

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**



**Evaluación de las características físico-mecánicas de un panel elaborado  
con cemento y fibras de bagazo de caña**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL**

**AUTOR**

**Eloisa de Jesus Prada Ñiquen**

**ASESOR**

**Jose Alberto Acero Martinez**

<https://orcid.org/0000-0003-4154-9510>

**Chiclayo, 2025**

**Evaluación de las características físico-mecánicas de un panel  
elaborado con cemento y fibras de bagazo de caña**

PRESENTADA POR  
**Eloisa de Jesus Prada Ñiquen**

A la Facultad de Ingeniería de la  
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo  
para optar el título de

**INGENIERO CIVIL**

APROBADA POR

Segundo Guillermo Carranza Cieza  
PRESIDENTE

Mario Antonio Martinez Fiestas  
SECRETARIO

Jose Alberto Acero Martinez  
VOCAL

## **Dedicatoria**

A mis padres y hermanos quienes han sido mi mayor fuente de apoyo incondicional en cada etapa de mi vida, tanto personal como profesional. Su amor, aliento y sacrificio han sido los pilares que me han impulsado a alcanzar cada meta que me he propuesto. Sin su constante apoyo, este camino habría sido mucho más difícil. Gracias por ser mi inspiración y mi mayor motivación.

## **Agradecimientos**

Agradezco sinceramente a mi asesor y a todos los profesionales que han sido parte de mi trayectoria universitaria. Cada uno de ustedes ha sido fundamental en mi crecimiento académico y personal. Sus conocimientos compartidos han sido invaluable para el desarrollo de esta investigación. También quiero expresar mi gratitud a aquellas personas que han confiado en mí y me han brindado su apoyo incondicional. A mi familia y amigos, les agradezco por estar siempre presentes y por su constante aliento.

# TESIS\_PRADA\_ÑIQUEN.docx

## INFORME DE ORIGINALIDAD

**18%**

INDICE DE SIMILITUD

**17%**

FUENTES DE INTERNET

**5%**

PUBLICACIONES

**7%**

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>2</b>	<b>tesis.usat.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>3</b>	<b>repositorio.ucv.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>Submitted to Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo</b> Trabajo del estudiante	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>repositorio.uss.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>Submitted to Universidad Cesar Vallejo</b> Trabajo del estudiante	<b>&lt;1%</b>
<b>7</b>	<b>repositorio.unap.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>8</b>	<b>ri-ng.uaq.mx</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>9</b>	<b>Submitted to uncedu</b> Trabajo del estudiante	

## Índice

Resumen .....	15
Abstract .....	16
Introducción .....	17
Revisión de literatura .....	20
Antecedentes Nacionales .....	20
Antecedentes Internacionales .....	21
Bases teóricas .....	23
Sistema constructivo .....	29
Ensayos a las muestras .....	29
Materiales y métodos .....	32
Población.....	33
Muestra.....	33
Variables .....	35
Procedimientos .....	36
Fase I: Recolección del bagazo .....	36
Fase II: Obtención de la fibra y su caracterización. ....	37
Fase III: Elaboración de los paneles.....	39
Fase IV: Evaluación de las características físico-mecánicas de los paneles mediante la determinación de sus propiedades.....	44
Fase V: Análisis de los datos obtenidos y determinación de su viabilidad.....	53
Resultados .....	54
Propiedades de la fibra de bagazo de caña de azúcar ( <i>Saccharum officinarum</i> ) .....	54
Propiedades del agregado fino .....	56
Propiedades de los paneles propuestos .....	60

Ficha técnica del panel propuesto .....	77
Sistema de construcción propuesto para el FIBROCEMENTO .....	78
Análisis de costos unitarios .....	81
Discusiones.....	83
Conclusiones .....	87
Recomendaciones.....	91
Referencias .....	92
Anexos.....	96

## Lista de tablas

Tabla I: Valores mínimos de rotura.....	30
Tabla II: Muestras para el ensayo de densidad aparente.....	33
Tabla III: Muestras para el ensayo de permeabilidad al agua.....	33
Tabla IV: Muestras para el ensayo de resistencia al congelamiento.....	33
Tabla V: Muestras para el ensayo de agua tibia/ caliente.....	34
Tabla VI: Muestras para el ensayo de Saturado/ Seco.....	34
Tabla VII: Muestras para el ensayo de Resistencia al fuego.....	34
Tabla VIII: Muestras para el ensayo de Resistencia al crecimiento de Hongos.....	34
Tabla IX: Muestras para el ensayo de Resistencia a la Flexión.....	35
Tabla X Operacionalización de Variables.....	35
Tabla XI: Análisis Granulométrico del Bagazo de caña de azúcar.....	54
<b>Tabla XII:</b> Análisis Físico-Químico del bagazo de caña de azúcar.....	55
Tabla XIII: Análisis Composicional del bagazo de caña de azúcar.....	55
Tabla XIV: Análisis Proximal del bagazo de caña de azúcar.....	56
Tabla XV: Propiedades Físicas del bagazo de caña de azúcar.....	56
Tabla XVI: Potencial Hidrógeno del bagazo de caña de azúcar.....	56
Tabla XVII : Análisis granulométrico del agregado fino.....	56
Tabla XVIII : Curva granulométrica del agregado fino.....	57
Tabla XIX: Peso Unitario Suelto.....	58
Tabla XX: Peso Unitario Compactado.....	58
Tabla XXI: Contenido de Humedad.....	58
Tabla XXII: Datos obtenidos durante el ensayo.....	59
Tabla XXIII: Peso específico y absorción.....	59
Tabla XXIV: Contenido de Humedad.....	59

Tabla XXV: Ancho del panel.....	60
Tabla XXVI: Ancho promedio del panel .....	60
Tabla XXVII: Largo del Panel .....	61
Tabla XXVIII: Largo promedio del panel.....	62
Tabla XXIX: Espesor del panel.....	62
Tabla XXX: Espesor promedio del panel.....	63
Tabla XXXI: Densidad aparente .....	65
Tabla XXXII: Datos recopilados de la Permeabilidad al agua .....	66
Tabla XXXIII: Resistencia al congelamiento de los paneles .....	67
Tabla XXXIV: Resistencia al agua tibia/ caliente de los paneles .....	68
Tabla XXXV: Resistencia a flexión de los paneles de 600mm x 1000mm .....	71
Tabla XXXVI: Situación I: Primera simulación de fuego aplicada a los paneles .....	73
Tabla XXXVII: Situación II: Primera simulación de fuego aplicada a los paneles.....	73
Tabla XXXVIII: Situación III: Primera simulación de fuego aplicada a los paneles .....	75
Tabla XXXIX: PH de los paneles .....	76
Tabla XL: ACU Bagazo de caña - Tratamiento químico.....	81
Tabla XLI: ACU Paneles de fibrocemento 5% fibra (e=15mm) .....	81
Tabla XLII: Dimensiones y costos de materiales similares .....	82
Tabla XLIII: Tolerancias en espesor nominal para láminas con textura.....	83
Tabla XLIV: Resumen de propiedades en los distintos porcentajes de fibra.....	89
Tabla XLV: Propiedades del panel óptimo .....	89

## Lista de imágenes

Imagen I: Fibra de bagazo de caña de azúcar.....	37
Imagen II: Sacos obtenidos de la azucarera .....	37
Imagen III: Materiales para el tratamiento químico.....	38
Imagen IV: Tamizado.....	39
Imagen V: Licuado.....	39
Imagen VI: Tamizado 2.....	39
Imagen VII: Solución al 5% de NaOH.....	39
Imagen VIII: Lavado + NaOH 5% .....	39
Imagen IX: Tesista realizando el tratamiento químico .....	39
Imagen X: Peso de la muestra de agregado fino .....	40
Imagen XI: Peso retenido en la malla N°50 .....	40
Imagen XII: Recipiente vacío.....	41
Imagen XIII: Recipiente peso suelto .....	41
Imagen XIV: Recipiente sin agregado .....	42
Imagen XV: Recipiente peso compacto .....	42
Imagen XVI: Peso inicial de la muestra.....	43
Imagen XVII: Peso final de la muestra .....	43
Imagen XVIII: Fiola con la muestra.....	44
Imagen XIX: Peso seco de la muestra.....	44
Imagen XX: Panel marcado según lo especificado .....	46
Imagen XXI: Muestra saturada .....	47
Imagen XXII: Muestra seca .....	47
Imagen XXIII: Muestras en ciclo de congelamiento .....	48
Imagen XXIV: Muestras luego del ensayo de flexión .....	48

Imagen XXV: Muestra al 5% en agua Tibia/ Caliente.....	49
Imagen XXVI: Muestra al 10% en agua Tibia/ Caliente .....	49
Imagen XXVII: Marco sellado.....	50
Imagen XXVIII: Muestra luego del ensayo .....	50
Imagen XXIX:Muestra antes de la carga .....	51
Imagen XXX: Muestras a ensayar.....	51
Imagen XXXI: Toma de temperatura y medición del tiempo.....	52
Imagen XXXII: Muestras en el horno artesanal.....	52
Imagen XXXIII: Muestras a ser ensayadas .....	53
Imagen XXXIV: Uso de PHmetro .....	53

## Lista de gráficos

Gráfico I: Curva Granulométrica Bagazo de caña de azúcar .....	55
Gráfico II: Dimensiones geométricas promedio de los paneles .....	64
Gráfico III: Densidad aparente promedio.....	66
Gráfico IV: Resistencia al congelamiento de los paneles .....	68
Gráfico V: Resistencia al agua tibia/ caliente de los paneles .....	69
Gráfico VI: Resistencia al Saturado - Seco de los paneles .....	70
Gráfico VII: Resistencia al Saturado - Seco de los paneles .....	70
Gráfico VIII: Resistencia a flexión de los paneles de 600mm x 1000mm.....	72
Gráfico IX: Situación I: Primera simulación de fuego aplicada a los paneles .....	73
Gráfico X: Situación II: Primera simulación de fuego aplicada a los paneles .....	74
Gráfico XI: Situación III: Primera simulación de fuego aplicada a los paneles .....	75
Gráfico XII: PH promedio de las muestras .....	76
Gráfico XIII: Paneles con características similares.....	82
Gráfico XIV: Tendencia de densidad en relación con el porcentaje de fibra.....	84

## **Lista de ilustraciones**

Ilustración I: Procedimientos para la elaboración del panel.....	36
Ilustración II: Proceso para la obtención de la fibra de bagazo de caña de azúcar .....	37
Ilustración III: Marcas para las medidas geométricas .....	45
Ilustración IV: Representación de la ubicación de los apoyos .....	50
Ilustración V: Ficha técnica - Panel de fibrocemento .....	77
Ilustración VI: Dimensiones del panel .....	78
Ilustración VII: Perfiles metálicos.....	78
Ilustración VIII : Detalle de junta y fijación .....	79
Ilustración IX: Fijación de paneles.....	80
Ilustración X : Fases para la elaboración de un panel .....	88

## **Anexos**

Anexo I: Validación de ensayos de laboratorio.....	96
Anexo II: Análisis físico-químico del bagazo de caña de azúcar.....	97
Anexo III: Análisis granulométrico de la caña de azúcar .....	98
Anexo IV: Ensayo de granulometría del agregado .....	99
Anexo V: Contenido de humedad del agregado.....	100
Anexo VI: Peso unitario del agregado .....	101
Anexo VII: Peso específico del agregado .....	102
Anexo VIII: Propiedades del agregado .....	103
Anexo IX: Exposición al fuego I.....	104
Anexo X: Exposición al fuego II.....	105
Anexo XI: Saturado Seco - Flexión .....	106
Anexo XII: Agua Tibia / Caliente - Flexión.....	107
Anexo XIII: Densidad aparente.....	108
Anexo XIV: Congelamiento - Flexión .....	109
Anexo XV: MOR - Flexión.....	110
Anexo XVI: Carga puntual - Flexión.....	111
Anexo XVII: Determinación de PH .....	112
Anexo XVIII: Permeabilidad al agua.....	113
Anexo XIX: Dimensiones de Ancho y Largo .....	114
Anexo XX: Dimensiones de espesor.....	115
Anexo XXI: Ficha Técnica Cemento Portland.....	116
Anexo XXII: Ficha técnica NaOH .....	117
Anexo XXIII: Evidencias fotográficas Granulometría .....	118
Anexo XXIV: Evidencias fotográficas Peso unitario suelto del agregado fino .....	119

Anexo XXV: Evidencias fotográficas Peso unitario compactado del agregado fino.....	119
Anexo XXVI: Evidencias fotográficas Contenido de humedad del agregado fino .....	120
Anexo XXVII: Evidencias fotográficas de las características dimensionales .....	121
Anexo XXVIII: Evidencias fotográficas de aplicación de carga puntual sobre el panel .....	122
Anexo XXIX: Evidencias fotográficas del ensayo de resistencia al fuego .....	123
Anexo XXX> Evidencias fotográficas de la toma de temperatura en Situación I.....	124
Anexo XXXI> Evidencias fotográficas de la toma de temperatura en Situación II .....	125
Anexo XXXII: Evidencias fotográficas de la toma de temperatura en Situación III.....	126
Anexo XXXIII: Evidencias fotográficas de la determinación del PH .....	127
Anexo XXXIV: Evidencias fotográficas determinación del PH en muestras al 5%.....	128
Anexo XXXV: Evidencias fotográficas determinación del PH en muestras al 10% .....	129
Anexo XXXVI: Evidencias fotográficas determinación del PH en muestras al 15%.....	129

### **Resumen**

La siguiente tesis planea la aplicación de fibra de bagazo de caña en la elaboración de paneles para la construcción sostenible los cuales están conformados por cemento y un porcentaje de bagazo. Sobre las fibras se realizó un tratamiento con una solución en la que participa el Hidróxido de sodio (NaOH) y el agua para optimizar su desempeño y evitar la propagación de hongos en el material. El objetivo principal es evaluar las propiedades mecánicas tanto como las propiedades físicas de los paneles fabricados con fibra de bagazo de caña. Fueron puestos en práctica ensayos para determinar el módulo de rotura (MOR) mediante flexión, así como ante condiciones de congelamiento, saturadas y de agua caliente en paneles a los cuales se les agregó de fibra de bagazo de caña. Los resultados indican que los paneles con un 5% de fibra de bagazo de caña presentan una resistencia de hasta 12.12 MPa llegando a ser comparable a los materiales tradicionales. Estos hallazgos sugieren que los paneles de fibra de bagazo de caña pueden ser una opción viable y sostenible en la construcción, aunque se recomienda realizar estudios adicionales para optimizar su composición.

