seco liviano, con la incorporación de celulosa reciclada a la dosificación usual. Esperando un resultado de una densidad y resistencia a la compresión que se encuentre entre los parámetros previamente estipulados.

## **CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO**

En el presente apartado se desarrolla, de manera extensa, la descripción de términos técnicos planteados en el capítulo 1, la explicación de cada uno de los factores que forman parte de la investigación, esto con el fin de proporcionar a la persona lectora una idea clara de la información, y facilitar la interpretación del desarrollo de esta tesis de grado. Para fines de este proyecto, se abordó la información de conceptos básicos, llegando así a los más complejos que, básicamente, se representarán en la disertación, esto para llevar un orden lógico, y abarcar todo lo ligado a la investigación realizada.

### **2.1 Componentes del Concreto**

#### **2.1.1 *Cemento Hidráulico***

Es un polvo fino, el cual se obtiene mediante la mezcla de piedra caliza, arcilla y minerales de hierro. Principalmente, el proceso de este producto es desarrollado por medio de la calcinación del clínker, este es uno de los principales ingredientes del cemento, se muele finamente con yeso y aditivos dando como resultado dicho material.

Como bien se sabe, el cemento es el principal material de construcción, a su vez, el más utilizado a nivel mundial, puesto que aporta propiedades útiles, tales como resistencia a la compresión, durabilidad y estética dentro del área de la construcción.

Según distintas recomendaciones prácticas para la utilización de cementos, se dice que:

Las propiedades y el comportamiento del concreto dependen en gran medida del tipo de cemento utilizado. La adecuada elección de éste tiene, o puede tener, una gran influencia técnica y económica en el concreto. La tendencia moderna es la de producir cementos de acuerdo a las características y necesidades de la obra a construir, lo que se conoce como cementos por desempeño.

A pesar de la gran variedad de cementos existentes, la elección del cemento más apropiado para conseguir un concreto de unas características determinadas no es, en general, difícil. (Aragón y Solano, 2006, p. 12)

Según normativas vigentes en el país, actualmente se utiliza una gran variedad de cementos, cada uno de estos según la necesidad del proyecto a desarrollar, a su vez, generando un abanico de opciones en apartados de costos.

### Figura 1

#### *Tipos de cemento hidráulico*

Tipo I	Cemento Portland Ordinario (CPO)
Tipo ME	Cemento Hidráulico Modificado con Escoria de Alto Horno
Tipo MF	Cemento Hidráulico Modificado con Humo de Sílice
Tipo MP	Cemento Hidráulico Modificado con Puzolana, Ceniza volante o Esquisto
Tipo MC	Cemento Hidráulico Modificado con Caliza
Tipo MM	Cemento Hidráulico Modificado Mixto

Fuente: INTECO, INTE C147:2018.

Donde, de forma resumida se puede entender el uso de cada uno de los tipos:

- Tipo I/MM: Cemento catalogado como normal, es decir, este es de uso general, no requiere propiedades especiales; sus usos más destacados son en obras civiles comunes, ya sean edificaciones, casas habitación, estructuras industriales.
- Tipo MP/A-28: Cemento con una resistencia media a sulfatos, esencialmente para usos de elementos en exposición al suelo y aguas subterráneas los cuales contienen bajo contenido de sulfatos. Dentro de los usos de este, se menciona la construcción puentes, tuberías, muelles, entre otros.
- Tipo MC/A-AR: Cemento el cual desarrolla altas resistencias, usualmente empleado donde se requiere una resistencia elevada en edades tempranas, además de que es empleado en localizaciones frías, en carreteras y autopistas.
- Tipo MF/A-28: Caracterizado por tener un bajo calor de hidratación, empleado principalmente cuando el calor de hidratación debe ser mínimo y en grandes proyectos, donde se coloca una cantidad extensa de volumen de concreto.
- Tipo MP/B-28: Cemento con alta resistencia a los sulfatos, empleado cuando el concreto se encuentra en contacto de sulfatos gran cantidad, los usos principales se dan en

construcciones marinas, en aguas con alto contenido de sulfato, drenajes, canales; es decir, ambientes muy agresivos a este compuesto inorgánico.

### **2.1.2 Agua**

Es aquel componente con el cual el cemento experimenta reacciones químicas que le dan las propiedades de fraguar y endurecer, para formar un sólido único llamado concreto mediante la mezcla porcentual de cada agregado.

El agua es un elemento o agregado fundamental, también muy particular debido a como se representa en la figura 3, esta varía en porcentajes, al igual que todo agregado empleado. Tiene distintas aplicaciones importantes dentro de la mezcla de concreto, usualmente, con una proporción de 14% a 21%, sus objetivos son activar la mezcla como tal, además de la importancia que adquiere para el proceso de curado, pues de esta depende la manejabilidad de la mezcla. A raíz de esto, como material inicial o agregado principal para una mezcla de concreto se tiene el cemento, al combinar este con cierto porcentaje de agua, se obtiene la pasta, que únicamente tiene como función rellenar separaciones entre paredes, o para la inyección de este en grietas; seguidamente, se obtiene el mortero con la combinación de agregado fino, uso principal en repellos o unión de bloques de mampostería. Por último, con la incorporación de agregado grueso, se llega a lo deseado, una mezcla de concreto, donde sus usos son meramente estructurales según las propiedades de la misma.

El párrafo anterior muestra la importancia del agua en mezclas simples para reparaciones sencillas, y mezclas ya meramente constructivas; sin este componente, no se podrá desarrollar la combinación de cada uno de los agregados.

Respecto a las propiedades que puede tener el agua, ya sea en procedencia o impurezas que esta puede tener, o como se emplea según sea el caso, se debe tomar en cuenta que:

Prácticamente cualquier agua natural que sea potable y no presente fuerte sabor u olor se la puede usar como agua de mezcla (de mezclado, de amasado) para la preparación del concreto. Sin embargo, también se pueden emplear en concreto algunas aguas que no se consideran potables.

Se puede emplear el agua dudosa en concreto, pero se debe verificar su desempeño. Por ejemplo, se aconseja que los cubos de mortero (ASTM C 109 o AASHTO T 106)



preparados con el agua dudosa tengan la resistencia a los 7 días igual a por lo menos 90% de la resistencia de los especímenes de referencia preparados con agua potable o agua destilada. Además, se debe garantizar a través de ensayos del tiempo de fraguado que las impurezas en el agua de amasado no van a disminuir o aumentar adversamente el tiempo de fraguado del cemento.

El exceso de impurezas en el agua de mezcla no sólo puede afectar el tiempo de fraguado y las resistencias del concreto, sino también puede causar eflorescencias, manchado, corrosión del refuerzo, inestabilidad del volumen y reducción de la durabilidad. Por lo tanto, se pueden establecer ciertos límites opcionales para cloruros, sulfatos, álcalis y sólidos en el agua de mezcla o se pueden realizar ensayos adecuados para la determinación del efecto de las impurezas sobre varias propiedades. (Kosmatka et al., 2004, p. 95)

### **2.1.3 Agregados**

Los agregados son, quizás, los más importantes para la elaboración de una mezcla de concreto. Este material se divide en 2 componentes, los cuales son: agregado fino, usualmente arena natural o piedra triturada, el cual tiene un tamaño máximo 5 mm (tamiz #4); y agregado grueso, puede ser grava o piedra triturada con tamaños elevados en comparación con el fino; está clasificado en tamaños mayores a 5 mm, llegando hasta 9,5 mm (tamiz 3/8 pulg) y 37,5 mm (tamiz 1 1/2 pulg). En una mezcla convencional, estos pueden abarcar hasta un 75% del volumen total del concreto, al ser menos costosos que el cemento, es fundamental que sean empleados en una cantidad abundante, por esto mismo, es de vital importancia la selección de cada uno de ellos, ya sea en calidad y tipo. Influyen notablemente en las propiedades del concreto, tanto en estado fresco como endurecido.

Al tener gran cantidad de agregados porcentualmente, son los componentes que, de manera usual, se varían para el desarrollo de mezclas de concreto que no son convencionales, es decir, mezclas a las cuales se les incorporan porcentajes de material orgánico, material reciclado, entre otros. Tal como se plantea en esta investigación, variar agregado fino y añadir celulosa reciclada, logrando desarrollar una mezcla de concreto funcional, de forma que, cuando se usan materiales con un menor peso a los agregados usuales, el concreto resultante se denomina de peso liviano.

Según manuales bibliográficos del país, los agregados deben seguir ciertos parámetros según sea el concreto a desarrollar (figura 2), para esto se definen los porcentajes recomendados de agregado grueso y fino a emplearse en una dosificación.

**Figura 2**

*Requisitos de los agregados para el concreto*

<b>Características</b>	<b>Agregado grueso</b>	<b>Agregado Fino</b>
Pérdida por abrasión (ASTM C-33)	50% máximo	
Terrones de arcilla y partículas friables (ASTM C-33)	3% máximo	3% máximo
Partículas con uno ó más caras fracturadas (CR-2002)	50% mínimo	
% pasando el tamiz No. 200 (ASTM C-33)	1.0% máximo	3% máximo
Equivalente de Arena (AASHTO T- 176)		75 mínimo
Sanidad de los agregados (AASHTO T-104)		15% máximo

Fuente: Manual de consejos prácticos sobre el concreto (ICCYC), 2006.

**2.1.3.1 Granulometría de los Agregados.** La granulometría es el ensayo realizado para definir el tamaño de partículas de los agregados finos y gruesos, además de esto, de cierta manera, delimita la distribución de los mismos en forma porcentual. Este parámetro influye de una forma directa sobre la resistencia y la calidad del concreto. Acerca de la forma correcta para obtener una granulometría adecuada, se dice que:

Dosificar los agregados de manera que se obtenga una granulometría lo más continua y compacta posible. Para conseguirlo, debe separarse en diferentes fracciones, para que luego éstas puedan ser mezcladas en las proporciones adecuadas. Como norma de buena práctica, la relación existente entre el tamaño máximo y mínimo de cada fracción no debe exceder de 2. Por ejemplo 5/10, 10/20, 20/40, etc. El agregado fino, se puede clasificar en dos fracciones para mejorar su dosificación.

El contenido de partículas muy finas (de tamaño inferior a 0,08 mm o tamiz No. 200) en el agregado, obliga a aumentar la cantidad de agua necesaria para alcanzar una

manejabilidad dada del concreto, disminuyendo en consecuencia las resistencias finales de éste. (Aragón y Solano, 2006, p. 17)

**2.1.3.2 Agregado Fino.** La incorporación de este componente de arena, o más conocido como agregado fino, es de gran importancia en una mezcla de concreto, alcanzando un porcentaje de participación de hasta 30%, además, este debe estar bien gradado para llenar todos los espacios correspondientes, y producir una mezcla compacta.

De manera tal que el agregado fino se define como:

Aquel que pasa el tamiz 3/8" y queda retenido en la malla N° 200, se emplea en el concreto para facilitar el acabado, impedir la segregación entre otros. Estas mejoras se logran, en parte, por la composición granulométrica, el tamaño, la forma y la textura de las superficies de las partículas. (Bellido, 2018, p. 6)

**2.1.3.3 Agregado Grueso.** Componente el cual, de cierta forma, finaliza la dosificación de una mezcla de concreto convencional, teniendo una participación de hasta 51% en ciertas mezclas. Porcentualmente, el agregado grueso es muy elevado, pues proporciona gran resistencia a una mezcla de concreto, según sean las características de esta. La mejor forma de los agregados se obtiene cuando son partículas esféricas y cúbicas, debido a que genera esta resistencia deseada, además de un consumo menor de cemento por el acomodo que tienen estas partículas entre sí. Estos agregaos deben tener un desgaste no mayor a un 40%, según sea el cálculo de dureza que se garantiza en la máquina de los ángeles, también este material debe quedar retenido en la malla N.º 4. Principalmente, se deben evitar partículas con formas angulosas, debido a que producen mezclas ásperas y difíciles de manejar.

**2.1.3.4 Módulo de Finura.** Si bien existen varias formas de desarrollar una mezcla idónea de concreto, este apartado se enfocará en el módulo de finura para el caso de dos agregados en la mezcla. Primeramente, ¿qué se entiende como módulo de finura?

Factor obtenido mediante la sumatoria de cada uno de los porcentajes acumulados retenidos en cada uno de los tamices consecuentes, dividido entre la sumatoria de los porcentajes individuales retenidos (100): 0,15 mm (No. 100), 0,30 mm (No. 50), 0,60 mm (No. 30), 1,18 mm (No. 16), 2,36 mm (No. 8), 4,75 mm (No. 4), 9,5 mm (3/8 pulg), 19,0

mm (3/4 pulg), 37,5 mm (1-1 / 2 pulg), 75 mm (3 pulg), 150 mm (6 pulg). (American Concrete Institute [ACI 211.5R-14], 2014)

Es importante destacar que el módulo de finura de los agregados finos se encuentra en un rango establecido, entre 2,00 a 4,00; sin embargo, según la normativa INTE C69, brinda una guía de graduación y módulo de finura para los agregados que se pueden utilizar en el concreto, esto para conformar una dosificación apropiada, la recomendación para un agregado fino se encuentra en un rango de 2,3 a 3,1. A su vez, los gruesos van desde 6,50 hasta 8,00 para aquellos agregados menores a 38,1 mm, es decir, a mayor módulo de finura, más grande el agregado. Las combinaciones de agregados finos y gruesos tienen valores intermedios.

## **2.2 Concreto**

El concreto, a través de los años, ha sido un material de alta demanda, ya sea para la construcción de casas, edificaciones, carreteras, etc. Este material data de las épocas egipcias, pasando así por los romanos. Debido a las técnicas y usos de este, se han modificado para adaptarse poco a poco a todas las necesidades constructivas para un desarrollo económico óptimo de una sociedad; debido a la resistencia del material, sus propiedades impermeables y resistencia, el concreto se ha mantenido como el material predilecto.

Se dice que:

Los factores que hacen del concreto un material de construcción universal son tan evidentes que ha sido utilizado de diversas maneras por miles de años. Uno de estos factores consiste en la facilidad con la cual, mientras se encuentra en estado plástico, puede depositarse y llenar las formaletas y moldes de cualquier forma. Su alta resistencia al fuego y al clima son ventajas evidentes. La mayor parte de los materiales constitutivos, con la excepción del cemento y los aditivos, están disponibles a bajo costo, localmente o muy cerca del sitio de construcción. Su resistencia a la compresión, similar a la de las piedras naturales, es alta lo que lo hace apropiado para elementos sometidos principalmente a compresión. (Nilson, 1999, p. 1)

Las características que posee este material se relacionan con componentes a utilizar, distintos agregados, la incorporación de estos mediante tamaños de partículas, etc., además de ser

el tema principal de la presente investigación, se puede abarcar una interrogante sencilla y, a su vez, importante, el concreto se define como:

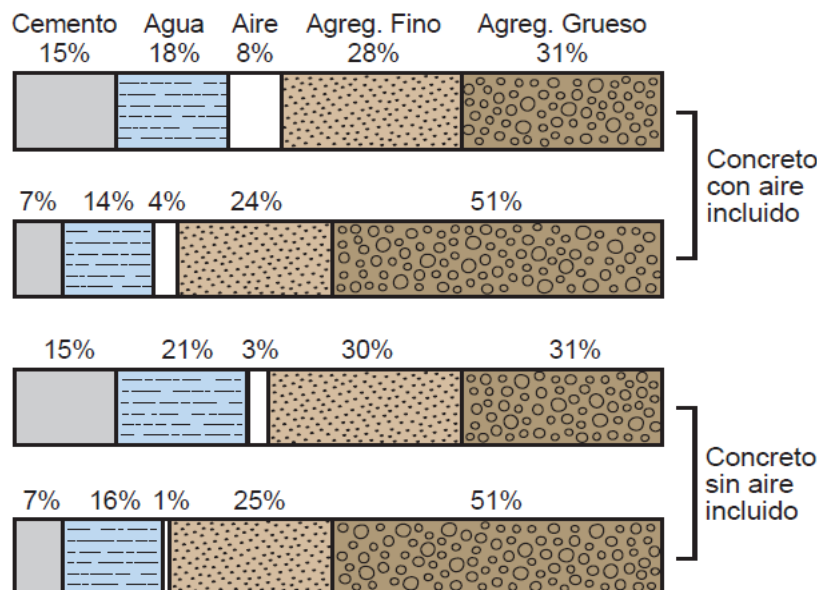
El concreto (hormigón) es básicamente una mezcla de dos componentes: agregados y pasta. La pasta, compuesta de cemento portland y agua, une los agregados, normalmente arena y grava (piedra triturada piedra machacada, pedrejón), creando una masa similar a una roca. Esto ocurre por el endurecimiento de la pasta en consecuencia de la reacción química del cemento con el agua. Otros materiales cementantes (cementosos) y adiciones minerales se pueden incluir en la pasta.

Generalmente los agregados (áridos) se dividen en dos grupos: finos y gruesos. Los agregados finos pueden ser arena natural o artificial (manufacturadas) con partículas de hasta 9,5 mm (3/8 pulg.); agregados gruesos son las partículas retenidas en la malla 1,18 mm (tamiz no.16) y pueden llegar hasta 150 mm (6 pulg.). El tamaño máximo del agregado grueso comúnmente empleado es 19 mm o 25 mm (3/4 pulg o 1 pulg.). Un agregado de tamaño intermedio, cerca de 9,5 mm (3/8 pulg.) es, algunas veces, adicionado para mejorar la granulometría general del agregado. (Kosmatka et al., 2004, p. 1)

Tal como se presenta, toda mezcla de concreto siempre se desarrolla de la misma manera, es decir: agua, cemento, cuya combinación forma lo llamado pasta, y el añadido de agregado fino o grueso; con base en esto, se logra una dosificación y cuando se menciona el término dosificación usual de concreto, es relacionado al añadido de estos elementos en su respectivo orden. Ahora bien, lo que se quiere mediante este trabajo investigativo es desarrollar una dosificación apropiada con la inclusión de partículas de celulosa reciclada, con cada una de las formas y tipos de madera que se emplearán, obteniendo a una mezcla de concreto seca y, a su vez, liviana. Si se lograra variar porcentajes de los agregados usuales que, según la bibliografía de “Diseño y control de mezclas de concreto”, establecen valores regulares en porcentajes para una mezcla de concreto (figura 3), con inclusión de aire y sin este; demostrando así que el principal objetivo está dentro de estos porcentajes ya establecidos; incorporar la celulosa reciclada como un agregado más a los que ya están establecidos, o variar el porcentaje de agregado fino en este caso, para poco a poco añadir el material orgánico establecido.

**Figura 3**

*Dosificaciones usuales de una mezcla de concreto*



Fuente: Diseño y control de mezclas de concreto (PCA), 2004.

### 2.2.1 Concreto en Estado Fresco

Durante el desarrollo del concreto, este pasa por distintas etapas, se tiende a pensar que en este estado no sirve o no representa importancia alguna, ya que el objetivo principal es que la mezcla endurezca. Pero para toda obra, ensayo, etc., una mezcla en estado fresco tiene una función importante, sea para el desarrollo de la misma o las cualidades que esta presenta, además de que es el proceso natural de avance de toda mezcla de concreto.

Este estado hace que, de manera prematura, la mezcla parezca una “masa”, como características principales, esta masa puede ser blanda, trabajable y moldeable en distintas formas, llegando así a una colación y compactación óptima, donde se concluirá de la forma en la que se conoce el concreto, para el uso de elementos estructurales, para bloques de mampostería, etc. Las propiedades más importantes y representativas que tiene el concreto en estado fresco son la trabajabilidad, cohesividad, exudación y segregación.

**2.2.1.1 Trabajabilidad.** Según Bustamante (2016), la trabajabilidad “es una propiedad importante para muchas aplicaciones del concreto. En esencia, es la facilidad con la cual pueden mezclarse los ingredientes y la mezcla resultante puede manejarse, transportarse y colocarse con poca pérdida de homogeneidad” (p. 7).

**2.2.1.2 Cohesividad.** La cohesividad, según García (2015), se define como “aquella propiedad con la cual es posible controlar la posibilidad de segregación durante la etapa de manejo de la mezcla, al mismo tiempo contribuye a prevenir la aspereza de la misma, y facilitar su manejo durante el proceso de compactación” (p. 20).

**2.2.1.3 Exudación.** La exudación, una de las propiedades finales de una mezcla de concreto en estado fresco, se puede definir como:

La elevación de una parte del agua de la mezcla hacia la superficie, generalmente debido a la sedimentación de sólidos. El proceso se inicia momentos después que el concreto ha sido colocado y consolidado en los encofrados y continúa hasta que se inicia el fraguado de la mezcla. (Bustamante, 2016, p. 7)

**2.2.1.4 Segregación.** Propiedad final, la cual es una de las más importantes puesto que la mezcla de concreto inicia la consolidación de cada uno de los agregados. Según Bustamante (2016), la segregación se define como “la descomposición mecánica del concreto fresco en sus partes constituyentes cuando el agregado grueso tiende a separarse del mortero” (p. 7).

## **2.2.2 Concreto en Estado de Fraguado**

Este proceso se da cuando el concreto empieza a rigidizarse, es decir, cuando ya no está blando y comienza a tener una pérdida de plasticidad, el tiempo estimado de endurecimiento de un concreto es de aproximadamente 10 horas, pero esto puede ser muy variado, por ejemplo, siempre intervienen factores externos que afectan este proceso, tales como el clima, debido a que, si hay mucha humedad y altas temperaturas, el fraguado se verá alterado, además influyen los productos empleados, o sea, tipos de cementos, aditivos acelerantes, entre otros.

Es importante revisar el proceso de fraguado constantemente, para que este adopte las medidas más oportunas. A partir del inicio de este proceso, al cabo de 4 días se puede empezar a retirar formaleas, porque ya la mezcla de concreto tiene una resistencia más adecuada, y a los 31 días es cuando este alcanza su resistencia máxima al estar totalmente fraguado.

## **2.2.3 Concreto en Estado Endurecido**

Este es el estado final donde el concreto desarrolla su capacidad para soportar grandes esfuerzos a compresión, por lo que es el material principal que se conoce para gran parte de obras civiles. Este estado se logra después de haber pasado por propiedades que lo catalogan como fresco

y, a su vez, ya ha fraguado; en esta etapa, la mezcla ya ha ganado una resistencia significativa y se encuentra en un estado de endurecimiento máximo. Una característica es que el concreto endurecido no tendrá marcas de huellas si se camina sobre él, siendo esto una clara ventaja constructiva en áreas de trabajo de campo, donde siempre se necesita una fluidez constante de los trabajadores. Las propiedades del concreto endurecido son la resistencia y la durabilidad.

**2.2.3.1 Resistencia.** Inicialmente, es importante recalcar que se entiende como resistencia a la compresión; la principal característica de este material es el soporte que tiene este mismo ante este efecto, además del uso que se le puede dar a raíz de la medición de este parámetro:

La resistencia a la compresión simple es la característica mecánica principal del concreto. Se define como la capacidad para soportar una carga por unidad de área, y se expresa en términos de esfuerzo, generalmente en  $\text{kg/cm}^2$ , MPa y con alguna frecuencia en libras por pulgada cuadrada (psi).

Los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión, se emplean fundamentalmente para determinar que la mezcla de concreto suministrada cumpla con los requerimientos de la resistencia especificada ( $f'c$ ) para una estructura determinada.

Los resultados de las pruebas de resistencia a partir de la elaboración de cilindros, se pueden utilizar para fines de control de calidad, aceptación del concreto o para estimar la resistencia del concreto en estructuras. (CEMEX, 2019, párr. 1)

Según lo expuesto anteriormente, el concreto es un material que resiste bien en condiciones de compresión, el presente trabajo de investigación trata de desarrollar una compresión axial del concreto de 8 MPa, mediante la mezcla con el añadido del material orgánico, un valor bajo comparado para concretos de uso estructural, pero se debe recalcar que, al ser un trabajo investigativo e innovador, no se puede asumir una resistencia elevada.

Esta resistencia a la compresión es determinada mediante métodos de pruebas estandarizadas y vigentes en el país, método avalado por la norma INTE C39, catalogada como Resistencia a la compresión uniaxial de especímenes cilíndricos de concreto, de la mano con la normativa ASTM C39. Generalmente, este ensayo se evalúa a los 28 días de la elaboración de los especímenes de prueba; no obstante, tal como se planteó en el capítulo 1, se desarrollaron pruebas de compresión a edades más tempranas para identificar qué tan trabajable es una mezcla con dichas



características, a estas edades mencionadas, y apreciar la ganancia de resistencia a través del tiempo.

Como muy bien se explica en la normativa o el método de ensayo a utilizar, se necesita la creación de especímenes cilíndricos por ser la mejor forma de evaluar resistencia a compresión es mediante esta geometría (figura 4), además, estos permiten tener un nivel de confianza respecto a características físicas y mecánicas de los materiales a utilizar, así llevando la muestra a un punto de ruptura en el cual se pueden apreciar resistencias obtenidas, según cada una de las dosificaciones empleadas. Usualmente, los especímenes que se usan para estos ensayos, deben ser cilindros de diámetro de 10 cm x 20 cm de altura, o bien de diámetro de 15 cm x 30 cm de altura. Para la presente investigación, se usaron los procesos de la normativa INTE C39, con la excepción de que los objetos de prueba se elaboraran mediante el método establecido por Frasson Jr., el cual establece cilindros con un diámetro de 5 cm x 10 cm de altura.

Estos resultados de pruebas de resistencia a la compresión se usan para determinar que la mezcla del concreto cumpla según los requerimientos de la resistencia especificada ( $f'c$ ).

Ecuación de la resistencia a la compresión del concreto:

### **Ecuación 1**

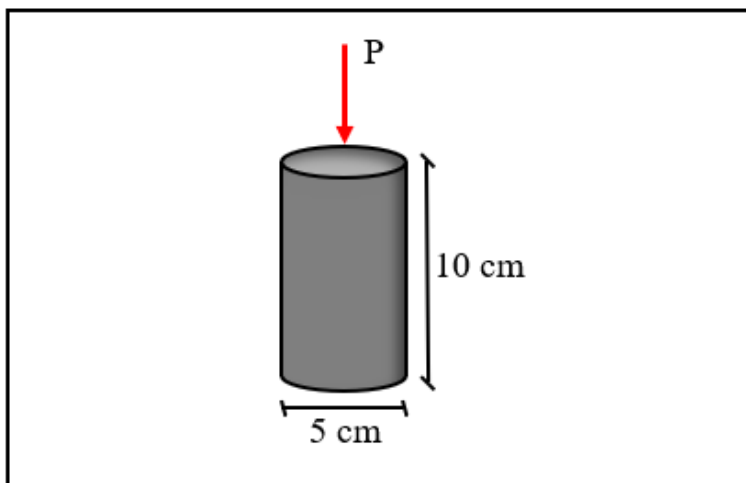
$$f'c = \frac{P}{A}$$

Donde:

- ✓ P: fuerza puntual actuante en el cilindro, kg
- ✓ A: área del espécimen, cm<sup>2</sup>

**Figura 4**

*Espécimen cilíndrico de prueba a la compresión*



Es importante recalcar que también esta es una propiedad fundamental, debido a que proporciona una estimación de cuánto irá a soportar el concreto, qué clase de concreto va a ser, de alta o baja resistencia. Según el Código Sísmico de Costa Rica (2010), “la resistencia mínima especificada del concreto a compresión debe ser de  $210 \text{ kg/cm}^2$  y la resistencia máxima especificada para elementos de concreto liviano debe ser de  $280 \text{ kg/cm}^2$ ” (p. 8/2). Por lo general, se determina con la resistencia final de un espécimen cilíndrico, siendo hasta los 28 días que se establece la medida más común de esta propiedad.

**2.2.3.2 Durabilidad.** Un factor importante para todo tipo de concreto, ya que debe tener cualidades que le aporten la suficiente capacidad de durabilidad debido a que es empleado en elementos estructurales tales como: columnas, vigas, cimientos, muros de corte, contrapisos, entrepisos, es decir, van a estar en constante uso o en contacto permanente con el medio ambiente. Hay distintos factores fundamentales para llevar al concreto a un estado óptimo y funcional por muchos años, primeramente, se debe mantener o establecer una dosificación adecuada, todo está arraigado al uso que se le vaya a dar a la mezcla, emplear un concreto de buena calidad, una puesta en obra correcta, sin imprevistos o inconvenientes; ya sea en chorreas, etc. Por último, un adecuado curado, puesto que juega un papel importante dentro de esta propiedad, mediante la influencia en la porosidad, permeabilidad y hermeticidad.

#### 2.2.4 Curado del Concreto

Tras la completa explicación mostrada sobre el concreto, además de la evaluación que usualmente se le da a este mismo, que es el parámetro de la resistencia a la compresión, se abarcará ahora sobre el curado del mismo. Este orden se da debido a que se va introduciendo el cómo se fue desarrollando el presente trabajo de investigación, también, lo que se plantea desarrollar teniendo en cuenta que una mezcla de concreto se puede evaluar de más formas, ya sea en resistencia a la tracción o tensión, y resistencia a la flexión. Durante esta investigación se trabajó con especímenes cilíndricos que únicamente se evalúan a compresión; se presenta de esta forma para obtener los resultados ya expuestos con las características que se le darán a la mezcla de concreto.

Es importante definir qué es el curado del concreto, además de los procesos que este mismo conlleva:

El término “curación” es frecuentemente usado para describir el proceso por el cual el concreto (cemento-hidráulico) madura y desarrolla propiedades de dureza a través del tiempo como resultado de una continua hidratación del cemento en la presencia de suficiente agua y calor. También es empleado para describir la acción tomada para mantener la humedad temperatura en cementosos recién colocados.

El período de curación es definido como el período de tiempo que comienza en la colocación, consolidación y finalización, y se extiende hasta que las propiedades de un concreto deseado se han desarrollado. Los objetivos del curado son prevenir la pérdida de humedad del concreto y, cuando sea necesario, suministrar humedad adicional y mantener una temperatura favorable del concreto durante un suficiente período de tiempo. (American Concrete Institute [ACI 308R-01], 2008)

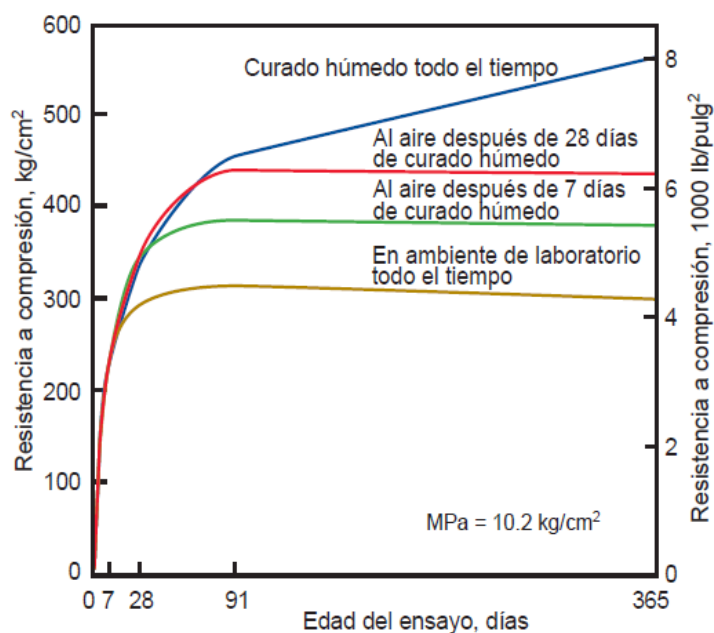
La importancia del curado en el concreto es un parámetro fundamental, si a este se le da un buen tratamiento curativo mediante métodos o normativas como, por ejemplo, lo establecido en la norma INTE C18, catalogada como *Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayo en laboratorio*, este impactará positivamente en las propiedades físicas y mecánicas del concreto endurecido.

Según lo expuesto sobre cómo se define “curación de concreto” y qué representa todo este proceso, es importante recalcar los apartados de los tiempos, es decir, los días en el que un concreto suele ser manipulable, durable, resistente, etc. El tiempo de curado dependerá de manera directa del tipo de concreto, ya sea en casos donde se utiliza una mezcla convencional, una mezcla con añadido de aditivos acelerantes, fraguantes, aligerantes, etc.; o lo abarcado en la presente investigación, inclusión de un material orgánico a una dosificación de concreto, en este caso, celulosa reciclada. No obstante, se ha evidenciado que esta misma se puede evaluar con partículas de polietileno, plásticos tipo PET, entre otras muchas opciones; con el fin de realizar mezclas de concreto innovadoras.

Como norma general se establece que, para concretos de uso convencional, el curado debe ser realizado de manera continua ya sea en al menos 7 días, hasta extender a 28 días, cuando después de dicho periodo se puede establecer si la mezcla realizada es de alta resistencia. Según lo que se ha planteado, dicha mezcla se evaluará para dos escenarios, a 7 días y 28 días, incluyendo ensayos a 3 días, para observar que tan manipulable puede ser la mezcla obtenida, de forma más ejemplificada en la figura 5, se mostrará el efecto que tiene el tiempo para la resistencia de un concreto.

**Figura 5**

*Efecto del tiempo de curado*



Fuente: Diseño y control de mezclas de concreto (PCA), 2004.

### 2.3 Concreto Liviano

Este tipo de mezclas son caracterizadas de esta forma, ya que, poseen una densidad inferior a la de concretos usuales, estas se obtienen mediante la incorporación de agregados livianos combinados con agregados de peso normal, donde se varían sus porcentajes, incluyéndolo a una dosificación convencional o, en su caso, elaborar una donde esta cumpla con los parámetros requeridos.

El concreto liviano se puede caracterizar de la siguiente manera:

El concreto ligero (liviano) estructural es un concreto similar al concreto de peso normal, excepto que tiene una densidad menor. Se lo produce con agregados ligeros (concreto totalmente ligero) o con una combinación de agregados ligeros y normales. El término “peso ligeroarena” se refiere al concreto ligero producido con agregado grueso ligero y arena natural.

El concreto ligero estructural tiene una masa volumétrica seca al aire (masa unitaria, densidad) que varía de 1350 a 1850 kg/m<sup>3</sup> (85 a 115 lb/pie<sup>3</sup>) y una resistencia a compresión a los 28 días que supera los 180 kg/cm<sup>2</sup> o 17 MPa (2500 lb/pulg<sup>2</sup>). Algunas especificaciones de obra permiten una masa volumétrica hasta 1920 kg/m<sup>3</sup> (120 lb/pie<sup>3</sup>). Para fines de comparación, el concreto de peso normal, que contenga arena, grava o piedra triturada normales, tiene una masa volumétrica seca que varía de 2080 kg/m<sup>3</sup> a 2480 kg/m<sup>3</sup> (130 a 155 lb/pie<sup>3</sup>). (Kosmatka et al., 2004, p. 375)

Actualmente, existen estudios donde se han desarrollado mezclas de concreto con agregados no convencionales, tal y como es el caso del uso de celulosa. En la elaboración de dichas investigaciones, se busca una mejora continua en la construcción e innovación, ya que este tipo de mezclas se puede desarrollar con aditivos espumantes, con los que se llega a un “concreto celular liviano”. Según estudios realizados sobre mezclas de concreto, con la inclusión de aserrín y conclusiones de las mismas, esta puede ser utilizada en otros tipos de proyectos que tengan una mayor resistencia a la de  $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , como en elementos verticales de concreto reforzado, placas, elementos horizontales, vigas, losas macizas y techos aligerados, los cuales generan un mejor resultado en su resistencia a la compresión.

Algunas ventajas que presenta el desarrollo de un concreto liviano pueden ser:

- Baja densidad y reducción del peso propio de la estructura.
- Ahorro en el transporte de materiales con respecto al volumen.
- Característica de aislamiento térmico y acústico.
- Disminuye la fatiga humana por la fácil manipulación.
- Adaptable para zonas sísmicas.
- Posibilita uso de menor cuantía de acero.