**Palabras clave:** Bagazo de caña; Cemento Portland; Placa de cemento; Material de construcción; Sistema Constructivo

### **Abstract**

The following thesis plans the application of sugarcane bagasse fiber in the production of panels for sustainable construction, which are made of cement and a percentage of bagasse. The fibers were treated with a solution containing sodium hydroxide (NaOH) and water to optimize their performance and prevent the propagation of fungi in the material. The main objective is to evaluate the mechanical properties as well as the physical properties of the panels manufactured with bagasse fiber. Tests were carried out to determine the modulus of rupture (MOR) by bending, as well as under freezing, saturated and hot water conditions on panels to which bagasse fiber was added. The results indicate that panels with 5% bagasse fiber have a strength of up to 12.12 MPa, comparable to traditional materials. These findings suggest that bagasse fiber panels can be a viable and sustainable option in construction, although further studies are recommended to optimize their composition.

**Keywords:** Cane bagasse; Portland cement; Cement board; Construction material; Construction System.

## Introducción

Los paneles de fibrocemento son un material en el proceso constructivo, el cual inicialmente estaba compuesto material cementante y por fibras de asbesto, estas fibras cumplían la función de refuerzo en los paneles, sin embargo, se detectaron problemas de asbestosis que el material provocaba por lo que se fue prohibiendo su uso. Por el año de 1960 se comenzó a reemplazar las fibras de asbesto por fibras de polipropileno las cuales se fabrican estirando polímeros sintéticos, ya sea en forma de filamentos únicos con sección circular o como placas delgadas. Estas fibras están presentes de manera particular y sirven de refuerzo en la matriz del material, aumentando la resistencia al impacto y reduciendo las grietas por contracción plástica en estado fresco, así como las grietas por temperatura en estado endurecido. Gracias a su baja densidad, no ascienden a la superficie. Además, tienen una superficie impermeable que no absorbe el agua de la mezcla y son más económicas en comparación con otras fibras. [1]

En tiempos actuales, se ha incentivado la curiosidad e interés en la investigación de elecciones sostenibles y consideradas con el alrededor ambiental en un ámbito muy destacado como es la construcción, la necesidad de reducir el impacto ambiental generado por la misma área ha llevado a explorar materiales renovables y subproductos agrícolas como potenciales soluciones. Uno de estos subproductos son las fibras naturales ya que al contener celulosa dentro de sus componentes básicos y este elemento hace que al añadir las fibras en alguna mezcla estas destaquen por sus propiedades de resistencia puesto que evitan el agrietamiento al incorporarse adecuadamente en las composiciones perfilándose como insumo novedoso para la elaboración de materiales de construcción sostenibles. [2]

Basándose en estudios previos con fibras naturales la investigación presentada aprovecha el residuo resultante de la extracción del líquido de caña de azúcar que es considerado como desecho en diversos comercios que generan azúcar y lo transforma en un nuevo recurso, siendo así esta una alternativa de reciclaje convirtiendo el material propuesto como lo son las fibras en un producto eco amigable ya que no es necesario destruir cierta parte del medio ambiente para conseguirlo sino que resulta de un desperdicio como se mencionó líneas arriba. Los resultados obtenidos podrían tener aplicaciones prácticas en el sector de la edificación como recubrimiento de paredes, cubiertas de techos, paneles de aislamiento o paneles divisorios, con el fin de fomentar la adopción de materiales renovables promoviendo un enfoque más consciente y responsable hacia el medio ambiente. Así mismo, el bagazo al ser un residuo proveniente de la caña de azúcar y teniendo el conocimiento que este alimento tiene una producción masiva sobre todo en la región Lambayeque siendo superada únicamente por la región de La Libertad, es un

compuesto natural con producción constante haciendo que el material propuesto sea sostenible. [3]

La elaboración y comercialización de paneles de cemento combinados con el residuo mencionado puede convertirse en una inversión provechosa pues los paneles de cemento son ampliamente utilizados en la construcción debido a su durabilidad y resistencia, mientras que el bagazo de caña de azúcar generalmente se considera un desecho, al aprovechar esta fibra derivada de la caña de azúcar para la producción de paneles es posible reducir el costo de la materia prima y con ello aumentar la rentabilidad de su producción, también muchas veces se desecha o se le da uso agrícola ya sea como alimento de animales o como abono por lo que podría estar disponible a un costo relativamente bajo o incluso de forma gratuita, esto reduciría los costos de producción en comparación con otros materiales convencionales utilizados en la fabricación de paneles de fibrocemento. Otro aspecto para considerar es que la demanda de materiales de construcción que sean sostenibles y respetuosos con el ambiente está en aumento, la mezcla de cemento y de la fibra de la caña de azúcar ofrece una alternativa a los paneles de construcción convencionales que se basan en recursos no renovables y tienen un mayor impacto ambiental, al utilizar este residuo de la caña de azúcar, es posible reducir la huella de carbono y como consecuencia de ello promover la economía circular lo cual genera un interés adicional por parte de los consumidores y los proyectos de construcción que buscan cumplir con estándares ecológicos.

La hipótesis de esta investigación es que el empleo de la fibra a partir del residuo de la caña en la producción de paneles los cuales tendrán empleo como alternativas sostenibles en la construcción presenta adecuadas propiedades mecánicas y físicas. Las cuales se analizarán luego de la ejecución de los ensayos planificados para comprobar la hipótesis.

El propósito general de la investigación presentada es establecer mediante ensayos las propiedades físicas y las propiedades mecánicas de paneles hechos con cemento portland tipo ICo y fibras de bagazo obtenido de la caña con la finalidad de proponer un material alternativo y sostenible en la construcción. Así mismo, los objetivos específicos son caracterizar física y químicamente las fibras del residuo de la caña, para luego establecer el procedimiento para la elaboración de paneles a base de cemento portland tipo ICo y las fibras mencionadas al 5%, 10% y 15% con la finalidad de llegar a determinar sus propiedades tanto mecánicas como sus propiedades físicas de los paneles. Realizar un estudio mediante el análisis de las propiedades de los paneles elaborados y proponer paneles aptos para ser empleados como un material alternativo y sostenible frente a otros paneles. Realizar una ficha técnica del panel óptimo

propuesto. Proponer un sistema constructivo con este panel. Y realizar un análisis de costos unitarios del panel propuesto, así como una comparativa frente a otros paneles similares.

Con el propósito de desarrollar los objetivos planteados para con ello ejecutar la investigación esperada, se realizó a la fibra propuesta a emplear un análisis físico-químico, la determinación de su PH y un tratamiento químico al mismo, para luego establecer el proceso de elaboración de los paneles elaborados con mezcla compuesta por cemento portland tipo ICo y fibras de bagazo de caña al 5%, 10% y 15% y con ello poder determinar sus características mecánicas y características físicas de los paneles dentro de las cuales se consideran aspectos como la densidad aparente, permeabilidad al agua, resistencia al congelamiento, reacción al agua tibia/caliente, reacción a condiciones saturadas/secas, exposición al fuego y resistencia a cargas en ensayos sometidos a la flexión. Con los aspectos mencionados será posible proponer paneles aptos para ser empleados como un material alternativo y sostenible frente a otros paneles. Además, se podrá realizar una ficha técnica detallada del panel óptimo propuesto, que incluya sus características físicas y mecánicas, así como sus ventajas, esta ficha técnica servirá de base para plantear un sistema constructivo innovador utilizando este panel de fibrocemento con fibra de caña, destacando sus aplicaciones potenciales en el sector de la construcción. Finalmente, se llevará a cabo un análisis de costos unitarios del panel, el cual se basará en una comparativa exhaustiva frente a otros paneles similares disponibles en el mercado. Este análisis permitirá evaluar la viabilidad económica del uso de estos paneles, considerando los costos de producción, los beneficios de extenso término en términos de durabilidad y sostenibilidad. Con esta información, se podrá promover el uso de estos paneles como una alternativa viable y eco amigable en proyectos de construcción.

En esta tesis, se realizará un análisis total para valorar tanto las características físicas como las características de eventos mecánicos de los paneles fabricados con material cementante y fibra de bagazo de caña. Se emplearán métodos, análisis y pruebas que estén debidamente estandarizados para garantizar la obtención de resultados fiables y significativos. Además, se llevarán a cabo consideraciones medioambientales y de sostenibilidad relacionadas con el uso de estos materiales, teniendo en cuenta características como la disminución de emisiones de CO<sub>2</sub> y posibilidad para la reutilización de los subproductos agrícolas. Este enfoque integral permitirá comprender mejor las implicaciones ambientales y la viabilidad técnica de la utilización de estos paneles en la construcción.

## Revisión de literatura

### *Antecedentes Nacionales*

**G. A. Tinoco Padilla, “Uso del residuo agrícola de la caña de azúcar como material alternativo para la elaboración de paneles prefabricados ecológicos de yeso – Lima 2018”, Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo, Lima-Perú, 2018.**

La intención primordial de esta tesis es averiguar y evidenciar el potencial de los restos de la caña de azúcar en su uso para la creación de un compuesto novedoso basado en yeso. En este estudio, se realiza un proceso de mineralización del bagazo con el fin de asegurar una adecuada compatibilidad y adherencia entre este subproducto y el yeso. Para validar la hipótesis planteada, fueron necesarios una sucesión de ensayos, entre los que se incluyen pruebas de flexión y absorción de agua, que permiten evaluar la resistencia del material resultante. Una de las conclusiones más destacadas de este trabajo es que se observan mejores resultados a disposición que se reduce la participación de bagazo en la composición, y que la proporción óptima para alcanzar una resistencia adecuada es del 5% de bagazo y el 95% de yeso. Esta publicación proporciona información relevante para la mejora de los métodos en la industria de la construcción y favorece al progreso de nuevos materiales sostenibles. [4]

**D. R. Ramos Apaza, «Evaluación del efecto de adición de la fibra de totora (*Schoenoplectus californicus*) en cemento Portland tipo I para la elaboración de paneles de fibrocemento», Universidad Nacional del Altiplano. Repositorio Institucional - UNAP, 2023**

Con la investigación se buscaba encontrar las participaciones físicas y mecánicas de los paneles de fibrocemento con fibra de totora. Las propiedades mecánicas y también las físicas de cada panel se evaluaron utilizando el proceso químico tipo Kraft con la finalidad de llegar a tener compuestos celulósicos de totora; el proceso Hatschek se utilizó con el fin calcular el porcentaje de fibra y los materiales necesarios para fabricar paneles de fibrocemento; se evaluaron las propiedades físicas y mecánicas de cada panel de acuerdo con la NTP ISO 8336:2017. Como resultado se obtuvo que el proceso Kraft al ser utilizados para obtener fibra de totora aumentó el contenido de celulosa. Se establecieron adiciones de fibra del 1% al 3% y una correspondencia entre el agua y el cemento de 1,5%. Con la adición del 3% de fibra de totora, se observaron densidades más bajas en términos de propiedades físicas y mecánicas. Con un 3% de fibra de totora y un espesor de 0,6 cm, todos los paneles fueron impermeables al agua y al tratar la fibra, se consigue un mecanismo viable para la fabricación de paneles de

fibrocemento porque proporciona al material excelentes características sobre todo buena resistencia a la flexión. [5]

### *Antecedentes Internacionales*

**L. V. Lozano Zamora y E. A. Rojas Fraile, “Elaboración de paneles termoaislantes para cubierta a partir de fibras de bagazo de la caña de azúcar”, Tesis de pregrado, Universidad La Gran Colombia, Bogotá-Colombia, 2019.**

En esta tesis se propone la idea de que los paneles construidos con una combinación de bagazo de caña de azúcar, cemento y melaza de caña como aglutinantes tienen el potencial de ofrecer un eficaz aislamiento térmico en diversos entornos. Se plantea que estos paneles no solo pueden ayudar a mantener una temperatura interior más cálida, sino que también tienen la capacidad de regular la temperatura ambiente de manera sostenible. Este enfoque se orienta hacia la búsqueda de nuevas soluciones para potenciar la eficacia energética en la industria de la construcción, y promover el uso de materiales renovables en el diseño arquitectónico, con el fin de comprobar esta la funcionalidad y eficacia de este nuevo material se lo sometió a unas pruebas que determinaron su coeficiente de transmitancia y transmisión térmica haciendo uso de una cámara termográfica FLIR E40. Como conclusión de este estudio se obtuvo resultados favorables respecto al nivel de resistencia térmica y una menor transmisión térmica comparados con otros materiales como el concreto reforzado, el ladrillo y el adobe, sin embargo, no se logró determinar que sea un material adecuado para zonas que presenten elevadas temperaturas puesto que ante temperaturas entre 30° y 34° grados estos paneles tienden a disminuir sus dimensiones. [6]

**A. Martín Sendra, “Estudio comparativo de fibras naturales para reforzar hormigón”, Proyecto/Trabajo fin de carrera/grado, Universitat Politècnica de València, 2021.**

En esta investigación se comparan varias fibras naturales las cuales serán utilizadas en el refuerzo del hormigón, cabe mencionar que se analizan dos fibras naturales minerales, fibra de vidrio y fibra de acero. El objetivo de esta investigación es examinar, contrastar y evaluar el rendimiento de estas fibras con el fin de emplearlas como sustituto del cemento dentro de la elaboración del hormigón, para ello se realiza un análisis individualizado de cada tipo de fibra. Dentro de esta investigación se concluye que el hormigón al cual se ha sustituido cemento por bagazo de caña en un 30% mantiene sus propiedades de resistencia dentro de los 28 días de haberlo elaborado y es la mejor alternativa puesto que comparándola con las muestras en las

que se les sustituyó en menor porcentaje, la de 30% presenta una mayor resistencia, hasta en un 40%. [7]

**J. M. Caro Perdomo, “Método experimental para determinar la formulación base de un cemento reforzado con fibras naturales”, Tesis de pregrado, Universidad de los Andes, Bogotá-Colombia, 2018.**

Esta investigación plantea agregar al cemento un porcentaje de fibras naturales como las obtenidas de la madera rolliza para encontrar un diseño de mezcla óptimo el cual en su elaboración presente adecuadas propiedades mecánicas que le permitan ser considerado como un nuevo material constructivo. Como parte inicial de la investigación se sumergió las fibras de madera en una solución de agua con hidróxido de sodio al 5% como parte del tratamiento químico que tenía por finalidad eliminar impurezas iniciales y lograr una buena adherencia al cemento de esta fibra. Luego de someter las muestras del material a ensayos de flexión se concluyó que este nuevo material obtuvo que tiene un factor favorable que le permite su aplicación en pisos industriales y con respecto a su resistencia a esfuerzos de flexión se logró aumentar su resistencia en 4MPa. [8]

**B. M. P. Morales y J. L. M. Cuevas, “Estudio de las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar”, Revista INGENIERÍA UC, vol. 26, n.o 2, pp. 202-212, 2019.**

Esta investigación se enfoca en el desarrollo de un tipo específico de concreto al que se le han incorporado fibras de bagazo de caña de azúcar con el objetivo de fortalecerlo y mejorar sus características mecánicas. La formulación del concreto incluyó un 2.5% de bagazo de caña, que actuó supliendo al agregado fino convencionalmente utilizado. Además, se mantuvo una en 0.48 la relación agua cemento. También se aplicó tratamiento químico con polimetilmetacrilato al bagazo. Los resultados de esta investigación indican que la inclusión de fibras de bagazo de caña como refuerzo tuvo un impacto positivo, ya que contribuyó a la resistencia a la formación de fisuras y evitó el colapso inmediato del concreto, permitiendo que continúe soportando cargas incluso después de haberse fisurado.[9]

**K. M. F. Hasan, P. G. Horváth, y T. Alpár, “Development of lignocellulosic fiber reinforced cement composite panels using semi-dry technology”, Cellulose, vol. 28, n.o 6, pp. 3631-3645, abr. 2021.**

En este artículo científico, se lleva a cabo una investigación detallada sobre paneles de cemento reforzados con fibras lignocelulósicas, como las fibras de pino silvestre y álamo. El principal objetivo de este estudio fue producir paneles utilizando cemento como aglutinante y sometiendo previamente las fibras naturales a un tratamiento químico. Este tratamiento implicó

sumergir las fibras en sodio, cloruro de calcio y cloruro de magnesio para acelerar su proceso de curado. Posteriormente, se analizaron y compararon el rendimiento de varios paneles que tenían diferentes proporciones de mezcla.

Los resultados revelaron que el diseño óptimo de la mezcla era aquel que contenía un 1% de fibras respecto al peso del cemento. Para este diseño, se observó una mejora significativa en las propiedades mecánicas. Sin embargo, se encontró que la adición de más cemento a las proporciones de la mezcla resultó en una disminución de estas características mecánicas. Estos hallazgos proporcionan una investigación útil y complementaria para la fabricación de paneles de cemento reforzados con fibras lignocelulósicas, destacando la importancia de encontrar un equilibrio adecuado en la composición de la mezcla para lograr el mejor rendimiento. [10]

**Fonseca, Régis Pamponet da, “Influência de diferentes tipos de fibras vegetais amazônicas no desempenho de uma argamassa a base de cimento Portland e Metacaulim”, Tese (doutorado), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, 2021.**

En este estudio, el objetivo principal fue investigar el uso de varias fibras vegetales amazónicas, obtenidas en la región de Florianópolis, Brasil. Se consideraron las fibras de navaja, yute, tucum y piasava. El análisis se centró en su comportamiento cuando se mezclan con compuestos basados en cemento Portland. Para esto, se evaluaron las propiedades individuales de cada tipo de fibra vegetal, así como las propiedades de los compuestos resultantes. Se examinó la resistencia a la flexión, a la compresión y la capacidad de absorción de agua de cada muestra.

Tras llevar a cabo los ensayos planificados, se llegó a la conclusión de que la fibra de tucum mostró el mejor rendimiento. Su inclusión aumentó significativamente la resistencia mecánica de los compuestos de cemento, pasando de 67.20 MPa a 318.80 MPa. Este hallazgo resalta la viabilidad y el potencial de la fibra de tucum como un refuerzo efectivo en compuestos de cemento.[11]

## ***Bases teóricas***

### **Fibras vegetales**

Son estructuras anatómicas presentes en las plantas que tienen la función principal de proporcionar soporte estructural y conducción de agua y nutrientes. Estas fibras están compuestas principalmente de constituyentes esenciales de la estructura de la pared celular en las células vegetales como lo son la celulosa, hemicelulosa y pectina, estas son obtenidas del

tejido meristemático primario o secundario, esto es de las partes fibrosas de las plantas, como los tallos, hojas o semillas de la especie de planta que se emplee, generalmente son obtenidas del arroz, algodón, trigo, bagazo, sisal y yute [12].

### **Propiedades de las fibras vegetales**

Las fibras vegetales poseen varias propiedades beneficiosas para la salud y tienen diversas aplicaciones. Algunas de las propiedades más destacadas respecto a la investigación son:

- **Propiedades mecánicas:** Las fibras vegetales, especialmente aquellas presentes en maderas y otras plantas, son conocidas por sus propiedades mecánicas. Se utilizan en la fabricación de papel, textiles, cuerdas y productos de construcción.

Suelen presentar propiedades como la transpirabilidad, la resistencia, la suavidad, la capacidad de absorción de humedad y la biodegradabilidad, lo que las hace atractivas para diversos usos. Además, su producción suele tener un menor impacto ambiental en paralelo con otras fibras como lo son las fibras sintéticas. Además, es importante tener en cuenta que algunas fibras naturales pueden requerir procesos de transformación y tratamiento para su uso final [13]

Respecto a su estructura, la presencia de celulosa favorece en su adecuada resistencia a la tracción, mientras que, la hemicelulosa permite que estas fibras ganen humedad. Sin embargo, el hecho de que todas las fibras tienen los mismos constituyentes, pero con diferente índice, hace que las fibras se comporten de manera diferente [14].

### **Desempeño de las fibras vegetales en matrices cementantes**

El desempeño de las fibras vegetales en matrices cementantes se refiere a cómo estas fibras afectan las propiedades y características de los materiales compuestos resultantes cuando se incorporan en mezclas de cemento u otros materiales similares. Algunas de las maneras en que las fibras vegetales pueden influir en los matrices cementantes incluyen:

- **Refuerzo mecánico:** Las fibras vegetales, como las obtenidas de plantas como el bambú, el sisal o la paja, pueden actuar como refuerzo en matrices cementantes. Estas fibras pueden optimar la firmeza a la tensión y la tenacidad del material compuesto, ayudando a prevenir o controlar la propagación de grietas.
- **Reducción de la retracción:** La inclusión de fibras vegetales en matrices cementantes puede ayudar a reducir la retracción del material durante el proceso de fraguado y curado. Esto puede ser beneficioso para minimizar la formación de grietas y mejorar la durabilidad del material.

- Mejora de la tenacidad: Las fibras vegetales también pueden mejorar la tenacidad de los materiales compuestos, lo que significa que estos pueden resistir mejor las cargas de impacto y deformaciones sin fracturarse.
- Control de la fisuración: La adición de fibras vegetales puede contribuir al control de la fisuración en estructuras de concreto al disminuir la propagación de grietas, lo que es especialmente útil en aplicaciones como pavimentos y elementos prefabricados.
- Sostenibilidad: El uso de fibras vegetales en matrices cementantes puede tener beneficios ambientales al ser una fuente renovable y biodegradable en comparación con algunos refuerzos tradicionales, como las fibras de vidrio.

Se pudo observar un comportamiento favorable de estas fibras puesto que resisten esfuerzos de flexión y evitan la formación inmediata de fisuras. Así mismo se destacan valores altos de energía determinada, ductilidad, capacidad de flexión y resistencia a la fractura al compararlo frente a materiales que no se encuentran reforzados con fibras, este refuerzo al ser de origen vegetal ofrece características de no toxicidad, renovabilidad y un costo bajo en su aplicación [13].

### **Caña de azúcar**

La caña de azúcar, perteneciente al género *Saccharum* y parte de la familia de las gramíneas, es una planta tropical de gran importancia económica y agrícola. Generosamente sembrada en regiones calientes, destaca por su alto contenido de sacarosa, lo que la convierte en una valiosa fuente de azúcar. Además de su uso primario en la producción de azúcar, la caña de azúcar también se utiliza para la obtención de otros productos como el etanol, la melaza y el bagazo.

Su cultivo se realiza en vastas extensiones de terreno, utilizando esquejes de tallos maduros para su plantación. Requiere un clima cálido, suficiente humedad y suelos fértiles para desarrollarse adecuadamente. Además de su importancia económica, la caña de azúcar desempeña un papel significativo en la industria alimentaria, energética y de biocombustibles. Su versatilidad y su amplia gama de aplicaciones la convierten en un cultivo clave en la agricultura global.

### **Gabazo de caña de azúcar**

El bagazo de caña de azúcar es un subproducto de la industria de la caña de azúcar, generado como residuo fibroso tras el procesamiento para la extracción del jugo y la producción de azúcar. Esta fibra residual, también denominada bagazo de caña de azúcar, consiste

principalmente en la pulpa de la caña y otras sustancias orgánicas. Se destaca por su composición fibrosa y su potencialidad como recurso renovable.

Cabe mencionar que de 1 tonelada de caña de azúcar es posible obtener de 250 a 280 kilogramos de bagazo, esto es que un 25% del peso la materia prima original [15].

### **Composición**

El bagazo de caña de azúcar es una mezcla compleja de componentes orgánicos e inorgánicos. Su composición puede variar según diversos factores, como la variedad de la caña, las condiciones de crecimiento, el proceso de extracción de azúcar y el tratamiento posterior. La composición del bagazo de caña de azúcar hace que sea un material versátil con diversas aplicaciones, como la generación de energía, la producción de papel y cartón, y su uso en prácticas agrícolas y de compostaje. Además, el bagazo de caña de azúcar es un ejemplo de cómo los subproductos de la industria pueden ser aprovechados de manera sostenible para reducir residuos y generar valor adicional. Es crucial tener en cuenta que las propiedades particulares del bagazo pueden fluctuar dependiendo de la región y las técnicas agrícolas e industriales empleadas en el área. No obstante, en líneas generales, el bagazo de caña de azúcar está compuesto mayoritariamente por un 50% de celulosa, un 25% de hemicelulosa y un 25% de lignina. Además, pueden encontrarse otras sustancias, como pectina, ceras, resinas y diversos compuestos en concentraciones mínimas. Esta variabilidad en la composición del bagazo puede influir en sus aplicaciones industriales y su potencial de aprovechamiento como recurso renovable. [16].

### **Propiedades**

En un estudio llevado a cabo con la finalidad de caracterizar el bagazo de caña se obtuvieron las propiedades fisicoquímicas para partículas con un tamaño menor a 1mm, este bagazo presentó 4% de humedad, una densidad de 0.12g/cc, fue 68% volátil y un índice de cenizas de 1.26% [17].