Según normativas vigentes en el país, se presenta la clasificación del concreto liviano según sea su densidad obtenida.

**Figura 6**

*Clasificación del concreto liviano según su densidad*

Clasificación por Densidad	Densidad seca al horno del concreto	Absorción de agua máxima		Resistencia mínima a la compresión sobre el área neta	
	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>		MPa	
	Promedio de 3 unidades	Promedio de 3 unidades	Unidades Individuales	Promedio de 3 unidades	Unidades Individuales
Peso Liviano	Menor de 1680	288	320	13,0	11,8
Peso Intermedio	De 1680 a menos de 2000	240	272	13,0	11,8
Peso Normal	Mayor o igual que 2000	208	240	13,0	11,8

Fuente: INTECO, INTE C90, 2017.

### **2.3.1 Producción de Concreto Liviano**

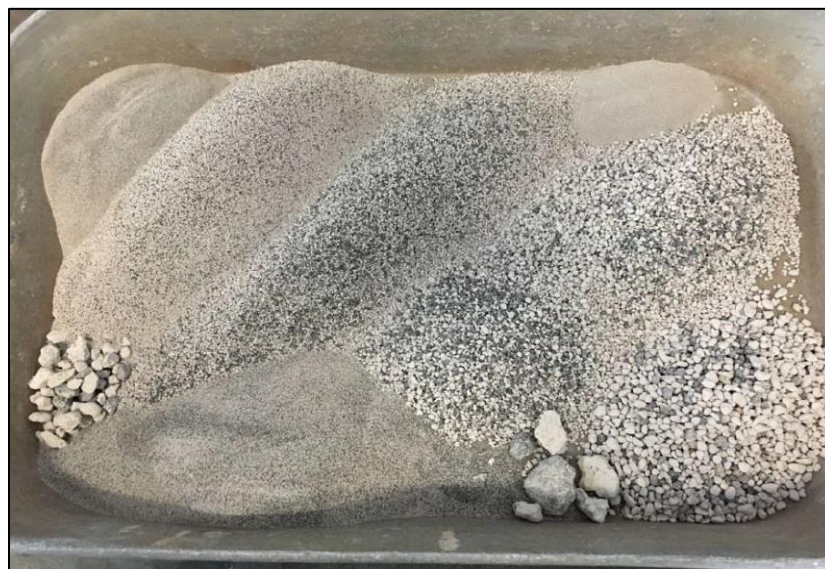
Los métodos de producción, mezclado y colocación de este tipo de concretos son los mismos que los de un concreto convencional; sin embargo, los volúmenes de carga deben reducirse en estas mezclas, incluso hasta en un 50%, porque los sobrepesos pueden generar deterioro acelerado en los equipos. Existen 3 alternativas básicas para lograr producir un concreto liviano: primero, el uso de agregado liviano como sustituto del agregado convencional, es decir, piedra o arena, estos dividiéndose en los de origen natural, artificial y los de carácter orgánico; segundo, el empleo de agentes espumantes como aditivos; tercero, la inclusión de materiales de reciclaje, al igual que con los agregados livianos, disminuyendo porcentualmente agregado grueso o agregado fino.

**2.3.1.1 Agregados de Origen Natural.** Estos agregados provienen de explotaciones de fuentes de carácter natural, esto siendo una práctica usual dentro de la industria. Dentro de esta categoría se encuentran dos agregados característicos, siendo uno más usual que otro, se conoce el uso de la piedra pómez y de la escoria volcánica.

La piedra pómez es un material de gran abundancia, de cierta forma se le conoce por los usos más habituales y no tan funcionales que se le dan; este material, característico por poseer un peso liviano y a su vez resistente, proporciona lo esencial como agregado liviano. A través de los años se ha evidenciado la incorporación del mismo para la producción de concretos livianos.

**Figura 7**

*Agregado de piedra pómez*



Fuente: Ivannia Méndez, 2018.

Por otro lado, se tiene la escoria volcánica que, hasta cierto punto, no se le ha encontrado el uso óptimo para que funcione como sustituto de algún agregado convencional, este se ha utilizado de forma constante en investigaciones pero, al tener un peso específico muy bajo y una gran porosidad, las propiedades mecánicas que este presenta son nulas.

**2.3.1.2 Agregados de Origen Artificial.** Estos son subproductos de procesos industriales o materiales que provienen de demoliciones, destacando que pueden desempeñar una función de materiales reciclables o utilizables para procesos poco comunes, como en su defecto, para la incorporación en una mezcla de concreto. Uno de los materiales más destacados, dentro de esta



rama, son las arcillas expandidas, las cuales se componen por un árido cerámico que se obtiene a partir de arcilla pura extraída de canteras a cielo abierto, destacando que estas no contienen materia orgánica. Al pasar de los años, estas son empleadas como sustituto de agregado grueso en el área de la construcción, han sido empleadas para la elaboración de bloques prefabricados livianos, siendo funcional debido a la reducción de peso que se genera, además de la trabajabilidad con la misma, donde aporta ciertas propiedades como aislantes, térmicas y acústicas.

**2.3.1.3 Agregados de Carácter Orgánico.** Estos se caracterizan por ser productos u materiales con otros fines de la construcción, es decir, materiales que de cierta forma no poseen las propiedades necesarias para estar incluidos dentro de una mezcla de concreto, pero esto no es un obstáculo para la búsqueda de la innovación, puesto que el presente trabajo se planteó desarrollar con celulosa (madera), la cuál es de carácter orgánico, representando evidencia de lo mencionado. Además de esto, se han realizado estudios con cascarilla de arroz como un intento de mejoramiento de sistemas constructivos, donde se destaca su uso para la elaboración de bloques de concreto para mampostería liviana.

**Figura 8**

*Aserrín para uso como agregado*



Fuente: Promaderas S.A (s.f.).



**2.3.1.4 Agentes Espumantes.** Estos son aditivos líquidos que actúan tal y como lo dice su nombre, como un agente espumante, esto para elaborar concretos livianos y plásticos. Muchos de estos están conformados por una base proteica para la producción de “cemento celular liviano” (CCL), estos productos han sido formulados para tener una máxima compatibilidad con el cemento. Algunos de los aditivos que se encuentran en el mercado pueden ser, el FOAMIN C, AGON C, productos conformados, básicamente, por las mismas propiedades. Uno de los problemas que presenta desarrollar estas mezclas mencionadas como CCL, es el costoso equipo que se requiere, no muchas empresas son capaces de tener tales componentes, con motivo de que, claramente, se necesita el aditivo para la elaboración de esto, un generador de espuma G500, una mezcladora y, por último, una bomba peristáltica

### Figura 9

*Equipo de producción de cemento celular liviano*



Fuente: Blotek Perú, s.f.

**2.3.1.5 Materiales de Reciclaje.** Este tipo de materiales que se pueden implementar en mezclas de concreto, es un agregado que se puede adicionar a lo mencionado, para obtener una mezcla liviana con las propiedades necesarias para que sea funcional, tal y como se ha planteado en distintos estudios realizados dentro de la misma universidad. Este concreto reciclado se destaca por contener, básicamente, agregados de material reciclable, donde se mezcla con el cemento y los agregados convencionales (arena, piedra); según estudios, la variedad de materiales que se pueden emplear es sorprendente, por ejemplo, materiales de demolición, el uso de tereftalato de polietileno (PET), uno de los plásticos más comunes por su uso, además se cuenta con el uso de vidrio, papel, cartón.

Los beneficios que este tipo de agregados presentan son de gran importancia porque se tiene la reducción del impacto ambiental, también la disminución de residuos de demolición; hay

disminución exponencial de la necesidad de explotar las fuentes de recursos y, fundamentalmente, se cuenta con menores tiempos de ejecución. Dentro del área de lo negativo o contras, se antepone la necesidad de tener un concreto funcional, es decir, que se obtengan las resistencias necesarias, además de esto, el tiempo requerido de investigaciones para así tener más a detalle el estudio del material en específico.

### **Figura 10**

*Unidad de reciclado de Coca-Cola Femsa*



Fuente: Estefanía Vásquez, 2016.

## **2.4 Concreto Seco**

A través del tiempo, el concreto seco es algo que, de una u otra forma, ha conformado un avance en la construcción debido a su alta demanda, a su vez, por los usos que este tiene en muchos elementos estructurales. De esta forma, dicho tipo de mezclas no pueden ser desarrolladas por todos los laboratorios o empresas, por motivo de que requiere equipos de vibrocompactación; por tanto, el concreto seco se puede describir cómo:

Los concretos de asentamiento nulo (mezclas secas) son muy empleados en la prefabricación, con un mínimo de plasticidad, que pueden no tener ningún asentamiento en el Cono de Abrams, por lo cual este tipo de ensayo no es de utilidad. Para su colocación en moldes o encofrados, estos concretos requieren alta energía de vibración o

compactación, con vibradores externos o con mesas vibratorias, y en ocasiones con tapas sobre los encofrados, en las que se colocan vibradores adosados. Como se suelen necesitar altas resistencias, estos concretos de prefabricación requieren elevadas cantidades de cemento y agregados limpios, duros y de buena graduación.

Dentro de sus ventajas comparativas están el uso de maquinaria tradicional para trabajos de tierra o asfaltos (camiones, moto niveladora, cilindros, etc.), la rapidez de ejecución de las obras, la disminución de las juntas de retracción, su baja permeabilidad y contenido de cemento similares a los de concreto convencional (entre 180 y 350 kg/cm<sup>3</sup>) que lo hacen competitivo desde el punto de vista económico. Quizá dentro de este grupo de concretos sin asentamiento debemos mencionar incluir los concretos compactados con rodillo (método CCR) de reciente uso en pavimentos (años sesenta hacia nuestros días), con bajo contenido de cemento, pero con alta energía de compactación de rodillos estáticos y vibratorios. (Zuñiga y Martinez, 2002, p. 6)

De esta forma, según bibliografía al respecto, el concreto seco posee distintas características, parte de ellas muy funcionales para áreas constructivas o incluso pruebas de laboratorio, donde estas pueden ser evaluadas según su resistencia a la compresión, etc. Se dice que:

La principal característica del hormigón seco es el bajo contenido de agua y alta cohesión, requiriendo energía de compactación y vibración para eliminar huecos y este tomar la forma deseada. Esta técnica permita una remoción inmediata, lo que garantiza una alta productividad y la consecuente reducción de los costos de producción. Existen pocos estudios sobre el comportamiento reológico del hormigón seco, que influyen en la fluidez y cohesión del hormigón y que determinará la productividad y calidad de producción. (Marchioni, 2012, p. 9)

Este tipo de mezclas, como se mencionó, tiene la particularidad poseer 0 asentamiento. Además, cuenta con características como el contener una relación agua-cemento muy baja, la cual ronda entre 0,33 y 0,35, debido a ello, el concreto seco es de una consistencia mayor en comparación con la que presenta un concreto plástico, ya que la cantidad de agua empleada es menor y, por ende, permite la extracción inmediata de piezas.

## 2.5 Vibrocompactación

Esta tecnología esencialmente utilizada en la elaboración de productos prefabricados, ya sea en tuberías, adoquines, bloques de mampostería, etc. Aunque estos productos pueden diferir en las dosificaciones de sus materiales constituyentes y métodos de fabricación, todos ellos comparten importantes características, como el desmoldeo inmediato y asentamiento nulo.

Respecto a la vibrocompactación, además del uso de este método para mezclas de concreto, es importante recalcar que:

El concreto seco vibro-compactado es una mezcla de cemento Pórtland, agregados, agua, y en algunos casos, aditivos y adiciones. La conformación de concreto seco vibro-compactado se consigue sometiendo la mezcla a vibración mecánica y presión, obligando a las partículas del material a acomodarse dentro de la formaleta; por esta razón la mezcla debe ser lo suficientemente rígida como para permitir su consolidación y desmoldeo, pero también debe ser tan húmeda que permita una adecuada distribución de la pasta a través de la masa de los elementos durante las operaciones de mezclado y vibrado. La manejabilidad requerida en estas mezclas normalmente se alcanza controlando la cantidad de agua o la proporción de pasta de cemento en la mezcla. (Hincapié y Montoya, 2005, p. 2)

En forma fundamental, las relaciones agua cemento de tal tipo de mezclas, pasadas por este procedimiento, es usualmente muy baja, se manejan valores menores a 0,4; no obstante, esto no es del todo cierto, pues la cantidad de agua en la mezcla depende de la superficie específica de los agregados.

Se deben tomar en cuenta todas las propiedades o características que contraen la vibrocompactación, pues debido a estas, es donde este proceso se vuelve tentativo, donde se presenta de forma clara del detallado del mismo (figura 11), a raíz de lo mencionado, se establece que:

Temas como procesos de conformación, dosificación, curado, porosidad y resistencia mecánica están relacionados directamente con la durabilidad. Manejar los aspectos mencionados resulta sumamente importante para la industria de los prefabricados, no solo en el manejo adecuado de sus dosificaciones y propiedades sino para entender las posibles

incidencias que se puedan presentar en las resistencias del producto final. (Incera, s.f., p. 20)

### **2.5.1 Vibro-Prensas**

Una de las principales máquinas para la vibrocompactación es la vibro-prensa, la función de esta se basan en la producción de bloques de concreto con mezcla seca, esto debido al mecanismo empleado para hacer que el material de dosificación llene los moldes. Esta máquina es la responsable de la calidad de los componentes moldeados.

Para generar bloques de calidad homogénea, es necesaria la mejor vibración en un mínimo de tiempo. De manera general, se tienen las vibro-prensas automáticas, donde los parámetros que destacan de este proceso de vibrado son: la dirección, geometría, frecuencia, amplitud, velocidad, aceleración y duración. Además, es importante identificar los diferentes tipos que hay de la misma, se tiene una de las más empleadas para la fabricación de bloques de mampostería, la vibro-prensa unidireccional vertical, se tiene la de unidireccional horizontal, circulares en plano horizontal y una un plano vertical.

Como bien se ha visto, el uso de bloques de concreto es algo muy común en la industria de prefabricación, ya que, en base a estos, se pueden levantar o desarrollar obras civiles de manera eficaz y monetariamente accesible. Al ser las vibro-prensas de uso general en bloques, han sido estudiadas de una forma muy extensa y acertada, donde la información que se tiene con respecto a parámetros, características propias de cada máquina, los tipos que se tienen y la función de las mismas, etc. Para Bresson (1981, como se citó en Incera, s.f.) se obtienen conclusiones con respecto a estudios realizados acerca de las vibraciones de estas en la fabricación de bloques de concreto:

La mayoría de las máquinas de bloques utilizan vibraciones con características bien próximas a los valores óptimos determinados mediante una serie de experimentos en laboratorios (frecuencia de 50 Hz con una amplitud de entre 1,5 mm a 2mm).

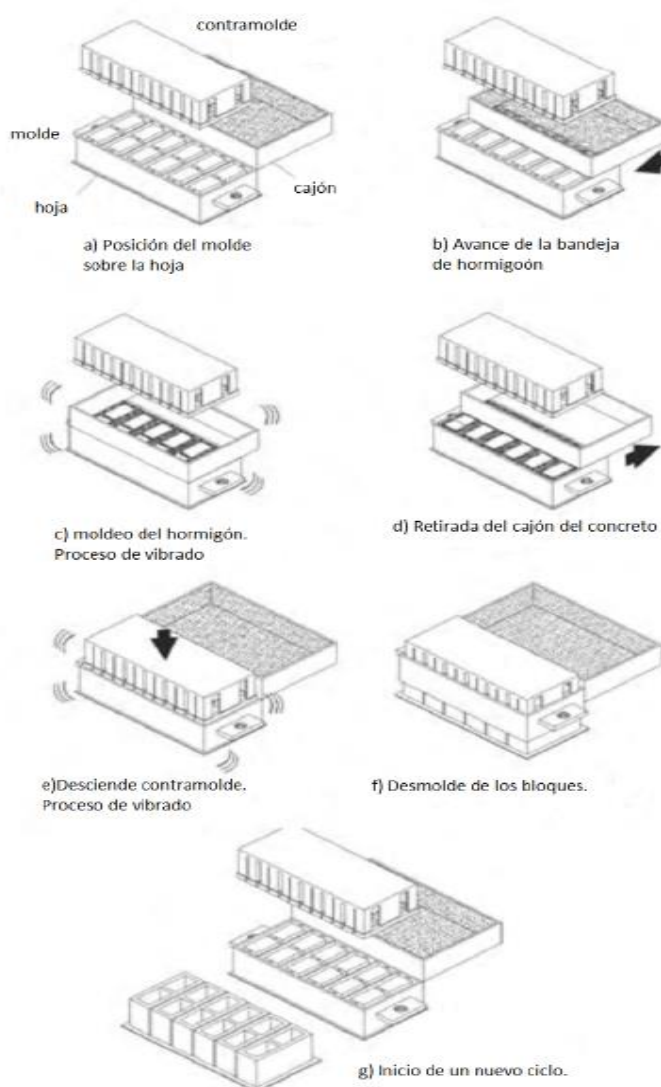
Las vibraciones unidireccionales verticales (aplicadas en la mayoría de los moldes) presentan problemas de transmisión deficiente de vibración en las máquinas de mesas vibratorias (europeas), dimensionamiento de la geometría (capacidad limitada para 5

bloques) en las máquinas con vibración directa en el molde (americanas) y la imposibilidad de obtener una gran precisión en la altura de los bloques.

El empleo unidireccional de vibraciones horizontales permite un vaciado más rápido y fabricación de bloques de mejor calidad, siempre y cuando sea empleado un sistema de vibración equilibrada y el apoyo del molde del tipo biela articulada, que son muy flexibles en la dirección de la vibración (horizontal) y bastante flexibles en la dirección de compresión. (p. 22)

**Figura 11**

*Producción de bloques de concreto utilizando equipo de vibrocompactación*



Fuente: Oliveira, Anselmo y Prudencio, 2002.

## 2.6 Celulosa (Madera)

De manera introductoria, la celulosa es catalogada como una sustancia sólida que constituye la membrana celular de muchos hongos y vegetales, teniendo en cuenta que la presente investigación está basada únicamente en la celulosa proveniente de la madera, esta misma se puede definir como:

La celulosa es el nombre genérico de una componente vegetal, formada por fibras o haces de fibras, más o menos despojadas de otras sustancias vegetales.

Todas las plantas contienen celulosa como soporte y base de su estructura. Esa es la razón por la cual, en principio, es posible extraer celulosa de todas las especies vegetales; pero, dado que tanto las propiedades como el contenido de fibras varía considerablemente de una a otra, solo se recurre en la práctica a relativamente pocas especies para la fabricación de celulosa.

Como materia prima para la celulosa figura en primer lugar la madera. En términos generales, la madera de coníferas presenta fibras largas, en tanto que la de árboles foliulares contiene fibras cortas. Además de la madera, también se aprovechan distintas plantas anuales para la producción de celulosa, especialmente en países con poca producción maderera. La celulosa se fabrica para transformarla, a través de procesos mecánicos, en cartulina, papel, etc. y, mediante procesos químicos en folios (planchas), fibras químicas, etc. (GTZ/BMZ, 1996, p. 1)

Actualmente, el crecimiento constante de la población mundial origina diferentes problemas, entre los más destacados está el deterioro ambiental por la generación de desechos no degradables. La construcción de edificios y otras obras, así como las demoliciones de estructuras no son ajenas a este problema, ya que producen alta cantidad de residuos a pesar de las regulaciones ambientales impuestas a la hora de desarrollar una obra civil, y leyes creadas para mejorar el manejo de los mismos, ya sea para desechos amigables o planificación ambiental moderada. De esta forma, en las industrias de procesamiento de madera, es común encontrar residuos como: aserrín, astillas y piezas enteras inservibles (figura 12), que muchas veces son simplemente desechados, o tienen un bajo costo para la venta; lo que provoca una buena opción para promover

usos y aplicaciones para este tipo de residuos y, a su vez, dar una solución adecuada al manejo de estos.

Es importante recalcar que el manejo de los residuos pos-consumo no cuenta con adecuado proceso de eliminación, por ejemplo, las tarimas de embalaje, esto en ciertas zonas o ciertas empresas. Las tarimas juegan un papel importante en la economía actual, ayudando en transporte eficiente, fiable de mercancías, así como una trabajabilidad sencilla de las mismas. Sin embargo, tienen una vida útil relativamente corta y, por lo tanto, consumen grandes cantidades de recursos llegando a producir entre 2% y 3% de los residuos existentes. En caso de Costa Rica, las tarimas son uno de los principales productos de consumo de madera y se estima que se producen cerca de 5 millones de unidades anuales en el país.

Tal como se ha venido planteando, la presente investigación tiene como propósito desarrollar una mezcla de concreto con incorporación de partículas de madera, concretamente 3 tipos. Teniendo en cuenta que, gracias a esto, se ofrecerá como resultado un adelanto en el crecimiento de la industria, además de la obtención de concretos funcionales para elaborar todo tipo de elementos estructurales.

Este tipo de investigaciones o mezclas, como tal, es algo que se ha venido trabajando de hace mucho tiempo; los compuestos de madera-cemento se desarrollaron después de la Primera Guerra Mundial debido a la escasez de acero y concreto, así han sido utilizados poco a poco en la fabricación de materiales de construcción durante más de 60 años. Esta clase de materiales de construcción son fabricados mediante la unión de partículas de madera o fibras con mezclas de cemento o mortero, generando una alternativa atractiva para su uso. Un ejemplo de esto son los tableros de partículas de madera-cemento que han estado en el mercado durante mucho tiempo, y son utilizados por su baja densidad y propiedades relevantes.



## Figura 12

*Desperdicio de madera de tarimas*



### 2.6.1 Madera Liviana

Tal y como se ha venido desarrollando en el presente trabajo, se plantea el uso de 3 tipos de maderas, las cuales se describirán y explicarán de una forma amplia. Primeramente, se expone la madera de tipo liviana, una de las que formará parte en la inclusión de la mezcla de concreto, y se elabora una dosificación a raíz de esta. La madera liviana se dice que es aquella que proviene de árboles de tamaño reducido, por ende, esto las hace ser más livianas, también tener precios más bajos a comparación con otras. Además, trabajar con ellas es más sencillo y estas pueden brindar una mejor manipulación.

**2.6.1.1 Balsa.** Esta es una de las maderas con las que se trabajará en la investigación, catalogada como la madera más liviana que existe en el mercado, de tal forma, se conoce como balsa:

La madera de Balsa o Balso (*Ochroma pyramidale*) es una especie tropical bastante conocida por su ligereza y flexibilidad. Esta combinación la hace ideal para algunos usos, incluso industriales, como la fabricación de palas para pequeños aerogeneradores.

Es originaria de las selvas de Centroamérica y Suramérica, donde cada vez es más frecuente encontrar plantaciones para su explotación. En este sentido destaca Ecuador como principal productor. Es una especie de crecimiento rápido, que puede ser talada en menos de 4 años. (Maderame, s.f.)

Algunas de las propiedades físicas que esta madera presenta son:

- Color: La balsa es clara, tirando a blanca con tonos rosados. El duramen es de color algo más oscuro, tirando a rojizo, aunque esta parte no suele comercializarse.
- Fibra: Recta.
- Grano: Medio grueso.
- Densidad: Es una de las maderas más livianas que existen, aproximadamente de  $100 \text{ kg/m}^3$  a  $150 \text{ kg/m}^3$ . Incluso más que el corcho.
- Dureza: Se trata de una madera muy blanda con 0,3 en el test de Monnin. Según la Escala Janka (otra clasificación de maderas según su dureza), también tiene un coeficiente muy bajo, 300N.
- Durabilidad: No es una madera de gran durabilidad, y es susceptible al ataque de hongos e insectos. Debe tratarse.

Además de esto, se presentarán las propiedades mecánicas de la misma en vista de que, gracias a esta información, se puede empezar a concluir, de una u otra forma, cómo reaccionaría una mezcla de concreto con la adición de una madera tan liviana como la balsa:

- Resistencia a la compresión:  $112 \text{ kg/cm}^2$
- Resistencia a la flexión estática:  $245 \text{ kg/cm}^2$
- Módulo de elasticidad:  $11.600 \text{ kg/cm}^2$

Concluyendo con la trabajabilidad que esta posee por ser una madera sencilla de trabajar, y por producir desgaste prácticamente nulo en las herramientas, debido a su baja densidad. Esta madera será tratada de forma tal que se obtendrán 3 formas de la misma, por ende, se necesitará el uso de máquinas.

### **2.6.2 Madera Media**

Seguidamente, se detallará una madera con una densidad media, o como se les conoce, tableros de densidad media (DM), es decir, un valor más elevado que el anterior; esto con el mismo propósito pues se trabajó en el desarrollo de una dosificación con este tipo de madera. De tal forma que la madera media se define como:

Los tableros de densidad media son una combinación de fibras de madera (alrededor de un 85%) y adhesivos prensados y sometidos a altas presiones. Las fibras se obtienen deshaciendo la madera a través de procesos termo-mecánicos. Mientras que, en el caso de los adhesivos, se utilizan principalmente colas de urea-formaldehído. Las proporciones en las que estos componentes se utilicen depende del resultado buscado o del tipo de DM que se esté fabricando. (Maderame, s.f.)

**2.6.2.1 Pino.** Madera con la cual se trabajó u desarrolló la dosificación para la mezcla de concreto, catalogada como una madera con una densidad media, a su vez, este tipo de madera se define como:

La madera de pino es quizás la madera más usada y conocida. Se debe a varios factores entre los destacan su abundancia, su facilidad para trabajar y versatilidad. Presenta unos buenos índices en resistencia, contracción y flexión, e impregnabilidad. No destaca en ninguno de ellos, pero la combinación suele ser buena.

Existen muchas especies de pinos, cada una de ellas con características o propiedades diferenciadas. En el presente artículo nombraremos y detallaremos las principales características y usos de los tipos de madera de pino más usadas. (Maderame, s.f.)

Esta madera presenta propiedades físicas tales como:

- Color: Albura blanquecina y duramen entre amarillo y marrón.
- Fibra: Recta.
- Grano: Medio abasto.
- Densidad: Aproximadamente  $500 \text{ kg/m}^3$  al 12% de humedad. Madera entre liviana y semipesada.
- Dureza: (Monnin): 1,8 – 2,1 madera media.
- Durabilidad: Sensible al ataque de hongos e insectos.

Como propiedades mecánicas se establecen las siguientes:

- Resistencia a la compresión:  $434 \text{ kg/cm}^2$
- Resistencia a la flexión estática:  $874 \text{ kg/cm}^2$

- Módulo de elasticidad: 90.000 kg/cm<sup>2</sup>

Rescatando la trabajabilidad de esta por ser una madera sencilla de trabajar al igual que la balsa, además en los apartados tales como: cepillado, clavado y atornillado, acabados y, por último, en el sacado, son fáciles de trabajar en el pino.

### 2.6.3 *Madera Densa*

Finalmente, se presenta el último tipo de madera, el cual se analizará para la inclusión en una dosificación, como bien indica su nombre, la madera densa se destaca por poseer una densidad elevada, se puede definir como las maderas que pertenecen a especies de árboles donde el crecimiento es lento; debido a esto, desarrollan su alta densidad, teniendo la dureza como característica principal o propiedad predominante.

**2.6.3.1 Teca.** Una madera caracterizada por su buena calidad, además de su alta densidad, la teca se conoce como:

La madera de teca o teka, de nombre científico (*tectona grandis*), es una de las más valoradas, tanto por profesionales como por consumidores. Lo es por muchas de sus características: bonita apariencia, fácil trabajabilidad, gran durabilidad, etc.

Esta madera es originaria Asia, más concretamente de países como India, Laos o Tailandia. Hoy en día, y debido a la gran demanda, es posible encontrar explotaciones África y América Central y del Sur. El precio de la madera de teca suele ser elevado. Aunque las explotaciones son cada vez más numerosas la demanda ha crecido en mayor proporción elevando su precio. (Maderame, s.f.)

Como principales propiedades físicas, se destacan:

- Color: La albura es de color amarillo claro y el duramen presenta tonos marrones y dorados. Es una madera que envejece realmente bien por su coloreada mejora.
- Fibra: Generalmente recta, en ocasiones ondulada.
- Grano: Grueso.
- Densidad: Tiene una densidad aproximada de 690 kg/m<sup>3</sup>. Madera semi pesada.
- Dureza: 4,2 según el test Monnin. Es una madera semidura.

- Durabilidad: Muy buena resistencia a la humedad y al ataque de hongos e insectos. Incluso es posible dejarla a la intemperie sin tratamiento, gracias a sus aceites naturales.

Como propiedades mecánicas, se establecen las siguientes:

- Resistencia a la compresión:  $570 \text{ kg/cm}^2$
- Resistencia a la flexión estática:  $1.000 \text{ kg/cm}^2$
- Módulo de elasticidad:  $140.000 \text{ kg/cm}^2$

Finalmente, la trabajabilidad de esta madera no es del todo sencilla; además, en los apartados tales como: cepillado, clavado y atornillado, acabados; por último, en el sacado, son aseguibles por poseer un proceso lento, debido a la densidad y además calidad de la misma.

## **2.7 Método de Diseño de Mezcla de Frasson Jr.**

Como se ha planteado a través de gran parte de la investigación, esta misma se basará en la metodología desarrollada por Frasson Jr. para la creación de un molde de los especímenes cilíndricos que serán evaluados, además del diseño de mezcla estipulado por el mismo. Esta metodología no está normada, lo cual no es sinónimo de que no es funcional.

Este método trata de la fabricación de especímenes cilíndricos de 5 cm x 10 cm, mismos que se realizarán en el laboratorio. Con este método, se podrá evaluar la cohesión y el contenido óptimo de agua en las mezclas, así como la textura superficial y la resistencia a la compresión del espécimen, siendo esta última una función de la densidad. Este método es evaluado con el fin de lograr una forma de reducir la cantidad de pruebas en las industrias, a su vez, optar por una reducción de costos y tiempo en el diseño de mezclas para la fabricación de la mampostería de concreto (Frasson, 2000, como se citó en Incera).

Según el desarrollo y proceso del método expuesto por Frasson Jr. que se debe seguir para un desempeño óptimo, además de funcional, se debe seguir un orden lógico y cronológico de las pruebas de laboratorio, a su vez, parámetros que se deben aplicar para el resultado deseado. Frasson Jr (2000, como se citó en Incera, s.f. ), desde un punto de vista mejor planteado, explica que:

La proporción de agregado grueso (respecto a los agregados totales) debe estar dentro de una gama de 20 a 40%. La proporción exacta debe definirse experimentalmente, tomando en consideración tanto la textura de la superficie como la cohesión del concreto. Esto debe

hacerse mediante el moldeo de especímenes de 2x4 pulg (5x10 cm) compuestos de una mezcla 1:9 (agregado: cemento) con distintos agregados gruesos: proporciones totales de agregados que varían de 10 a 50% en intervalos de 10%. La relación adecuada es la que permite que la mezcla pueda satisfacer los requisitos de cohesión y textura, además de contener la mayor cantidad posible de agregado grueso.

Respecto a la cohesión de la mezcla, cuanto menor es la cantidad de cemento en la mezcla, menos cohesiva será. Las mezclas con pequeñas cantidades de cemento están involucradas en la producción de bloques utilizados para el revestimiento. Por lo tanto, después de la determinación de las proporciones ideales de agregados finos y gruesos que utilizan la relación cemento:agregado de 1:9, se recomienda que más pruebas pueden realizar en mezclas con relaciones más bajas (1:13 a 1:15) para evaluar la cohesión en estos casos críticos.

Vale la pena destacar que el valor de la densidad determinada para el moldeo de los especímenes tendrá una gran influencia tanto en su textura como en su cohesión. Por esta razón, el presente método se refiere a una densidad de  $131.09 \text{ lb/ft}^3$  ( $2100 \text{ kg/m}^3$ ), que está muy cerca de la densidad media de los bloques de hormigón obtenidos con el uso de las mejores máquinas de vibrocompresión disponibles. (p. 62)

Como toda metodología, ya sea las establecidas por INTECO, ASTM, etc., siempre se requiere un equipo para poder desarrollarla, Frasson Jr. no escapa de este apartado, según la bibliografía, para este método se necesitan los siguientes instrumentos de laboratorio (figura 13), que servirán para los especímenes de prueba de 5 cm x 10 cm:

- Molde tri-panel de 5 cm x 13 cm: Hecho de tres paneles laterales curados unidos por una prensa.
- Base metálica de 7 cm de diámetro por 2 cm de altura.
- Barra compactadora convencional utilizada para la compactación del mortero.
- Embudo plástico.
- Protector de nylon.
- Martillo de goma.



## **CAPÍTULO 3. MARCO METODOLÓGICO**

Como desarrollo principal de la investigación, se optó por un método científico, es importante recalcar que se denomina método al “modo ordenado de proceder para llegar a un resultado o fin determinado, especialmente para descubrir la verdad y sistematizar los conocimientos” (Diccionario Actual de la Lengua Española, como se citó en Castán, s.f., p. 1). Esto con el fin de alcanzar los objetivos planteados.

Para confeccionar esta investigación, se tomaron, como referencia, los procedimientos de ensayo planteados por Frasson Jr., mediante este proceso se instó a la fabricación de especímenes cilíndricos de 5 cm x 10 cm, a los cuales se les aplicó una prueba de resistencia a la compresión y, posteriormente, correlacionar las densidades y sus respectivas resistencias para así generar una línea de tendencia, es decir, un gráfico el cual constatará la resistencia que un espécimen puede obtener. También se contó con la referencia de procedimientos y ensayos establecidos por la institución “American Society for Testing and Materials”, por sus siglas en inglés (ASTM), también con la normativa adaptada al país, realizadas por Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO).

### **3.1 Enfoque Metodológico de la Investigación**

En la mayoría de los casos, una investigación en el área de la ingeniería, ya sea tesis o proyecto de graduación, está enfocada cuantitativamente, este enfoque se puede explicar de la siguiente manera:

El enfoque cuantitativo (que representa, como dijimos, un conjunto de procesos) es secuencial y probatorio. Parte de una idea, que va acotándose y, una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco o una perspectiva teórica. De las preguntas se establecen hipótesis y determinan variables; se desarrolla un plan para probarlas (diseño); se miden las variables en un determinado contexto; se analizan las mediciones obtenidas (con frecuencia utilizando métodos estadísticos), y se establece una serie de conclusiones respecto de la(s) hipótesis. (Sampieri et al., 2010, p. 4)

La presente investigación tomó como base este enfoque mostrado, debido a que el proceso a seguir fue el desarrollo de una matriz de ensayos para dar inicio a la realización de pruebas, y

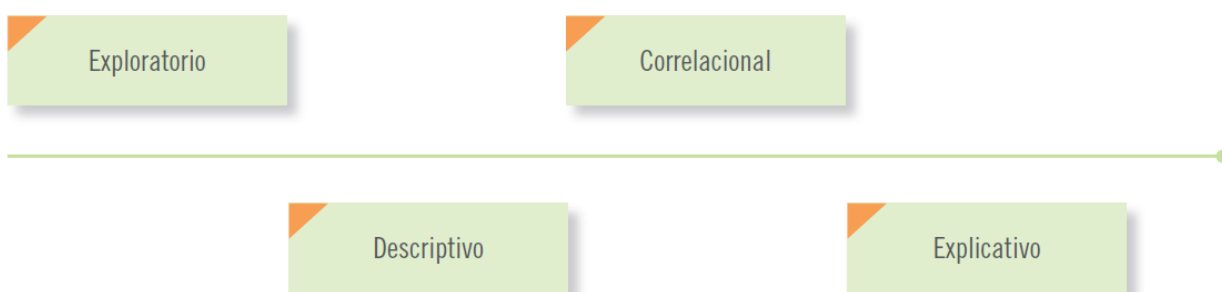


determinar la efectividad de esta mezcla de concreto con la incorporación de celulosa reciclada en cuanto a densidad y resistencia, con el fin de demostrar el comportamiento de sus propiedades mecánicas para la fabricación de elementos de mampostería.