### **Tratamiento químico**

Con el designio de obtener unas fibras de bagazo aptas para ser añadidas en nuevas mezclas se han planteados variados tratamientos previos a su uso [18]. Se pueden distinguir los siguientes tratamientos:

Tratamiento alcalino con hidróxido de sodio, se realiza la aplicación de una solución acuosa de NaOH para romper la capa de lignina para que las fibras de celulosa se reacomoden y puedan incorporarse de una mejor manera a nuevas mezclas [18]. Así mismo la solución alcalina aplicada a fibras de bagazo proporcionó resultados favorables sobre las propiedades térmicas de los compuestos reforzados [19].

Tratamiento ácido, reduce el grado de cristalinidad y el grado de polimerización de la celulosa, suele ser empleado en la obtención de etanol puesto que dependiendo la concentración que se aplique la celulosa y la hemicelulosa se reducirán a monosacáridos, se contempla el uso de ácido sulfúrico, el ácido clorhídrico y el ácido fosfórico [18]. Otro ácido empleado es el ácido acrílico el cual fue aplicado al bagazo y como resultado se obtuvo una fibra con mayor resistencia a la difusión del agua [19].

Tratamiento con acetona, este tratamiento disuelve la hemicelulosa con la finalidad de unir las fibras con la matriz deseada, aumentando así las propiedades mecánicas de los materiales. Se observó un aumento considerable en la resistencia a la flexión de los compuestos reforzados con fibra de bagazo tratados con acetona en comparación con los compuestos con fibras incrustadas sin tratar. [19]

### **Tratamiento físico**

Para poder plantear el empleo óptimo del bagazo en la elaboración de paneles, con la finalidad de lograr una buena adherencia en conjunto con el cemento y que las fibras cumplan el objetivo de soportar esfuerzos a flexión es necesario desfibrarlo para disminuir su tamaño. Puesto que una fibra larga va a tender a romperse dentro del compuesto y no ganar resistencia.[20]

### **Desempeño de la fibra en la industria de la construcción**

Las fibras del bagazo de la caña de azúcar, debido a su elevado contenido de celulosa y sus propiedades destacadas en resistencia a la flexión y capacidad de aislamiento, encuentran aplicación en la creación de soluciones innovadoras y respetuosas con el medio ambiente en el sector de la construcción. Esta utilización contribuye no solo a reducir la dependencia de materiales convencionales, sino también a promover prácticas sostenibles en la industria de la edificación.

- Refuerzo de materiales: La fibra de bagazo de caña se emplea como refuerzo en diversos materiales de construcción, entre ellos el concreto, el mortero y los paneles. La adición

de esta fibra a tales materiales no solo fortalece su resistencia a la tracción, sino que también minimiza el riesgo de fisuras y agrietamientos. Este método de fortalecimiento constituye una estrategia efectiva para mejorar la durabilidad y la integridad estructural de los elementos constructivos, al tiempo que aprovecha un recurso renovable y promueve la sostenibilidad en la industria de la construcción. [21]

- **Materiales compuestos:** La fibra de bagazo de caña se combina con matrices poliméricas para producir materiales compuestos utilizados en la construcción. Estos materiales compuestos llegan a tener características mejoradas entre las que destaca una mejor resistencia, desempeño y durabilidad. [22]
- **Aislamiento térmico y acústico:** La fibra de bagazo de caña tiene una aplicación adicional como material de aislamiento en la construcción. Se puede integrar en paneles aislantes para aumentar la eficiencia energética de los edificios al disminuir la transferencia de calor y proporcionar aislamiento acústico. Este uso del bagazo como aislante contribuye significativamente a la creación de ambientes más confortables y sostenibles, al tiempo que aprovecha un recurso renovable y eco amigable. [6]

### **Conglomerante**

La Rae [23] denomina conglomerante a aquellos materiales que tienen la capacidad de unir diferentes sustancias con la finalidad de cohesionarlos en conjunto y generar compuestos nuevos. Los conglomerantes para poder unirse llevan a cabo procedimientos químicos, estos producen reacciones internas que alteran su composición química, experimentando procesos de hidratación y adquiriendo nuevas características tanto químicas como físicas. Pueden clasificarse en conglomerantes aéreos, conglomerantes hidráulicos y conglomerantes hidrocarbonados. Los conglomerantes generalmente empleados son el yeso, la cal y el cemento. [24]

**Cemento:** Es un material en forma de polvo el cual se logra mezclando clinker y yeso dihidratado, el clinker es una mezcla de arcilla y caliza. Además, es considerado un conglomerante hidráulico puesto su proceso de fragua y endurecimiento se da al aire, en zonas húmedas o bajo el agua [24].

**Cemento Portland:** La ASTM [25] delimita al cemento portland como un cemento hidráulico el cual se obtiene mediante la molienda fina del clinker, se compone especialmente

por silicato de calcio cristalino e hidráulico, también contiene agua, yeso y puede presentar caliza hasta en 5%. El clinker debe tener entre 5 y 25mm de diámetro.

**Fibro cemento:** El fibrocemento es un material en forma de panel el cuál debido a sus características puede ser empleado en el ámbito de construcción como cubierta, divisiones interiores y como techos. Se encuentra compuesto por fibras orgánicas o inorgánicas y un conglomerante el cual va a permitir la integración de estas fibras.

### *Sistema constructivo*

Se considero al SCNC en Seco ETERNIT que implica una estructura de acero galvanizado en la cual las placas se unen mediante tornillos. Este método ofrece una alternativa robusta y duradera para la construcción en seco, destacando por su facilidad de instalación y resistencia a diversas condiciones climáticas. Además, este sistema presenta diferentes tipos de placas sus aplicaciones específicas en la construcción de muros y techos. Estos sistemas ofrecen una solución versátil y eficaz para la edificación rápida y eficiente en una amplia gama de proyectos de construcción. [26]

También se contemplaron otros aspectos importantes del Sistema Constructivo en Seco Dryboard, como la instalación de aislamiento térmico y acústico entre las placas de fibrocemento y la estructura de acero. Estas consideraciones adicionales son fundamentales para garantizar un rendimiento óptimo del sistema en términos de eficiencia energética y confort acústico en el edificio. [27]

### **Normativa**

#### **NTP - ISO 8336 Planchas de Fibro-cemento**

Ante la variedad de fibras y conglomerantes se desarrolló esta norma técnica peruana en la que se detallan las características, parámetros de aceptación y ensayos necesarios para que un material sea considerado fibrocemento. [28]

La NTP ISO 8336 clasifica las planchas de fibrocemento según su uso en 2 tipos. La plancha tipo A son aquellas planchas que se expondrán al ambiente, mientras que la plancha tipo B van enfocadas a usarse en ambientes internos.

### *Ensayos a las muestras*

#### *Resistencia a la flexión*

Este ensayo tiene permite determinar el módulo de ruptura el cual mide la resistencia a la flexión que presenta el espécimen ensayado. Para evaluar la resistencia a la flexión de los paneles de cemento y fibras de bagazo de caña se tomará en cuenta lo especificado en la ISO 8336: 2017.

*Tabla I: Valores mínimos de rotura*

Clase	MOR mínimo (MPa)		
	Categoría A	Categoría B	Categoría C
<b>1</b>	4	4	4
<b>2</b>	7	7	7
<b>3</b>	13	13	10
<b>4</b>	18	18	16
<b>5</b>	24	24	22

*Fuente: ISO 8336:2017*

### ***Densidad Aparente***

Este ensayo nos permite dimensionar la correspondencia entre la masa o el peso y el volumen de cualquier material, se encuentra especificada en g/cm<sup>3</sup>. La densidad aparente del espécimen se obtendrá según lo especificado en la ISO 8336:2017 y se expresará como la densidad promedio. [28]

### ***Permeabilidad al agua***

Este tipo de ensayo determina si el material puede evitar la filtración de agua en condiciones específicas durante un período prolongado. Por ejemplo, según lo estipulado por la norma ISO 8336:2017, se puede realizar un ensayo de inmersión de 24 horas para evaluar la presencia de gotas de agua al someter el material a una inmersión prolongada. Este proceso proporciona información crucial sobre la capacidad del material para resistir la penetración de agua y su idoneidad para aplicaciones donde se requiera una barrera efectiva contra la humedad. [28]

### ***Resistencia al congelamiento***

Este ensayo de congelamiento-descongelamiento evaluará el desempeño de los paneles ante ciclos de cambios de temperatura especificados en la ISO 8336: 2017, los cuales luego de ser acondicionados a situaciones de enfriamiento y descongelamiento se les calculará su módulo

de ruptura para encontrar una relación entre los ensayados y los no ensayados, así como su desviación estándar. Por último, se espera que la diferencia entre el promedio de la relación entre los MOR y 0.58 veces la desviación estándar no puede ser menor a 0.75 con lo que se indicaría que el material presenta resistencia al congelamiento. [28]

### ***Agua tibia/caliente***

Se realiza con la finalidad de evaluar los paneles frente al agua tibia, consiste en la sumersión en agua tibia/caliente a una temperatura de  $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$ , por un tiempo de  $56 \pm 2$  días los cuales se compararán con los paneles que no fueron sumergidos. A estos especímenes se les calculará su módulo de ruptura para encontrar una relación entre los ensayados y los no ensayados, así como su desviación estándar. Por último, se espera que la diferencia entre el promedio de la relación entre los MOR y 0.58 veces la desviación estándar no puede ser menor a 0.75 con lo que se indicaría que el material presenta resistencia agua tibia/caliente. [28]

### ***Resistencia al fuego***

La resistencia al fuego de un elemento es una característica crucial en la construcción, ya que garantiza la seguridad estructural y humana en caso de incendio. Evaluar esta propiedad implica no solo la capacidad de mantener la estabilidad y la integridad frente al fuego, sino también la retención de las funciones esenciales del elemento durante un tiempo determinado, lo que proporciona a los ocupantes del edificio un tiempo adicional para evacuar de manera segura en caso de emergencia.

Se acompaña por un número en minutos (15, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240 ó 360)

### ***Saturado-seco***

Consiste en someter los paneles a situaciones de sumergido en agua con una temperatura mayor a  $5^{\circ}\text{C}$  durante 18 horas para luego secarlos en un horno a una temperatura de  $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$  y comparar su MOR frente a paneles sin someterlos a situaciones saturadas. Se encontrará una relación entre el MOR de los paneles ensayados y los no ensayados, así como su desviación estándar. Por último, se espera que la diferencia entre el promedio de la relación entre los MOR y 0.58 veces la desviación estándar no puede ser menor a 0.75 con lo que se indicaría que el material presenta resistencia a situaciones saturadas/secas. [28]

### **Especímenes para ensayar**

Respecto a los especímenes que se someterán a este ensayo y se deben tener en cuenta que para planchas con un espesor menor a 0.9cm serán necesario 2 muestras cuadradas, para planchas con un espesor mayor a 2.0cm serán necesario 4 muestras rectangulares, así mismo, para planchas con un espesor mayor a 0.9cm, pero menor a 2.0cm las muestras pueden ser cuadradas o rectangulares. Otro aspecto para tener en cuenta son las dimensiones de la muestra a ensayar, si es una muestra cuadrada el largo debe ser mayor o igual a 250mm y si es rectangular el largo dependerá de la luz a ensayar más 4cm y un ancho de 100mm como mínimo. [28]

### **Economía circular**

Es un modelo integral que se ha diseñado en consideración a la problemática del cambio climático, la pérdida de biodiversidad, la gestión de residuos y el crecimiento de la contaminación. Este enfoque económico y sistémico busca abordar de manera eficaz y sostenible estos desafíos, promoviendo prácticas y políticas que favorezcan la protección del medio ambiente y la conservación de los recursos naturales para las generaciones futuras. Uno de los conceptos que sirven de base para entender la economía circular es el denominado “Cradle to Cradle” [29] en donde se plantea diseñar nuevos productos en los que se optimicen sus componentes, se espera que una vez acabe el uso para los que fueron creados sirvan para ser reutilizados en algo nuevo con la finalidad de eliminar desperdicios ya que estos servirán de recurso para un nuevo producto, emplear energías renovables y apoyar la diversidad de propuestas.

Este sistema tiene como objetivo fomentar la reutilización, reparación y el reciclaje, alargando la vida útil de un producto o de sus materiales que lo componen creando un método para su reutilización o su regeneración [30].

### **Materiales y métodos**

La presente investigación según su propósito y finalidad con la que se desarrolla es una investigación aplicada ya que busca la creación de un nuevo material al cual se le podrá diversos usos según sus propiedades, además de aprovechar un elemento que era considerado residuo para reciclarlo y darle un nuevo uso. Así mismo será necesario aplicar los conocimientos en Ingeniería Civil respecto a los ensayos y propiedades del nuevo material para que el proyecto se lleve a cabo, también será una investigación experimental porque se va a verificar la

viabilidad del material propuesto al cual se le someterá diversos ensayos con el fin de evaluar sus propiedades físicas y mecánicas.

El diseño que se aplicará al desarrollo de esta investigación será experimental ya que será posible manejar la variable independiente [31] Al ser una investigación experimental se plantea una idea de los posibles resultados esperados, esta se denominará hipótesis.

### ***Población***

La fibra de gabazo de caña de azúcar fue obtenida de la azucarera Pomalca quienes tienen este insumo como desperdicio luego de haberle extraído todo el jugo

### ***Muestra***

Los paneles elaborados tendrán una medida de 60cm x 100cm, sin embargo, para los ensayos se evaluarán otras medidas convenientes de acuerdo con la Norma NTP ISO 8336:2017

### **Densidad Aparente**

*Tabla II: Muestras para el ensayo de densidad aparente*

<b>%</b>	<b>5%</b>	<b>10%</b>	<b>15%</b>	<b>Total</b>
<b>N° Muestras</b>	3	3	3	9

*Fuente: Propia*

Para el ensayo de la densidad aparente del panel se tomarán muestras de 300 x 300 mm.

### **Permeabilidad al agua**

*Tabla III: Muestras para el ensayo de permeabilidad al agua*

<b>%</b>	<b>5%</b>	<b>10%</b>	<b>15%</b>	<b>Total</b>
<b>N° Muestras</b>	3	3	3	9

*Fuente: Propia*

Para el ensayo de permeabilidad al agua se tomarán muestras de 300 x 300 mm.

### **Resistencia al congelamiento**

*Tabla IV: Muestras para el ensayo de resistencia al congelamiento*

<b>%</b>	<b>5%</b>	<b>10%</b>	<b>15%</b>	<b>Total</b>
<b>N° Muestras</b>	3	3	3	9

*Fuente: Propia*

Para el ensayo de resistencia al congelamiento del panel se tomarán muestras de 300 x 200 mm.

### Agua Tibia/ Caliente

*Tabla V: Muestras para el ensayo de agua tibia/ caliente*

<b>%</b>	<b>5%</b>	<b>10%</b>	<b>15%</b>	<b>Total</b>
<b>N° Muestras</b>	3	3	3	9

*Fuente: Propia*

Para el ensayo de Agua Tibia/ Caliente del panel se tomarán muestras de 300 x 200 mm.

### Saturado/ Seco

*Tabla VI: Muestras para el ensayo de Saturado/ Seco*

<b>%</b>	<b>5%</b>	<b>10%</b>	<b>15%</b>	<b>Total</b>
<b>N° Muestras</b>	3	3	3	9

*Fuente: Propia*

Para el ensayo de Saturado/ Seco del panel se tomarán muestras de 300 x 200 mm.

### Resistencia al fuego

*Tabla VII: Muestras a ensayarse en la resistencia al fuego*

<b>%</b>	<b>5%</b>	<b>10%</b>	<b>15%</b>	<b>Total</b>
<b>N° Muestras</b>	3	3	3	9

*Fuente: Propia*

Para este ensayo se se tomarán muestras de 600 x 1000 mm.

### PH - Resistencia al crecimiento de Hongos

*Tabla VIII: Muestras para el ensayo de Resistencia al crecimiento de Hongos*

<b>%</b>	<b>5%</b>	<b>10%</b>	<b>15%</b>	<b>Total</b>
<b>N° Muestras</b>	3	3	3	9

*Fuente: Propia*

Para el ensayo de PH - Resistencia al crecimiento de Hongos del panel se tomarán muestras de 20g de panel trituradas

## Resistencia a la Flexión

Tabla IX: Muestras para el ensayo de Resistencia a la Flexión

%	5%	10%	15%	Total
N° Muestras 300 x 200 mm	3	3	3	9
N° Muestras 600 x 1000 mm	3	3	3	9

Fuente: Propia

Para el ensayo se tomarán muestras de 600 x 1000mm.

### Variables

- Variable independiente: Fibras de bagazo de caña de azúcar.
- Variable dependiente: Paneles a base de fibra de bagazo de caña de azúcar de al 5%, 10% y 15%.

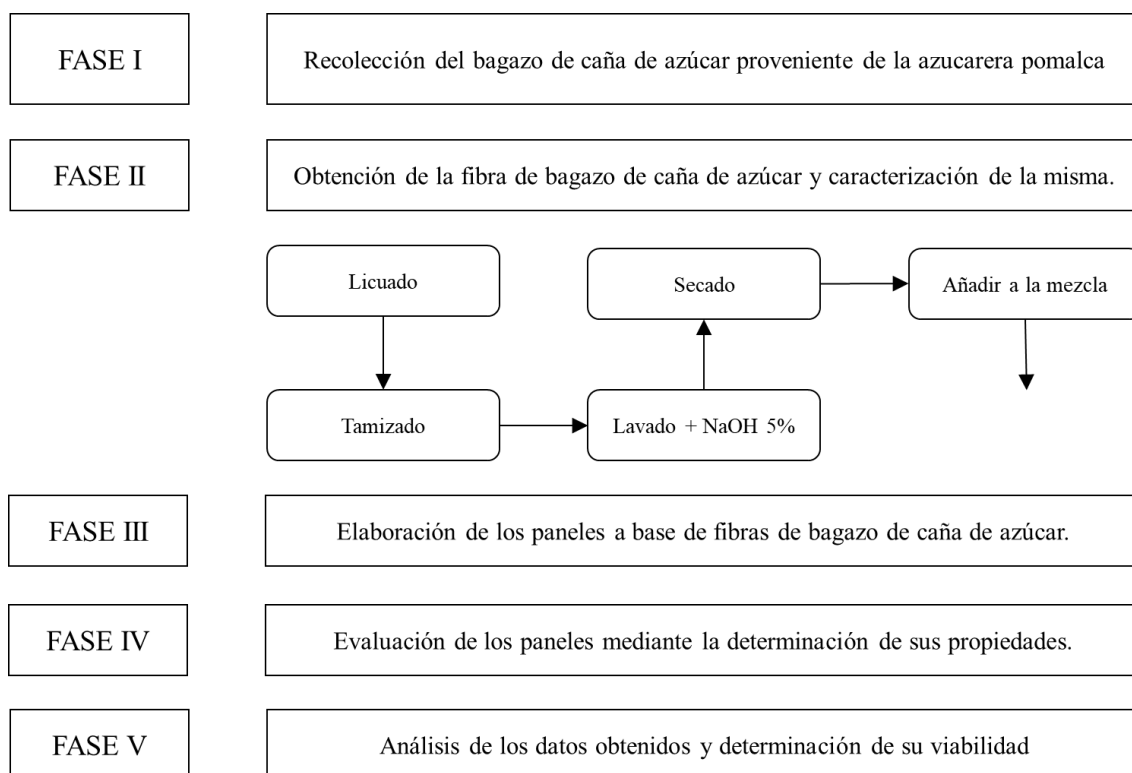
Tabla X Operacionalización de Variables

OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES				
VARIABLE		DIMENSIÓN	INDICADOR	MÉTODO/ INSTRUMENTOS
Variable Independiente	Fibras de bagazo de caña de azúcar.	Propiedades de la fibra de bagazo de caña de azúcar	Granulometría	NTP 400.012
			pH	PHmetro
			Caracterización Físico-Química	ASTM D 271
				NTP 205 005 NTP 205 006 NTP 205 002 NTP 205 004
Variable Dependiente	Paneles de cemento y fibra de bagazo de caña de azúcar al 5%, 10% y 15%	Propiedades físicas de los paneles	Espesor	Calibrador
			Dimensiones: Largo, Ancho	Calibrador
			Resistencia al fuego	NCH 935/1 - ASTM E 119
			PH – Resistencia al crecimiento de hongos	ASTM D 4262
			Densidad aparente	NTP ISO 8336:2017 INTE/ISO 8336:2010 ISO 8336.2017
			Permeabilidad al agua	
			Resistencia al congelamiento	
			Agua tibia/caliente	
		Saturado - Seco		
Propiedades mecánicas de los paneles	Resistencia a la flexión			

Fuente: Propia

## Procedimientos

*Ilustración I: Procedimientos para la elaboración del panel*



*Fuente: Propia*

El proyecto de investigación se desarrolló en cinco fases secuenciales para garantizar un análisis exhaustivo. Comenzando con la recolección del bagazo como punto inicial, se procedió a la preparación de la fibra para su posterior aplicación en la elaboración de los paneles. Una vez fabricados, los paneles fueron sometidos a una serie de ensayos meticulosos destinados a evaluar sus propiedades físicas, químicas y térmicas. Estos ensayos se llevaron a cabo con el fin de proporcionar una base sólida para la comparación con los estándares establecidos en la NTP ISO 8336. Finalmente, se realizó una evaluación exhaustiva para determinar la funcionalidad de los paneles y validar la hipótesis inicial de la investigación.

Este enfoque integral aseguró una comprensión completa del rendimiento de los paneles y su viabilidad para su uso en aplicaciones específicas.

### ***Fase I: Recolección del bagazo***

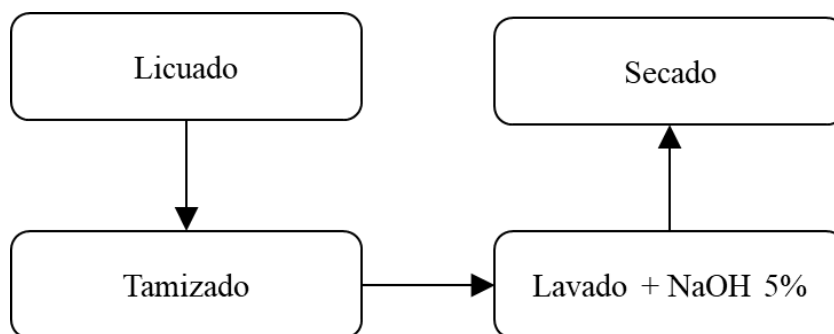
Consiste en recolectar los residuos de bagazo de caña proveniente de la azucarera Pomalca, este bagazo es el residuo que les queda luego de usarla en la obtención de su materia necesaria.



*Fuente: Propia*

***Fase II: Obtención de la fibra y su caracterización.***

*Ilustración II: Proceso para la obtención de la fibra*



*Fuente: Propia*

En esta investigación luego de revisar diferentes metodologías con el propósito de conseguir una fibra apta se optó por el procedimiento químico con NaOH, el cual consistió en lavar el bagazo en una solución al 5% de NaOH luego de ello dejarlo secar al aire libre. A continuación, se describe cada uno de los pasos contemplados.

- Tamizado  
Se inició tamizando el bagazo proveniente de la azucarera Pomalca.
- Licuado

Aquel bagazo que no pasa el tamiz será licuado con la finalidad de disminuir su longitud.

- Tamizado

Se tamiza el bagazo licuado y aquel bagazo que no pasa se descarta ya que al tener una longitud amplia es difícil su manejo y no cumple su función.

- Lavado + NaOH 5%

Se realiza el tratamiento químico a la fibra, este consiste en lavar la fibra en una solución al 5% de NaOH. Por cada litro de agua se le añade 50g de NaOH y 50 g de fibra.

- Secado

Se deja secar al aire libre la fibra y una vez seco se procedió a emplearlo en la elaboración de los paneles.

*Imagen III: Materiales para el tratamiento químico*



*Fuente: Propia*



*Fuente: Propia*

### ***Fase III: Elaboración de los paneles***

#### ***Ensayos a los agregados***

##### ***Granulometría***

Se realizó este ensayo con la finalidad de obtener un análisis y conocimiento del agregado a emplearse en la elaboración del panel.

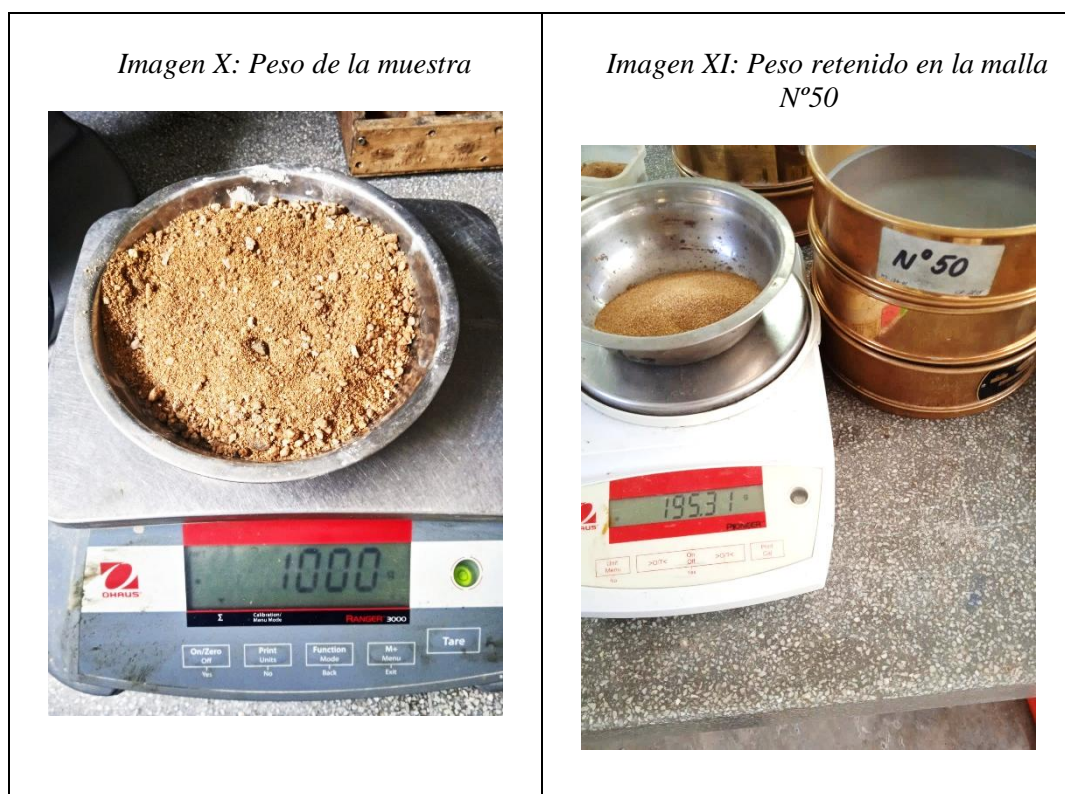
***Norma:*** ASTM C-136 ó N.T.P. 400.012

##### ***Equipos y materiales***

- Balanza, con sensibilidad de al menos 0.1% en masa de la muestra se va a ensayar.
- Tamices ½” – 3/8” – N04 – N08 – N16 – N30 – N50 – N100
- Horno 110° ± 5°C

### ***Procedimiento***

- La muestra se deshidrata a una temperatura controlada de  $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230^{\circ} \pm 9^{\circ}\text{F}$ ) hasta alcanzar una masa constante, con una precisión de aproximadamente 0.1% respecto a la masa seca inicial de la muestra.
- Los tamices se disponen en orden descendente según el tamaño de la abertura, y la muestra (o una porción de la muestra si se va a tamizar por partes) se coloca sobre el tamiz superior. Se agitan manualmente los tamices durante un período de 15 minutos.
- Se registra la masa de la muestra retenida en cada tamiz utilizando una balanza que cumpla con las especificaciones requeridas.