El enfoque cuantitativo cuenta con cuatro alcances distintos, esto define qué estrategia de investigación utilizar, tal como se presenta en el recurso Metodología de la Investigación 5ta Edición:

**Figura 14**

*Alcances que puede tener un estudio cuantitativo*



Fuente: Sampieri et al., 2010.

El alcance que se evaluó en esta investigación fue del tipo exploratorio, este se define como:

Los estudios exploratorios se realizan cuando el objetivo es examinar un tema o problema de investigación poco estudiado, del cual se tienen muchas dudas o no se ha abordado antes. Es decir, cuando la revisión de la literatura reveló que tan sólo hay guías no investigadas e ideas vagamente relacionadas con el problema de estudio, o bien, si deseamos indagar sobre temas y áreas desde nuevas perspectivas. (Sampieri et al., 2010, p. 79)

Esto anterior debido a que el planteamiento de los objetivos se basó en distintas dosificaciones que implementaron celulosa reciclada, proveniente de desechos de tarimas, con el fin de obtener una mezcla de concreto seco liviano con la densidad estipulada, manipulable a edades tempranas que proporcione, además, un beneficio ambiental.

### 3.2 Operacionalización de Variables

**Tabla 1**

*Definición de variables*

Objetivos Específicos	Variables Independientes	Variables Dependientes
Establecer la relación cemento: celulosa reciclada para la producción de una mezcla de concreto óptima.	Aporte de celulosa reciclada al diseño de mezcla de concreto convencional y ser empleado según la especificación ACI 304 R-00.	Buena adaptación de las partículas de celulosa en una mezcla de concreto, y catalogación como seco liviano.
Evaluar un diseño de mezcla de concreto con una densidad entre 1600 kg/cm <sup>3</sup> y 1800 kg/cm <sup>3</sup> .	Porcentajes de celulosa reciclada por utilizar, para alcanzar una densidad menor a la usual de 2400 kg/cm <sup>3</sup> y 2200 kg/cm <sup>3</sup> .	Obtener una mezcla de concreto con la densidad esperada, según lo planteado en la investigación.
Determinar la cohesión mínima para que la mezcla seca se vuelva manipulable a edades tempranas.	Adherencia óptima entre el cemento, agregado grueso, agregado fino y celulosa reciclada mediante metodología de Frasson Jr., ensayo no normado.	Obtener una mezcla de concreto manipulable a edades tempranas y, a su vez, liviana.
Analizar la densidad seca del concreto utilizando 3 formas de celulosa reciclada (aserrín: 2%, 4%, 6%; fibra: 1%, 2%, 3%; cúbica: 5%, 10%, 15%).	Dividir el agregado de celulosa reciclada en 3 grupos distintos, en forma y tamaño, para definir los porcentajes de cada una de estas, ensayos evaluados mediante la normativa INTE C58.	Determinar experimentalmente una dosificación óptima y funcional para una mezcla de concreto.
Determinar la curva de desarrollo de resistencia a la compresión para los 3 escenarios planteados (3 días, 7 días y 28 días).	Evaluar la resistencia a compresión de cada espécimen, obteniendo una resistencia mínima de 8 MPa, mediante parámetros de la normativa INTE C39.	Mediante la matriz de ensayos, determinar la influencia directa de la celulosa reciclada en los diseños de mezcla de concreto, para la resistencia planteada.

### **3.3 Técnicas de Muestreo**

#### **3.3.1 Población**

Para la población, se trabajó con las 3 formas planteadas de la celulosa reciclada, se utilizaron 3 porcentajes de cada una de estas, es decir, a la mezcla de concreto se le adicionó, porcentualmente, la celulosa sobre el kg de cemento. Además, se desarrolló una mezcla patrón, donde los especímenes contaron con 0% de este agregado, con ello se obtuvieron rangos comparativos.

Estos cilindros se fallaron para 3 escenarios, 3 días, 7 días y 28 días, donde el concreto, con 28 días llegó a una resistencia elevada, de esta forma se alcanzó un total de 392 cilindros de concreto (tabla 2), parte de estos se fallaron para así observar su resistencia a la compresión.

#### **3.3.2 Muestra**

Para esta investigación, la muestra fue básicamente la misma que la población, es decir, no se puede hacer una simple selección de especímenes, ya que se debía fallar cada uno de ellos para demostrar las diferencias entre cada uno de estos escenarios planteados. Se tuvo que trabajar con los 392 especímenes, llegando así a una muestra probabilística, la cual precisa el tamaño de la misma.

#### **3.3.3 Confiabilidad de la Muestra**

Debido a la cantidad de especímenes con los que se cuenta, además, con la incorporación de este apartado, se determina la confiabilidad de los resultados obtenidos; con ello, la seguridad del presente trabajo. De la misma manera, al desarrollar tan pocos especímenes de prueba, en términos de cada porcentaje de celulosa como tal, surgió la obligación de contar con un nivel de confianza mayor al 95%, en relación con los resultados.

Para determinar la confiabilidad de una muestra, es importante considerar que esta depende de un margen de error, siendo este un rango permisible para la cantidad de población requerida. Además, dicho margen depende del nivel de confianza, cuanto mayor es su nivel de confianza, menor es el rango, lo que determina la seguridad estadística de las pruebas, para esto fue importante determinar la población requerida a estudiar, donde se determinó como un grupo dado que posee una característica en común, esto, para asegurarse de que la población planteada inicialmente bastaba para la confianza requerida, por lo que se pudieron definir variables ya estipuladas para la investigación, tales como:

- Margen de error: 1,00%.
- Nivel de confianza: 99,00%.
- Población: 392 especímenes.

Valores evaluados por medio de la siguiente ecuación:

### Ecuación 2

$$n = \frac{N * Z^2 * p * (1 - p)}{(N - 1) * e^2 + Z^2 * p * (1 - p)}$$

Donde:

- ✓ n: tamaño de la población requerida.
- ✓ N: tamaño de la población a estudiar.
- ✓ Z: valor obtenido de la tabla con valores de Z para una distribución normal según el nivel de confianza.
- ✓ p: desviación estándar (se requiere una desviación estándar; sin embargo, al no conocerse, el análisis permite considerar un 50% para la desviación).
- ✓ e: porcentaje de error.

Al conocer las diferentes variables, se calcula el tamaño de la población requerida, esto considerando las diferentes variables ya planteadas, donde la ecuación 2 se puede estipular como:

- ✓ N= 392
- ✓ Z= 2,585 para 99% de confianza
- ✓ p= 0,5%
- ✓ e= 1%

$$n = \frac{392 * 2,585^2 * 0,5 * (1 - 0,5)}{(392 - 1) * 0,01^2 + 2,585^2 * 0,5 * (1 - 0,5)} = 383,0$$

Una vez obtenido “n”, se refleja que se debe contar con una población mínima de 383 para obtener una confiabilidad del 99%. Donde la cantidad de especímenes propuestos cumplen con el parámetro de confianza establecido.

**Tabla 2**  
Matriz de ensayos

Código	Muestra	Forma	Dosificación Sobre kg de Cemento			Total de Especímenes
P-0%	Patrón	-		0%		14
B/a-2%			2%	-	-	
B/a-4%		Aserrín	-	4%	-	
B/a-6%			-	-	6%	
B/f-1%			1%	-	-	
B/f-2%	Balsa	Fibra	-	2%	-	126
B/f-3%			-	-	3%	
B/c-5%			5%	-	-	
B/c-10%		Cúbica	-	10%	-	
B/c-15%			-	-	15%	
P/a-2%			2%	-	-	
P/a-4%		Aserrín	-	4%	-	
P/a-6%			-	-	6%	
P/f-1%			1%	-	-	
P/f-2%	Pino	Fibra	-	2%	-	126
P/f-3%			-	-	3%	
P/c-5%			5%	-	-	
P/c-10%		Cúbica	-	10%	-	
P/c-15%			-	-	15%	
T/a-2%			2%	-	-	
T/a-4%		Aserrín	-	4%	-	
T/a-6%			-	-	6%	
T/f-1%			1%	-	-	
T/f-2%	Teca	Fibra	-	2%	-	126
T/f-3%			-	-	3%	
T/c-5%			5%	-	-	
T/c-10%		Cúbica	-	10%	-	
T/c-15%			-	-	15%	

Para llegar a los totales de especímenes por celulosa, presentados en la tabla 2, se elaboraron 9 especímenes para fallas, dividiéndolos en 3 para las 3 fechas estipuladas (3 días, 7 días y 28 días), esto para cada una de las líneas de porcentaje, además de esto, se moldearon 2 especímenes para efectuar la prueba de cohesión, esto para asegurarse de que la mezcla cumple con los parámetros necesarios, y así llevar a cura; por último, 3 especímenes para determinar la densidad seca de estos a los 28 días de curado, llegando así a un total de 14 cilindros de prueba por tipo de mezcla, donde este valor se multiplicó por cada una de las variedades de mezclas por celulosa, es decir, por 9 tipos de esta, dando el valor de 126 mostrado.

### **3.4 Técnicas e Instrumentos Para la Recolección de Datos**

La presente investigación fue apoyada, de manera experimental, por la empresa Productos de Concreto (PC), por tanto, esta facilitó las instalaciones, laboratorios, parte de los materiales para ensayo, además de personal altamente calificado para el apoyo de los instrumentos a emplearse.

Esta empresa está compuesta por profesionales en ingeniería altamente calificados en el país, motivo por el cual siempre buscan la innovación constructiva y un desarrollo sustentable de elementos de concreto enfocados, principalmente, en la prefabricación de elementos estructurales y el desarrollo de bloques de mampostería, asimismo, como empresa están avalados por la normativa INTECO.

Seguidamente, se detallarán los ensayos realizados, junto a las normativas vigentes en el país, establecidas por INTECO, a su vez, se mostrarán las normativas hermanas extranjeras, elaboradas por ASTM.

**Tabla 3**  
*Plan de ensayos*

Ensayos Realizados	Normativa INTECO - ASTM
Determinación del contenido total de humedad evaporable en agregados mediante secado.	INTE C71 – ASTM C556
Método de prueba de Frasson Jr. para el moldeo de especímenes.	Ensayo no normado
Método de prueba de Frasson Jr. para la cohesión.	Ensayo no normado
Construcción. Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayo en laboratorio.	INTE C18 – ASTM C192
Método de prueba de Frasson Jr. para determinar la densidad seca y la absorción de los especímenes.	Ensayo no normado
Resistencia a la compresión uniaxial de especímenes cilíndricos de concreto.	INTE C39 – ASTM C39

### **3.4.1 Determinación del Contenido Total de Humedad Evaporable en Agregados Mediante Secado (INTE C71)**

Se entiende como:

Esta norma establece el método de ensayo cubre la determinación del porcentaje de humedad evaporable en una muestra de agregado sometida a secado tanto de la humedad en la superficie, como en los poros del agregado. Algunos agregados pueden contener agua combinada químicamente con los minerales. Esta agua no es evaporable y no se encuentra incluida dentro del porcentaje determinado por este método. Los valores se registrarán de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades. (INTECO, 2020)

Donde, para la obtención de este dato y posterior realización del ensayo estipulado, se procedió a dar uso a la siguiente fórmula, siendo esta de suma importancia para la obtención de humedad de los agregados a usar en la mezcla, para así tener una seguridad de si se debe aumentar

o disminuir la cantidad de agua, esto amarrado según la relación agua-cemento que caracteriza a las mezclas secas:

### Ecuación 3

$$\%W = \left[ \frac{W_r - W_d}{W_d} \right] * 100$$

Donde:

- ✓ %W: porcentaje de humedad del agregado.
- ✓  $W_r$ : peso inicial de la muestra de agregado fino/grueso, g.
- ✓  $W_d$ : peso seco del espécimen cilíndrico después de pasar por el horno con una temperatura  $110 \pm 5$  por un tiempo de  $24 \pm 4$  horas, g.

### Figura 15

*Colocación de agregado al horno*





### 3.4.2 *Método de Prueba de Frasson Jr. Para el Moldeo de Especímenes (Ensayo no Normado)*

Para dar inicio con el moldeo de los especímenes, primero se requirió pesar los materiales con el fin de obtener la densidad deseada después de la compactación. La masa total de material colocado en el molde tri-panel se dividió en cuatro partes iguales, de modo que el moldeo puede llevarse a cabo con cuatro capas idénticas. La primera capa se puso en el molde, el cual recibió veinte golpes con la barra de mortero de compactación. A continuación, se colocó la siguiente capa en el molde, y recibió veinte golpes más; y así sucesivamente.

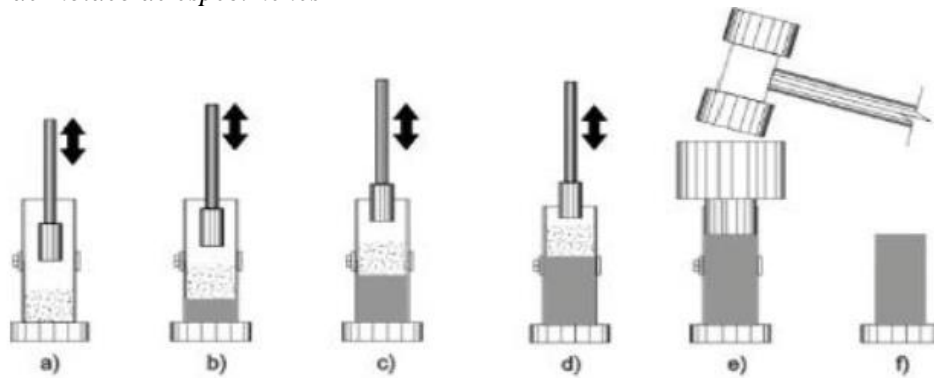
Frasson Jr. (2000, como se citó en Incera) argumenta que, para un moldeo apropiado, se deben seguir los siguientes puntos expuestos por él mismo:

- Pesar la mezcla a una masa ya determinada.
- Verter la mezcla en el cilindro haciendo 4 capas, cada una de ellas con 20 golpes esparcidos por toda el área. La energía que se le aplica con los golpes de la barra de compactación debe ser distribuida por igual entre cada capa, la altura de la muestra, sea entre 10,3 cm y 10,5 cm, después de los 80 golpes con la barra.
- Por último, se le coloca el tapón y con el mazo se le da entre 10 a 20 golpes, hasta que este quede a tope.

Donde, a su vez, los parámetros de forma descriptiva y representativa (figura 16) son los siguientes:

- a) Compactación de la primera capa.
- b) Compactación de la segunda capa.
- c) Compactación de la tercera capa.
- d) Compactación de la cuarta capa.
- e) Compactación de los 3 mm restantes con el protector de nylon y el mazo de goma.
- f) Desmoldar el espécimen.

**Figura 16**  
*Procedimiento de moldeo de especímenes*



Fuente: A mix design methodology for concrete blocks units.

De forma más explícita se podrá ver como es el proceso del moldeo de los especímenes (figura 17). Seguidamente, se mostrará cómo queda un espécimen cilíndrico de 5 cm x 10 cm una vez desmoldado en fresco, en este caso, la muestra que se presenta cuenta con la incorporación de celulosa (figura 18).

**Figura 17**  
*Moldeo de especímenes*



**Figura 18**

*Espécimen de 5 cm x 10 cm desmoldado*



### ***3.4.3 Método de Prueba de Frasson Jr. Para la Cohesión (Ensayo No Normado)***

La cohesión de la mezcla fresca se puede determinar mediante la compresión de las muestras recientemente moldeadas a lo largo de su diámetro, estas muestras deben tener un contenido de humedad óptimo y una textura apropiada.

Según plantea Frasson Jr. (2000, como se citó en Incera), para el ensayo o prueba de cohesión del espécimen, se deben seguir los siguientes pasos (se representa gráficamente en la figura 19):

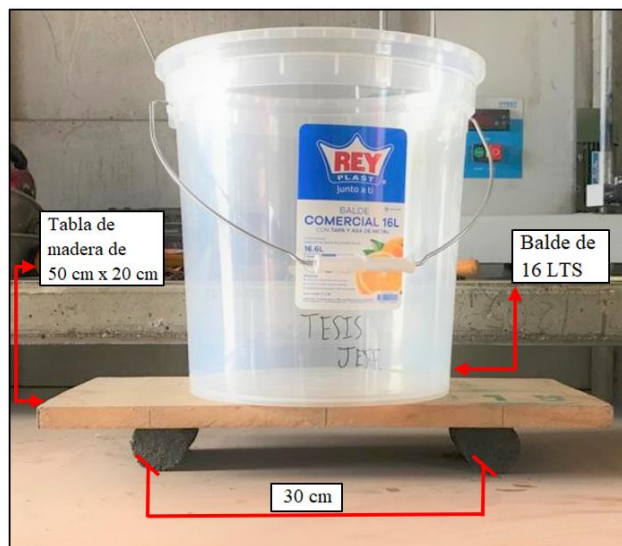
- Agarrar dos muestras y colocarlas sobre una superficie horizontal en paralelo entre sí, a una distancia de 30 cm una con otra.
- Colocar la tabla de 50 cm x 20 cm con espesor de 1,5 cm encima de los especímenes cilíndricos, esto con mucho cuidado.
- Colocar el balde de aproximadamente de 19 litros de capacidad encima de la tabla.
- Abrir la manguera y empezar a llenar el balde para ejercer una carga uniforme de 1 kg/s.

La prueba tiene como objetivo determinar la carga que es necesaria para deformar las muestras. Para garantizar la cohesión adecuada, se recomienda que las muestras resistan una carga

de 5 kg a 8 kg. Dicho valor mínimo depende del proceso de producción y, sobre todo, en la parte del proceso relacionado con el transporte de los bloques frescos, por ejemplo: el transporte manual vs. uso de un sistema de paletas transportador.

### Figura 19

*Ensayo de cohesión para la metodología de diseño de Frasson Jr.*



#### 3.4.4 *Elaboración y Curado de Especímenes de Concreto para Ensayo en Laboratorio (INTE C18)*

Esta norma cubre los procedimientos para hacer y curar especímenes de ensayo de concreto en el laboratorio, bajo el control estricto de materiales y condiciones de ensayo, utilizando concreto que se puede consolidar por envarillado o vibración como se describe más adelante. Los valores indicados en unidades del SI son los normalizados. (INTECO, 2016)

Vale la pena señalar que, cuando el estudio del diseño de mezcla se lleva a cabo en el laboratorio, para el curado se debe utilizar una caja de espuma de poliestireno (figura 20), con una lámina de agua en la parte inferior de la caja. Si la metodología de diseño de la mezcla se aplica en la planta de bloques de concreto, entonces el proceso de curado utilizado para las muestras debe ser el mismo que el utilizado en la planta (por ejemplo, el método de la presión atmosférica, el curado a baja presión, curado de vapor a presión alta). Destacando que la caja que se tenía en la empresa no se encontraba en sus mejores condiciones por la parte externa, pero esta sí cumplía con la función de curado para los especímenes.

**Figura 20***Caja de espuma de poliestireno*

### ***3.4.5 Método de Prueba de Frasson Jr. Para Determinar la Densidad Seca y la Absorción de los Especímenes (Ensayo No Normado)***

Para realizar la determinación del valor de la densidad que se debe de usar en el estudio del diseño de mezcla, depende del equipo y ajustes empleados en el proceso de vibrocompresión que se utilice, en este caso, realizando de forma manual el procedimiento de Frasson Jr., el cual trata de emular, de cierta forma, la vibrocompactación de máquinas avanzadas. Debido a la complejidad del estudio previo para determinar la densidad de la mezcla a utilizar o, en su defecto, de los especímenes cilíndricos realizados, se sugirió utilizar un rango de valores de densidades que abarcaran los obtenidos normalmente en entornos industriales; los cuales van de  $1950 \text{ kg/m}^3$  a  $2250 \text{ kg/m}^3$  para estudios de laboratorio, esto para mezclas convencionales, es decir, diseños de mezclas ya establecidos proporcionalmente donde no llevan la inclusión de celulosa.

Como la presente investigación contó con la particularidad de ser algo “novedoso”, las densidades y absorciones que se calcularon, correspondían a especímenes realizados mediante un diseño de mezcla de referencia, donde se les adicionó celulosa en las distintas formas ya



planteadas, además se trabajó con especímenes curados a los 28 días, debido a que se pretendía demostrar la densidad seca de los mismos.

Para lograr los respectivos cálculos ya mencionados, se aplicaron las siguientes ecuaciones:

#### Ecuación 4

$$\%Abs = \left[ \frac{W_{sss} - W_d}{W_d} \right] * 100$$

Donde:

- ✓  $W_{sss}$ : peso saturado superficie seca, g.
- ✓  $W_d$ : peso seco del espécimen cilíndrico después de pasar por el horno con una temperatura  $110 \pm 5$  por un tiempo de  $24 \pm 4$  horas, g.

#### Figura 21

*Proceso para obtener el peso de superficie saturada seca*



**Figura 22**  
*Especímenes secos*



**Ecuación 5**

$$\rho_s = \left[ \frac{W_d}{(W_{SSS} - W_i)} \right] * \gamma_w$$

Donde:

- ✓  $\rho_s$ : densidad del espécimen,  $\text{kg/m}^3$ .
- ✓  $W_d$ : peso seco del espécimen cilíndrico después de pasar por el horno con una temperatura  $110 \pm 5$  por un tiempo de  $24 \pm 4$  horas, g.
- ✓  $W_{SSS}$ : peso saturado superficie seca, g.
- ✓  $W_i$ : peso sumergido del espécimen, g.
- ✓  $\gamma_w$ : densidad del agua a  $23 \text{ }^\circ\text{C} = 997,5 \text{ kg/m}^3$ .

**Figura 23***Obtención de peso sumergido*

### **3.4.6 Resistencia a la Compresión Uniaxial de Especímenes Cilíndricos de Concreto (INTE C39)**

Según la normativa vigente, se estipula que:

Se debe tener cuidado en la interpretación del significado de las determinaciones de la resistencia a la compresión por este método de ensayo, puesto que la resistencia no es una propiedad fundamental o intrínseca del concreto fabricado de materiales dados. Los valores obtenidos pueden depender del tamaño y la forma del espécimen, tipo de mezcla, procedimientos de mezclado, los métodos de muestreo, moldeo y fabricación y de la edad, temperatura y condiciones de humedad durante el curado.

Este método de ensayo se usa para determinar el esfuerzo de compresión de especímenes cilíndricos preparados y curados de conformidad con las normas INTE C19, INTE C18, entre muchas otras.

Los resultados de este método de ensayo se usan como una base para el control de calidad de la proporción, mezclado y la colocación del concreto; determinación del cumplimiento de especificaciones; control para la evaluación de la eficacia de aditivos y usos similares. (INTECO, 2020)

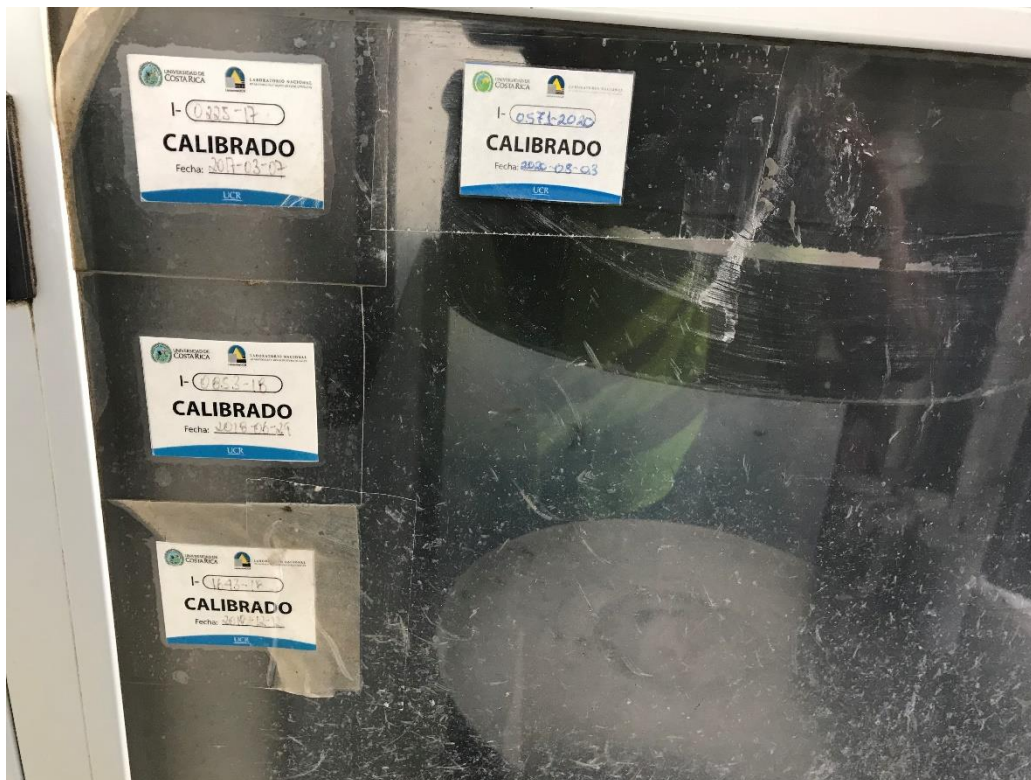


**Figura 24**  
*Máquina de falla de PC*



Destacando que la máquina de ensayo que se tenía que utilizar, debía contar con su respectiva calibración esta fue efectuada por un laboratorio acreditado de acuerdo a la normativa ASTM E4. En el caso de la empresa Productos de Concreto (PC), estas calibraciones son realizadas por el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR), donde, según lo indicado en la máquina de falla, la última calibración se efectuó el 03 de marzo del 2020.

**Figura 25**  
*Sellos de calibración*



### **3.5 Técnicas e Instrumentos Para el Procesamiento y Análisis de Datos**

Para la investigación presente, el procesamiento y análisis de datos, se llevó a cabo con la herramienta Microsoft Excel. Debido a que, mediante esta misma, se colocaron los datos obtenidos en laboratorios, ya sea datos de resistencia, densidades, etc., con lo cual se diseñaron tablas de manera en que se reflejara una comparación entre las distintas dosificaciones que empleadas, la diferencia entre cada una de las 3 formas estipuladas (fibra: equivalente a viruta, polvo: equivalente a aserrín, y en forma cúbica), por último, se aplicó el uso de gráficas donde se reflejan los datos de manera más representativa. Para así llegar a un análisis de resultados óptimo.

## **CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

El presente capítulo contará con dos secciones: primeramente, un apartado de resultados, mediante tablas que presentan la recopilación de datos, esto con una explicación breve de cada una de las variantes, códigos empleados y, a su vez, decisiones que se tomaron en el desarrollo del presente trabajo investigativo. Se trabajará tal cual el orden del plan de ensayos (tabla 3), donde se detallará la determinación del contenido de humedad de los agregados empleados para la elaboración de los especímenes, seguido de la cohesividad obtenida de los cilindros para cada una de las mezclas distintas, además de las densidades y absorción de los objetos de prueba de 5 cm x 10 cm, finalizando con los resultados de resistencias a la compresión a cada una de las edades planteadas. Cada uno de los datos que se mostrarán se desarrollaron tal como se expuso en capítulos anteriores.

Dentro de esta misma sección, se cuenta con el diseño de mezcla empleado para realizar los especímenes cilíndricos, es decir, las proporciones de los agregados y, a su vez, el tamaño máximo nominal del mismo.

Se destacando que uno de los alcances planteados del presente trabajo no era realizar un diseño de mezcla, se trabajó con uno de referencia, empleado en un trabajo de investigación realizado por Antonio Incera Pérez, mencionado como “la tropicalización del método de Frasson”, quien, de cierta forma, correlacionó los materiales empleados, además de las relaciones de cemento:agregados estipuladas por Artemio Frasson Junior.

Finalmente, se desarrollará la segunda sección del capítulo, discusión y el análisis de los resultados planteados; detallando el comportamiento de cada una de las mezclas con las variaciones de celulosa. Según este planteamiento, se pretende demostrar las cualidades que puede aportar la inclusión de madera a una mezcla de concreto, también la factibilidad del mismo, con motivo de que se quiere llegar a una resistencia y a unas densidades específicas como se estipuló inicialmente.

## 4.1 Resultados

### 4.1.1 Agregados

Tal como se describió, primero se expondrán los resultados del cálculo de humedad de los agregados empleados, recalcando que se dio uso de un solo lote de material para el desarrollo de todo el trabajo, es decir, de principio a fin se laboró con lo mismo, sin variación de tamaños y humedades.

**Tabla 4.**

*Humedad de los agregados*

Material	Tamaño Máximo Nominal (mm)	Procedencia	P. Recipiente (g)	P. Húmedo + Rec. (g)	P. Húmedo (g)	P. Seco + Rec. (g)	P. Seco (g)	Humedad (%)
Fino	7,9	Guápiles	549,4	1784,5	1235,1	1742,4	1193,0	3,5
Grueso	9,5	Cerro Minas	553,5	2440,4	1886,9	2372,6	1819,1	3,7

Es importante destacar que, como se expuso anteriormente, se experimentó con un diseño de mezcla ya establecido, donde se dio uso a una relación de cemento:agregado 1:11 como punto de partida, esta se varió según decisiones dentro del proceso de desarrollo de los especímenes cilíndricos, puesto que no se tiene como objetivo desperdiciar material, además, se utilizaron indicadores de humedad lo más cercanos a los establecidos por Frasson Jr.

Como parte del desarrollo del trabajo, se mantuvo la humedad de los agregados como constante y se varió la masa de los especímenes, el cual se relaciona directamente a la alteración de densidades, punto que será planteado y explicado posteriormente. Según lo estipulado por Antonio Incera, este desarrolló 4 granulometrías distintas que provienen de la propuesta de Frasson Jr., para alcances de esta investigación, de dichas propuestas se tomó una de las proporciones con mejores resultados, siempre basándose en la misma relación de cemento:agregado, donde se intentó trabajar con los mismos tamaños nominales del agregado fino y el agregado grueso, siendo estos para el fino, de un tamaño de 4,5 mm, y para el grueso, de 9,5 mm; No obstante, debido a que se solicitó agregados de uso inmediato, se utilizó agregado fino de 7,9 mm. Por lo tanto, la caracterización de los agregados fue brindada por el laboratorio de investigación de PC, y no realizada para el presente trabajo.

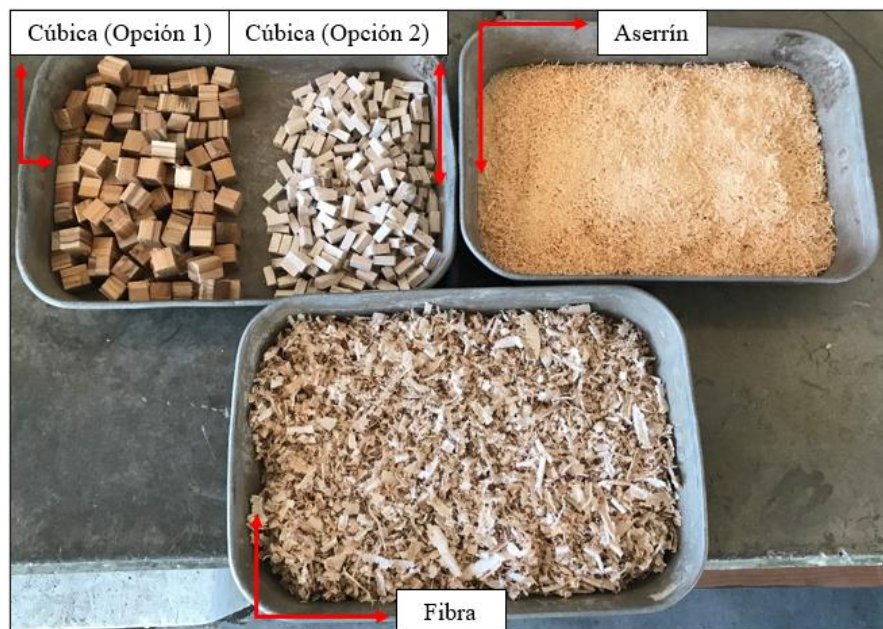
### 4.1.2 Formas de Celulosa

Parte fundamental de la investigación es desarrollar los especímenes cilíndricos de 5 cm x 10 cm con la inclusión de celulosa, en los anteriores capítulos se ha tratado dicho punto, mas no se ha representado de forma explícita, es decir, en sí, donde explique visualmente lo que se le está incluyendo a la mezcla de concreto para realizar dichos especímenes (figura 26). A su vez, en este apartado, se presentará la caracterización del aserrín, esto para ver el comportamiento del mismo en las distintas mallas de tamizaje, con motivo de que se puede correlacionar como un agregado fino, de cierta forma.

Por último, se abordará una decisión importante que surgió durante el desarrollo del presente trabajo, el cual es un cambio que influye directamente en parte de lo que se ha estipulado antes, a su vez, afecta en la inclusión de resultados finales de la mezclas, como en la patrón, la mezcla con la adición de balsa, la mezcla con adición de pino y, por último, la que contiene teca.

**Figura 26**

*Representación de celulosa*





**Tabla 5.***Caracterización de aserrín balsa*

Malla (mm)	Malla Nominal	Peso Retenido (g)	Ret. Individual (%)	Ret. Acumulado (%)	Total Pasando (%)	Especificación	
						mín (%)	máx (%)
25,4	1 pulg.						
19,1	3/4 pulg.		0	0	100		
12,7	1/2 pulg.		0	0	100	100	100
9,5	3/8 pulg.		0	0	100	100	100
4,75	#4	0,0	0	0	100	80	100
2,36	#8	3,5	4	4	96	60	100
1,18	#16	15,7	16	19	81	40	85
0,6	#30	30,5	31	50	50	20	60
0,3	#50	28,3	28	78	22	10	45
0,15	#100	15,1	15	93	7	0	30
0,075	#200	4,8	5	98	2	0	18
0	Charola	1,8	2	100	0		
Total (g) =		99,7	M.F.=	2,4	$\Delta$ % de peso inicial:		-0,3%

**Figura 27***Aserrín balsa*

**Tabla 6***Caracterización de aserrín pino*

Malla (mm)	Malla Nominal	Peso Retenido (g)	Ret. Individual (%)	Ret. Acumulado (%)	Total Pasando (%)	Especificación	
						mín (%)	máx (%)
25,4	1 pulg.						
19,1	3/4 pulg.		0	0	100		
12,7	1/2 pulg.		0	0	100	100	100
9,5	3/8 pulg.		0	0	100	100	100
4,75	#4	0,0	0	0	100	80	100
2,36	#8	3,0	3	3	97	60	100
1,18	#16	28,2	28	31	69	40	85
0,6	#30	31,3	32	63	37	20	60
0,3	#50	20,0	20	83	17	10	45
0,15	#100	10,9	11	94	6	0	30
0,075	#200	4,1	4	98	2	0	18
0	Charola	1,7	2	100	0		
Total (g) =		99,2	M.F.=	2,8	Δ % de peso inicial:		-0,8%

**Figura 28***Aserrín pino*

**Tabla 7***Caracterización de aserrín teca*

Malla (mm)	Malla Nominal	Peso Retenido (g)	Ret. Individual (%)	Ret. Acumulado (%)	Total Pasando (%)	Especificación	
						mín (%)	máx (%)
25,4	1 pulg.						
19,1	3/4 pulg.		0	0	100		
12,7	1/2 pulg.		0	0	100	100	100
9,5	3/8 pulg.		0	0	100	100	100
4,75	#4	0,0	0	0	100	80	100
2,36	#8	1,7	2	2	98	60	100
1,18	#16	6,0	6	8	92	40	85
0,6	#30	12,0	12	20	80	20	60
0,3	#50	33,3	33	53	47	10	45
0,15	#100	33,2	33	87	13	0	30
0,075	#200	11,1	11	98	2	0	18
0	Charola	2,3	2	100	0		
Total (g) =		99,6	M.F.=	1,7	$\Delta$ % de peso inicial:		-0,4%

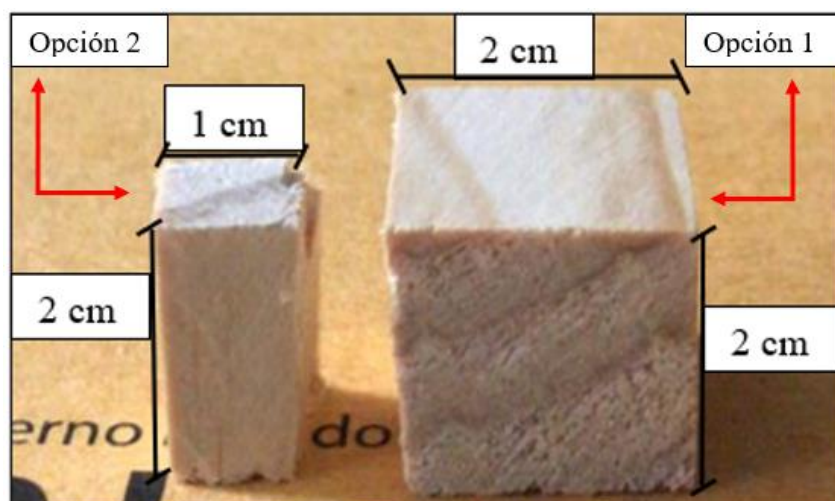
**Figura 29***Aserrín teca*



Parte del cambio que se mencionó anteriormente es la evaluación de una de las formas planteadas desde un inicio del trabajo de investigación, esta sería la forma cúbica, la cual presentó problemas a la hora de elaborar los especímenes cilíndricos y, por ende, este no daba resultados óptimos.

Es importante destacar que se tenía una idea inicial sobre cómo debía ser el tamaño de los cubos, por eso como se muestra en la (figura 26), se aprecia una forma cúbica opción 1 y una como la opción 2, de manera que la opción 1 de forma prematura fue la que se intentó desarrollar, debido al tamaño de los moldes para los especímenes, este cubo era muy grande, tenía unas dimensiones de aproximadamente de 2 cm x 2 cm, por ende, se intentó reducir este cubo en 4 llevándolo a una dimensión de 1 cm x 2 cm, dándole una forma prismática (figura 30).

**Figura 30**  
*Forma prismática y cúbica*



Aun realizando este planteamiento, la forma prismática no fue funcional, ya que no logró superar una de las primeras pruebas para seguir con el proceso de cura, que sería la prueba de cohesión, donde se presentarán los resultados de las mismas. Al desmoldar los especímenes, desde un inicio se apreciaba lo poco óptima que era esta forma de celulosa para la compactación del mismo. Llegando así a la decisión de no evaluar esta forma para los resultados finales, es decir, los que se presentarán a continuación acerca de cada una de las mezclas, recalcando que la matriz de ensayos inicial que se estableció (tabla 2), no es errónea, sino que cada una de las formas fueron

evaluadas tal cual, y se fueron descartando variables poco funcionales en el proceso de la elaboración del trabajo en el laboratorio, para optimizar el tiempo.

**Tabla 8**

*Cohesión de forma prismática*

Mezcla Celulosa-Prisma	
Masa Húmeda (g)	Cohesión (kg)
450	4,5
440	3,0
430	2,5

Es importante destacar que, según lo teóricamente establecido por Frasson Jr. para los cálculos de la cohesión de los especímenes, se debe alcanzar una velocidad de carga de agua de 1 kg/s, donde lo que se logró fue aproximadamente de 2 kg/s a 3 kg/s. Estos datos presentados representan la cantidad de agua que soportó el cilindro, sumado al balde y la tabla de madera empleada, tal y como se muestra en el apartado 3.4.3.

Para que esta prueba se considerara como óptima, esta debía alcanzar unos resultados mayores a 6 kg, donde se determine que los cilindros poseen la cohesividad necesaria para ser trasladados al sitio de cura. Cada uno de los resultados que se presentaron de cohesión, se llevaron a cabo de la misma forma, es decir, con los tiempos de llenado ya mencionados.

**Figura 31**

*Especímenes con adición de celulosa en forma prismática*



**Figura 32**

*Prueba de cohesión de especímenes con celulosa en forma prismática*



#### ***4.1.3 Mezcla de Referencia (Patrón)***

Esta sección contiene únicamente resultados de la mezcla patrón, en otras palabras, la que cuenta con una dosificación sin la inclusión de madera. Primero, se detallará la matriz de ensayos de esta mezcla, seguido de la distribución de agregados empleados con la ya relación establecida 1:11; pero, para estos cálculos se redujo un poco la cantidad de agregado por motivos de desperdicio en la relación anterior, dando así uso a una relación de 1:10, según la cual, con la mezcla obtenida se lograba elaborar los especímenes necesarios, causando un desperdicio menor de material.

A su vez, se detallarán resultados de cohesión de cada una de las masas distintas y el porcentaje de humedad de la masa en específico, es decir, la humedad que contiene la mezcla en

concreto, llegando así a los resultados de densidad y absorción de los cilindros, finalizando con los datos de falla a compresión a la edad de 3 días, 7 días y 28 días.

**Tabla 9**

*Matriz de ensayos patrón*

Código	Forma	Dosificación Sobre kg de Cemento	Número de especímenes a evaluar en estado fresco y endurecido							
			Cohesión	Densidad			Resistencia a la Compresión			
				Máx	Med	Mín	3d	7d	28d	
Pdmáx-0%		0%	2	3	-	-		3	3	3
Pdmed-0%	-	0%	2	-	3	-		3	3	3
Pdmín-0%		0%	2	-	-	3		3	3	3

Donde:

✓ P: patrón, d: densidad, máx.: valor máximo, 0%: inclusión de celulosa.

Detalladamente se puede apreciar la distribución y además de las cantidades de especímenes que se desarrollaron por prueba. Es importante destacar la diferencia entre esta matriz y la matriz inicial de ensayos (tabla 2), la presente matriz posee una codificación distinta y una variación de densidades; por consiguiente, en la masa de los especímenes, según lo mencionado en el apartado 4.1.1.

Las variaciones de masa se basaron en una masa máxima, masa media y, por último, masa mínima, siendo estas determinadas por la cantidad de golpes empleados al finalizar los ya 80 establecidos en el método, es decir, los golpes finales para la compactación, donde según lo establecido por Frasson Jr., se cataloga como masa máxima un espécimen donde los golpes finales con el mazo de hule rondan entre 10 golpes y 15 golpes con una fuerza máxima para lograr alcanzar los 10 cm de altura. Para diferenciar las masas, se varían entre ellas de 10 g a 15 g.

**Tabla 10**

*Proporción de los agregados en masa (kg) mezcla patrón*

Mezcla	Patrón
Cemento:Agregado	C:F:G
1:10	1:6,70:3,20

Donde:

✓ C: cemento, F: agregado fino, G: agregado grueso.

**Tabla 11***Humedad y cohesión de los especímenes patrón*

Mezcla Patrón			
Código	Masa Húmeda (g)	Humedad (%)	Cohesión (kg)
Pdmáx-0%	450	7,8	14,5
Pdmed-0%	440	7,1	11,5
Pdmín-0%	430	7,2	7,5

**Tabla 12***Densidad y absorción de concreto endurecido mezcla patrón*

Código	Peso Seco H (g)	Peso sss (g)	Peso Sumergido (g)	Absorción (%)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
Pdmáx-0%	422,4	450,5	266,0	6,7	2284
Pdmáx-0%	421,1	450,5	266,0	7,0	2277
Pdmáx-0%	423,4	451,5	270,0	6,6	2327
Pdmed-0%	415,3	449,0	265,5	8,1	2258
Pdmed-0%	414,3	449,0	265,0	8,4	2246
Pdmed-0%	412,1	444,0	264,0	7,7	2284
Pdmín-0%	404,3	437,5	256,5	8,2	2228
Pdmín-0%	404,6	435,5	258,5	7,6	2280
Pdmín-0%	403,6	437,0	256,0	8,3	2224



**Tabla 13.**

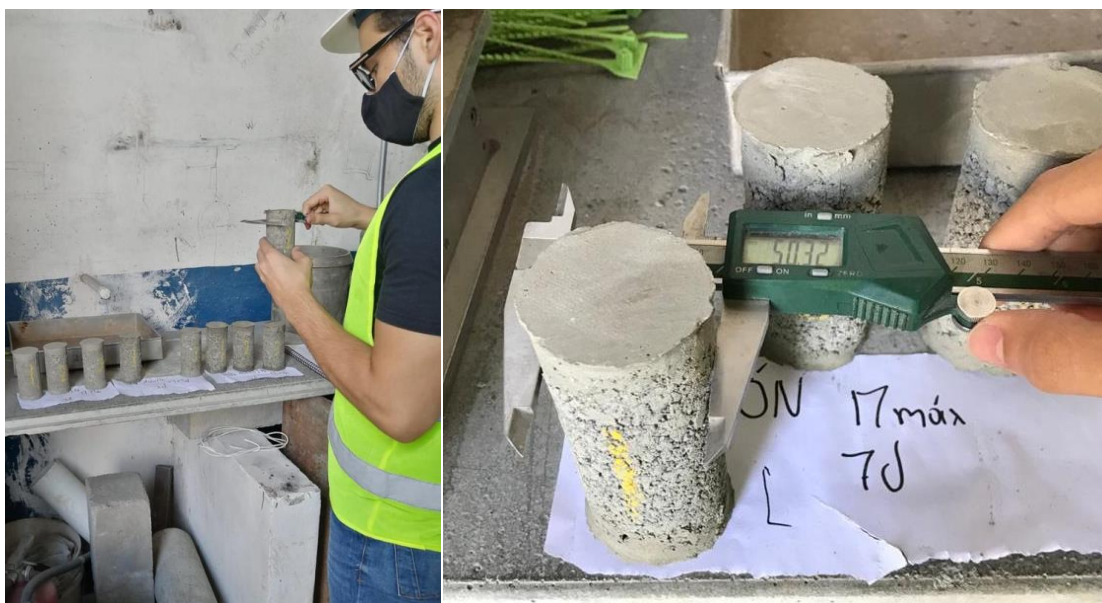
*Resultados de mediciones de especímenes patrón a 3 días*

Dimensionamiento de Cilindros Patrón						
Edad: 3d						
Código	Masa (g)	Especímen	Diámetros (mm)		Longitudes (mm)	
Pdmáx-0%	450	1	50,2	50,7	100,2	100,1
Pdmáx-0%		2	50,4	50,8	100,1	100,0
Pdmáx-0%		3	50,2	50,1	100,2	100,3
Pdmed-0%	440	1	50,2	50,3	100,3	100,4
Pdmed-0%		2	50,1	50,2	100,5	100,4
Pdmed-0%		3	50,7	50,3	101,1	101,6
Pdmín-0%	430	1	50,1	50,0	100,5	100,8
Pdmín-0%		2	49,1	51,1	100,0	100,1
Pdmín-0%		3	50,5	51,1	100,0	100,2

Lo mostrado en la tabla 13 son las mediciones que realizadas a los especímenes cilíndricos para así promediar estos datos y colocarlos en la máquina de falla. A cada uno de los cilindros que serían fallados se les debió medir el diámetro y la longitud con un vernier, tal y como se muestra en la figura 33.

**Figura 33**

*Medición de espécimen con vernier*



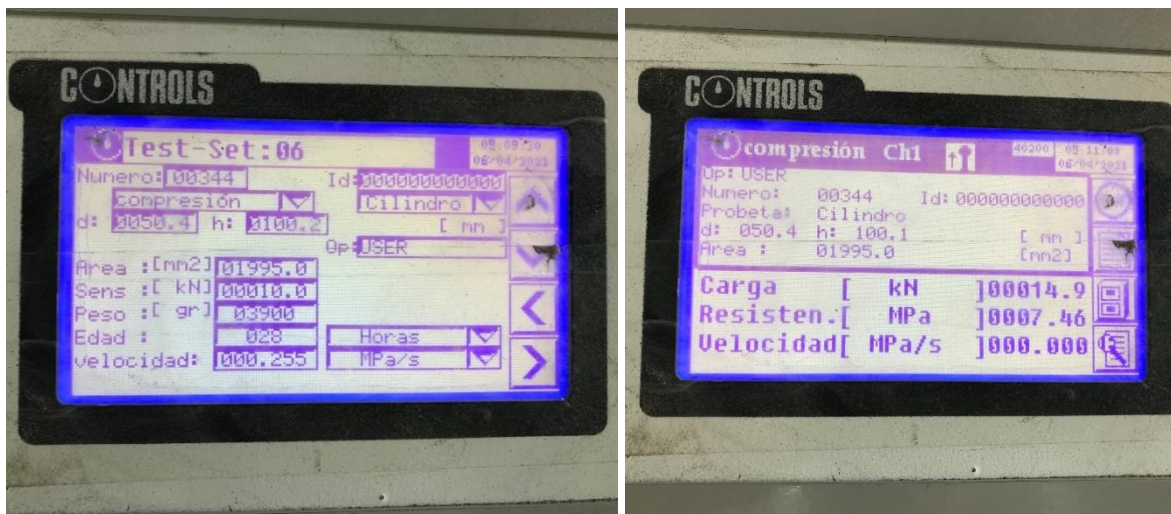
**Tabla 14***Resistencia a la compresión especímenes patrón edad 3 días*

Código	Especímen	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Resistencia (MPa)
Pdmáx-0%	1	50,5	100,2	2003,0	10,1
Pdmáx-0%	2	50,6	100,1	2003,0	11,2
Pdmáx-0%	3	50,2	100,3	2003,0	10,2
Pdmed-0%	1	50,3	100,4	1979,2	8,1
Pdmed-0%	2	50,2	100,5	1979,2	9,0
Pdmed-0%	3	50,5	101,4	2003,0	9,0
Pdmín-0%	1	50,1	100,7	1963,5	7,2
Pdmín-0%	2	50,1	100,1	1963,5	8,0
Pdmín-0%	3	50,8	100,1	2018,9	7,0

En los datos tabulados mostrados anteriormente, se observan los promedios de cada uno de los especímenes ya medidos y, a su vez, el área de cada uno de ellos, junto con la resistencia obtenida. Es importante mencionar que los resultados de área y resistencias fueron suministrados por la máquina de falla, donde únicamente se le introdujeron estos valores ya promediados y el resto fue proporcionado por la misma. Este proceso mostrado, es el mismo aplicado para cada una de las fallas que se observarán posteriormente, donde a cada una se le realizó la medición por 2 caras distintas del espécimen e introducir valores ya promediados a la máquina.

**Figura 34**

Datos para el ensayo a compresión

**Tabla 15**

Resultados de mediciones de especímenes patrón a 7 días

Dimensionamiento de Cilindros Patrón						
Edad: 7d						
Código	Masa (g)	Especímen	Diámetros (mm)		Longitudes (mm)	
Pdmáx-0%	450	1	50,3	50,9	100,2	100,1
Pdmáx-0%		2	50,6	50,0	100,1	100,1
Pdmáx-0%		3	50,1	50,3	100,3	100,2
Pdmed-0%	440	1	50,2	50,4	100,9	100,2
Pdmed-0%		2	50,2	50,9	100,5	100,4
Pdmed-0%		3	50,7	50,9	101,1	101,6
Pdmín-0%	430	1	50,1	50,2	100,4	100,1
Pdmín-0%		2	50,0	50,3	100,2	100,6
Pdmín-0%		3	50,3	50,5	100,5	100,4



**Tabla 16***Resistencia a la compresión especímenes patrón edad 7 días*

Código	Especimen	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Resistencia (MPa)
Pdmáx-0%	1	50,6	100,2	2003,0	14,2
Pdmáx-0%	2	50,3	100,1	1979,2	15,6
Pdmáx-0%	3	50,2	100,3	1979,2	15,8
Pdmed-0%	1	50,3	100,6	1979,2	10,6
Pdmed-0%	2	50,6	100,5	2003,0	8,5*
Pdmed-0%	3	50,8	101,4	2018,9	9,9
Pdmín-0%	1	50,2	100,3	1979,2	9,5
Pdmín-0%	2	50,2	100,4	1979,2	6,8*
Pdmín-0%	3	50,4	100,5	1995,0	8,7

Nota. Este dato no será considerado para análisis posteriores, debido a la variación del mismo

**Tabla 17***Resultados de mediciones de especímenes patrón a 28 días*

Dimensionamiento de Cilindros Patrón						
Edad: 28d						
Código	Masa (g)	Especimen	Diámetros (mm)		Longitudes (mm)	
Pdmáx-0%	450	1	50,3	50,9	100,4	100,5
Pdmáx-0%		2	50,6	50,0	100,8	100,6
Pdmáx-0%		3	50,1	50,3	100,3	100,4
Pdmed-0%	440	1	50,7	49,9	100,9	100,2
Pdmed-0%		2	50,6	51,2	100,5	100,4
Pdmed-0%		3	50,2	50,8	101,1	101,6
Pdmín-0%	430	1	50,2	50,4	100,4	100,1
Pdmín-0%		2	50,2	50,9	100,2	100,6
Pdmín-0%		3	50,7	50,9	100,5	100,4

**Tabla 18***Resistencia a la compresión especímenes patrón edad 28 días*

Código	Especimen	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Resistencia (MPa)
Pdmáx-0%	1	50,6	100,5	2003,0	20,1
Pdmáx-0%	2	50,3	100,7	1979,2	18,5
Pdmáx-0%	3	50,2	100,4	1979,2	17,8*
Pdmed-0%	1	50,3	100,6	1979,2	12,1
Pdmed-0%	2	50,9	100,5	2034,8	10,9*
Pdmed-0%	3	50,5	101,4	2003,0	12,1
Pdmín-0%	1	50,3	100,3	1979,2	12,3
Pdmín-0%	2	50,6	100,4	2003,0	12,3
Pdmín-0%	3	50,8	100,5	2018,9	11,8

Nota. Este dato no será considerado para análisis posteriores, debido a la variación del mismo

#### 4.1.4 Mezcla con Celulosa (Balsa)

A partir de este apartado, se mostrarán resultados de cada ensayo con adición porcentual de celulosa, partiendo desde la mezcla de referencia (tabla 10), es decir, se trabajará con la misma cantidad de material u dosificación, pero reemplazando cierta cantidad de agregado, ya sea con la forma de aserrín o fibra. Este mismo contendrá únicamente resultados de balsa, que se dividirán entre las dos formas planteadas, un apartado con resultados de solamente balsa-aserrín, y otro con resultados de balsa-fibra; a su vez, el orden de cada dato tabulado en tablas será el mismo que en la sección 4.1.3.

**4.1.4.1 Balsa-Aserrín.** Primeramente, se presentará la matriz de ensayos con la que se evaluó esta forma y este tipo de celulosa, además de una breve explicación de la misma debido a decisiones tomadas en el proceso de desarrollo.

**Tabla 19**

*Matriz de ensayos balsa-aserrín*

Código	Forma	Dosificación Sobre kg de Cemento		Número de especímenes a evaluar en estado fresco y endurecido								
				Cohesión	Densidad			Resistencia a la Compresión				
					Máx	Med	Mín	3d	7d	28d		
Bdmáx/a-2%		2%	-	-	2	3	-	-	3	3	3	
Bdmed/a-2%		2%	-	-	2	-	3	-	3	3	3	
Bdmín/a-2%		2%	-	-	2	-	-	3	3	3	3	
Bdmáx/a-4%		-	4%	-	2	3	-	-	3	3	3	
Bdmed/a-4%	Aserrín	-	4%	-	2	-	3	-	3	3	3	
Bdmín/a-4%		-	4%	-	2	-	-	3	3	3	3	
Bdmáx/a-6%		-	-	6%	2	3	-	-	3	3	3	
Bdmed/a-6%		-	-	6%	2	-	3	-	3	3	3	
Bdmín/a-6%		-	-	6%	2	-	-	3	3	3	3	

Donde:

- ✓ B: balsa, d: densidad, máx.: valor máximo, a: aserrín, 2%: inclusión de celulosa.

Como se explicó en la sección 4.1.3, esta matriz de ensayos presenta cambios con respecto a la planteada inicialmente (tabla 2) representados las densidades a evaluar, al igual que la anterior. Una de las decisiones tomadas para el desarrollo de los especímenes en el laboratorio fue analizar los porcentajes estipulados, es decir, cuál va a ser funcional y, a su vez, óptimo.

Dada esta premisa, lo que se planteó con esta forma fue reducir porcentualmente el agregado fino, es decir, a los 6,70 kg de agregado, se le multiplicaba el 2%, 4% y el 6%. Este resultado era la cantidad en masa de aserrín que se añadiría, además de la cantidad que se le restaría al agregado fino para la mezcla final.

Mediante pruebas de desarrollo, se decidió llevar a cabo la adición de celulosa en un único porcentaje, esto debido a que el aserrín, al ser tan liviano, excedía la cantidad de material en volumen que se necesitaba, provocando una disminución de cohesividad, por ende, una excesiva cantidad de agua y esto originando, de forma hipotética, la pérdida de resistencia de los especímenes de acuerdo con el ensayo de compresión uniaxial.

Donde, para cada celulosa en forma de aserrín, se evaluó únicamente un 2% de adición, esto para tener un parámetro de igualdad a la hora de ser comparadas unas con las otras, destacando que, para futuras recomendaciones, se llevaría a cabo el desarrollo de los ensayos con más porcentaje de celulosa, ya que, no se logró elaborar especímenes con estos porcentajes por escases de tiempo, lo cual hubiera permitido observar de forma certera los resultados de resistencia a la compresión.

**Tabla 20**

*Proporción de los agregados en masa (kg) mezcla balsa-aserrín*

Mezcla	Balsa-Aserrín 2%
Cemento:Agregado	C:F:G:B
1:10	1:6,56:3,20:0,14

Donde:

- ✓ C: cemento, F: agregado fino, G: agregado grueso, B: celulosa balsa.

**Tabla 21***Humedad y cohesión de los especímenes balsa-aserrín*

Mezcla Balsa-Aserrín 2%			
Código	Masa Húmeda (g)	Humedad (%)	Cohesión (kg)
Bdmáx/a-2%	450	12,2	16,5
Bdmed/a-2%	440	12,2	11,0
Bdmín/a-2%	430	12,6	9,5

**Tabla 22***Densidad y absorción de concreto endurecido mezcla balsa-aserrín*

Código	Peso Seco H (g)	Peso sss (g)	Peso Sumergido (g)	Absorción (%)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
Bdmáx/a-2%	405,6	440,8	238,5	8,7	2000
Bdmáx/a-2%	404,1	438,5	238,5	8,5	2015
Bdmáx/a-2%	406,1	441,6	239,0	8,7	1999
Bdmed/a-2%	395,7	431,7	235,0	9,1	2007
Bdmed/a-2%	393,5	431,1	234,5	9,6	1997
Bdmed/a-2%	394,4	431,9	234,5	9,5	1993
Bdmín/a-2%	386,4	428,2	232,5	10,8	1970
Bdmín/a-2%	387,6	427,0	234,5	10,2	2008
Bdmín/a-2%	386,6	425,9	230,0	10,2	1969

**Tabla 23***Resultados de mediciones de especímenes balsa-aserrín a 3 días*

Dimensionamiento de Cilindros Balsa-Aserrín						
Edad: 3d						
Código	Masa (g)	Especimen	Diámetros (mm)		Longitudes (mm)	
Bdmáx/a-2%	450	1	51,2	50,1	100,4	100,5
Bdmáx/a-2%		2	50,8	50,3	100,9	100,3
Bdmáx/a-2%		3	49,9	50,4	101,0	100,9
Bdmed/a-2%	440	1	50,7	49,9	101,4	100,4
Bdmed/a-2%		2	50,6	51,2	101,5	100,2
Bdmed/a-2%		3	50,2	50,8	100,9	100,8
Bdmín/a-2%	430	1	50,8	51,1	100,1	100,3
Bdmín/a-2%		2	50,5	50,3	100,2	100,5
Bdmín/a-2%		3	50,8	50,0	100,0	100,4

**Tabla 24***Resistencia a la compresión especímenes balsa-aserrín edad 3 días*

Código	Especimen	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Resistencia (MPa)
Bdmáx/a-2%	1	50,7	100,5	2003,0	4,3
Bdmáx/a-2%	2	50,6	100,6	2003,0	4,3
Bdmáx/a-2%	3	50,2	101,0	1979,2	4,2
Bdmed/a-2%	1	50,3	100,9	1963,5	3,4
Bdmed/a-2%	2	50,9	100,9	2034,8	3,3
Bdmed/a-2%	3	50,5	100,9	2003,0	3,3
Bdmín/a-2%	1	51,0	100,2	2034,8	2,2
Bdmín/a-2%	2	50,4	100,4	1995,0	2,6
Bdmín/a-2%	3	50,4	100,2	1995,0	2,3

**Tabla 25***Resultados de mediciones de especímenes balsa-aserrín a 7 días*

Dimensionamiento de Cilindros Balsa-Aserrín						
Edad: 7d						
Código	Masa (g)	Especimen	Diámetros (mm)		Longitudes (mm)	
Bdmáx/a-2%	450	1	50,6	50,6	100,4	100,5
Bdmáx/a-2%		2	50,5	50,6	100,8	100,6
Bdmáx/a-2%		3	50,3	50,1	100,3	100,4
Bdmed/a-2%	440	1	50,4	50,2	100,1	100,2
Bdmed/a-2%		2	50,7	50,8	100,2	100,5
Bdmed/a-2%		3	50,2	50,7	100,5	100,7
Bdmín/a-2%	430	1	50,7	50,3	100,3	100,9
Bdmín/a-2%		2	51,3	50,5	100,4	100,2
Bdmín/a-2%		3	50,3	50,4	100,6	100,0

**Tabla 26***Resistencia a la compresión especímenes balsa-aserrín edad 7 días*

Código	Especimen	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Resistencia (MPa)
Bdmáx/a-2%	1	50,6	100,5	2003,0	5,2
Bdmáx/a-2%	2	50,6	100,7	1979,2	5,4
Bdmáx/a-2%	3	50,2	100,4	1979,2	5,1
Bdmed/a-2%	1	50,3	100,2	1979,2	4,1
Bdmed/a-2%	2	50,8	100,4	2018,9	4,2
Bdmed/a-2%	3	50,5	100,6	2003,0	4,1
Bdmín/a-2%	1	50,5	100,6	2003,0	3,4
Bdmín/a-2%	2	50,9	100,3	2034,8	3,3
Bdmín/a-2%	3	50,4	100,3	1995,0	3,6

**Tabla 27***Resultados de mediciones de especímenes balsa-aserrín a 28 días*

Dimensionamiento de Cilindros Balsa-Aserrín						
Edad: 28d						
Código	Masa (g)	Especimen	Diámetros (mm)		Longitudes (mm)	
Bdmáx/a-2%	450	1	50,2	50,7	100,1	100,3
Bdmáx/a-2%		2	50,4	50,8	100,2	100,5
Bdmáx/a-2%		3	50,2	50,1	100,0	100,4
Bdmed/a-2%	440	1	50,8	51,1	100,1	100,2
Bdmed/a-2%		2	50,5	50,3	100,2	100,5
Bdmed/a-2%		3	50,8	50,0	100,5	100,7
Bdmín/a-2%	430	1	50,7	50,3	100,3	100,9
Bdmín/a-2%		2	51,3	50,5	100,4	100,2
Bdmín/a-2%		3	50,3	50,4	100,6	100,0

**Tabla 28***Resistencia a la compresión especímenes balsa-aserrín edad 28 días*

Código	Especimen	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Resistencia (MPa)
Bdmáx/a-2%	1	50,5	100,2	2003,0	7,7
Bdmáx/a-2%	2	50,6	100,4	2003,0	7,9
Bdmáx/a-2%	3	50,2	100,2	1979,2	8,2
Bdmed/a-2%	1	51,0	100,2	2042,8	6,9
Bdmed/a-2%	2	50,4	100,4	1995,0	6,4
Bdmed/a-2%	3	50,4	100,6	1995,0	7,5
Bdmín/a-2%	1	50,5	100,6	2003,0	4,9
Bdmín/a-2%	2	50,9	100,3	2034,8	5,2
Bdmín/a-2%	3	50,4	100,3	1995,0	5,4



Una vez finalizado el apartado de resultados de la mezcla balsa-aserrín, se presentará gráficamente como se observa el interior de un espécimen cilíndrico de 5 cm x 10 cm (figura 35), seguido del inicio de exposición de resultados de la mezcla balsa-fibra, concluyendo así con la primera de las 3 celulosas planteadas, la cual es la más liviana de todas, tal como se expuso en el capítulo 2 apartado 2.6.1.

**Figura 35**

*Especimen cilíndrico con adición de balsa-aserrín*



**4.1.4.2 Balsa-Fibra.** Continuando con la misma celulosa, se presenta inicialmente la matriz de ensayos planteada con los porcentajes a evaluar para esta forma.

**Tabla 29**

*Matriz de ensayos balsa-fibra*

Código	Forma	Dosificación Sobre kg de Cemento		Número de especímenes a evaluar en estado fresco y endurecido								
				Cohesión	Densidad			Resistencia a la Compresión				
					Máx	Med	Mín	3d	7d	28d		
Bdmáx/f-1%	Fibra	1%	-	-	2	3	-	-	3	3	3	
Bdmed/f-1%		1%	-	-	2	-	3	-	3	3	3	
Bdmín/f-1%		1%	-	-	2	-	-	3	3	3	3	
Bdmáx/f-2%		-	2%	-	2	3	-	-	3	3	3	
Bdmed/f-2%		-	2%	-	2	-	3	-	3	3	3	
Bdmín/f-2%		-	2%	-	2	-	-	3	3	3	3	
Bdmáx/f-3%		-	-	3%	2	3	-	-	3	3	3	
Bdmed/f-3%		-	-	3%	2	-	3	-	3	3	3	
Bdmín/f-3%		-	-	3%	2	-	-	3	3	3	3	

Donde:

- ✓ B: balsa, d: densidad, máx.: valor máximo, f: fibra, 1%: inclusión de celulosa.

Una vez presentada la matriz de ensayos para esta forma, al igual que con el aserrín, se optó por trabajar únicamente con un porcentaje de adición; de cierta forma, las razones son similares a las planteadas en el apartado 4.1.4.1, además de tener como inconveniente extra que en volumen representaba una cantidad abrumadora de fibra al tener que reemplazar 140 g de agregado, por ejemplo, ya que, se necesitaban hasta 3 bandejas llenas de material para llegar hasta este punto.

Es fundamental destacar que, para esta forma planteada, se reemplazó agregado tanto fino como grueso, es decir, del porcentaje seleccionado, que fue un 2% en este caso, se sustituyó 1% para agregado fino, donde se multiplicó por 6,70 kg, y 1% para agregado grueso, multiplicado por 3,20 kg, dando así el valor en masa que se debe restar de dicho agregado y colocar celulosa, siempre respetando la dosificación base. Para las demás celulosas con forma de fibra, se trabajó con un 2%, esto por la misma razón planteada anteriormente, de tener una igualdad de comparación con respecto al pino y la teca.

**Tabla 30***Proporción de los agregados en masa (kg) mezcla balsa-fibra*

Mezcla	Balsa-Fibra 2%
Cemento:Agregado	C:F:G:B
1:10	1:6,63:3,17:0,10

**Tabla 31***Humedad y cohesión de los especímenes balsa-fibra*

Mezcla Balsa-Fibra 2%			
Código	Masa Húmeda (g)	Humedad (%)	Cohesión (kg)
Bdmáx/f-2%	450	10,8	9,0
Bdmed/f-2%	440	9,5	11,5
Bdmín/f-2%	430	11,1	10,0

**Tabla 32***Densidad y absorción de concreto endurecido mezcla balsa-fibra*

Código	Peso Seco H (g)	Peso sss (g)	Peso Sumergido (g)	Absorción (%)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
Bdmáx/f-2%	403,3	455,5	257,0	12,9	2027
Bdmáx/f-2%	406,8	458,9	253,5	12,8	1976
Bdmáx/f-2%	406,7	458,6	254,5	12,8	1988
Bdmed/f-2%	393,2	444,7	246,0	13,1	1974
Bdmed/f-2%	399,5	451,2	249,5	12,9	1976
Bdmed/f-2%	400,3	453,6	250,5	13,3	1966
Bdmín/f-2%	387,3	438,8	242,0	13,3	1963
Bdmín/f-2%	385,0	436,0	239,5	13,2	1954
Bdmín/f-2%	386,0	440,3	240,0	14,1	1922

**Tabla 33***Resultados de mediciones de especímenes balsa-fibra a 3 días*

Dimensionamiento de Cilindros Balsa-Fibra						
Edad: 3d						
Código	Masa (g)	Especímen	Diámetros (mm)		Longitudes (mm)	
Bdmáx/f-2%	450	1	51,2	50,1	100,4	100,5
Bdmáx/f-2%		2	50,8	50,3	100,9	100,3
Bdmáx/f-2%		3	49,9	50,4	101,0	100,9
Bdmed/f-2%	440	1	50,7	49,9	101,4	100,4
Bdmed/f-2%		2	50,6	51,2	101,5	100,2
Bdmed/f-2%		3	50,2	50,8	100,9	100,8
Bdmín/f-2%	430	1	50,2	50,3	100,1	100,3
Bdmín/f-2%		2	50,1	50,2	100,2	100,5
Bdmín/f-2%		3	50,7	50,3	100,0	100,4

**Tabla 34***Resistencia a la compresión especímenes balsa-fibra edad 3 días*

Código	Especímen	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Resistencia (MPa)
Bdmáx/f-2%	1	50,7	100,5	2018,9	3,2
Bdmáx/f-2%	2	50,6	100,6	2003,0	3,5
Bdmáx/f-2%	3	50,2	101,0	1979,2	3,6
Bdmed/f-2%	1	50,3	100,9	1979,2	2,2
Bdmed/f-2%	2	50,9	100,9	2034,8	2,8
Bdmed/f-2%	3	50,5	100,9	2003,0	3,2
Bdmín/f-2%	1	50,3	100,2	1979,2	3,0
Bdmín/f-2%	2	50,2	100,4	1979,2	2,8
Bdmín/f-2%	3	50,5	100,2	2003,0	3,1

**Tabla 35***Resultados de mediciones de especímenes balsa-fibra a 7 días*

Dimensionamiento de Cilindros Balsa-Fibra						
Edad: 7d						
Código	Masa (g)	Especimen	Diámetros (mm)		Longitudes (mm)	
Bdmáx/f-2%	450	1	50,2	50,1	100,2	100,6
Bdmáx/f-2%		2	50,8	50,3	100,5	100,3
Bdmáx/f-2%		3	50,9	50,4	100,0	100,9
Bdmed/f-2%	440	1	50,6	50,8	100,4	100,5
Bdmed/f-2%		2	50,6	50,2	100,8	100,6
Bdmed/f-2%		3	50,3	50,4	100,3	100,4
Bdmín/f-2%	430	1	50,4	50,2	100,1	100,3
Bdmín/f-2%		2	50,7	50,8	100,3	100,5
Bdmín/f-2%		3	50,2	50,7	100,0	100,4

**Tabla 36***Resistencia a la compresión especímenes balsa-fibra edad 7 días*

Código	Especimen	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Resistencia (MPa)
Bdmáx/f-2%	1	50,2	100,4	1979,2	4,9
Bdmáx/f-2%	2	50,6	100,4	2003,0	5,5
Bdmáx/f-2%	3	50,7	100,5	2018,9	4,8
Bdmed/f-2%	1	50,7	100,5	2018,9	4,7
Bdmed/f-2%	2	50,4	100,7	1995,0	5,2
Bdmed/f-2%	3	50,4	100,4	1995,0	4,5
Bdmín/f-2%	1	50,3	100,2	1979,2	4,7
Bdmín/f-2%	2	50,8	100,4	2018,9	4,5
Bdmín/f-2%	3	50,5	100,2	2003,0	4,8

**Tabla 37***Resultados de mediciones de especímenes balsa-fibra a 28 días*

Dimensionamiento de Cilindros Balsa-Fibra						
Edad: 28d						
Código	Masa (g)	Especimen	Diámetros (mm)		Longitudes (mm)	
Bdmáx/f-2%	450	1	50,4	50,2	100,9	100,2
Bdmáx/f-2%		2	50,7	50,8	100,5	100,4
Bdmáx/f-2%		3	50,2	50,7	100,1	100,6
Bdmed/f-2%	440	1	50,4	50,8	100,1	100,3
Bdmed/f-2%		2	50,6	50,2	100,2	100,5
Bdmed/f-2%		3	50,2	50,4	100,0	100,4
Bdmín/f-2%	430	1	50,7	49,9	100,1	100,3
Bdmín/f-2%		2	50,6	51,2	100,3	100,5
Bdmín/f-2%		3	50,2	50,8	100,0	100,4

**Tabla 38***Resistencia a la compresión especímenes balsa-fibra edad 28 días*

Código	Especimen	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Resistencia (MPa)
Bdmáx/f-2%	1	50,3	100,6	1979,2	4,2
Bdmáx/f-2%	2	50,8	100,5	2018,9	5,2
Bdmáx/f-2%	3	50,5	100,4	2003,0	5,1
Bdmed/f-2%	1	50,6	100,2	2003,0	4,9
Bdmed/f-2%	2	50,4	100,4	1995,0	4,9
Bdmed/f-2%	3	50,3	100,2	1979,2	4,1
Bdmín/f-2%	1	50,3	100,2	1979,2	3,7
Bdmín/f-2%	2	50,9	100,4	2034,8	2,3
Bdmín/f-2%	3	50,5	100,2	2003,0	3,6



Al igual que en el apartado 4.1.4.1, se colocó una figura de referencia de como luce un espécimen cilíndrico con adición de balsa-fibra (figura 36), esto dando fin a los resultados de la celulosa liviana, es decir, la balsa. Cabe destacar que, como se detalló en la sección 4.1.2, la forma cúbica u prismática quedaba descartada para esta y las demás celulosas, para fines de análisis, se tomaron en cuenta la forma en aserrín y fibra únicamente.