*Fuente: Propia*

### ***Peso unitario del agregado fino***

Se realizó este ensayo con la finalidad de obtener el peso unitario suelto y compactado del agregado fino.

***Norma:*** ASTM C-29 ó N.T.P. 400.017

### ***Equipos y materiales***

- Balanza, con sensibilidad de al menos 0.1% en masa de la muestra se va a ensayar.

- Varilla de apisonado
- Agregado fino

### ***Procedimiento peso suelto***

- Llenar el recipiente hasta el borde superior con una pala o cucharón, vertiendo el agregado desde una altura que no supere los 50 mm sobre dicho borde.
- Registrar con precisión de 0.05 kg la masa del recipiente junto con su contenido y la masa del recipiente vacío.

*Imagen XII: Recipiente vacío*



*Imagen XIII: Recipiente peso suelto*



*Fuente: Propia*

### ***Procedimiento peso compactado***

- Se llena el recipiente hasta alcanzar un tercio de su capacidad total y se nivela la superficie con los dedos. Posteriormente, se apisona la capa de agregado con 25 golpes utilizando la varilla de apisonado, distribuyendo los golpes uniformemente sobre la superficie. Se repite este procedimiento al llenar el recipiente hasta dos tercios de su capacidad total, nivelando y apisonando nuevamente. Finalmente, se llena el recipiente hasta que el agregado sobresalga ligeramente y se apisona una vez más.
- Durante el apisonado de la primera capa, se nivela la superficie del agregado con los dedos o una espátula, evitando golpear el fondo del recipiente con fuerza utilizando la varilla.

- En el apisonado de la segunda y tercera capas, se aplica un esfuerzo vigoroso, asegurándose de no ejercer una presión excesiva que pueda causar la penetración de la varilla en la capa previamente apisonada del agregado.



*Fuente: Propia*

### ***Contenido de humedad del agregado fino***

Se realizó este ensayo con la finalidad de obtener el peso unitario suelto y compactado del agregado fino.

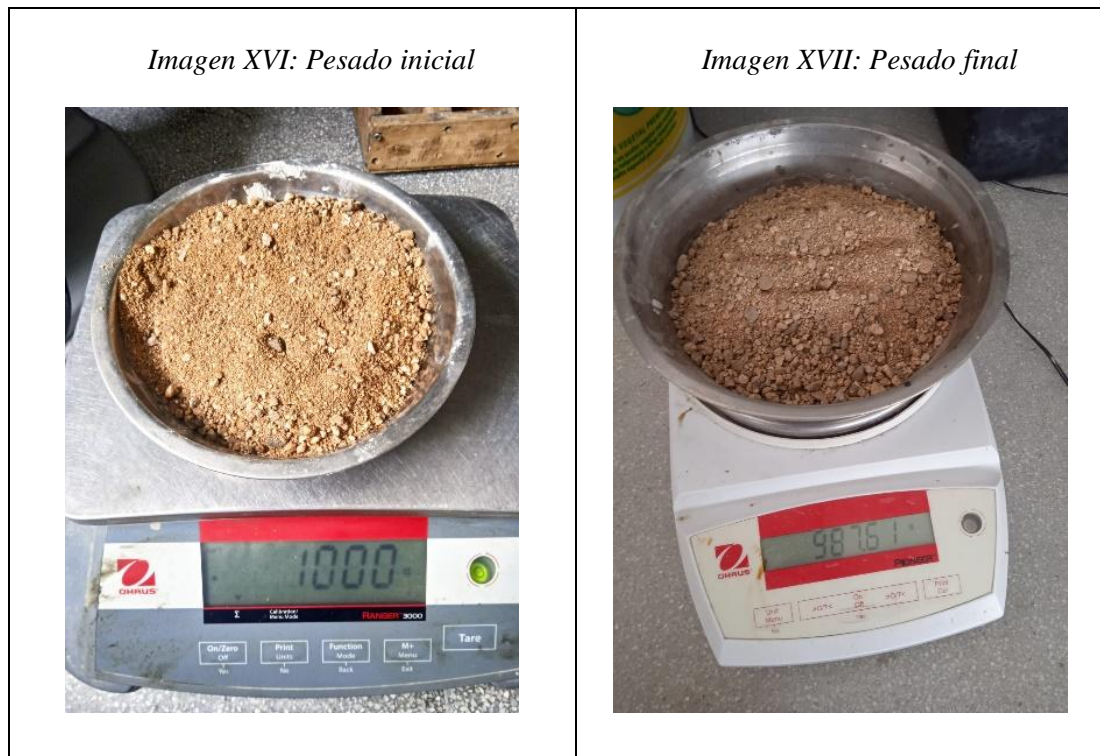
***Norma:*** ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

### ***Equipos y materiales***

- Balanza, con sensibilidad de al menos 0.1% en masa de la muestra se va a ensayar.
- Horno  $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$
- Agregado fino

### ***Procedimiento***

- Se obtuvo 1000 g de agregado fino
- Se secó la muestra en el horno por 24h a  $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$
- Se retiró la muestra del horno para determinar el peso final.



*Fuente: Propia*

### ***Peso específico y absorción del agregado fino***

Se realizó este ensayo con la finalidad de obtener el peso específico y el grado de absorción del agregado fino a emplear.

***Norma:*** Norma ASTM C-128 ó N.T.P. 400.022

### ***Equipos y materiales***

- Balanza, con sensibilidad de al menos 0.1% en masa de la muestra se va a ensayar.
- Horno  $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$
- Muestra de agregado fino
- Fiola

### ***Procedimiento***

- Se obtuvo 500 g de agregado fino de la cual se empleó el material que pasó el tamiz N°04.
- Se colocó la muestra en la fiola previamente pesada y se llenó con agua destilada.
- Se dejó reposar por 24 horas para luego sacar el agua excedente hasta la marca de la fiola y proceder a pesar nuevamente.
- Se colocó la muestra en una tara y se llevó al horno por 24 horas
- Se retiró del horno y se pesó la muestra seca.

*Imagen XVIII: Fiola con la muestra**Imagen XIX: Peso seco de la muestra*

*Fuente: Propia*

Una vez obtenida la fibra se integrará el cemento portland, arena y el agua, la relación a/c establecida es de 0.70, la de arena (agregado fino) es de 2:1 en volumen, mientras que la concentración de fibras va a variar de 5%, 10% y 15% según la masa del cemento contemplado. Luego de ello se procede a la elaboración de los paneles, la mezcla se distribuirá de manera uniforme en moldes de madera cuadrados de 300mm de lado teniendo en cuenta las dimensiones de espécimen a ser ensayados establecidos por la NTP ISO 8336. Al ser un material a base de cemento y con la finalidad de evitar que el material se quiebre el desencofrado será dentro de 48 horas en el molde.

***Fase IV: Evaluación de las características físico-mecánicas de los paneles mediante la determinación de sus propiedades.***

***Ensayos a las muestras***

Para ejecutar esta fase se llevarán a cabo diversos ensayos los cuáles permitirán identificar las propiedades de este panel. Al inicio se caracterizarán físicamente los paneles elaborados para obtener su peso y sus dimensiones como el largo, ancho y espesor. Después de ser caracterizados se someterán a diversos ensayos para evaluar su desempeño, los ensayos a llevar a cabo serán: resistencia a la flexión, densidad aparente, permeabilidad al agua, resistencia al

congelamiento, resistencia al fuego, resistencia al crecimiento de hongos, agua tibia/caliente y saturado/seco. Los ensayos se describirán a continuación.

### ***Medidas dimensionales y geométricas***

Los paneles se miden para determinar su cumplimiento con los requisitos de la Norma NTP ISO 8336:2010 para el largo, el ancho y el espesor de cada.

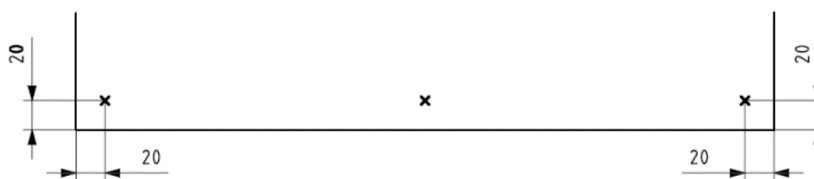
#### ***Equipos y materiales***

- Paneles de **1000 mm x 600 mm** aprox
- Regla con exactitud de 0.5mm
- Vernier
- Marcador

#### ***Procedimiento***

Marcar los paneles a 20mm y 50mm de cada uno de los extramos y en el centro de cada lado.

*Ilustración III: Marcas para las medidas geométricas*



*Fuente: ISO 8336:2017*

#### ***Medida del largo***

Desde el lado A se tomaron las medidas hasta el lado C, 5 mediciones por panel

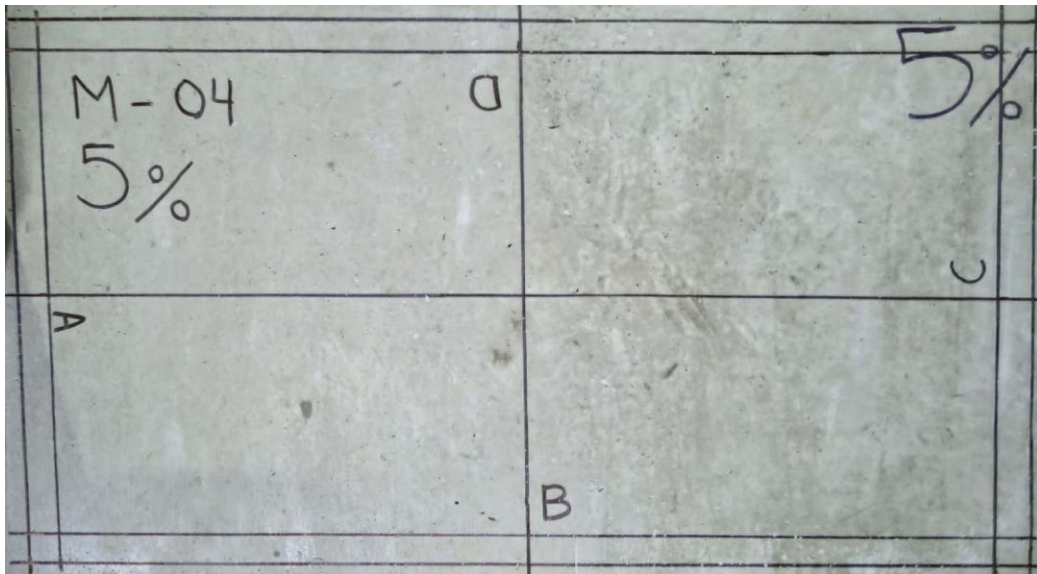
#### ***Medida del ancho***

Desde el lado B se tomaron las medidas hasta el lado D, 5 mediciones por panel

#### ***Medida del espesor***

Se tomaron medidas del espesor con el vernier en cada uno de los puntos marcados, se obtuvieron 20 mediciones por panel.

*Imagen XX: Panel marcado según lo especificado*



*Fuente: Propia*

### ***Densidad aparente***

Este ensayo permite determinar la densidad aparente de láminas de fibrocemento. Esta es la densidad promedio del material y sus poros.

#### ***Equipos y materiales***

- Paneles de 300mm x 300mm
- Horno capaz de alcanzar la temperatura de  $(100 \pm 5) ^\circ\text{C}$
- Balanza con exactitud de al menos el 0,1 %

#### ***Procedimiento***

- Sumergir el espécimen en agua, los especímenes con espesor  $\leq 20$  mm deben sumergirse al menos 24 h.
- Tomar el espécimen saturado, remover el exceso de agua de las superficies y entonces determinar el volumen desplazado de agua, V.
- Remover el espécimen del baño de agua y colocarlo en un horno a  $(100 \pm 5) ^\circ\text{C}$  hasta que se alcance masa constante, m.

#### ***Cálculo***

$$d = \frac{m}{v}$$

m es la masa seca del espécimen, en gramos;

V es el volumen del espécimen, en centímetros cúbicos



*Fuente: Propia*

### ***Resistencia al congelamiento***

Este ensayo permite determinar el desempeño frente al congelamiento de las láminas de fibrocemento. La resistencia a la flexión de la muestra dará un índice del nivel de resistencia al congelamiento de los paneles de fibrocemento.

#### ***Equipos y materiales***

- Paneles de 200mm x 300mm
- Máquina para ensayos a flexión

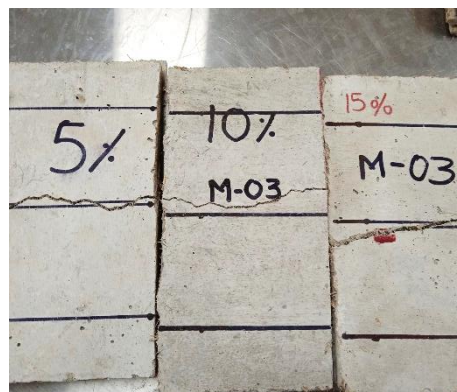
#### ***Procedimiento***

- Sumergir las láminas en un ciclo de congelamiento – descongelamiento el cual consiste en someter a las muestras a  $-20^{\circ} \pm 2$  durante 2h para luego dejarlas al ambiente por 1 hora, esto se repite 3 veces
- Luego dejar las muestras al ambiente por 7 días
- Una vez pasados los 7 días se someten las muestras al ensayo de flexión

*Imagen XXIII: Muestras en ciclo de congelamiento*



*Imagen XXIV: Muestras luego del ensayo de flexión*



*Fuente: Propia*

### ***Agua Tibia/ Caliente***

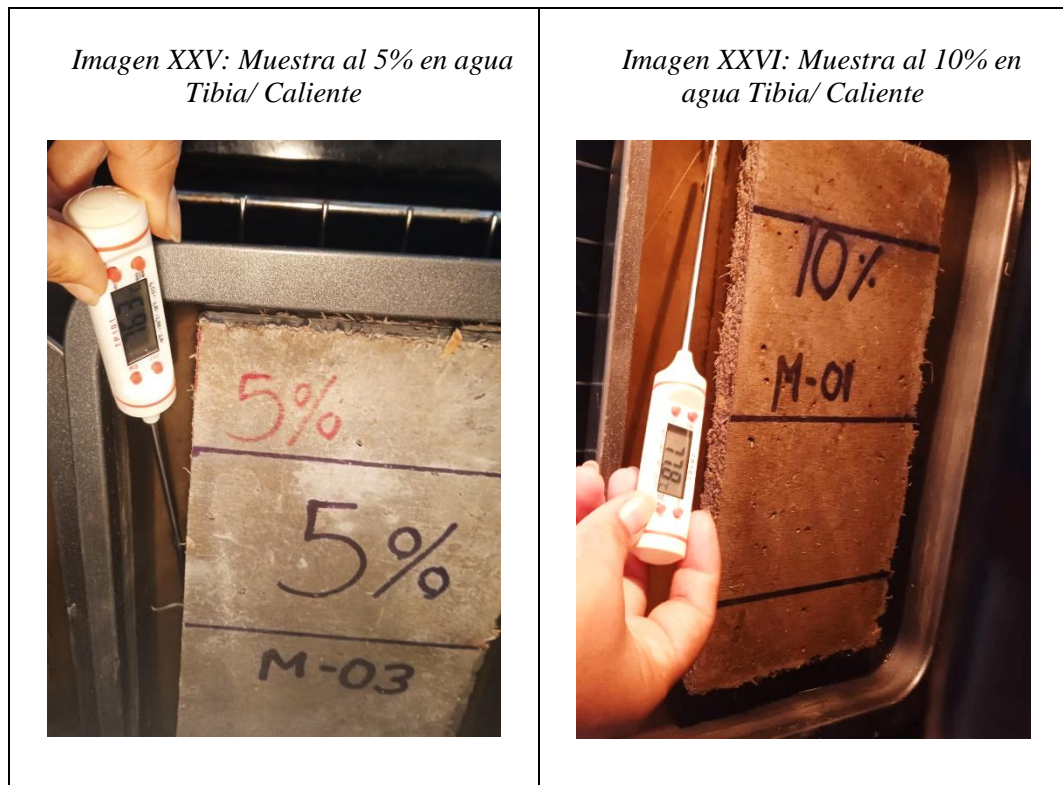
Este ensayo permite determinar el desempeño frente al Agua Tibia/ Caliente de las láminas de fibrocemento. La resistencia a la flexión de la muestra dará un índice del nivel de resistencia al Agua Tibia/ Caliente de los paneles de fibrocemento.

#### ***Equipos y materiales***

- Paneles de 300mm x 200mm
- Máquina para ensayos a flexión

#### ***Procedimiento***

- Sumergir las láminas en un ambiente caliente de alrededor 60°C durante 56 días
- Luego dejar las muestras al ambiente por 7 días
- Una vez pasados los 7 días se someten las muestras al ensayo de flexión



*Fuente: Propia*

### ***Permeabilidad al agua***

Este procedimiento experimental posibilita la evaluación de la capacidad de las láminas de fibrocemento para dejar pasar el agua. La inspección visual de las muestras de prueba permite verificar si estas cumplen con los estándares establecidos por la normativa correspondiente.

#### ***Equipos y materiales***

- Paneles de 300mm x 300mm
- Marcos de metal

#### ***Procedimiento***

- Sellar el marco sobre la cara superior del panel en una mesa uniforme horizontal
- Llenar el marco con agua hasta los 20mm
- Luego de 24h estas láminas se evalúan visualmente

*Imagen XXVII: Marco sellado**Imagen XXVIII: Muestra luego del ensayo*

*Fuente: Propia*

### ***Resistencia a la flexión***

Este ensayo permite determinar el módulo de ruptura (MOR) de los paneles

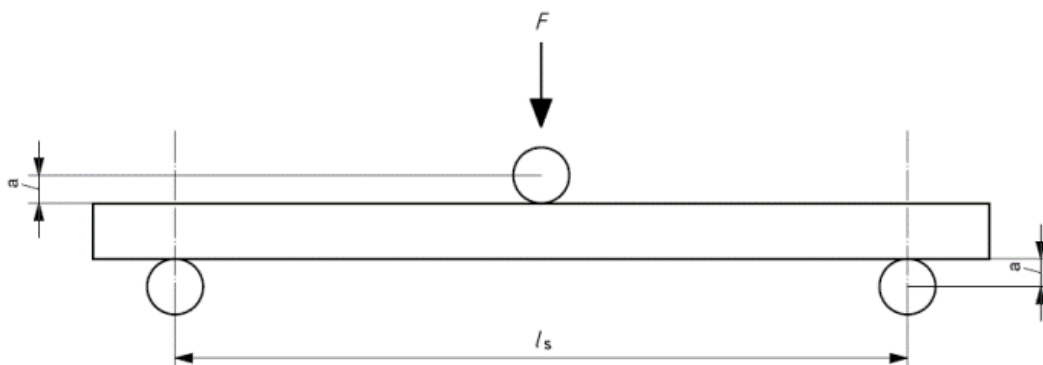
### ***Equipos y materiales***

- Máquina para ensayos a flexión
- Muestras de 300 mm x 200 mm x 15mm

### ***Procedimiento***

- Ajustar los soportes para tener la separación apropiada para el espécimen

*Ilustración IV: Representación de la ubicación de los apoyos*



*Fuente: NTP ISO 8336*

- Medir el grosor de la lámina a lo largo de la línea de ruptura imaginaria.
- Tomar medidas en dos puntos para láminas sin textura y en cuatro puntos para láminas con textura.
- Colocar la pieza con su cara inferior sobre los soportes, con la barra de carga ubicada de manera equidistante y paralela a los mismos, sobre la cara superior.
- Aplicar la carga al espécimen de modo que la carga máxima se alcance entre los 10 y 30 segundos siguientes. Se prefiere una tasa constante de deflexión, pero si no es posible, se puede utilizar una velocidad de carga constante. Registrar la carga de ruptura obtenida.

### ***Cálculo***

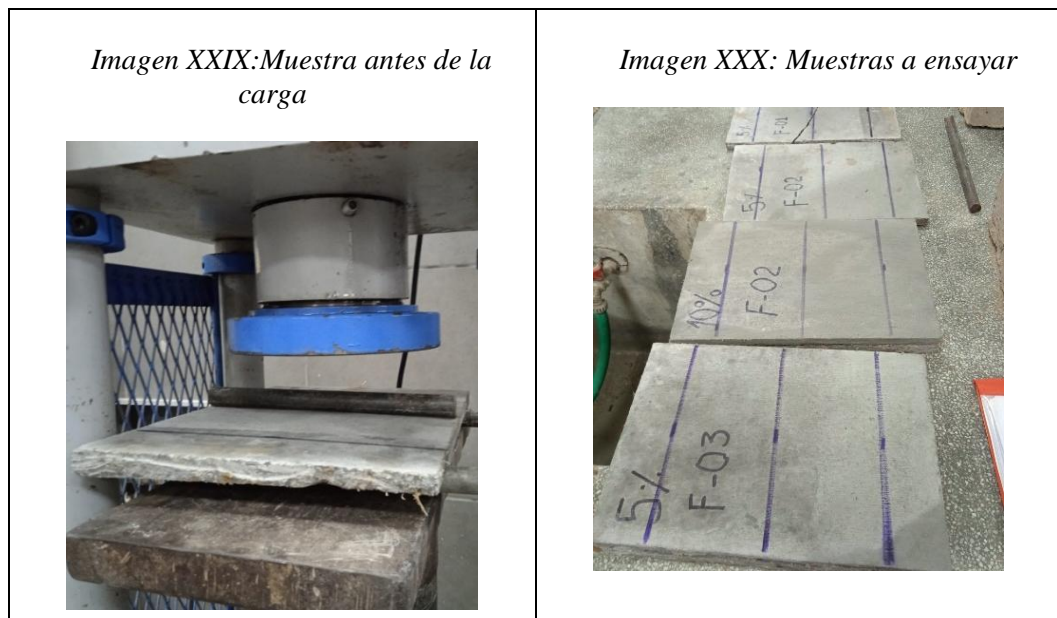
$$MOR = \frac{3F l_s}{2 b e^2}$$

F es la carga de ruptura, en Newtons (N);

Ls es la distancia entre las líneas centrales de los soportes, en milímetros;

b es el ancho del espécimen de ensayo, en milímetros;

e es el espesor, en milímetros.



*Fuente: Propia*

### ***Resistencia al fuego***

Este ensayo permite determinar la resistencia al fuego de los paneles

### ***Equipos y materiales***

- Paneles de 1000mm x 600mm
- Horno Artesanal
- Termómetro laser

### ***Procedimiento***

- Se acondiciono un horno artesanal para que los paneles puedan alcanzar
- Se realizó la exposición al fuego durante 40 minutos en grupos de 3 paneles con distinto porcentaje de fibra



*Fuente: Propia*

### ***Ph de los paneles***

Este ensayo posibilita la determinación del pH de las muestras con el propósito de evaluar su estado. Esto se debe a que el pH, o potencial de hidrógeno, proporciona una indicación del grado de acidez de las superficies en las que se deposita el moho. Se ha observado que el moho tiende a desarrollarse y multiplicarse de manera más intensa en superficies con un pH que oscila entre 5 y 9. Por otro lado, un pH del concreto comprendido entre 12 y 13, al ser alcalino, no brinda un ambiente propicio para el crecimiento del moho.

### ***Equipos y materiales***

- Muestra de panel triturada
- Agitador mecánico
- Vasos de precipitado

- Phmetro
- Balanza
- Agua destilada

### ***Procedimiento***

- Se trituro 3 muestras del panel, cada una de diferente muestra
- Se pesó 20g de cada una de las muestras para ser ensayada
- En un vaso de precipitado se añadió 150ml de agua destilada y se lo lleva al agitador por 30min
- Pasados los 5 minutos en el agitador se dejó reposar otros 5 minutos
- Se procede con la toma del PH desde un PH metro el cual fue calibrado antes de desarrollar este ensayo

*Imagen XXXIII: Muestras a ser ensayadas*



*Imagen XXXIV: Uso de PHmetro*



*Fuente: Propia*

### ***Fase V: Análisis de los datos obtenidos y determinación de su viabilidad.***

Esta fase comprende la elaboración de cuadros resumen con los resultados obtenidos en los ensayos para cada tipo de panel que cuenta con un porcentaje diferente de bagazo. Con los resultados obtenidos se realizará una ficha técnica del panel óptimo propuesto y con ello proponer un sistema constructivo con este panel. Así mismo se presentará un análisis de costos unitarios del panel propuesto, así como una comparativa frente a otros paneles similares.

Seguido de esto se realizará la comparación de los resultados obtenidos con los valores establecidos en la NTP ISO 8336 en relación con lo analizado se propondrán conclusiones y recomendaciones según sea el caso.