**Figura 36**

*Espécimen cilíndrico con adición de balsa-fibra*



**4.1.5 Mezcla con Celulosa (Pino)**

Seguidamente, se presentan los resultados de la segunda celulosa estipulada, siendo esta una madera con densidad media. Al igual que en el apartado 4.1.4, este se desarrollará con el mismo orden y la misma división por formas, es decir, en aserrín y fibra.

**4.1.5.1 Pino-Aserrín.** Se detalla cada uno de los resultados de los distintos ensayos para esta forma, además de la matriz de ensayos de la misma. Es importante mencionar que se respetó la elección del 2% de adición a la mezcla para esta celulosa en forma de aserrín, con la sustitución de únicamente agregado fino.

**Tabla 39***Matriz de ensayos pino-aserrín*

Código	Forma	Dosificación Sobre kg de Cemento		Número de especímenes a evaluar en estado fresco y endurecido								
				Cohesión	Densidad			Resistencia a la Compresión				
					Máx	Med	Mín	3d	7d	28d		
Pdmáx/a-2%		2%	-	-	2	3	-	-	3	3	3	
Pdmed/a-2%		2%	-	-	2	-	3	-	3	3	3	
Pdmín/a-2%		2%	-	-	2	-	-	3	3	3	3	
Pdmáx/a-4%	Aserrín	-	4%	-	2	3	-	-	3	3	3	
Pdmed/a-4%		-	4%	-	2	-	3	-	3	3	3	
Pdmín/a-4%		-	4%	-	2	-	-	3	3	3	3	
Pdmáx/a-6%		-	-	6%	2	3	-	-	3	3	3	
Pdmed/a-6%		-	-	6%	2	-	3	-	3	3	3	
Pdmín/a-6%		-	-	6%	2	-	-	3	3	3	3	

Donde:

✓ P: pino, d: densidad, máx.: valor máximo, a: aserrín, 2%: inclusión de celulosa.

**Tabla 40***Proporción de los agregados en masa (kg) mezcla pino-aserrín*

Mezcla	Pino-Aserrín 2%
Cemento:Agregado	C:F:G:P
1:10	1:6,56:3,20:0,14

Donde:

✓ C: cemento, F: agregado fino, G: agregado grueso, P: celulosa pino.

**Tabla 41***Humedad y cohesión de los especímenes pino-aserrín*

Mezcla Pino-Aserrín 2%			
Código	Masa Húmeda (g)	Humedad (%)	Cohesión (kg)
Pdmáx/a-2%	450	10,7	12,0
Pdmed/a-2%	440	11,7	10,0
Pdmín/a-2%	430	9,4	9,5



**Tabla 42***Densidad y absorción de concreto endurecido mezcla pino-aserrín*

Código	Peso Seco H (g)	Peso sss (g)	Peso Sumergido (g)	Absorción (%)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
Pdmáx/a-2%	410,0	453,1	258,0	10,5	2096
Pdmáx/a-2%	410,2	453,3	257,0	10,5	2084
Pdmáx/a-2%	412,1	454,6	259,0	10,3	2102
Pdmed/a-2%	400,6	442,3	252,0	10,4	2100
Pdmed/a-2%	400,1	444,3	251,0	11,0	2065
Pdmed/a-2%	401,2	443,9	251,5	10,6	2080
Pdmín/a-2%	394,2	438,3	247,0	11,2	2055
Pdmín/a-2%	392,5	437,1	246,0	11,4	2049
Pdmín/a-2%	394,6	441,3	247,0	11,8	2026

**Tabla 43***Resultados de mediciones de especímenes pino-aserrín a 3 días*

Dimensionamiento de Cilindros Pino-Aserrín						
Edad: 3d						
Código	Masa (g)	Especímen	Diámetros (mm)		Longitudes (mm)	
Pdmáx/a-2%	450	1	50,2	50,7	101,4	100,4
Pdmáx/a-2%		2	50,4	50,8	101,5	100,2
Pdmáx/a-2%		3	50,2	50,1	100,9	100,8
Pdmed/a-2%	440	1	50,2	50,3	100,1	100,3
Pdmed/a-2%		2	50,1	50,2	100,2	100,5
Pdmed/a-2%		3	50,7	50,3	100,0	100,4
Pdmín/a-2%	430	1	50,7	49,9	100,1	100,3
Pdmín/a-2%		2	50,6	51,2	100,2	100,5
Pdmín/a-2%		3	50,2	50,8	100,0	100,4

**Tabla 44***Resistencia a la compresión especímenes pino-aserrín edad 3 días*

Código	Especímen	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Resistencia (MPa)
Pdmáx/a-2%	1	50,5	100,9	2003,0	5,8
Pdmáx/a-2%	2	50,6	100,9	2003,0	6,4
Pdmáx/a-2%	3	50,2	100,9	1979,2	5,7
Pdmed/a-2%	1	50,3	100,2	1979,2	5,9
Pdmed/a-2%	2	50,2	100,4	1979,2	6,2
Pdmed/a-2%	3	50,5	100,2	2003,0	6,3
Pdmín/a-2%	1	50,3	100,2	1979,2	5,7
Pdmín/a-2%	2	50,9	100,4	2034,8	4,9
Pdmín/a-2%	3	50,5	100,2	2003,0	6,0

**Tabla 45***Resultados de mediciones de especímenes pino-aserrín a 7 días*

Dimensionamiento de Cilindros Pino-Aserrín						
Edad: 7d						
Código	Masa (g)	Especímen	Diámetros (mm)		Longitudes (mm)	
Pdmáx/a-2%	450	1	50,6	50,6	100,4	100,5
Pdmáx/a-2%		2	50,5	50,6	100,8	100,6
Pdmáx/a-2%		3	50,3	50,1	100,3	100,4
Pdmed/a-2%	440	1	50,4	50,2	100,9	100,2
Pdmed/a-2%		2	50,7	50,8	100,5	100,4
Pdmed/a-2%		3	50,2	50,7	101,1	101,6
Pdmín/a-2%	430	1	50,7	50,3	100,4	100,1
Pdmín/a-2%		2	51,3	50,5	100,2	100,6
Pdmín/a-2%		3	50,3	50,4	100,5	100,4

**Tabla 46***Resistencia a la compresión especímenes pino-aserrín edad 7 días*

Código	Especímen	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Resistencia (MPa)
Pdmáx/a-2%	1	50,6	100,5	2003,0	8,8
Pdmáx/a-2%	2	50,6	100,7	2003,0	10,4
Pdmáx/a-2%	3	50,2	100,4	1979,2	8,9
Pdmed/a-2%	1	50,3	100,6	1979,2	8,7
Pdmed/a-2%	2	50,8	100,5	2018,9	7,5
Pdmed/a-2%	3	50,5	101,4	2003,0	8,7
Pdmín/a-2%	1	50,5	100,3	2003,0	8,2
Pdmín/a-2%	2	50,9	100,4	2034,8	7,1
Pdmín/a-2%	3	50,4	100,5	1995,0	6,0*

Nota. Este dato no será considerado para análisis posteriores, debido a la variación del mismo.

**Tabla 47***Resultados de mediciones de especímenes pino-aserrín a 28 días*

Dimensionamiento de Cilindros Pino-Aserrín						
Edad: 28d						
Código	Masa (g)	Especímen	Diámetros (mm)		Longitudes (mm)	
Pdmáx/a-2%	450	1	50,8	51,1	100,4	100,5
Pdmáx/a-2%		2	50,5	50,3	100,8	100,6
Pdmáx/a-2%		3	50,8	50,0	100,3	100,4
Pdmed/a-2%	440	1	50,4	50,2	100,9	100,2
Pdmed/a-2%		2	50,7	50,8	100,5	100,4
Pdmed/a-2%		3	50,2	50,7	101,1	101,6
Pdmín/a-2%	430	1	50,2	50,3	100,4	100,1
Pdmín/a-2%		2	50,1	50,2	100,2	100,6
Pdmín/a-2%		3	50,7	50,3	100,5	100,4

**Tabla 48***Resistencia a la compresión especímenes pino-aserrín edad 28 días*

Código	Especimen	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Resistencia (MPa)
Pdmáx/a-2%	1	51,0	100,5	2042,8	10,4
Pdmáx/a-2%	2	50,4	100,7	1995,0	12,4
Pdmáx/a-2%	3	50,4	100,4	1995,0	10,0
Pdmed/a-2%	1	50,3	100,6	1979,2	10,1
Pdmed/a-2%	2	50,8	100,5	2018,9	11,1
Pdmed/a-2%	3	50,5	101,4	2003,0	10,7
Pdmín/a-2%	1	50,3	100,3	1979,2	11,1
Pdmín/a-2%	2	50,2	100,4	1979,2	11,2
Pdmín/a-2%	3	50,5	100,5	2003,0	9,0*

Nota. Este dato no será considerado para análisis posteriores, debido a la variación del mismo.

Finalizando esta sección, se presentará un espécimen cilíndrico con adición de la celulosa de pino en forma de aserrín, recalcando que es una muestra una vez fallada, así, de forma más gráfica, se logrará apreciar el interior de la misma, observando el comportamiento de la celulosa dentro de la mezcla y en la compactación.

**Figura 37**

*Espécimen cilíndrico con adición de pino-aserrín*



**4.1.5.2 Pino-Fibra.** Una vez finalizados los resultados de la forma pino-aserrín, continúa la última forma evaluada para esta celulosa en concreto, empezando con la matriz de ensayos y continuando con el orden del plan de ensayos. Donde, para esta forma, se trabajó con una adición del 2%, distribuida en 1% en sustitución de agregado fino y 1% en sustitución de agregado grueso.

**Tabla 49**

*Matriz de ensayos pino-fibra*

Código	Forma	Dosificación Sobre kg de Cemento			Número de especímenes a evaluar en estado fresco y endurecido						
					Cohesión	Densidad			Resistencia a la Compresión		
						Máx	Med	Mín	3d	7d	28d
Pdmáx/f-1%	Fibra	1%	-	-	2	3	-	-	3	3	3
Pdmed/f-1%		1%	-	-	2	-	3	-	3	3	3
Pdmín/f-1%		1%	-	-	2	-	-	3	3	3	3
Pdmáx/f-2%		-	2%	-	2	3	-	-	3	3	3
Pdmed/f-2%		-	2%	-	2	-	3	-	3	3	3
Pdmín/f-2%		-	2%	-	2	-	-	3	3	3	3
Pdmáx/f-3%		-	-	3%	2	3	-	-	3	3	3
Pdmed/f-3%		-	-	3%	2	-	3	-	3	3	3
Pdmín/f-3%		-	-	3%	2	-	-	3	3	3	3

Donde:

- ✓ P: pino, d: densidad, máx.: valor máximo, f: fibra, 1%: inclusión de celulosa.

**Tabla 50***Proporción de los agregados en masa (kg) mezcla pino-fibra*

Mezcla	Pino-Fibra 2%
Cemento:Agregado	C:F:G:P
1:10	1:6,63:3,17:0,10

**Tabla 51***Humedad y cohesión de los especímenes pino-fibra*

Mezcla Pino-Fibra 2%			
Código	Masa Húmeda (g)	Humedad (%)	Cohesión (kg)
Pdmáx/f-2%	450	10,8	11,0
Pdmed/f-2%	440	11,0	10,5
Pdmín/f-2%	430	10,5	9,0

**Tabla 52***Densidad y absorción de concreto endurecido mezcla pino-fibra*

Código	Peso Seco H (g)	Peso sss (g)	Peso Sumergido (g)	Absorción (%)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
Pdmáx/f-2%	408,7	444,8	255,5	8,8	2154
Pdmáx/f-2%	411,4	447,1	258,5	8,7	2176
Pdmáx/f-2%	409,1	444,8	257,5	8,7	2179
Pdmed/f-2%	398,9	433,4	242,5	8,6	2084
Pdmed/f-2%	397,6	432,0	241,5	8,7	2082
Pdmed/f-2%	395,1	431,3	239,5	9,2	2055
Pdmín/f-2%	388,6	424,6	236,0	9,3	2055
Pdmín/f-2%	387,4	424,1	235,5	9,5	2049
Pdmín/f-2%	389,5	426,8	236,5	9,6	2042

**Tabla 53***Resultados de mediciones de especímenes pino-fibra a 3 días*

Dimensionamiento de Cilindros Pino-Fibra						
Edad: 3d						
Código	Masa (g)	Especimen	Diámetros (mm)		Longitudes (mm)	
Pdmáx/f-2%	450	1	50,2	50,7	101,4	100,4
Pdmáx/f-2%		2	50,4	50,8	101,5	100,2
Pdmáx/f-2%		3	50,2	50,1	100,9	100,8
Pdmed/f-2%	440	1	50,4	50,2	100,1	100,3
Pdmed/f-2%		2	50,7	50,8	100,2	100,5
Pdmed/f-2%		3	50,2	50,7	100,0	100,4
Pdmín/f-2%	430	1	50,7	49,9	100,1	100,3
Pdmín/f-2%		2	50,6	51,2	100,2	100,5
Pdmín/f-2%		3	50,2	50,8	100,0	100,4

**Tabla 54***Resistencia a la compresión especímenes pino-fibra edad 3 días*

Código	Especimen	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Resistencia (MPa)
Pdmáx/f-2%	1	50,5	100,9	2003,0	5,9
Pdmáx/f-2%	2	50,6	100,9	2003,0	5,7
Pdmáx/f-2%	3	50,2	100,9	1979,2	5,6
Pdmed/f-2%	1	50,3	100,2	1979,2	5,2
Pdmed/f-2%	2	50,8	100,4	2018,9	5,9
Pdmed/f-2%	3	50,5	100,2	2003,0	6,1
Pdmín/f-2%	1	50,3	100,2	1979,2	5,1
Pdmín/f-2%	2	50,9	100,4	2034,8	4,8
Pdmín/f-2%	3	50,5	100,2	2003,0	5,5

**Tabla 55***Resultados de mediciones de especímenes pino-fibra a 7 días*

Dimensionamiento de Cilindros Pino-Fibra						
Edad: 7d						
Código	Masa (g)	Espécimen	Diámetros (mm)		Longitudes (mm)	
Pdmáx/f-2%	450	1	50,8	50,6	100,4	100,6
Pdmáx/f-2%		2	50,4	50,5	100,5	100,3
Pdmáx/f-2%		3	50,1	50,3	100,9	100,8
Pdmed/f-2%	440	1	50,4	50,2	100,6	100,7
Pdmed/f-2%		2	50,7	50,8	100,4	100,5
Pdmed/f-2%		3	50,2	50,7	100,0	100,8
Pdmín/f-2%	430	1	50,7	49,9	100,1	100,6
Pdmín/f-2%		2	50,6	50,2	100,3	100,2
Pdmín/f-2%		3	50,2	50,8	100,0	100,4

**Tabla 56***Resistencia a la compresión especímenes pino-fibra edad 7 días*

Código	Espécimen	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Resistencia (MPa)
Pdmáx/f-2%	1	50,7	100,5	2018,9	6,7
Pdmáx/f-2%	2	50,5	100,4	2003,0	7,5
Pdmáx/f-2%	3	50,2	100,9	1979,2	7,5
Pdmed/f-2%	1	50,3	100,7	1979,2	6,9*
Pdmed/f-2%	2	50,8	100,5	2018,9	8,8
Pdmed/f-2%	3	50,5	100,4	2003,0	8,1
Pdmín/f-2%	1	50,3	100,4	1979,2	8,3
Pdmín/f-2%	2	50,4	100,3	1995,0	7,5
Pdmín/f-2%	3	50,5	100,2	2003,0	8,2

Nota: Este dato no será considerado para análisis posteriores, debido a la variación del mismo.



**Tabla 57***Resultados de mediciones de especímenes pino-fibra a 28 días*

Dimensionamiento de Cilindros Pino-Fibra						
Edad: 28d						
Código	Masa (g)	Especimen	Diámetros (mm)		Longitudes (mm)	
Pdmáx/f-2%	450	1	50,6	50,6	100,4	100,5
Pdmáx/f-2%		2	50,5	50,6	100,8	100,6
Pdmáx/f-2%		3	50,3	50,1	100,3	100,4
Pdmed/f-2%	440	1	50,4	50,2	100,9	100,2
Pdmed/f-2%		2	50,7	50,8	100,5	100,4
Pdmed/f-2%		3	50,2	50,7	101,1	101,6
Pdmín/f-2%	430	1	50,7	50,3	100,1	100,3
Pdmín/f-2%		2	51,3	50,5	100,2	100,5
Pdmín/f-2%		3	50,3	50,4	100,0	100,4

**Tabla 58***Resistencia a la compresión especímenes pino-fibra edad 28 días*

Código	Especimen	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Resistencia (MPa)
Pdmáx/f-2%	1	50,6	100,5	2003,0	7,0
Pdmáx/f-2%	2	50,6	100,7	2003,0	7,0
Pdmáx/f-2%	3	50,2	100,4	1979,2	7,5
Pdmed/f-2%	1	50,3	100,6	1979,2	8,1
Pdmed/f-2%	2	50,8	100,5	2018,9	7,4
Pdmed/f-2%	3	50,5	101,4	2003,0	7,6
Pdmín/f-2%	1	50,5	100,2	2003,0	7,4
Pdmín/f-2%	2	50,9	100,4	2034,8	7,9
Pdmín/f-2%	3	50,4	100,2	1995,0	7,5

Concluyendo así con cada uno de los resultados de la celulosa catalogada con una densidad media (pino), se pudo observar que los resultados de resistencias superaron las exceptivas, además sobrepasando los obtenidos con la celulosa balsa. No obstante, se presentará una fotografía de como luce un espécimen con la adición de pino-fibra, tal y como se ha venido desarrollando en secciones anteriores.

**Figura 38**

*Espécimen cilíndrico con adición de pino-fibra*



#### 4.1.6 Mezcla con Celulosa (Teca)

Para concluir con el apartado 4.1 de resultados, se presentan los mismos de la tercera celulosa planteada, siendo esta una madera densa y, a su vez, con mejores características en comparación con las ya expuestas. El orden será el mismo que se ha desarrollado y de las 2 mismas formas planteadas.

**4.1.6.1 Teca-Aserrín.** Forma evaluada con el mismo porcentaje elegido, no obstante, se presentará la matriz de ensayos completas con la que se experimentó.

**Tabla 59**

*Matriz de ensayos teca-aserrín*

Código	Forma	Dosificación Sobre kg de Cemento			Número de especímenes a evaluar en estado fresco y endurecido						
					Cohesión	Densidad			Resistencia a la Compresión		
						Máx	Med	Mín	3d	7d	28d
Tdmáx/a-2%	Aserrín	2%	-	-	2	3	-	-	3	3	3
Tdmed/a-2%		2%	-	-	2	-	3	-	3	3	3
Tdmín/a-2%		2%	-	-	2	-	-	3	3	3	3
Tdmáx/a-4%		-	4%	-	2	3	-	-	3	3	3
Tdmed/a-4%		-	4%	-	2	-	3	-	3	3	3
Tdmín/a-4%		-	4%	-	2	-	-	3	3	3	3
Tdmáx/a-6%		-	-	6%	2	3	-	-	3	3	3
Tdmed/a-6%		-	-	6%	2	-	3	-	3	3	3
Tdmín/a-6%		-	-	6%	2	-	-	3	3	3	3

Donde:

✓ T: teca, d: densidad, máx.: valor máximo, a: aserrín, 2%: inclusión de celulosa.

**Tabla 60**

*Proporción de los agregados en masa (kg) mezcla teca-aserrín*

Mezcla	Teca-Aserrín 2%
Cemento:Agregado	C:F:G:T
1:10	1:6,56:3,20:0,14

Donde:

✓ C: cemento, F: agregado fino, G: agregado grueso, T: celulosa teca.

**Tabla 61***Humedad y cohesión de los especímenes teca-aserrín*

Mezcla Teca-Aserrín 2%			
Código	Masa Húmeda (g)	Humedad (%)	Cohesión (kg)
Tdmáx/a-2%	450	8,3	16,0
Tdmed/a-2%	440	10,1	12,5
Tdmín/a-2%	430	10,0	11,0

**Tabla 62***Densidad y absorción de concreto endurecido mezcla teca-aserrín*

Código	Peso Seco H (g)	Peso sss (g)	Peso Sumergido (g)	Absorción (%)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
Tdmáx/a-2%	416,8	447,4	252,5	7,3	2133
Tdmáx/a-2%	416,7	449,4	257,0	7,8	2160
Tdmáx/a-2%	415,5	444,9	254,5	7,1	2177
Tdmed/a-2%	400,6	434,6	249,0	8,5	2153
Tdmed/a-2%	401,5	435,7	248,0	8,5	2134
Tdmed/a-2%	407,3	441,9	253,5	8,5	2156
Tdmín/a-2%	397,3	432,3	245,0	8,8	2116
Tdmín/a-2%	393,9	427,8	243,5	8,6	2132
Tdmín/a-2%	393,4	426,7	243,5	8,5	2142

**Tabla 63***Resultados de mediciones de especímenes teca-aserrín a 3 días*

Dimensionamiento de Cilindros Teca-Aserrín						
Edad: 3d						
Código	Masa (g)	Especimen	Diámetros (mm)		Longitudes (mm)	
Tdmáx/a-2%	450	1	51,2	50,1	100,4	100,5
Tdmáx/a-2%		2	50,8	50,3	100,9	100,3
Tdmáx/a-2%		3	49,9	50,4	101,0	100,9
Tdmed/a-2%	440	1	50,2	50,3	101,4	100,4
Tdmed/a-2%		2	50,1	50,2	101,5	100,2
Tdmed/a-2%		3	50,7	50,3	100,9	100,8
Tdmín/a-2%	430	1	50,1	50,0	100,5	100,8
Tdmín/a-2%		2	49,1	51,1	100,0	100,1
Tdmín/a-2%		3	50,5	51,1	100,0	100,2

**Tabla 64***Resistencia a la compresión especímenes teca-aserrín edad 3 días*

Código	Especimen	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Resistencia (MPa)
Tdmáx/a-2%	1	50,7	100,5	2018,9	8,9
Tdmáx/a-2%	2	50,6	100,6	2003,0	8,2
Tdmáx/a-2%	3	50,2	101,0	1979,2	7,9
Tdmed/a-2%	1	50,3	100,9	1979,2	7,2
Tdmed/a-2%	2	50,2	100,9	1979,2	6,8
Tdmed/a-2%	3	50,5	100,9	2003,0	6,7
Tdmín/a-2%	1	50,1	100,7	1963,5	6,4
Tdmín/a-2%	2	50,1	100,1	1963,5	5,9
Tdmín/a-2%	3	50,8	100,1	2018,9	5,4

**Tabla 65***Resultados de mediciones de especímenes teca-aserrín a 7 días*

Dimensionamiento de Cilindros Teca-Aserrín						
Edad: 7d						
Código	Masa (g)	Especimen	Diámetros (mm)		Longitudes (mm)	
Tdmáx/a-2%	450	1	50,6	50,6	100,4	100,5
Tdmáx/a-2%		2	50,5	50,6	100,8	100,6
Tdmáx/a-2%		3	50,3	50,1	100,3	100,4
Tdmed/a-2%	440	1	50,4	50,2	100,1	100,2
Tdmed/a-2%		2	50,7	50,8	100,2	100,5
Tdmed/a-2%		3	50,2	50,7	100,5	100,7
Tdmín/a-2%	430	1	50,7	50,3	100,3	100,9
Tdmín/a-2%		2	51,3	50,5	100,4	100,2
Tdmín/a-2%		3	50,3	50,4	100,6	100,0

**Tabla 66***Resistencia a la compresión especímenes teca-aserrín edad 7 días*

Código	Especimen	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Resistencia (MPa)
Tdmáx/a-2%	1	50,6	100,5	2003,0	10,7
Tdmáx/a-2%	2	50,6	100,7	2003,0	8,3*
Tdmáx/a-2%	3	50,2	100,4	1979,2	10,0
Tdmed/a-2%	1	50,3	100,2	1979,2	8,0
Tdmed/a-2%	2	50,8	100,4	2018,9	8,5
Tdmed/a-2%	3	50,5	100,6	2003,0	7,0
Tdmín/a-2%	1	50,5	100,6	2003,0	9,4
Tdmín/a-2%	2	50,9	100,3	2034,8	7,1*
Tdmín/a-2%	3	50,4	100,3	1995,0	9,2

Nota: Este dato no será considerado para análisis posteriores, debido a la variación del mismo.

**Tabla 67***Resultados de mediciones de especímenes teca-aserrín a 28 días*

Dimensionamiento de Cilindros Teca-Aserrín						
Edad: 28d						
Código	Masa (g)	Especímen	Diámetros (mm)		Longitudes (mm)	
Tdmáx/a-2%	450	1	51,2	50,1	100,4	100,5
Tdmáx/a-2%		2	50,8	50,3	100,8	100,6
Tdmáx/a-2%		3	49,9	50,4	100,3	100,4
Tdmed/a-2%	440	1	50,4	50,2	100,1	100,2
Tdmed/a-2%		2	50,7	50,8	100,2	100,5
Tdmed/a-2%		3	50,2	50,7	100,5	100,7
Tdmín/a-2%	430	1	50,7	50,3	100,3	100,9
Tdmín/a-2%		2	51,3	50,5	100,4	100,2
Tdmín/a-2%		3	50,3	50,4	100,6	100,0

**Tabla 68***Resistencia a la compresión especímenes teca-aserrín edad 28 días*

Código	Especímen	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Resistencia (MPa)
Tdmáx/a-2%	1	50,7	100,5	2018,9	10,4
Tdmáx/a-2%	2	50,6	100,7	2003,0	9,4*
Tdmáx/a-2%	3	50,2	100,4	1979,2	12,6
Tdmed/a-2%	1	50,3	100,2	1979,2	10,0
Tdmed/a-2%	2	50,8	100,4	2018,9	11,0
Tdmed/a-2%	3	50,5	100,6	2003,0	11,3
Tdmín/a-2%	1	50,5	100,6	2003,0	10,3
Tdmín/a-2%	2	50,9	100,3	2034,8	10,7
Tdmín/a-2%	3	50,4	100,3	1995,0	11,0

Nota: Este dato no será considerado para análisis posteriores, debido a la variación del mismo

Dando así por concluido el análisis de los resultados obtenidos de cada uno de los ensayos que se evaluaron en los especímenes con la adición de teca-aserrín, no sin antes mostrar la característica imagen de la muestra con celulosa.

**Figura 39**

*Especimen cilíndrico con adición de teca-aserrín*





**4.1.6.2 Teca-Fibra.** Última evaluación de la forma fibra en la celulosa teca, además de los últimos resultados que serán planteados, finalizando así el apartado 4.1.

**Tabla 69**

*Matriz de ensayos teca-fibra*

Código	Forma	Dosificación Sobre kg de Cemento			Número de especímenes a evaluar en estado fresco y endurecido						
					Cohesión	Densidad			Resistencia a la Compresión		
						Máx	Med	Mín	3d	7d	28d
Tdmáx/f-1%	Fibra	1%	-	-	2	3	-	-	3	3	3
Tdmed/f-1%		1%	-	-	2	-	3	-	3	3	3
Tdmín/f-1%		1%	-	-	2	-	-	3	3	3	3
Tdmáx/f-2%		-	2%	-	2	3	-	-	3	3	3
Tdmed/f-2%		-	2%	-	2	-	3	-	3	3	3
Tdmín/f-2%		-	2%	-	2	-	-	3	3	3	3
Tdmáx/f-3%		-	-	3%	2	3	-	-	3	3	3
Tdmed/f-3%		-	-	3%	2	-	3	-	3	3	3
Tdmín/f-3%		-	-	3%	2	-	-	3	3	3	3

Donde:

✓ T: teca, d: densidad, máx.: valor máximo, f: fibra, 1%: inclusión de celulosa

**Tabla 70**

*Proporción de los agregados en masa (kg) mezcla teca-fibra*

Mezcla	Teca-Fibra 2%
Cemento:Agregado	C:F:G:T
1:10	1:6,63:3,17:0,10

**Tabla 71**

*Humedad y cohesión de los especímenes teca-fibra*

Mezcla Teca-Fibra 2%			
Código	Masa Húmeda (g)	Humedad (%)	Cohesión (kg)
Tdmáx/f-2%	450	7,9	11,5
Tdmed/f-2%	440	8,5	11,0
Tdmín/f-2%	430	8,4	9,5

**Tabla 72***Densidad y absorción de concreto endurecido mezcla teca-fibra*

Código	Peso Seco H (g)	Peso sss (g)	Peso Sumergido (g)	Absorción (%)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
Tdmáx/f-2%	415,7	453,2	260,5	9,0	2152
Tdmáx/f-2%	412,9	450,4	260,0	9,1	2163
Tdmáx/f-2%	417,9	456,7	262,5	9,3	2147
Tdmed/f-2%	406,8	443,9	255,0	9,1	2148
Tdmed/f-2%	405,2	441,9	252,5	9,1	2134
Tdmed/f-2%	404,1	440,7	252,0	9,1	2136
Tdmín/f-2%	398,3	435,8	249,0	9,4	2127
Tdmín/f-2%	399,3	435,9	248,5	9,2	2125
Tdmín/f-2%	399,0	436,5	249,0	9,4	2123

**Tabla 73***Resultados de mediciones de especímenes teca-fibra a 3 días*

Dimensionamiento de Cilindros Teca-Fibra						
Edad: 3d						
Código	Masa (g)	Especímen	Diámetros (mm)		Longitudes (mm)	
Tdmáx/f-2%	450	1	51,2	50,1	101,4	100,4
Tdmáx/f-2%		2	50,8	50,3	101,5	100,2
Tdmáx/f-2%		3	49,9	50,4	100,9	100,8
Tdmed/f-2%	440	1	50,2	50,3	100,1	100,3
Tdmed/f-2%		2	50,1	50,2	100,2	100,5
Tdmed/f-2%		3	50,7	50,3	100,0	100,4
Tdmín/f-2%	430	1	50,1	50,0	100,1	100,3
Tdmín/f-2%		2	49,1	51,1	100,2	100,5
Tdmín/f-2%		3	50,5	51,1	100,0	100,4

**Tabla 74***Resistencia a la compresión especímenes teca-fibra edad 3 días*

Código	Especimen	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Resistencia (MPa)
Tdmáx/f-2%	1	50,7	100,9	2018,9	6,5
Tdmáx/f-2%	2	50,6	100,9	2003,0	6,9
Tdmáx/f-2%	3	50,2	100,9	1979,2	8,6
Tdmed/f-2%	1	50,3	100,2	1979,2	6,1
Tdmed/f-2%	2	50,2	100,4	1979,2	7,8
Tdmed/f-2%	3	50,5	100,2	2003,0	7,8
Tdmín/f-2%	1	50,1	100,2	1963,5	6,9
Tdmín/f-2%	2	50,1	100,4	1963,5	8,3
Tdmín/f-2%	3	50,8	100,2	2018,9	6,5

**Tabla 75***Resultados de mediciones de especímenes teca-fibra a 7 días*

Dimensionamiento de Cilindros Teca-Fibra						
Edad: 7d						
Código	Masa (g)	Especimen	Diámetros (mm)		Longitudes (mm)	
Tdmáx/f-2%	450	1	50,8	50,6	101,4	100,4
Tdmáx/f-2%		2	50,4	50,5	100,5	100,2
Tdmáx/f-2%		3	50,1	50,3	100,7	100,8
Tdmed/f-2%	440	1	50,1	50,0	100,1	100,3
Tdmed/f-2%		2	49,1	51,1	100,2	100,5
Tdmed/f-2%		3	50,5	51,1	100,0	100,4
Tdmín/f-2%	430	1	50,7	49,9	100,1	100,3
Tdmín/f-2%		2	50,6	50,2	100,2	100,5
Tdmín/f-2%		3	50,2	50,8	100,0	100,4

**Tabla 76***Resistencia a la compresión especímenes teca-fibra edad 7 días*

Código	Especimen	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Resistencia (MPa)
Tdmáx/f-2%	1	50,7	100,9	2018,9	9,0
Tdmáx/f-2%	2	50,5	100,4	2003,0	9,5
Tdmáx/f-2%	3	50,2	100,8	1979,2	8,6
Tdmed/f-2%	1	50,1	100,2	1963,5	7,5*
Tdmed/f-2%	2	50,1	100,4	1963,5	9,5
Tdmed/f-2%	3	50,8	100,2	2018,9	8,7
Tdmín/f-2%	1	50,3	100,2	1979,2	8,0
Tdmín/f-2%	2	50,4	100,4	1995,0	8,1
Tdmín/f-2%	3	50,5	100,2	2003,0	8,4

Nota: Este dato no será considerado para análisis posteriores, debido a la variación del mismo

**Tabla 77***Resultados de mediciones de especímenes teca-fibra a 28 días*

Dimensionamiento de Cilindros Teca-Fibra						
Edad: 28d						
Código	Masa (g)	Especimen	Diámetros (mm)		Longitudes (mm)	
Tdmáx/f-2%	450	1	50,6	50,6	100,1	100,3
Tdmáx/f-2%		2	50,5	50,6	100,2	100,5
Tdmáx/f-2%		3	50,3	50,1	100,0	100,4
Tdmed/f-2%	440	1	50,4	50,2	100,9	100,2
Tdmed/f-2%		2	50,7	50,8	100,5	100,4
Tdmed/f-2%		3	50,2	50,7	101,1	101,6
Tdmín/f-2%	430	1	50,5	50,7	100,4	100,1
Tdmín/f-2%		2	50,0	50,9	100,2	100,6
Tdmín/f-2%		3	50,1	50,4	100,5	100,4

**Tabla 78***Resistencia a la compresión especímenes teca-fibra edad 28 días*

Código	Especimen	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Resistencia (MPa)
Tdmáx/f-2%	1	50,6	100,2	2003,0	9,7
Tdmáx/f-2%	2	50,6	100,4	2003,0	10,7
Tdmáx/f-2%	3	50,2	100,2	1979,2	10,9
Tdmed/f-2%	1	50,3	100,6	1979,2	11,4
Tdmed/f-2%	2	50,8	100,5	2018,9	11,8
Tdmed/f-2%	3	50,5	101,4	2003,0	11,1
Tdmín/f-2%	1	50,6	100,3	2003,0	12,0
Tdmín/f-2%	2	50,5	100,4	2003,0	10,6
Tdmín/f-2%	3	50,3	100,5	1979,2	10,8

Dando así fin a este apartado del capítulo 4, seguidamente, se mostrará la imagen ya representativa del espécimen con la adición de esta forma de celulosa y, posteriormente, se presentará el análisis a fondo de cada uno de estos resultados planteados.

**Figura 40**

*Espécimen cilíndrico con adición de teca-fibra*



#### **4.2 Análisis de Resultados**

Una vez finalizado el apartado 4.1, se procederá analizar los resultados planteados, esto con detenimiento. Además de expresar lo que se mostrará en los siguientes gráficos, es importante destacar que se evaluarán como un conjunto de datos, es decir, para este apartado se implementará el uso de la división por forma de celulosa, un gráfico únicamente con celulosa-aserrín y otro con celulosa-fibra; además, algunos de estos se dividieron por tipo de densidad, ya sea la máxima, media y la mínima. Por último, se analizarán datos promediados.

El orden del planteamiento es el siguiente, se analizará como actuó el porcentaje de humedad en cada una de las masas para cada una de las mezclas, seguidamente del análisis del porcentaje de absorción y sus densidades obtenidas, dividida por mezclas al igual que la humedad, llegando así a las resistencias, donde primeramente se tiene una comparación del incremento de la resistencia según su edad, también se analizará la correlación de resistencia vs. densidad, finalizando con la curva de desarrollo de resistencia, dividida por mezclas para mayor comprensión.

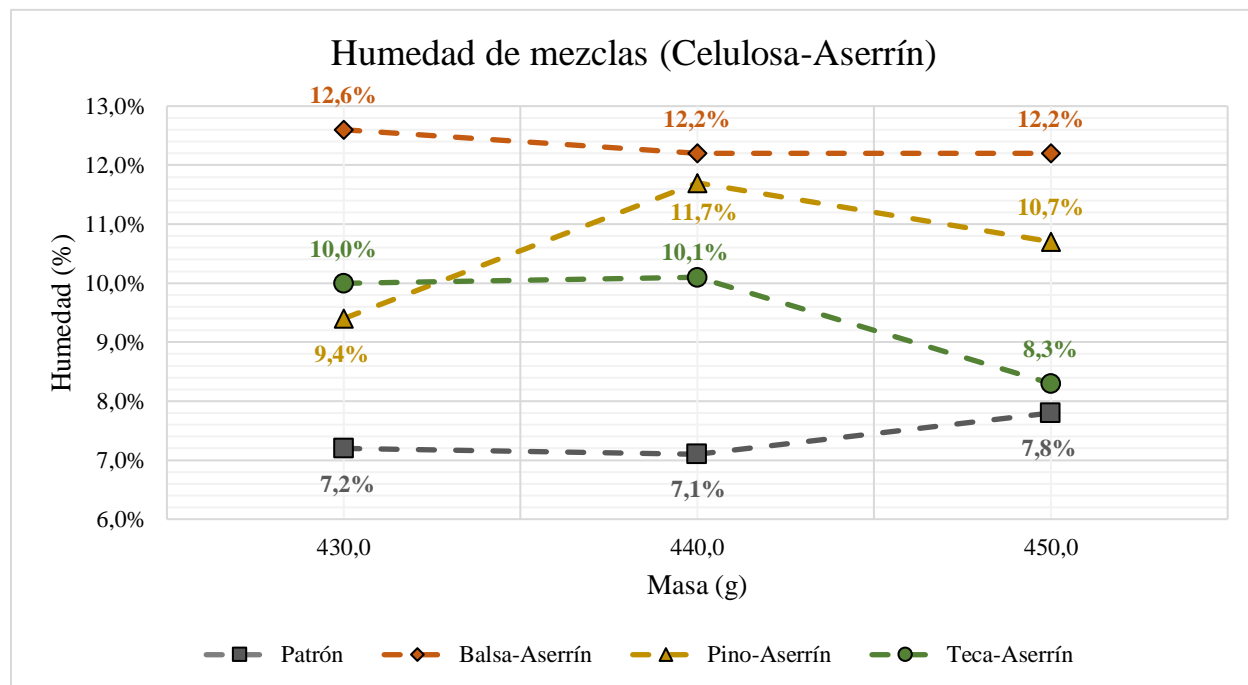
Los resultados de cohesión se tratarán únicamente como mención, ya que, tal y como se apreció en el apartado 4.1, todas las mezclas cumplieron con el requisito límite y, debido a eso, se llega al punto de haber realizado el resto de ensayos para la misma. Destacando así la óptima cohesividad entre los agregados empleados y, a su vez, lo bien que se comportaron los especímenes de prueba con la sustitución de agregado e inclusión de celulosa.

#### ***4.2.1 Humedad de Mezclas***

Ya contando con el diseño de mezcla estipulado y, a su vez, cada uno de los agregados a usar, se comenzó con la elaboración de las mezclas, esto según su tipo, tal y como se ha mencionado en capítulos anteriores. Una vez que se comenzó a moldear los especímenes, uno de los primeros pasos a efectuar era obtener el porcentaje de humedad para la masa de la que estaban conformados, es decir, de acuerdo con el planteamiento, se trabajaron tres densidades distintas, la forma para lograr esto era variando la masa en un rango de 10 g a 15 g, con el fin de observar la forma y tipo de celulosa, esto con el mismo diseño de mezcla que tanto influye variar 10 g en los especímenes, además de analizar el comportamiento de humedad con la mezcla patrón y las que llevan la inclusión de celulosa.

Recalcando que, para obtener cuánta agua se le debía adicionar a la mezcla se partió con una relación agua-cemento de 0,35, una vez comprobada esta relación, con ayuda de encargados de laboratorio, además de consejos de los mismos, se llegó a una cantidad de agua para la mezcla patrón y una para las celulosas en sus distintas formas, donde se empleó una técnica de campo que sería presionar la mezcla con la mano y ver su compactación, definiendo así una humedad óptima y trabajable.

**Figura 41**  
 Porcentaje de humedad de mezcla patrón vs. celulosa-aserrín



De la figura 41, se puede observar el planteamiento mencionado que muestra el desarrollo de humedad únicamente para las mezclas que se elaboraron con la inclusión de aserrín con cada una de las celulosas, claro, siempre desde la comparación de la mezcla patrón.

Se puede apreciar un incremento en el porcentaje de humedad de las mezclas con aserrín, en gran medida se debe a que, como se ha mencionado, el aserrín se sustituyó por un porcentaje de agregado fino, a primera impresión, si este se expresa en forma de masa, no es un valor elevado, pero lo que sucede con el aserrín es que 100 g del mismo en volumen es una cantidad abrumadora en comparación a 100 g de agregado fino. Además de esto, la absorción que tiene el aserrín es muchísimo más alta en comparación al agregado fino; en consecuencia, al incluir aserrín en la mezcla, se necesita más agua para que esta sea más trabajable, y claramente incrementaría su humedad.

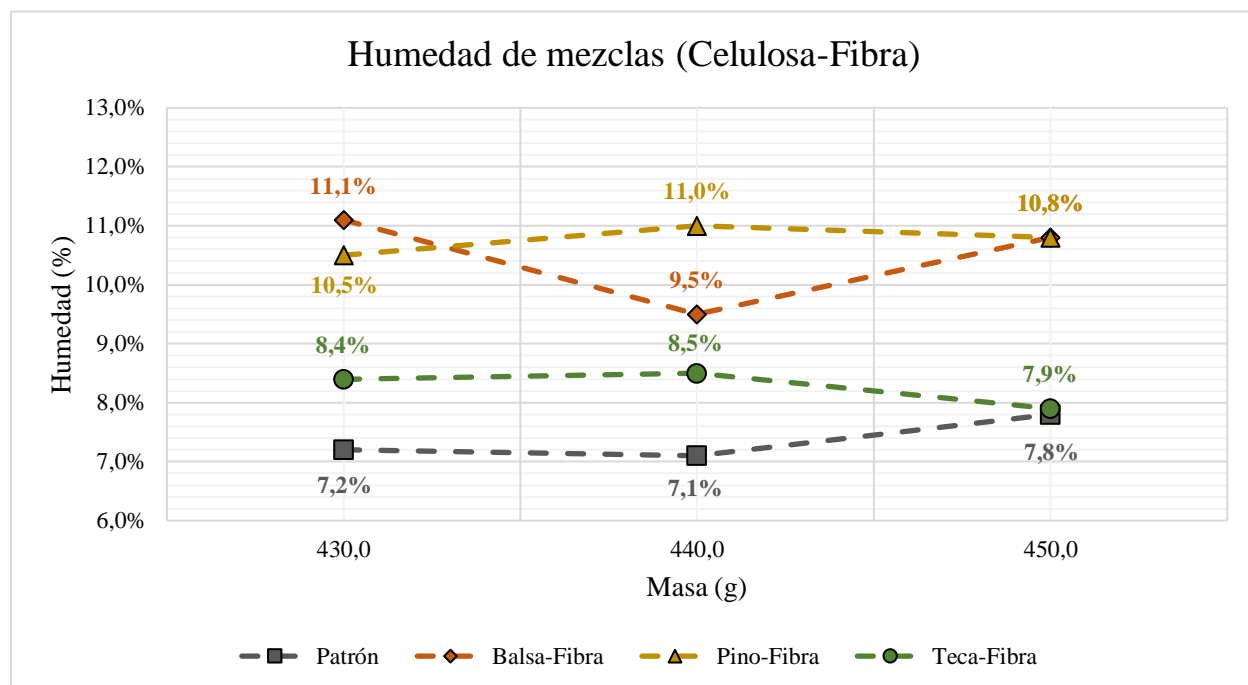
Según los parámetros que se manejaron, el mismo diseño de mezcla, los mismos agregados, variando únicamente su tipo de celulosa, pero en una forma igual; aun así, la balsa-aserrín presenta una humedad muy elevada en comparación a la demás mezclas. Esto es fundamentalmente debido al tipo de madera, es decir, la balsa es una celulosa muy liviana; por tanto, para lograr alcanzar el



peso que se necesitaba, requería una mayor cantidad de la misma, llevándonos así a que, volumétricamente, la cantidad es muy elevada.

Caso contrario con el pino y la teca, siguen estando en su forma de aserrín pero son maderas más densas, por ende más pesadas, donde para alcanzar el peso requerido, volumétricamente, la cantidad era menor en comparación con la balsa. Al poseer mayor cantidad de aserrín y debido a su absorción, la mezcla de balsa-aserrín se mantenía más húmeda, dando así los resultados mostrados. Como se puede observar, las mezclas de pino-aserrín y teca-aserrín cuentan con humedades mayores con respecto al patrón por la diferencia de adición de agua; no obstante, son valores que no se alejaron mucho de la misma.

**Figura 42**  
Porcentaje de humedad de mezcla patrón vs. celulosa-fibra



La figura 42 presenta únicamente resultados de la forma de fibra, donde se puede apreciar cierta diferencia de porcentajes de humedad con respecto al aserrín, hasta cierto punto, se puede reflejar el mismo análisis, ya que la balsa presenta un poco más de humedad en comparación con las demás mezclas, donde se puede apreciar cierta inconsistencia de valores en esta y también en la celulosa de pino, porque sus humedades varían entre sí, causas de esto pueden ser que las bandejas donde se vertieron las masas estuviesen un poco más húmedas y, por ende, se traslada a

la misma mezcla; el carretillo donde se elaboró la mezcla tenía un poco de agua, entre otras. Esta al ser una forma completamente diferente al aserrín, es decir, al adicionarse agua, no se vuelve pastosa. Se les incorporó menos agua a las mezclas con esta adición de celulosa que con la celulosa-aserrín, a raíz de esto, se refleja también esa diferencia de humedad.

Con esta forma ocurrió lo mismo que para el aserrín, en balsa, la cantidad que se necesitaba en términos de volumen era muy alta en comparación con el pino y la teca, destacando que la teca-fibra obtuvo valores cercanos a la mezcla patrón y acá es donde se refleja el tipo de celulosa que es, una densa que requiere poca adición volumétrica, obteniendo así resultados favorables y destacables.

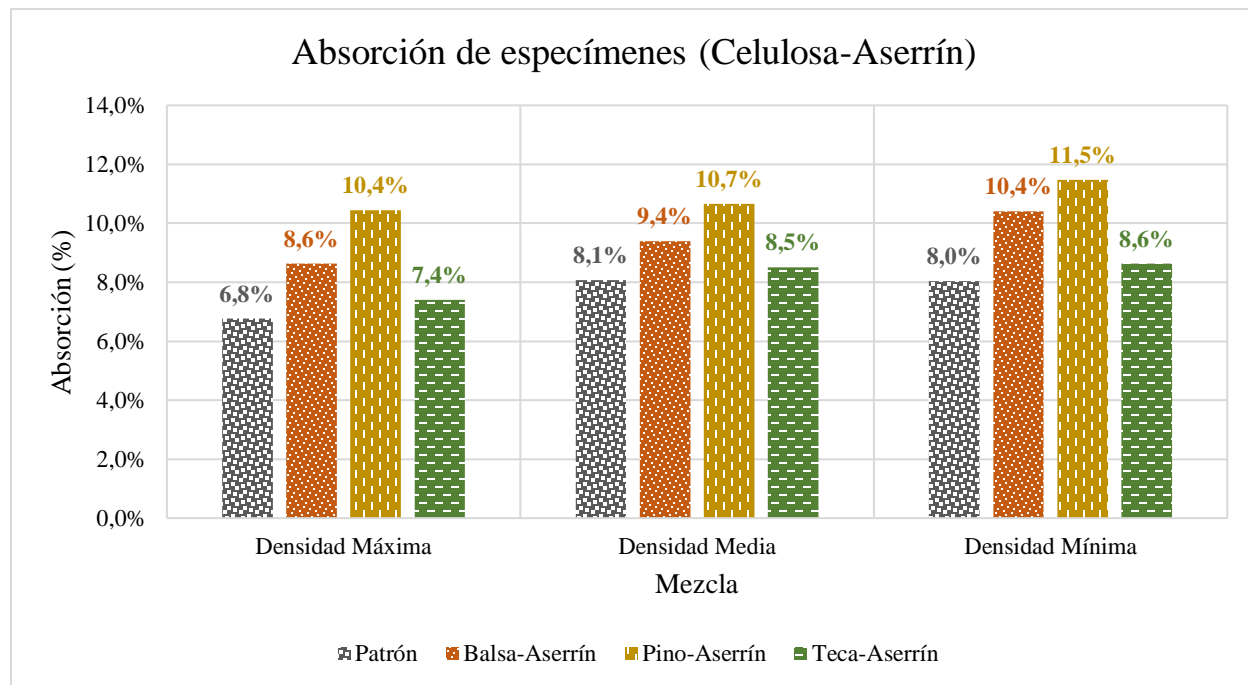
#### **4.2.2 *Absorción de Especímenes***

Una vez elaborados todos los especímenes requeridos, según lo planteado en las matrices de ensayos, mediante el método y fórmulas establecidas en el capítulo 3 apartado 3.4.5, se procede a obtener el porcentaje de absorción de los mismos, donde los gráficos siguientes serán evaluados por las dos formas distintas: celulosa-aserrín y celulosa-fibra, cada una de las mezclas, con la comparación del patrón, además estarán divididas por densidades, así se apreciará como varía su absorción en cuestión de la masa.

Básicamente, consiste en someter a los especímenes cilíndricos a la inmersión de agua hasta su saturación y, posteriormente, su secado. Estos deberán ser sumergidos en un lapso de  $\pm$  24 horas, destacando que estos datos fueron obtenidos de especímenes curados a los 28 días.

**Figura 43**

Porcentaje de absorción de especímenes patrón vs. celulosa-aserrín



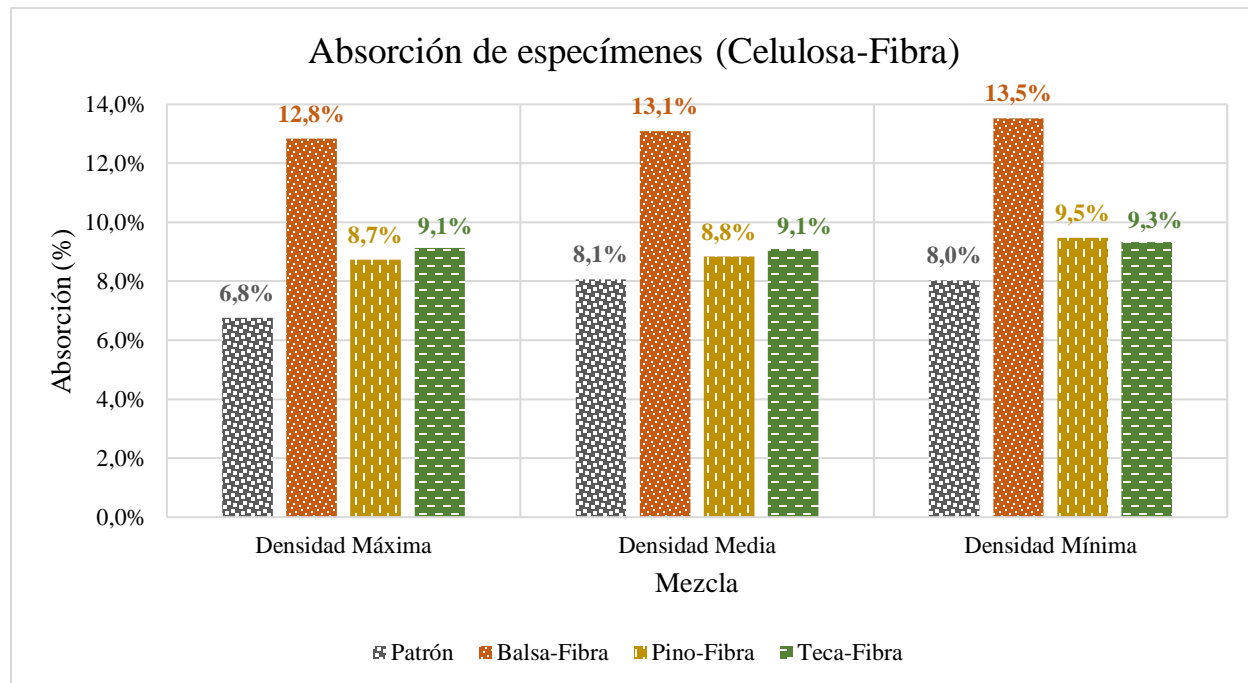
El proceso para el cálculo de este porcentaje es extenso en cuestión de los datos que se deben obtener, como bien se mostró en el apartado 3.4.5, ya que parte del desarrollo del mismo requiere el peso sumergido, el peso saturado superficie seca y, por último, el peso seco, un ensayo que requiere de dos días para efectuarse.

Como se puede apreciar en la figura 43, estos porcentajes varían según su densidad, cuanto menos masa o peso tenga el espécimen, mayor será su absorción, donde se puede ver un porcentaje de hasta el 11,5% para la mezcla de pino-aserrín. En cuestión del por qué es mayor su absorción según se disminuye de densidad o masa, es debido a la cantidad de material que este tiene, es decir, un espécimen con 450 g de peso en comparación a unos 440 g o 430 g, posee menos agregado grueso, menos agregado fino y puede ser que, en ciertas ocasiones, más aserrín; llevándonos a un resultado de densidad menor, como se detallará posteriormente.

La dispersión entre algunos de los datos se da por cuestiones de cronología, ciertos especímenes llegaban a pasar más de 24 horas sumergidos, absorbiendo agua, entonces a la hora de llegar a estimar los pesos mencionados, esto jugaba un papel importante, a su vez, los pesos obtenidos no eran muy distantes entre sí.

**Figura 44**

Porcentaje de absorción de especímenes patrón vs. celulosa-fibra



Las absorciones que presentan las celulosas en forma de fibra en la figura 44, no se pueden relacionar de cierta manera con la forma de aserrín, además de que para esta forma se reemplazó un porcentaje de agregado fino y otro de agregado grueso. Como se puede apreciar, la diferencia entre ellas es notable; una de las características de la fibra o de los especímenes con adición de celulosa-fibra, es que al estar sumergidos, en algunos casos hasta más de 24 horas, pueden llegar a retener mucha agua, tal y como se aprecia, lo cual arrojó resultados sobre pesos más elevados en comparación de los especímenes con aserrín.

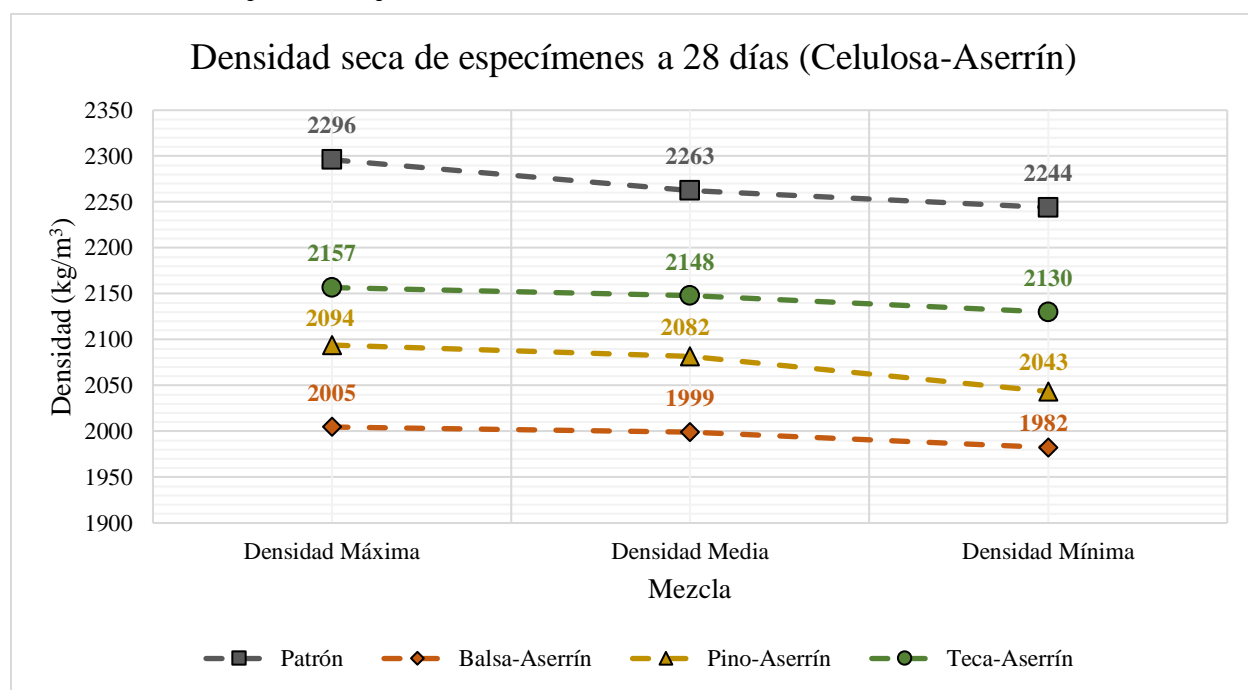
Hasta cierto punto, se poseen aspectos positivos y negativos al presentar absorciones elevadas, puede ser beneficioso para el mismo producto y negativo en relación con hasta qué punto se verá afectada la resistencia.

### 4.2.3 Densidad Seca de Especímenes a 28 Días

Como se había planteado, únicamente se les estimó la densidad seca a los especímenes a los 28 días de curado. Lo que se detallará posteriormente es un gráfico lineal, donde se ve de cierta forma el decremento de las densidades obtenidas, estas divididas por tipos de formas y ordenado según su densidades, la máxima, la media y la mínima. Cada una de estas siempre comparada desde el patrón, para así analizar el comportamiento de los especímenes que poseen celulosa y detallar si se podría catalogar como una mezcla liviana.

**Figura 45**

*Densidad seca de especímenes patrón vs. celulosa-aserrín*

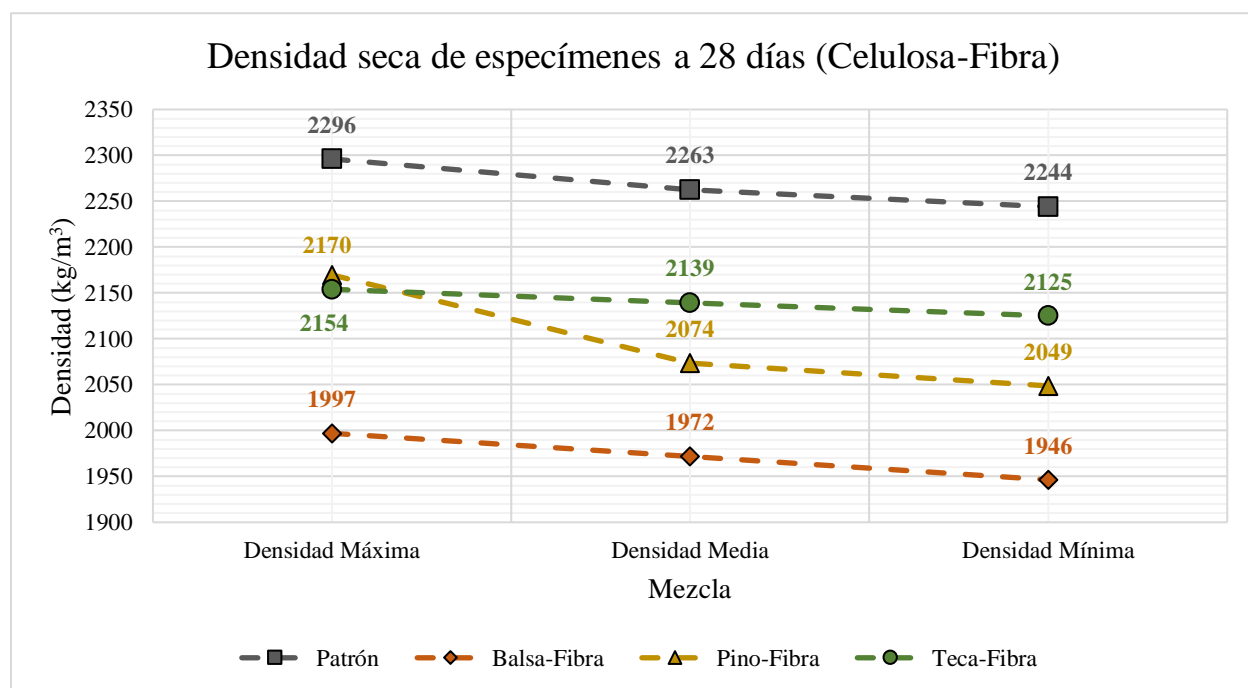


La figura 45 expresa el comportamiento de las densidades según su mezcla de una forma sencilla, únicamente para la celulosa-aserrín. Como se puede observar, en este caso van en decremento, en función de su tipo de densidad o masa, ya que en secciones anteriores se ha mencionado que la densidad máxima equivale a los especímenes con una masa de 450 g, la densidad media para los especímenes de 440 g y la densidad mínima para los de 430 g. La conducta de estos es la esperada, cuanto menos masa posee el espécimen cilíndrico, menor va a ser su densidad. Destacando que, entre la más baja se encuentra el valor de 1982 kg/m<sup>3</sup> de la balsa-aserrín, cerca del rango para ser catalogada como una mezcla liviana.

Dentro del mismo gráfico se puede relacionar las densidades obtenidas según el tipo de celulosa que es, es decir, al ser la balsa una celulosa tan liviana, se obtuvieron valores de densidades livianas; el pino, al ser una celulosa de densidad media, los valores se reflejan como tal; por último, en el caso de la teca que es celulosa catalogada como densa, sus valores de densidades son elevados, lo que lleva a la conclusión que se comporta en una forma escalonada. Esto es debido, fundamentalmente, a la cantidad de aserrín que se debía adicionar en la mezcla, como se ha mencionado, se requería la misma cantidad en masa para todas las celulosas, pero, volumétricamente, no eran cantidades igualitarias, por ende, cuanto más aserrín posea la mezcla, más liviana puede llegar a ser, impactando directamente en la pérdida de resistencia, como se detallará posteriormente.

**Figura 46**

*Densidad seca de especímenes patrón vs. celulosa-fibra*



La figura 46 presenta básicamente lo mismo que la figura 45, aunque se trate de formas distintas, las densidades siguen el mismo orden de decremento y, a su vez, cuanto más liviana la celulosa, menor la densidad estimada.

Se puede observar un valor disperso entre el resto, el de 2170 kg/m<sup>3</sup> para la pino-fibra, las razones de esto pueden ser que a los especímenes de densidad máxima (450 g) se les pudo haber

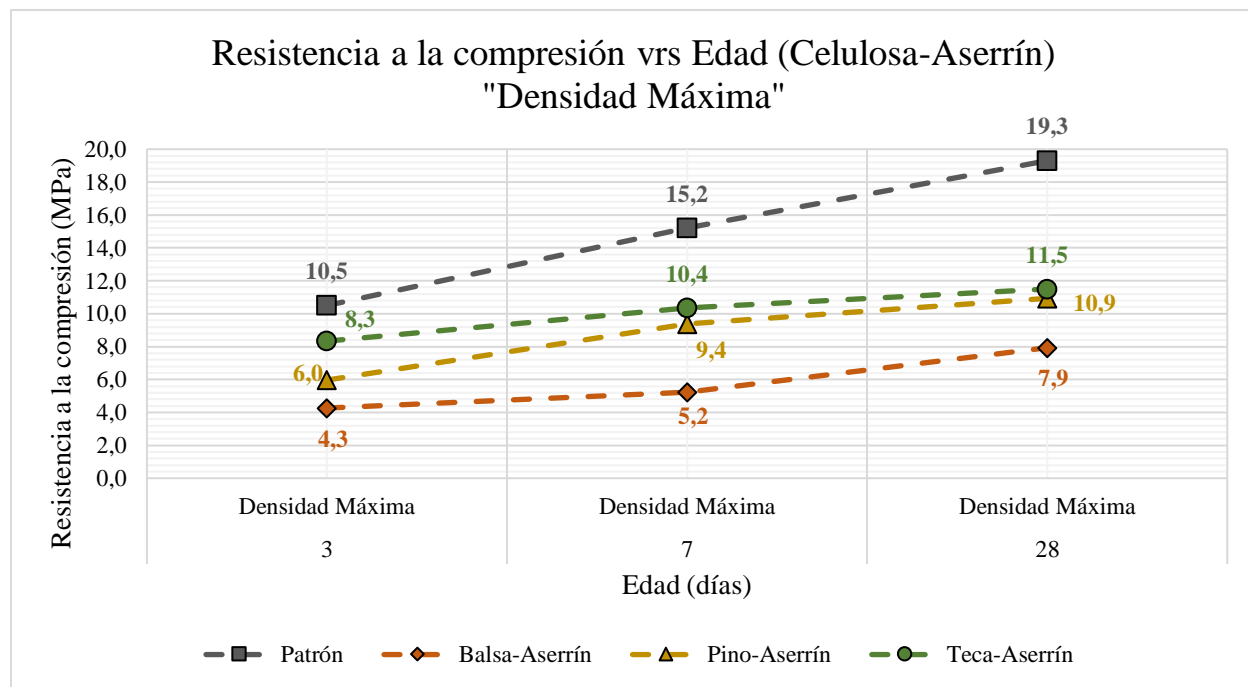
adicionado un poco más de masa por error, dando así un resultado mayor del que debería para este tipo de celulosa; no obstante, el resto sí sigue su flujo normal y esperado.

#### 4.2.4 Resistencia a la Compresión de Especímenes vs. Edad

Parte del desarrollo del trabajo de investigación, es analizar cómo se comportaron las resistencias a través de los días de cura con la variedad de especímenes que se contaban, en este caso, ya sea con las distintas celulosas, además las distintas masas de los mismos, es por eso que, en este apartado, se detallará un conjunto de seis gráficos, de los cuales tres de ellos son únicamente para la celulosa-aserrín, divididos según su densidad para que haya una igualdad de comparación y, por último, los siguientes tres serán de las mezclas con celulosa-fibra. Estas mismas servirán de forma representativa, donde se tendrán los resultados obtenidos en un formato de gráfica lineal a fin de detallar la variedad de resistencias entre sí, siempre en comparación directa con los resultados obtenidos de la mezcla patrón.

**Figura 47**

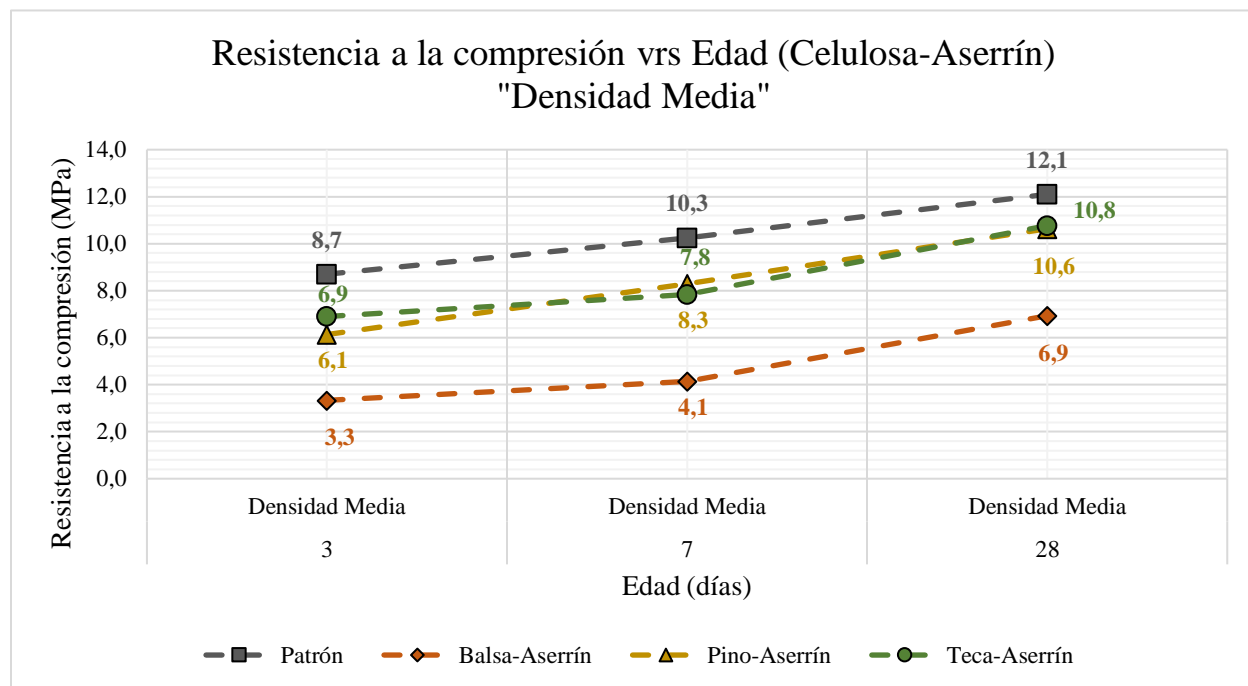
*Resistencia a la compresión de especímenes-aserrín de densidad máxima*



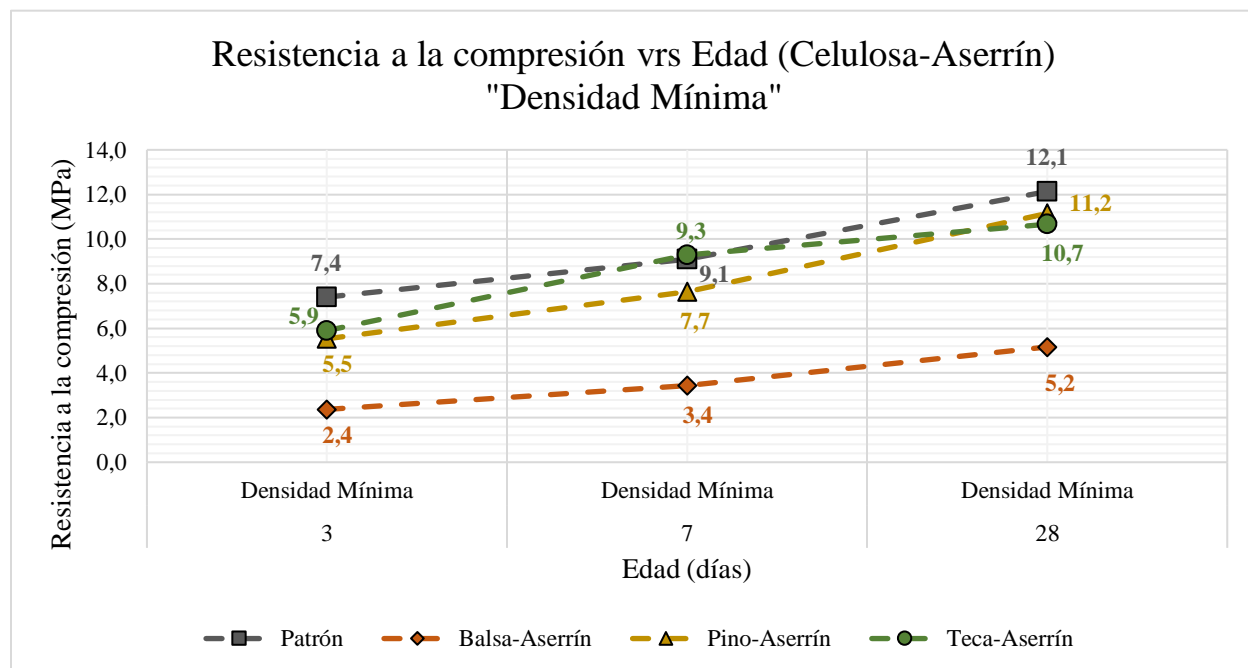
Básicamente, en la figura 47 se puede apreciar que las resistencias aumentan con base en la cantidad de días que llevan de cura en la caja de espuma de poliestireno; para los especímenes elaborados con teca-aserrín y pino-aserrín, los valores son destacables y optimistas según lo planteado para el presente trabajo de investigación, en vista de que superan los 8,0 MPa.

**Figura 48**

Resistencia a la compresión de especímenes-aserrín de densidad media

**Figura 49**

Resistencia a la compresión de especímenes-aserrín de densidad mínima



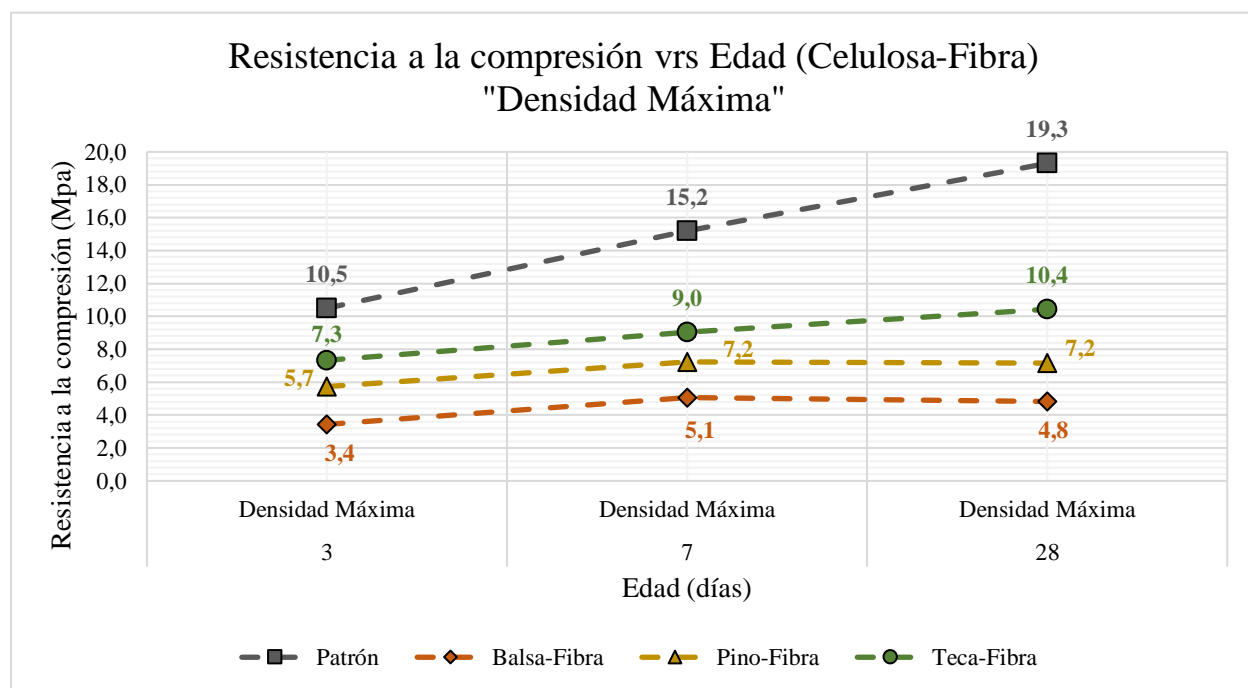


De las figuras mostradas anteriormente, se puede observar el mismo comportamiento de aumento de resistencia según su edad, destacando que las mezclas con pino-aserrín y teca-aserrín, siguen arrojando resultados favorables, es decir, han cumplido con cada una de las estipulaciones para que lleguen a ser unas mezclas óptimas de desarrollo para cualquier producto realizado mediante la vibrocompactación.

Es importante destacar que, en la figura 47, se puede observar que la teca-aserrín, desde una edad temprana, ya estará cumpliendo con el mínimo de resistencia estipulado para el presente trabajo; dando así confianza para su uso, la pino-aserrín se empieza a desarrollar mejor después de los 7 días. En su defecto, para las demás densidades, es decir, la media y la mínima, la resistencia a edad temprana no muestra este comportamiento, pero sí se obtienen los valores deseados una vez transcurridos los siete días de cura. Finalizando, la balsa-aserrín no presenta ningún desarrollo óptimo en su variedad de densidades y de días de cura, por ende, se puede llegar a descartar como una de las opciones para desarrollos de mezclas.

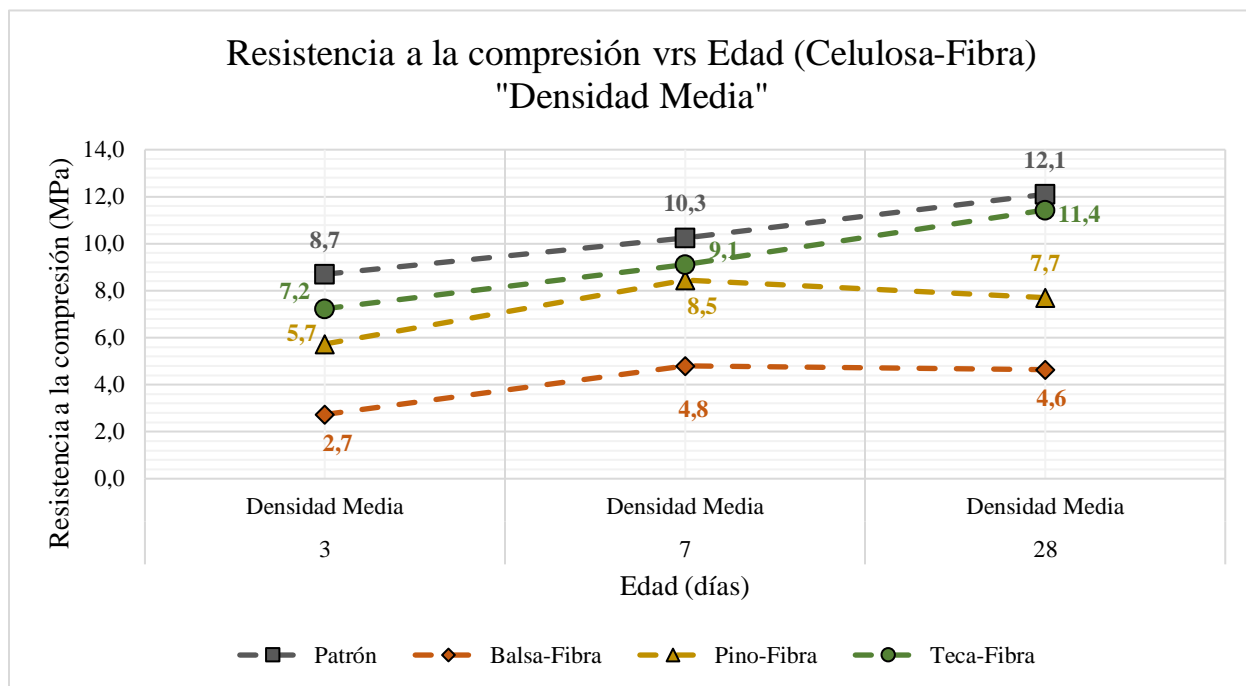
**Figura 50**

*Resistencia a la compresión de especímenes-fibra de densidad máxima*

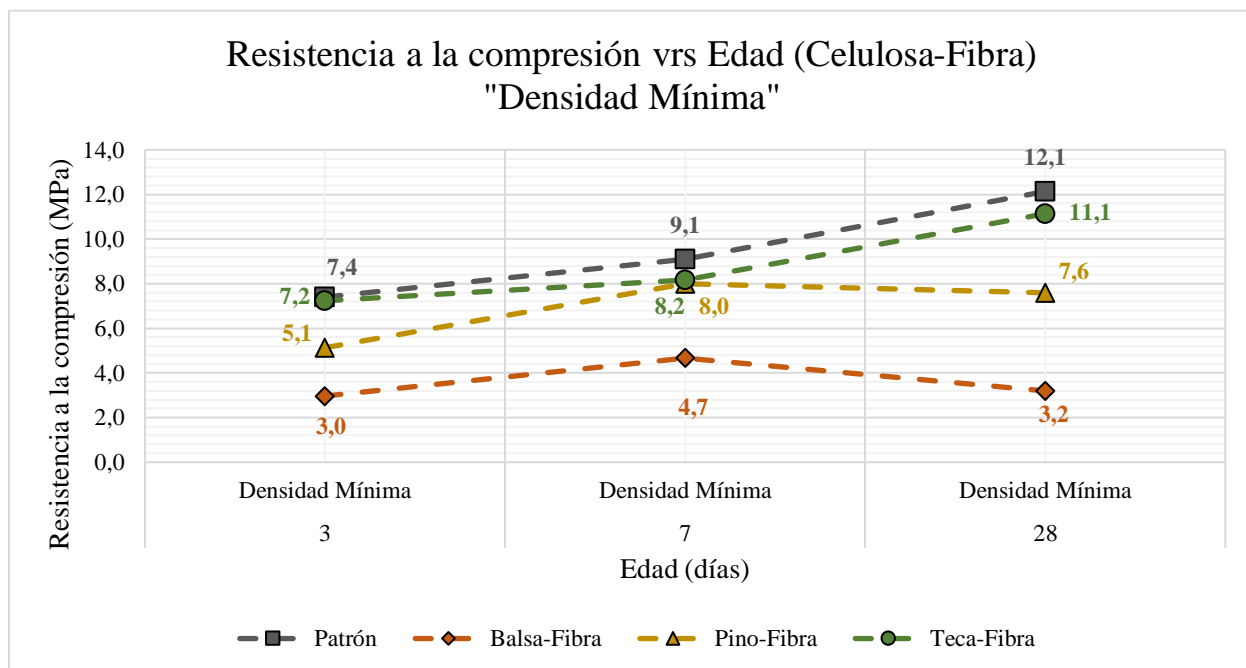


**Figura 51**

Resistencia a la compresión de especímenes-fibra de densidad media

**Figura 52**

Resistencia a la compresión de especímenes-fibra de densidad mínima



En función de las figuras de celulosa-fibra mostradas anteriormente, estas presentan, de cierta forma, un mismo comportamiento que las mezclas con celulosa-aserrín y las resistencias incrementan según su edad; destacando que los resultados de pino-fibra se salen de este análisis, o sea, como se puede observar en la figura 50, la figura 51 y la 52, al llegar a los 28 días de cura, estas tienden a bajar la resistencia, las razones de esto pueden ser que los especímenes contaban con menos masa de la que se necesitaba, fueron mal moldeados y, por ende, la máquina de falla hacía que estos se fracturaran más rápido, etc.

No obstante, se puede mencionar que en las tres figuras de celulosa-fibra a una edad temprana, como lo es tres días, estas no cumplen con el mínimo de resistencia establecido, pero una vez transcurridos estos días sí llega a incrementar su resistencia. Además, al igual que con el aserrín, las mezclas con balsa-fibra no lograron desarrollar la resistencia necesaria.

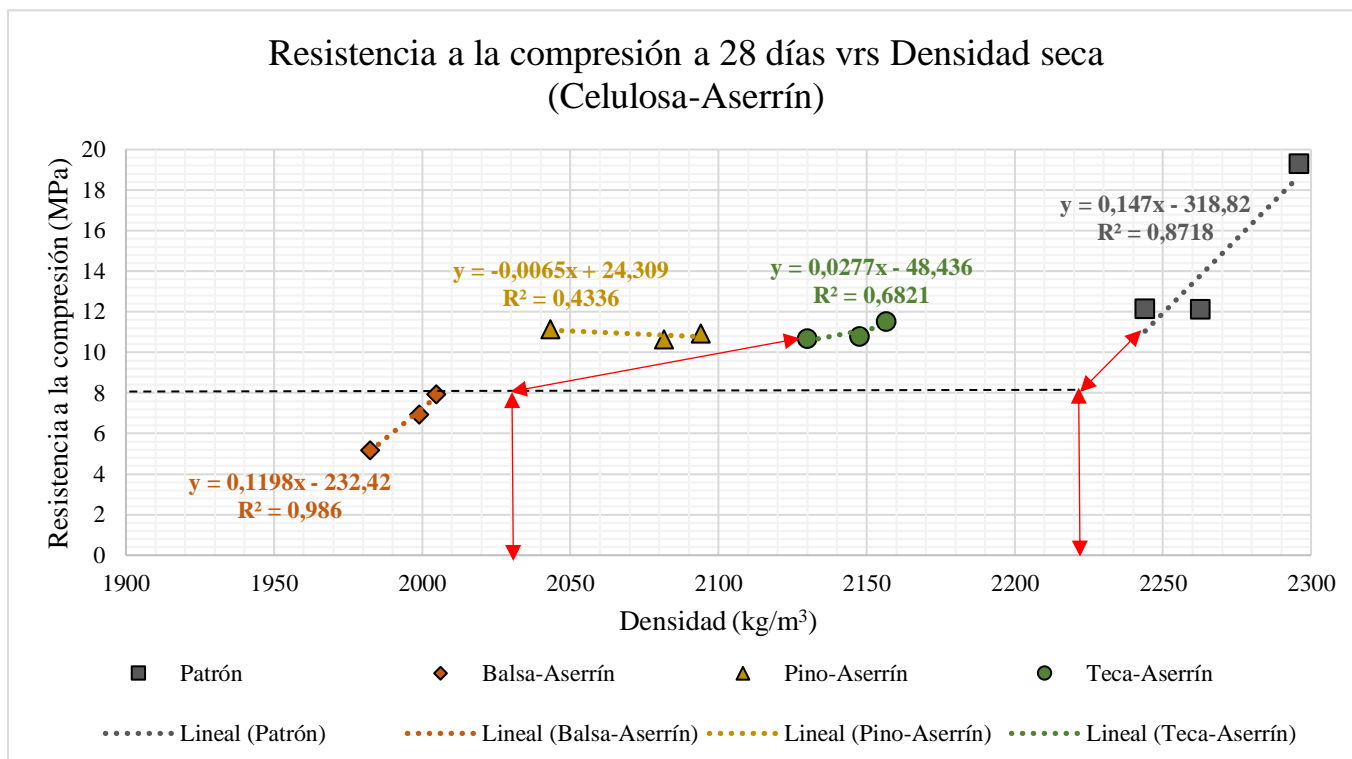
#### ***4.2.5 Correlación de Resistencia a la Compresión vs. Densidad Seca***

Este apartado es la representación de uno de los gráficos planteados por Frasson Jr., cuya investigación trata de ejemplificar qué densidad es la que se necesita para obtener una resistencia funcional según sea su objetivo, ya sea en la producción de bloques, adoquines, etc. Donde, los siguientes gráficos contarán con la división de formas de celulosas; además, estos se mostrarán con la proyección de una línea de tendencia, para así lograr obtener una predicción de qué será funcional y qué no. Es importante destacar que, para el presente trabajo, se estableció una resistencia mínima a la compresión de 8,0 MPa, empero, gran parte de las mezclas superaron este valor, así se apreció en la sección 4.2.4.

Una vez establecida la línea de tendencia según la unión de sus puntos en función de la variedad de densidades, se proyectará una precisión solo para la resistencia establecida, para conocer qué densidad evaluar, ya que con estas exactitudes de valores, se desarrollan las calibraciones a las máquinas de vibrocompactación, logrando así desarrollar el producto deseado.

**Figura 53**

Resistencia a la compresión vs. densidad, mezcla celulosa-aserrín



En la figura 53, se muestra lo planteado anteriormente. Representa la tendencia que tienen las densidades de los especímenes en función de su resistencia, recalcando que, ambos datos son de especímenes curados a los 28 días. La dispersión de los datos o líneas entre sí se da por la diferencia de resistencias entre una mezcla y otra, lo que impide apreciar de una manera adecuada a como se plantea en la metodología de Frasson Jr., no obstante, claramente se puede ver lo funcional que pueden llegar a ser las mezclas de pino-aserrín y teca-aserrín que, con densidades menores a la mezcla patrón, se obtienen resistencias favorables.

Ya contando con el planteamiento de las mezclas, además de sus comportamientos, la que cuenta con mejores resultados y características es la mezcla de teca-aserrín, si lo que se quiere obtener es un valor preciso de densidad para la resistencia estipulada de 8,0 MPa, la proyección es la que se presenta con líneas de color rojo y negro, donde el cálculo de este, es únicamente de la línea de tendencia  $y$ , a su vez, reemplazar el valor de “ $y$ ” por los 8,0 MPa que se quieren en la fórmula de la ecuación, y esto nos da una densidad de:

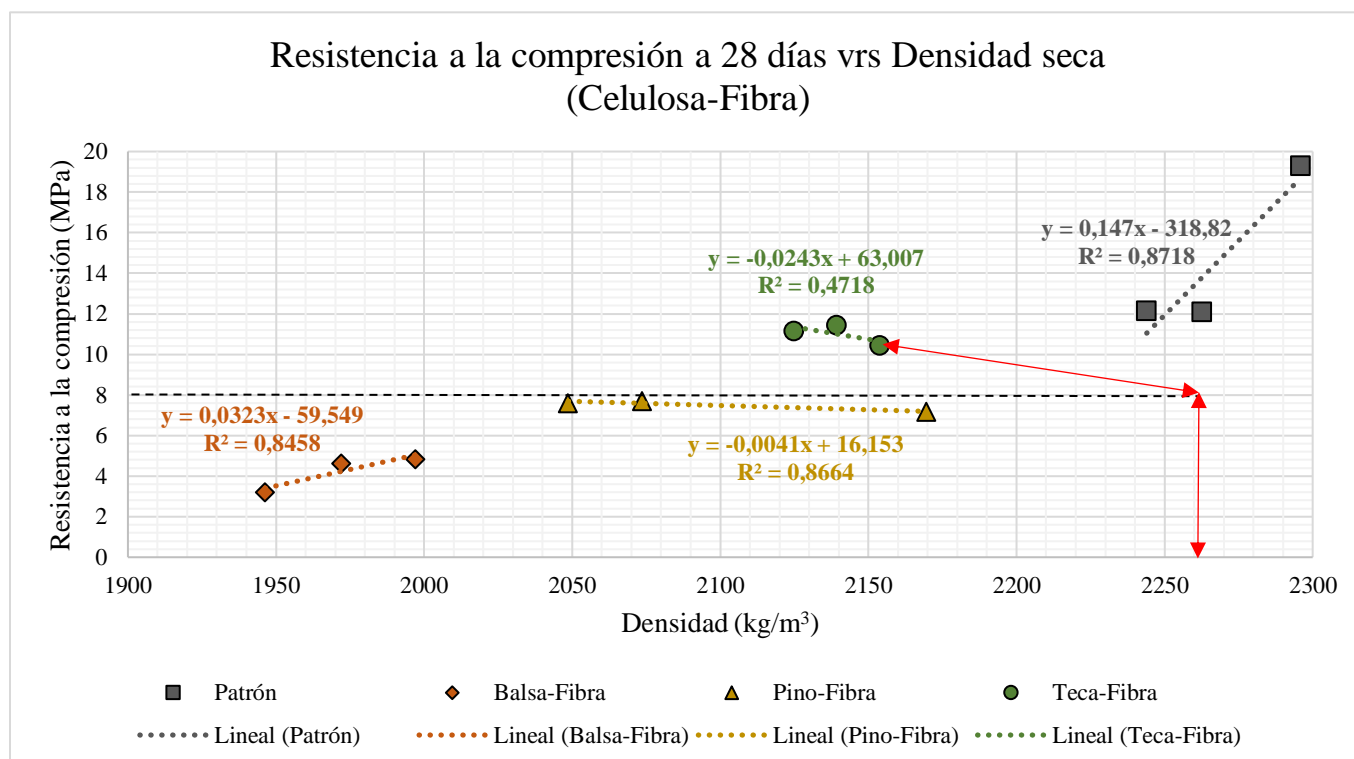
$$8,0 = 0,0277x - 48,436: 2037 \text{ kg/m}^3$$

Correlacionada con la mezcla patrón en la que ambas mezclas se reflejan con una igualdad de resistencias, en la mezcla sin adición de celulosa, se requiere una densidad de:

$$8,0 = 0,147x - 318,82: 2223 \text{ kg/m}^3$$

**Figura 54**

*Resistencia a la compresión vs. densidad, mezcla celulosa-fibra*



Básicamente, la figura 54 ejemplifica lo mismo que se estipuló anteriormente, como se puede apreciar, el gráfico mostrado presenta valores de las mezclas con adición de celulosa en forma de fibra que, hasta cierto punto, permite apreciar dos igualdades con la forma de aserrín, la balsa es una celulosa poco funcional, aunque esta disminuye el valor de densidad, es decir, es más liviana.

Sus resistencias son muy poco prácticas para elementos estructurales y, por último, el buen desempeño que sigue teniendo la mezcla con teca, sin importa su forma planteada, además, con unos valores de densidad prácticamente similares a como se aprecia en la figura 53. Para finalizar, el comportamiento de la correlación de la mezcla teca-fibra, se refleja diferente a la teca-aserrín,

ya que la tendencia que tiene la curva hace que su densidad sea más elevada para obtener una resistencia de 8 MPa.

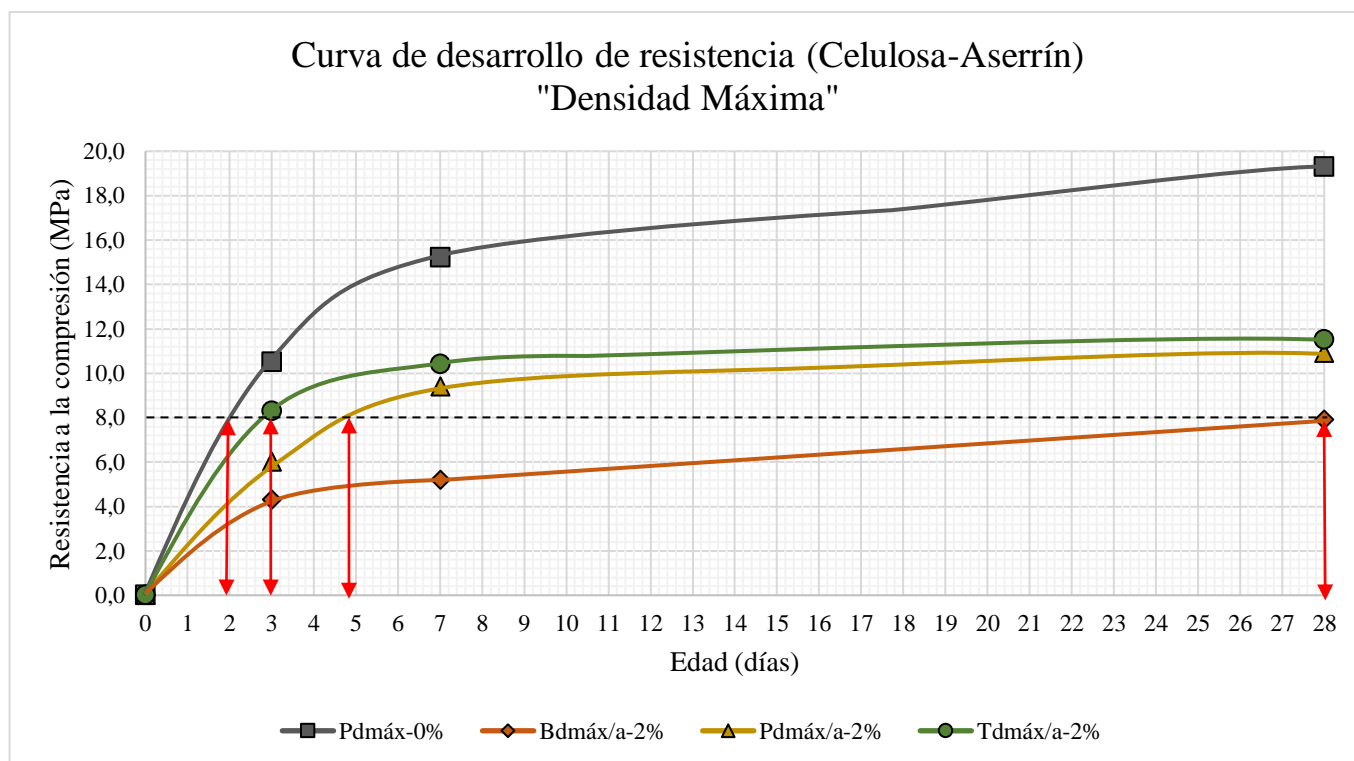
$$8,0 = -0,0243x + 63,007: 2264 \text{ kg/m}^3$$

#### 4.2.6 Curvas de Desarrollo de Resistencia

Finalizando la sección de análisis y, a su vez, el presente capítulo, se detallarán las curvas de desarrollo de resistencia de cada una de las mezclas, estas divididas en formas de celulosa y tipos de densidades para así tener una igualdad de comparación de una mezcla con otra y observar el desempeño de los especímenes a través de los días de cura. Cada una de las gráficas que se presentarán están comparadas siempre desde la mezcla patrón, esto para analizar como decrece su resistencia en función del tipo de celulosa que se le incorporó.

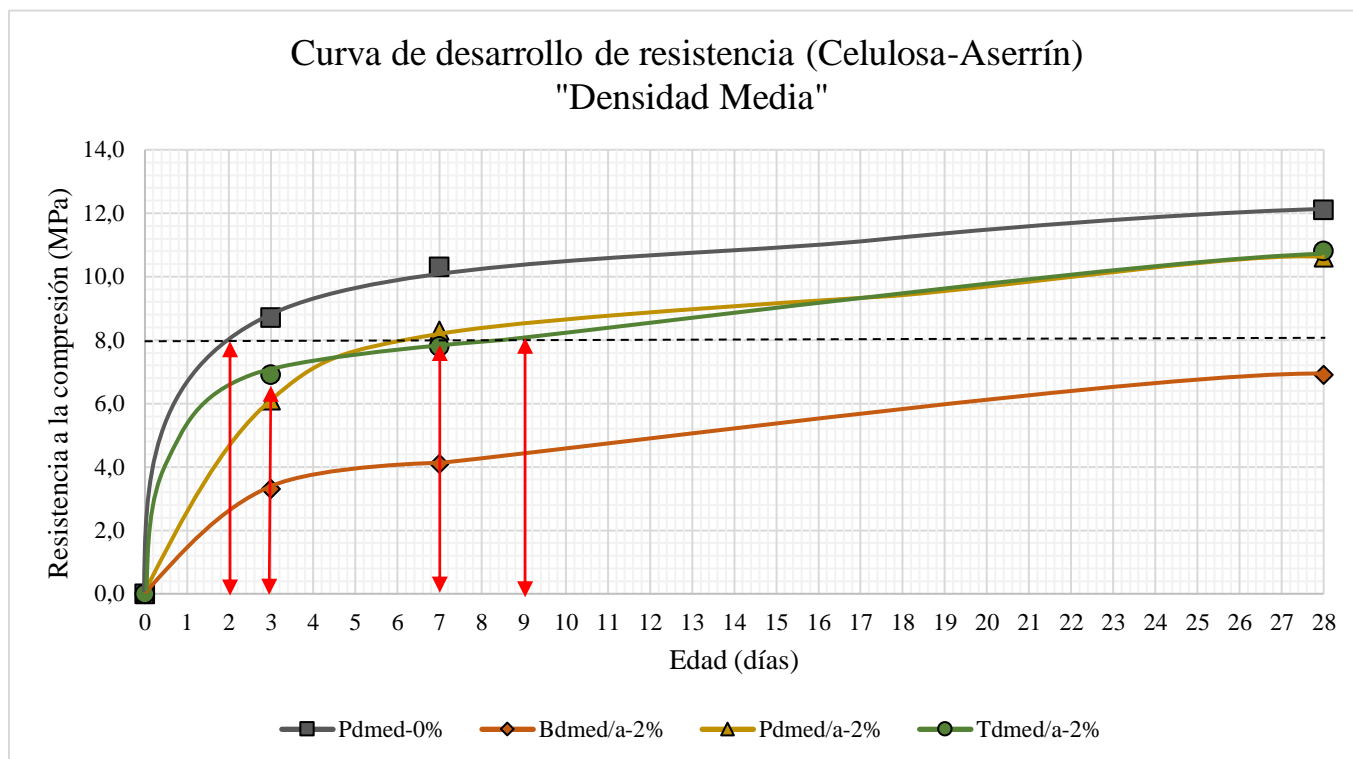
**Figura 55**

*Curva de desarrollo de resistencia de especímenes-aserrín de densidad máxima*

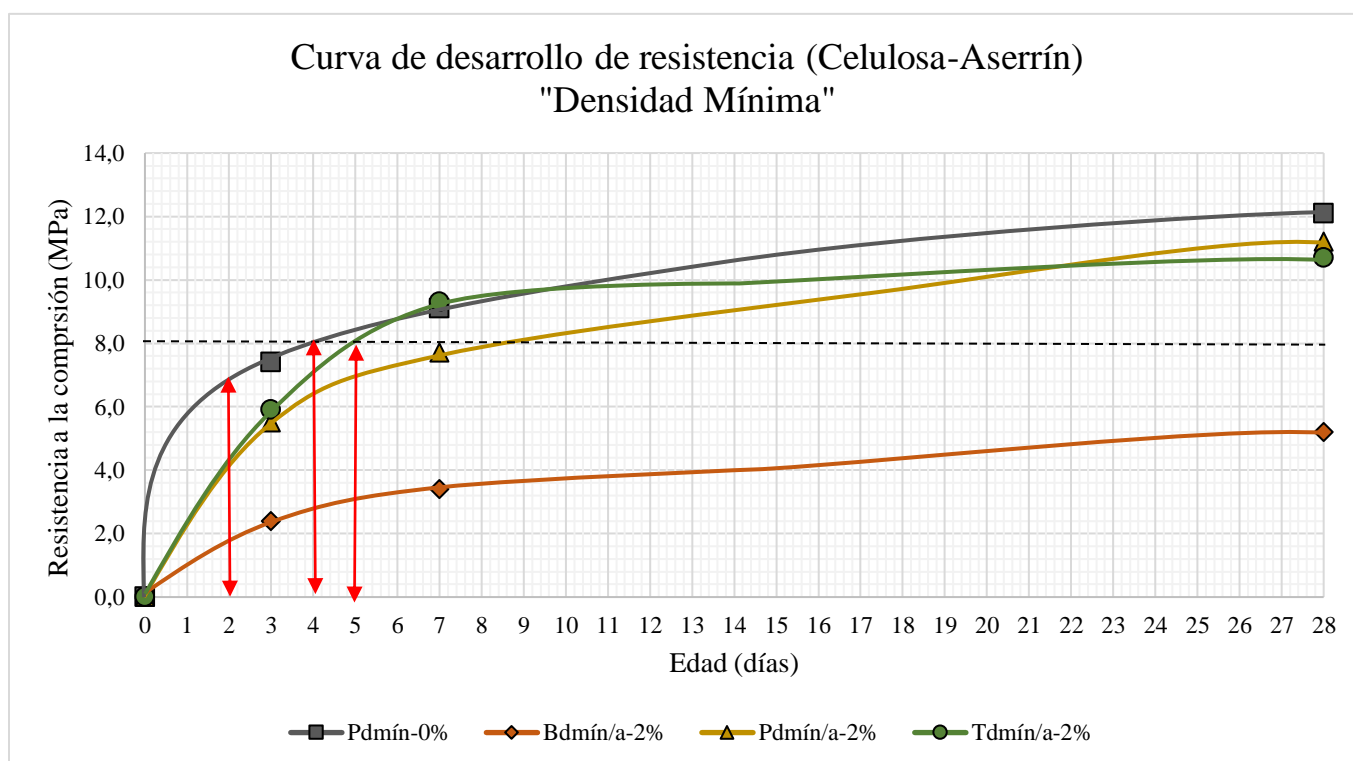


**Figura 56**

Curva de desarrollo de resistencia de especímenes-aserrín de densidad media

**Figura 57**

Curva de desarrollo de resistencia de especímenes-aserrín de densidad mínima



Según el comportamiento de las figuras anteriores, se puede notar el desempeño de los especímenes a través de los días, hasta cierto punto, la mejor conducta se aprecia en la figura 55, ya que esta presenta un mejor acomodo del crecimiento de las curvas, uno de los motivos de esto debe ser la buena compactación de los especímenes, tener poco desperdicio en su masa, es decir, si su masa era de 450 g, prácticamente se logró y no se perdió material a la hora de moldear y, por último, destacar nuevamente el buen comportamiento de la mezcla de teca-aserrín, siendo esta la más constante desde un inicio, ya sea para la cohesión que poseen los especímenes cilíndricos, la trabajabilidad y su gran resistencia en edades tan tempranas.

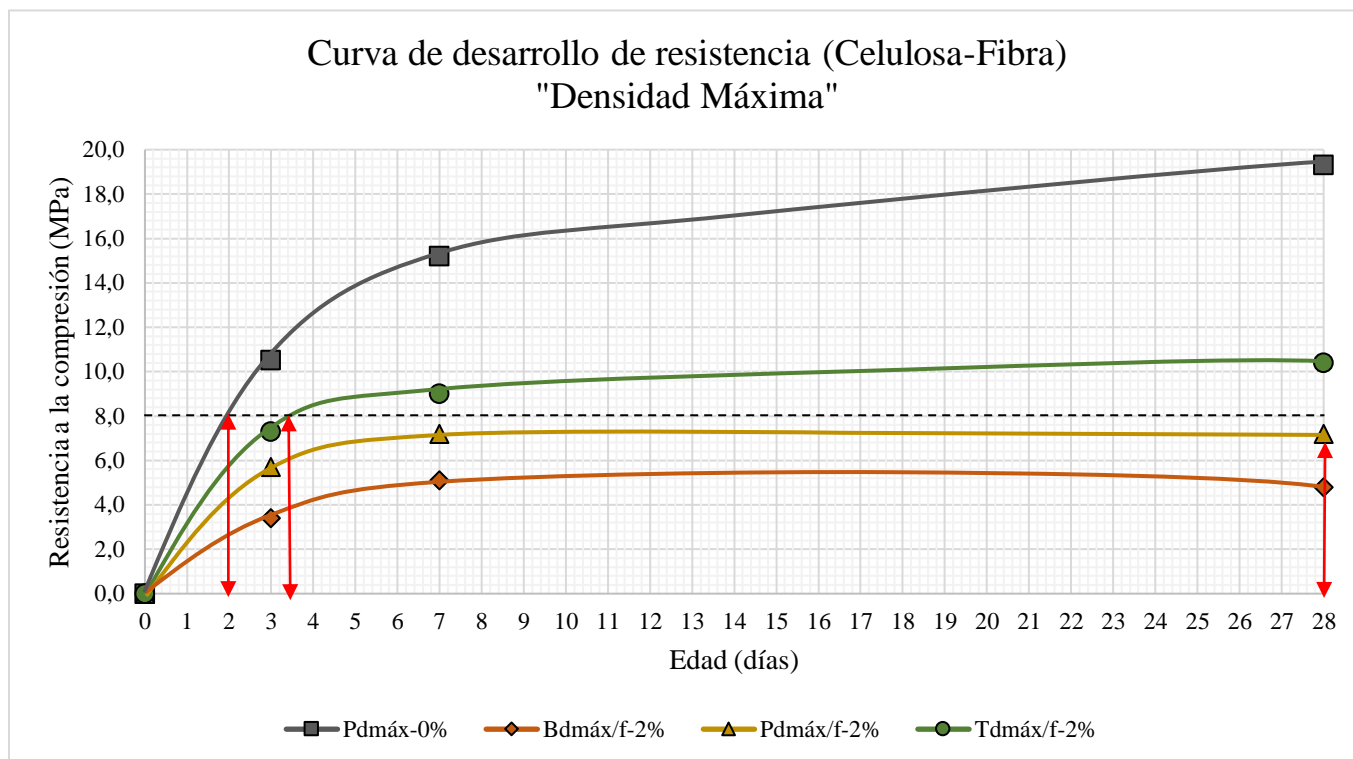
Tomando de ejemplo la figura 55, uno de los principales objetivos era obtener una resistencia alta a edades tempranas, esto en comparación con la mezcla patrón. Una vez planteada esta premisa, se puede observar lo poco funcional de la mezcla con adición de balsa, llegando alcanzar los 8,0 MPa hasta los 28 días de cura, comportamiento que varía en las figuras posteriores, debido a que esta no alcanza la resistencia establecida en sus distintas densidades. A continuación, se puede apreciar un caso totalmente contrario, esto con la mezcla teca-aserrín, superando los 8,0 MPa en tan solo 3 días de cura.

No obstante, la mezcla de pino-aserrín interactúa similar a la balsa-aserrín en una edad temprana, pero no se descarta como una mezcla funcional, ya que a 5 días de cura, tanto la pino-aserrín como la teca-aserrín superan los 8,0 MPa, siendo así las dos mejores celulosas en esta forma, donde, para sus demás densidades desarrollan un buen comportamiento una vez superados los 7 días de cura.

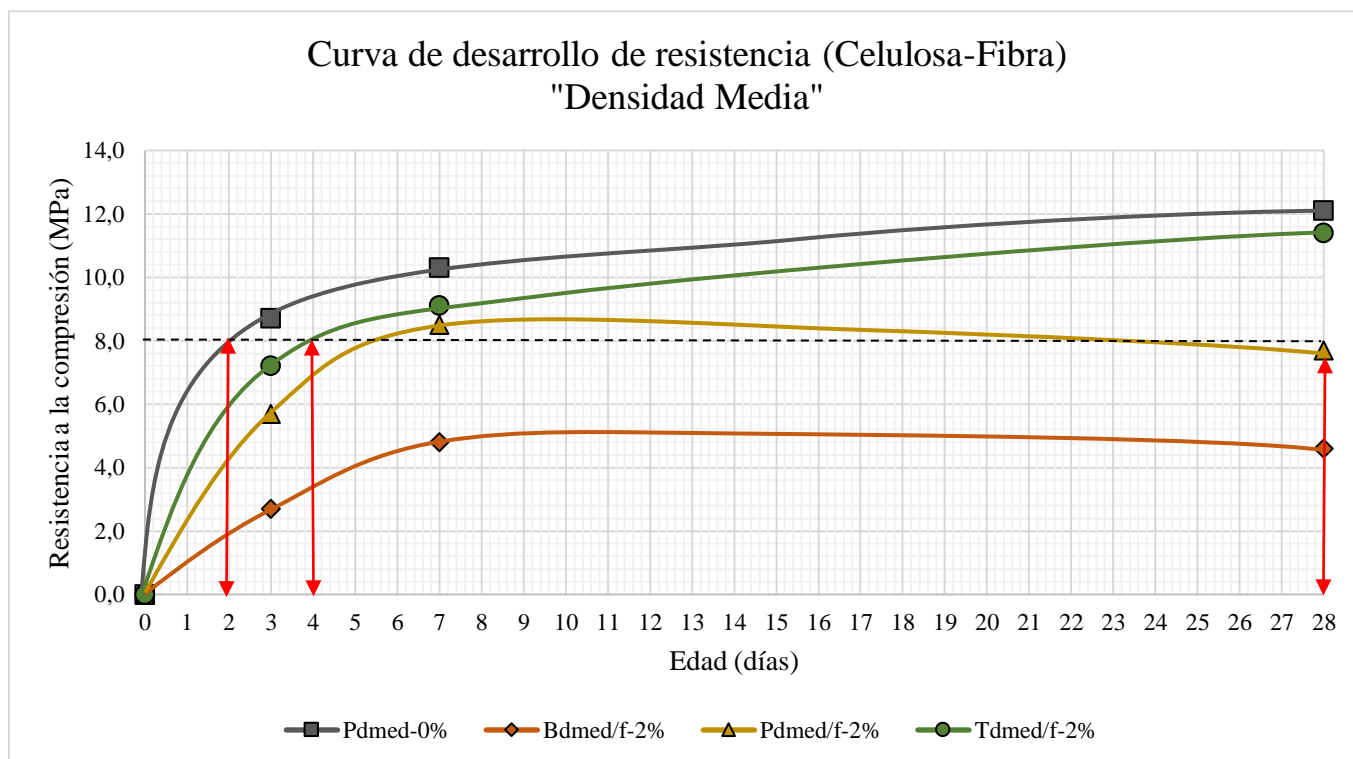


**Figura 58**

Curva de desarrollo de resistencia de especímenes-fibra de densidad máxima

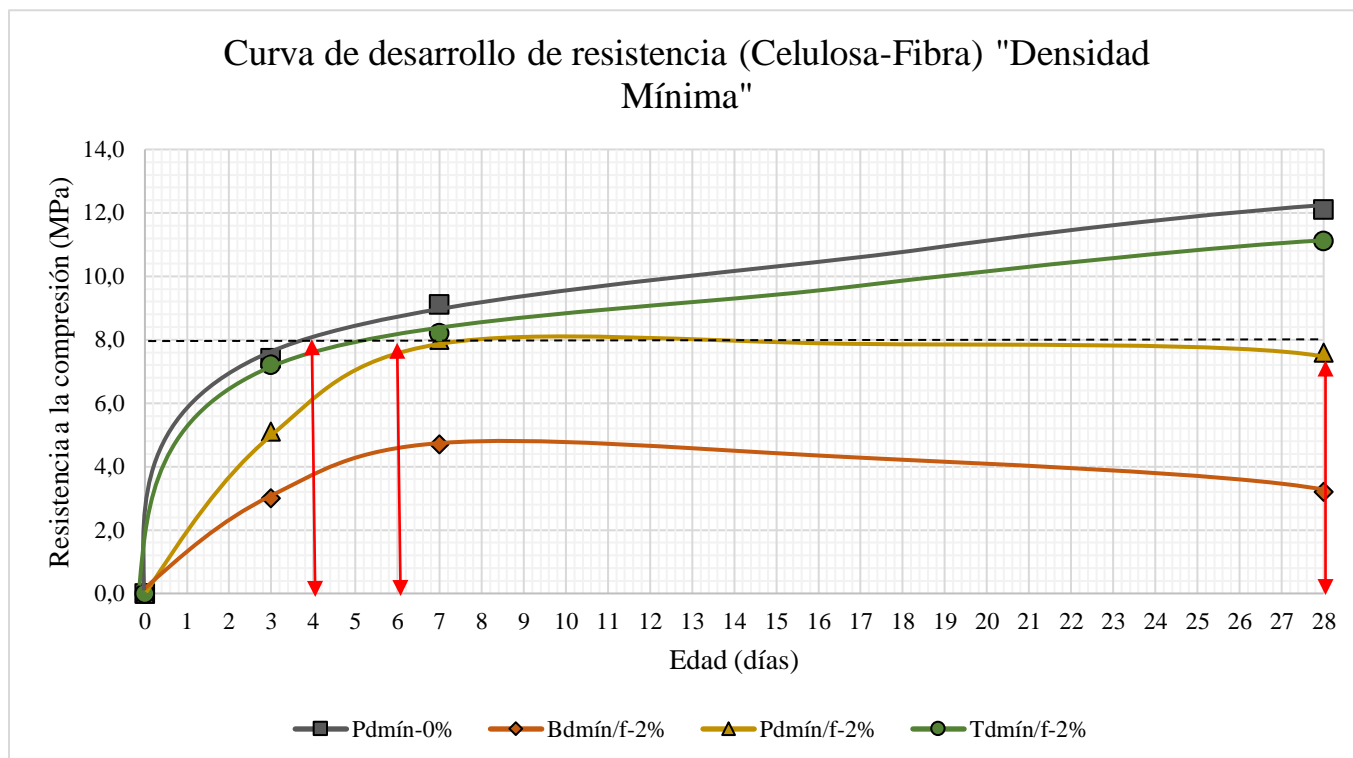
**Figura 59**

Curva de desarrollo de resistencia de especímenes-fibra de densidad media



**Figura 60**

Curva de desarrollo de resistencia de especímenes-fibra de densidad mínima



Una vez más, se refleja el mejor comportamiento de estas en la gráfica que estableció las mezclas con la densidad alta, además, nuevamente la celulosa predominante es la teca; por presentar resultados favorables para el desempeño de la misma, donde de nuevo, se descarta la celulosa de balsa en sus dos formas. Por los resultados obtenidos y con respecto a la celulosa de pino-fibra, esta cuenta con una inconsistencia en sus resistencias, en teoría debería de desarrollar su resistencia máxima; no obstante, disminuye, por ende, se opta por no tratarla como una celulosa óptima en esta forma.

Finalmente, es importante destacar que esta forma de celulosa-fibra no presenta sus mejores resistencias en comparación con la forma de aserrín, en la cual la teca, como se mencionó, expone los mejores resultados, sin embargo, al desarrollarlos posterior a los 7 días de cura, se refleja que sobrepasan los 8,0 MPa en cada una de sus densidades, alcanzando un valor de resistencia a la compresión de 9,0 MPa en su densidad alta, en su densidad media 8,5 MPa y, por último, en densidad mínima un valor de 8,2 MPa.

## CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y HALLAZGOS

### 5.1 Conclusiones

- Una vez establecido el diseño de mezcla de referencia, para la relación cemento:celulosa se determinó una adición de la misma en unidades de masa de 0,14 kg en aserrín y 0,10 kg en fibra, desarrollando una mezcla trabajable y funcional según los parámetros de resistencia establecidos.
- Con los diseños de mezcla planteados, no se logró obtener una densidad dentro del rango establecido para ser catalogada como mezcla liviana, siendo las mezclas con adición de la celulosa balsa las que mostraron valores más bajos, desarrollando una densidad de 1982 kg/m<sup>3</sup> en su forma de aserrín y 1946 kg/m<sup>3</sup> en su forma de fibra.
- Valores de la prueba de cohesión superiores a 5 kg garantizan la manipulación de los especímenes sin desmoronarse.
- Evaluando únicamente la incorporación de celulosa al 2% en su forma de aserrín y fibra, se logró obtener tres densidades distintas por mezcla a los 28 días, descartando así la celulosa en forma cúbica a raíz de su mal comportamiento en los ensayos y desmoldeo.
- Se comprobó, mediante la curva de desarrollo de resistencia, que las mezclas con la adición de la celulosa teca y pino presentan el mejor desempeño a través de los días de cura, donde la teca sobresale en sus dos formas, y el pino únicamente en su forma de aserrín, a excepción de las mezclas con la adición de balsa, desarrollando una resistencia de hasta 5 MPa como máximo en las dos formas planteadas.

### 5.2 Recomendaciones

- Se recomienda dar continuidad a la investigación con la adición de un mayor porcentaje de aserrín con las celulosas de pino y teca, tratando de obtener una densidad liviana, y analizar cuanto sería su pérdida de resistencia.
- Realizar pruebas de densidad a distintas edades, así observar el comportamiento de la misma y su crecimiento a través del tiempo de curado.
- Para lograr facilitar el comportamiento de los gráficos, se recomienda aumentar la masa de los especímenes de 10 g a 15 g, ya que, cuanto mayor sea su masa, mejor el desempeño de los resultados.

- Ampliar esta investigación a otros tipos de diseño de mezcla, dando uso a los estipulados por Frasson Jr., con agregados más finos y mayores proporciones.
- Emplear el parámetro de dosificación por volumen para las adiciones de mezclas con celulosas.
- Añadir un factor de corrección con los datos suministrados por la empresa de Productos de Concretos para esta investigación asociarla con la producción de bloques de mampostería.

### **5.3 Hallazgos**

- La forma cúbica, sin importar la celulosa que fuese, no dio resultados favorables desde un inicio del desarrollo de la misma.
- El crecimiento de la humedad de la mezcla, en función del tipo de celulosa y del tipo de forma.
- El comportamiento negativo de la celulosa balsa en apartados de resistencia, aunque presentaba una buena cohesión y trabajabilidad.
- El impacto que tiene según el tipo de celulosa y la forma de la misma en la absorción de los especímenes.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Concrete Institute [ACI 308R-01]. (2008). *Guide to Curing Concrete*.

American Concrete Institute. *ACI Temas en concreto*. <https://www.concrete.org/>

Aragón, S. y Solano, J. (2006). *Manual de consejos prácticos sobre el concreto*. San José, Costa Rica: Instituto Costarricense del Concreto y el Cemento.

Bellido, L. (2018). *Propiedades mecánicas del concreto ligero con incorporación de virutas de madera*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio institucional, Universidad Nacional.

Blotek Perú, (s.f.). *Equipo*. <http://blotekperu.com/aditivos/>

Bustamante, R. (2016, 27 de enero). *Propiedades del concreto fresco* [Archivo PDF]. <https://es.slideshare.net/ThelmoRafaelBustaman/propiedades-del-concreto-fresco>

Castán, Y. (s.f.). *Introducción al método científico y sus etapas* [Archivo PDF]. <http://www.ics-aragon.com/cursos/salud-publica/2014/pdf/M2T00.pdf>

CEMEX. (2019, 05 de abril). *¿Por qué se determina la resistencia a la compresión en el concreto?* CEMEX. <https://bit.ly/3bp17ot>

Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica, (2011). *Código Sísmico de Costa Rica 2010*. Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.

Domoterra. (2016, 16 de julio). *La huella de carbono y los proyectos de construcción*. <http://www.domoterra.es/blog/2016/07/16/la-huella-de-carbono/>

Eljarrat, E. (2019, 9 de mayo). *La contaminación química del plástico, una amenaza silenciosa*. <https://bit.ly/3bpPait>

Franz, E. (2018). *Resistencia de concreto  $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$  con adición de ceniza de viruta de madera-Huaraz-2017*. [Tesis de grado, Universidad San Pedro]. Repositorio institucional, Universidad San Pedro.

García, C. (2015, 14 de octubre). *Propiedades del concreto* [Diapositiva PowerPoint]. <https://es.slideshare.net/NaydiChingaGarcia/propiedades-del-concreto-53937506>

GTZ/BMZ. (1996). *Guía de protección ambiental*. [shorturl.at/hBF23](http://shorturl.at/hBF23)

Hincapié, A. M, y Montoya, Y. J. (2005, 20 de enero). *La microestructura de los prefabricados de concreto* [Archivo PDF].

Incera, A. (s.f.). *Comparación de los sistemas de curado de bloques de concreto y adaptación del método de diseño de Frasson Jr. para mezclas secas*. [Tesis de Licenciatura no publicada]. Universidad Latina de Costa Rica.

INTECO. (2015). *INTECO Catálogo de normas*. <https://www.inteco.org/shop>

Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., y Tanesi, J. (2004). *Diseño y control de mezclas de concreto*. Illinois, Estados Unidos: Portland Cement Association.

Maderame. (s.f.). *Características y usos de maderas*. <https://maderame.com/enciclopedia-madera/teca/>

Marchioni, M. (2012). *Desenvolvimento de técnicas para caracterização de concreto seco utilizando no fabricação de peças de concreto para pavimentação intertravada*. [Disertación de maestría, Escuela politécnica]. Catalogo USP.

Méndez, I. (2018). *Desarrollo de una mezcla de concreto hidráulico seco liviano utilizando agregado pumita mediante el método de diseño de Frasson. Jr.* [Tesis de grado no publicada]. Universidad Latina de Costa Rica.

Méndez, L. (2014). *Estudio técnico en la producción de adoquines a partir de residuos de madera de tarimas, Cartago, Costa Rica*. [Tesis de grado, Tecnológico de Costa Rica]. Repositorio TEC.

Molina, E. (2010). *Evaluación del uso de la cascarilla de arroz en la fabricación de bloques de concreto*. [Tesis de grado, Tecnológico de Costa Rica]. Repositorio TEC.

Nilson, A. (1999). *Diseño de estructuras de concreto*. McGRAW-HILL INTERAMERICANA, S.A.

Prieto, S. (2014, 20 de marzo). *Panel prefabricado de hormigón aliviano a base de papel periódico y cartón reciclado, destinado a vivienda de interés social*. [Tesis de grado, Universidad de Cuenca (Ecuador)]. Repositorio Dialnet.

Promaderas S.A. (s.f.). *Aserrín* [Fotografía].

Quintana, E, y Quintana, I. (2015, 25 de marzo). *Método mecánico para la compactación del concreto* [Archivo PDF]. <http://www.imcyc.com/revistacyt/pdf/marzo2015/ingenieria.pdf>

Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2010). *Metodología de la investigación*. México D.F: McGraw-Hill.

Sumatec. (2019, 08 de febrero). *¿En qué consiste el proceso de vibrado para concreto?* <https://sumatec.co/en-que-consiste-el-proceso-de-vibrado-para-concreto/>

Vásquez, E. (2016). *Desarrollo de mezclas de concreto utilizando los residuos de plásticos de poliestireno expandible (EPS) y tereftalato de polietileno (PET) en mezclas de concreto convencional*. [Tesis de grado no publicada]. Universidad Latina de Costa Rica.

Zuñiga, A. M, y M, C.O. (2002). *Implementación de metodología para el diseño de mezclas secas en elementos vibro-compactados*. [Tesis de grado, Tecnológico de Costa Rica]. Repositorio TEC.

## ANEXOS

### Anexo A. Celulosas





**Anexo B. Equipo Para la Metodología de Frasson Jr.**



## Anexo C. Caracterización de Agregado Fino

MATERIAL: ARENA Industrial 7,9 mm  
 IDENTIFIC: GUÁPILES  
 TÉCNICO: Eduardo Artavia C.  
 FECHA: 25/1/2021

### 1- ANALISIS GRANULOMETRICO (ASTM C136) Peso inicial (g) 1115,3

Malla (mm)	Malla nominal	Peso retenido (g)	Ret. Individual %	Ret. acumulado %	Total pasando %	Especificación	
						mín (%)	máx (%)
25,4	1 pulg.						
19,1	3/4 pulg.		0	0	100		
12,7	1/2 pulg.		0	0	100	100	100
9,5	3/8 pulg.		0	0	100	100	100
4,75	#4	46,0	4	4	96	80	100
2,36	#8	395,0	35	40	60	60	100
1,18	#16	243,8	22	61	39	40	85
0,6	#30	136,9	12	74	26	20	60
0,3	#50	95,4	9	82	18	10	45
0,15	#100	67,6	6	88	12	0	30
0,075	#200	45,9	4	92	8	0	18
0	Charola	85,4	8	100	0		
<b>Total (g) =</b>		<b>1116,0</b>	<b>M.F. =</b>	<b>3,49</b>	<b>Δ % de peso inicial: 0,1%</b>		

### 2- GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION (ASTM C 128)

Peso muestra saturada superficie seca + recipiente =	744,1	g
Peso recipiente =	244,1	g
Peso muestra saturada superficie seca =	500	g
Peso picnómetro + D + agua =	948,6	g
Peso muestra secada al horno + recipiente =	729,3	g
Peso recipiente =	244,1	g
Peso muestra secada al horno =	485,2	g
Peso picnómetro + agua	638,4	g

Gravedad específica =  $G_{DS}$  = 2,56

Gravedad específica saturada superficie seca =  $G_{DSS}$  = 2,63

Absorción =  $a\%$  = 3,1

### 3- HUMEDAD TOTAL (ASTM C 566)

Peso muestra original + recipiente =	1681,5	g
Peso recipiente =	542	g
Peso muestra original =	1139,5	g
Peso muestra seca + recipiente =	1657,3	g
Peso recipiente =	542	g
Peso muestra seca	1115,3	g

Humedad total =  $w\%$  = 2,2

### 4- PESO UNITARIO (ASTM C29)

	Suelto	Envarillado
Peso unitario ( $kg/m^3$ )	1620	1810

### 5- CONTENIDO DE MATERIALES MAS FINOS QUE LA MALLA #200 (ASTM C117)

Peso seco original de la muestra + recipiente =	1657,3	g
Peso recipiente =	542	g
Peso original de la muestra =	1115,3	g
Peso seco de la muestra lavada + recipiente =	1588,9	g
Peso recipiente =	542	g
Peso seco de la muestra lavada =	1046,9	g

% más fino que la malla #200 por lavado = 6,1

## Anexo D. Caracterización de Agregado Grueso

MATERIAL: Piedra 9,5 MM  
 IDENTIFIC: Cerro Minas  
 TÉCNICO: NATALIA CASTRO  
 FECHA: 22/1/2021

### 1- ANALISIS GRANULOMETRICO (ASTM C136) Peso inicial (g) 1700

Malla (mm)	Malla nominal	Peso retenido (g)	Ret. Individual %	Ret. acumulado %	Total pasando %	Especificación	
						min (%)	máx (%)
25,4	1 pulg.				100	100	100
19,1	3/4 pulg.		0	0	100	100	100
12,7	1/2 pulg.		0	0	100	90	100
9,5	3/8 pulg.	1,4	0	0	100	40	70
4,75	#4	1094,6	65	65	35	0	15
2,36	#8	536,2	32	97	3	0	5
1,18	#16	30,2	2	99	1		
0,6	#30	6,8	0	99	1		
0,3	#50	2,8	0	99	1		
0,15	#100	0,0	0	99	1		
0,075	#200	3,7	0	100	0		
0	Charola	7,0	0	100	0		
<b>Total (g) =</b>		<b>1682,7</b>	<b>M.F. =</b>	<b>5,59</b>	<b>Δ % de peso inicial: -1,0%</b>		

### 2- GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION (ASTM C 127)

Peso muestra saturada superficie seca + recipiente	1947,5	g
Peso recipiente =	553	g
Peso muestra saturada superficie seca =	1394,5	g
Peso muestra saturada sumergida en agua	867,5	g
Peso muestra secada al horno + recipiente =	1917,5	g
Peso recipiente =	553	g
Peso muestra secada al horno =	1364,5	g

$$\text{Gravedad específica} = G_{bs} = 2,59$$

$$\text{Gravedad específica saturada superficie seca} = G_{bss} = 2,65$$

$$\text{Absorción} = a\% = 2,2$$

### 3- HUMEDAD TOTAL (ASTM C 566)

Peso muestra original + recipiente =	2253	g
Peso recipiente =	538,5	g
Peso muestra original =	1714,5	g
Peso muestra seca + recipiente =	2238,5	g
Peso recipiente =	538,5	g
Peso muestra seca	1700	g

$$\text{Humedad total} = w\% = 0,9$$

### 4- PESO UNITARIO (ASTM C29)

	Suelto	Envarillado
Peso unitario (kg/m <sup>3</sup> )	1415	1480

### 5- CONTENIDO DE MATERIALES MAS FINOS QUE LA MALLA #200 (ASTM C117)

Peso seco original de la muestra + recipiente =	2238,5	g
Peso recipiente =	538,5	g
Peso original de la muestra =	1700	g
Peso seco de la muestra lavada + recipiente =	2232,5	g
Peso recipiente =	538,5	g
Peso seco de la muestra lavada =	1694	g

$$\% \text{ más fino que la malla \#200 por lavado} = 0,4$$

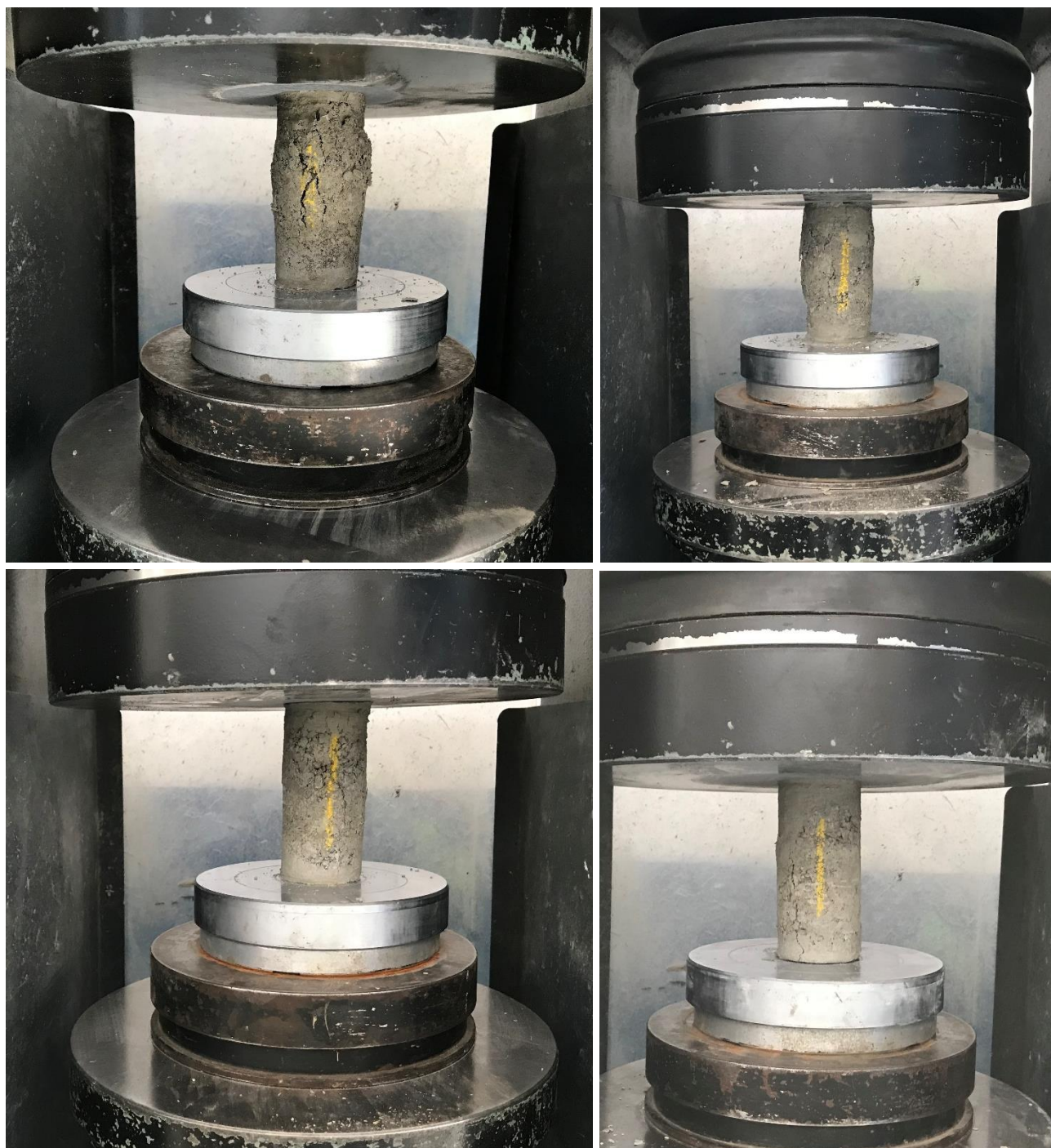
## Anexo E. Certificado del Cemento Tipo MP/A-28

Parámetro (+)	Resultado	Unidad Medida	Reglamento RTCR 479:2015	Fecha Ejecución	Parámetro (+)	Resultado	Unidad Medida	Reglamento RTCR 479:2015	Fecha Ejecución	Parámetro (+)	Resultado	Unidad Medida	Reglamento RTCR 479:2015	Fecha Ejecución
SiO <sub>2</sub> *	23.07	%	NI	Febrero	R1D** Uc= ± 0,3	19.8	MPa	NI	Febrero	Contenido Aire** Uc= ± 0,4	9	%	<12	Febrero
MgO*	2.00	%	≤6	Febrero	R3D** Uc= ± 0,4	28.6	MPa	>13	Febrero	Expansión Autoclave** Uc= ± 0,002	0.10	%	<0.8	Febrero
SO <sub>3</sub> *	2.77	%	≤4	Febrero	R7D** Uc= ± 0,7	32.9	MPa	>20	Febrero	Expansión Barras Mortero** Uc= ± 0,003	0.004	%	<0.02	Junio
Residuo Insoluble** Uc= ± 0,05	NI	%	≤5	NI	28 D** Uc= ± 0,4	41.0	MPa	>28	Enero	Falso Fraguado Uc= ± 6	54	%	>50	Febrero
Pérdida Fuego*	4.49	%	NI	Febrero	CN** Uc= ± 0,05	27.9	%	NI	Febrero	Calor Hidratación 7 Días*	NI	kJ/kg	<250	NI
Blaine** Uc= ± 85	440	m <sup>2</sup> /kg	NI	Febrero	SET IN** Uc= ± 4	95	minutos	>45	Febrero	Calor Hidratación 28 Días*	NI	kJ/Kkg	<290	NI
Finura 45 um** Uc= ± 0,8	2.8	%	NI	Febrero	SET FN** Uc= ± 4	248	minutos	<420	Febrero		NI	%	NI	NI
Relación A/C	48.8	%	NI	Febrero	Densidad** Uc= ± 0,06	3.05	g/mL	NI	Febrero		NI	NI	NI	NI
<p>Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo          Los resultados de los análisis químicos están calculados en porcentaje en peso, se hacen por XRF.          Ensayos según Normas:          Blaine, INTE C138          Consistencia Normal, INTE C139          Tiempos de Fragua, INTE C137          Pérdida de Fuego, INTE C 134          Residuo Insoluble, INTE C134          Expansión por Autoclave, INTE C135          Expansión de Barras de Mortero en Agua, INTE C166          Durabilidad y/o Resistencia a los Sulfatos, ASTM C1012          Densidad, INTE C141          Resistencia a la Compresión, INTE C57          Finura en malla 45µm, INTE C142          Calor Hidratación, ASTM C186          Contenido de Aire, INTE C136          Falso Fraguado, INTE C169          Reactividad Alkali Agregado, ASTM 227</p> <p>El muestreo se realiza según procedimiento I-CG.OP 06.22; I-CG.OP 06.19 según lo establece el plan de calidad (A-CG.OP 06.00.01 Plan de Calidad)</p> <p>* Ensayo No Acreditado          ** Ensayo y muestreo Acreditado según Alcance N° LE-085, ver alcance en <a href="http://www.eca.or.cr">www.eca.or.cr</a></p> <p>(+)          R1D= Resistencia a la compresión a la edad de 1 día.          R3D= Resistencia a la compresión a la edad de 3 días.          R7D= Resistencia a la compresión a la edad de 7 días.          R28D= Resistencia a la compresión a la edad de 28 días.          CN= Consistencia Normal de la pasta.          SET IN= Tiempo de fragua inicial.          SET FN= Tiempo de fragua final.          A/C= Relación Agua Cemento del mortero.          NI= No indica          Uc = Incertidumbre expandida del ensayo, tomando en cuenta la variabilidad de la producción.</p>										<p><b>Nombre: Estefany Muñoz</b></p> <p><b>Firma:</b> ESTEFANY MUÑOZ ZAMORA (FIRMA)</p> <p>Firmado digitalmente por ESTEFANY MUÑOZ ZAMORA (FIRMA)          Fecha: 2021.03.05 16:32:10 -06'00'</p> <p><b>Técnico de Control de Calidad</b></p>				
										<p><b>Interpretaciones Adicionales:</b></p> <p>La incertidumbre reportada en el certificado se expresa con un 95% de confianza y un factor de cobertura de 2</p>				
										<p><b>Observaciones Adicionales:</b></p> <p>Solo se realizó una Réplica por análisis          Los resultados de resistencias 28 días corresponden al mes anterior reportado en el certificado          Contenido de Puzolana menor a 10% m/m</p>				
Última Línea														



## Anexo F. Coronación de Especímenes



**Anexo G. Resistencia a la Compresión Uniaxial de Especímenes con Adición de Celulosa**

## GLOSARIO

1. Celulosa: Componente principal de las paredes de células vegetales en plantas, maderas y fibras naturales.
2. Concreto: Mezcla de cemento, agua, agregado fino y grueso, el cual forma un material resistente para la construcción.
3. Madera: La madera es un material de una cierta elasticidad que se encuentra en el tronco de los árboles.
4. Tarimas: Una tarima, usualmente llamada “*pallet*”, es una estructura de transporte plana que soporta objetos de una manera estable.
5. Dosificación: El proceso de dosificación se lleva a cabo estableciendo porcentualmente proporciones de materiales el cual componen el concreto.
6. Aditivo: Son aquellos ingredientes el cual se le adicionan a una mezcla de concreto, donde estos tienen distintas funciones, lo cual benefician a la misma.
7. Normas: Se define como la agrupación de reglas que rigen determinados desarrollos de actividades.
8. Tamiz: Instrumento empleado para separar partículas finas de las gruesas, conformado por una tela metálica.
9. Ensayo: Se define como el proceso con el cual se determinan características físicas o químicas de un objeto de análisis.
10. Gráficos: Representación de resultados que tienen relación entre sí, mediante figuras, signos, barras.
11. Equipo de laboratorio: Comprende una extensa gama de aparatos diseñados especialmente para hacer investigaciones, análisis de calidad y llevar el control de procesos diversos.
12. Compresión: La compresión es un proceso físico o mecánico que consiste en someter a un cuerpo a la acción de dos fuerzas opuestas para que disminuya su volumen u capacidad.
13. Densidad: La densidad absoluta o densidad normal, también llamada densidad real, expresa la masa por unidad de volumen.
14. Correlación: Es la forma numérica en la que la estadística logra evaluar la relación de dos o más variables. Mide la dependencia de una variable con respecto de otra variable independiente.
15. Microsoft Excel: Se trata de un software que ayuda a crear y trabajar con hojas de cálculo.