## Resultados

Cada ensayo se realizó conforme a lo especificado, obteniendo los siguientes resultados:

### *Propiedades de la fibra de bagazo de caña de azúcar (Saccharum officinarum)*

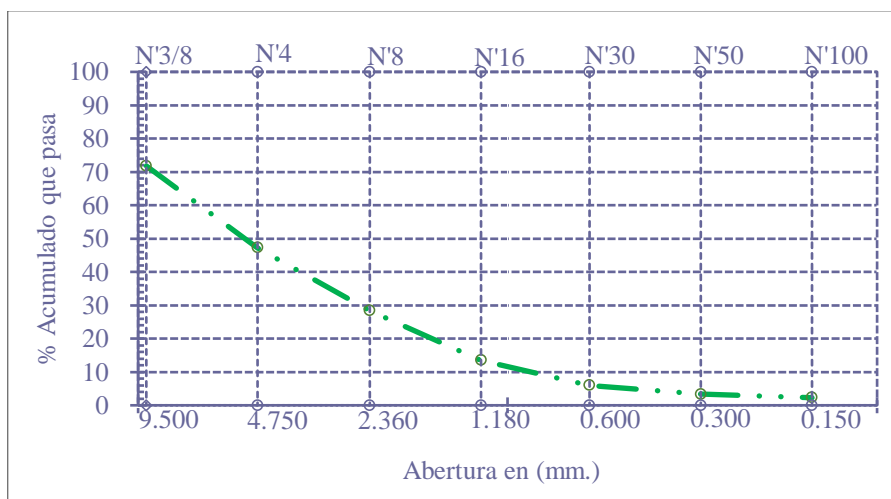
#### *Granulometría*

*Tabla XI: Análisis Granulométrico del Bagazo*

<b>Malla empleada</b>		<b>Peso</b>	<b>(%)</b>	<b>(%) Acum.</b>	<b>(%) Acum.</b>
<b>Pulg.</b>	<b>(mm.)</b>	<b>Ret.</b>	<b>Ret.</b>	<b>Ret.</b>	<b>Que Pasa</b>
½"	12.700	17	22.1	22.1	77.9
3/8"	9.500	4.72	6.1	28.2	71.8
<b>N° 04</b>	4.750	18.86	24.5	52.7	47.3
<b>N° 08</b>	2.360	14.54	18.9	71.6	28.4
<b>N° 16</b>	1.180	11.49	14.9	86.5	13.5
<b>N° 30</b>	0.600	5.81	7.5	94.1	5.9
<b>N° 50</b>	0.300	1.99	2.6	96.6	3.4
<b>N° 100</b>	0.150	0.84	1.1	97.7	2.3
<b>Fondo</b>		1.75	2.3	100.0	0.0
<b>Valor de módulo de Fineza</b>				5.495	
<b>Abertura de la malla de referencia</b>				9.500	

*Fuente: Propia*

Gráfico I: Curva Granulométrica Bagazo de caña de azúcar



Fuente: Propia

Luego de realizar el tamizado del bagazo de caña de azúcar se puede decir que presenta más material retenido en la malla N° 04.

### Caracterización físico química

Tabla XII: Análisis Físico-Químico del bagazo

CODIFICACIÓN DE MUESTRA	CAJA 001	
FISICOQUIMICOS	UNIDADES	RESULTADO
Carbono	%	43.26
Hidrógeno	%	5.830
Nitrógeno	%	0.470
Azufre	%	0.320
Oxígeno	%	49.63

Fuente: LABORATORIO FÍSICO QUÍMICO AMBIENTAL PERÚ S.A.C.

Dentro de la composición química del bagazo predomina el carbono, oxígeno y el hidrogeno.

Tabla XIII: Análisis Composicional del bagazo

CODIFICACIÓN DE MUESTRA	CAJA 001	
FISICOQUIMICOS	UNIDADES	RESULTADO
Celulosa	%	41.02
Hemicelulosa	%	21.19
Lignina	%	18.76

Fuente: LABORATORIO FÍSICO QUÍMICO AMBIENTAL PERÚ S.A.C.

Tabla XIV: Análisis Proximal del bagazo

CODIFICACIÓN DE MUESTRA		CAJA 001	
FISICOQUIMICOS	UNIDADES	RESULTADO	
Humedad	%	3.890	
Material Volátil	%	80.35	
Carbón Fijo	%	9.170	
Cerniza	%	6.670	

Fuente: LABORATORIO FÍSICO QUÍMICO AMBIENTAL PERÚ S.A.C.

Tabla XV: Propiedades Físicas del bagazo

CODIFICACIÓN DE MUESTRA		CAJA 001	
FISICOQUIMICOS	UNIDADES	RESULTADO	
Densidad	Kg/m <sup>3</sup>	181.690	
Poder Calorífico	Kj/kg	7519.48	

Fuente: LABORATORIO FÍSICO QUÍMICO AMBIENTAL PERÚ S.A.C.

### PH del bagazo

Tabla XVI: Potencial Hidrógeno del bagazo

	Muestra tratada con NaOH	Muestra obtenida de la azucarera Pomalca
PH	7.29	4.67

Fuente: Propia

Se puede observar según las medidas realizadas que el NaOH hace que la muestra de PH del bagazo se estabilice y no sea riesgoso su uso.

### Propiedades del agregado fino

#### Granulometría

Se llevó a cabo el análisis granulométrico por tamizado del agregado fino según lo previsto por la norma ASTM C 136 o NTP 400.012

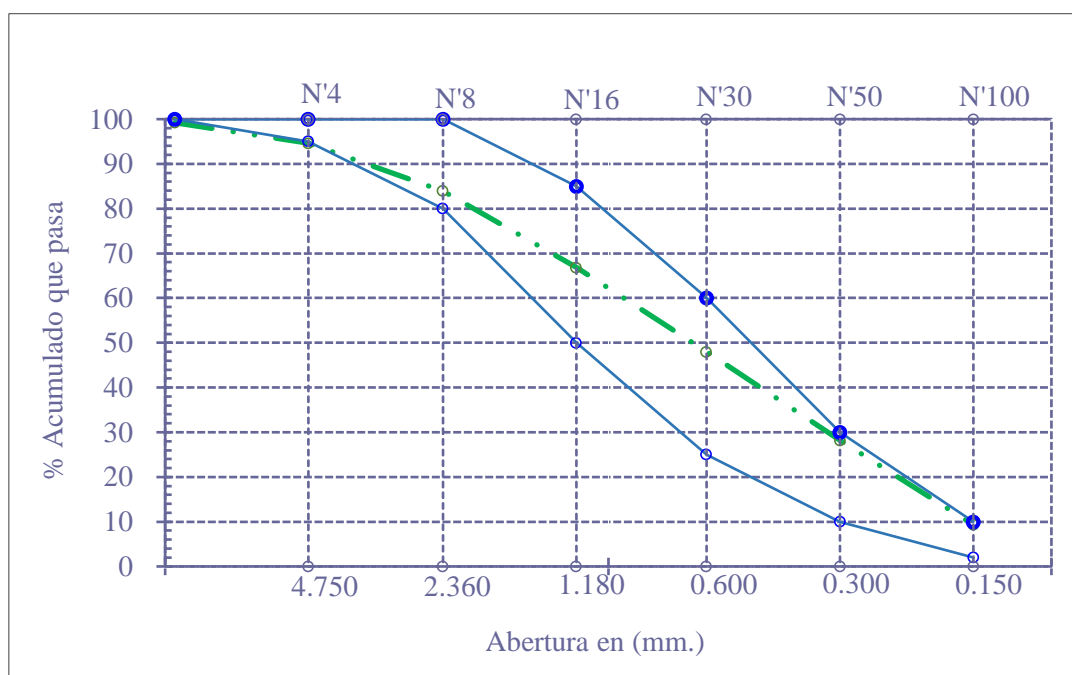
Tabla XVII : Análisis granulométrico del agregado fino

Malla empleada	Peso	(%)	(%) Acum.	(%) Acum.
----------------	------	-----	--------------	--------------

Pulg.	(mm.)	Ret.	Ret.	Ret.	Que Pasa
½"	12.700	17	22.1	22.1	77.92
3/8"	9.500	4.72	6.1	28.2	71.79
Nº 04	4.750	18.86	24.5	52.7	47.30
Nº 08	2.360	14.54	18.9	71.6	28.42
Nº 16	1.180	11.49	14.9	86.5	13.49
Nº 30	0.600	5.81	7.5	94.1	5.95
Nº 50	0.300	1.99	2.6	96.6	3.36
Nº 100	0.150	0.84	1.1	97.7	2.27
Fondo		1.75	2.3	100.0	0.00
<b>Cálculo del Módulo de Fineza</b>				5.495	
<b>Abertura de la malla de referencia</b>				9.500	

Fuente: Propia

Tabla XVIII : Curva granulométrica del agregado fino



Fuente: Propia

El análisis granulométrico del agregado fino de la cantera La Victoria-Pátapo muestra una distribución de tamaños que cumple con los requisitos establecidos en la norma N.T.P. 400.012.

### **Peso unitario**

Según lo previsto por la Norma ASTM C-29 ó N.T.P. 400.017

Tabla XIX: Peso Unitario Suelto

• <b>Peso de la muestra suelta + peso del recipiente</b>	(gr.)	<b>7606</b>	<b>7606</b>
• <b>Peso del recipiente</b>	(gr.)	0.0	0.0
• <b>Peso del material</b>		7606	7606
• <b>Constante o Volumen</b>	(m <sup>3</sup> )	0.00548	0.00548
• <b>Peso unitario suelto húmedo</b>	(kg/m <sup>3</sup> )	1388	1388
• <b>Peso unitario suelto seco (Promedio)</b>	(kg/m <sup>3</sup> )		<b>1371</b>

Fuente: Propia

El peso unitario suelto seco del agregado fino a utilizarse es de 1371kg/m<sup>3</sup> mientras que el peso unitario suelto húmedo es de 1388kg/cm<sup>3</sup>.

Tabla XX: Peso Unitario Compactado

• <b>Peso de la muestra suelta + peso del recipiente</b>	(gr.)	<b>8894</b>	<b>8894</b>
• <b>Peso del recipiente</b>	(gr.)	0.0	0.0
• <b>Peso del material</b>		8894	8894
• <b>Constante ó Volumen</b>	(m <sup>3</sup> )	0.00548	0.00548
• <b>Peso unitario compactado húmedo</b>	(kg/m <sup>3</sup> )	1623	1623
• <b>Peso unitario compactado seco (Promedio)</b>	(kg/m <sup>3</sup> )		<b>1603</b>

Fuente: Propia

El peso unitario compactado seco del agregado fino a utilizarse es de 1603kg/m<sup>3</sup> mientras que el peso unitario compactado húmedo es de 1623kg/cm<sup>3</sup>.

### Contenido de humedad

Según lo previsto por la Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

Tabla XXI: Contenido de Humedad

• <b>Peso de la muestra húmeda</b>	(gr.)	<b>1000</b>	<b>1000</b>
• <b>Peso de la muestra seca</b>	(gr.)	<b>987.61</b>	<b>987.61</b>
• <b>Peso del recipiente</b>	(gr.)	0.0	0
• <b>Contenido de humedad</b>	(%)	1.25	1.25
• <b>Contenido de humedad</b>	(%)		<b>1.25</b>

*Fuente: Propia*

El contenido de humedad es de 1.25%, esto es la cantidad de agua presente en el agregado, este es un factor que puede influir en la calidad y resistencia de las mezclas.

### ***Peso específico y absorción***

Según lo previsto por la Norma ASTM C-128 ó N.T.P. 400.022

*Tabla XXII: Datos obtenidos durante el ensayo*

• <b>Peso de la Arena Sup. Seca + Frasco + Agua</b>	(g)	1020.3	1020.3
• <b>Peso de la Arena Sup. Seca + Frasco</b>	(g)	691.69	691.69
• <b>Peso del Agua</b>	(g)	328.63	328.63
• <b>Peso de la Arena Secada al Horno + Frasco</b>	(g)	682	681.62
• <b>Peso del Frasco</b>	(g)	191.69	191.69
• <b>Peso de la Arena Secada al Horno</b>	(g)	490	490
• <b>Volumen del frasco</b>	(g)	500	500

*Fuente: Propia*

*Tabla XXIII: Peso específico y absorción*

• <b>Peso específico de la masa</b>	<b>(g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2.859</b>
• <b>Peso específico de la masa sat. sup. seco</b>	(g/cm <sup>3</sup> )	2.918
• <b>Peso específico aparente</b>	(g/cm <sup>3</sup> )	3.037
• <b>Porcentaje de absorción</b>	(%)	<b>2.06</b>

*Fuente: Propia*

Se logró determinar el peso específico del agregado destinado a ser utilizado, el cual fue de 2.859 g/cm<sup>3</sup>. Además, se obtuvo un porcentaje de absorción del 2.06%.

### ***Contenido de humedad***

Se llevó a cabo el ensayo para determinar el Contenido de humedad del agregado fino según lo previsto por la Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

*Tabla XXIV: Contenido de Humedad*

<b>Peso de la muestra húmeda</b>	<b>(gr.)</b>	<b>1000</b>	<b>1000</b>
<b>Peso de la muestra seca</b>	<b>(gr.)</b>	<b>987.61</b>	<b>987.61</b>

<b>Peso del recipiente</b>	(gr.)	0.0	0
<b>Contenido de humedad</b>	(%)	1.25	1.25
<b>Contenido de humedad (promedio)</b>	(%)	<b>1.25</b>	

*Fuente: Propia*

El contenido de humedad del agregado fino analizado y que será empleado en la mezcla de fibrocemento fue de 1.25%.

### *Propiedades de los paneles propuestos*

#### *Ensayos geométricos*

Según lo mencionado en la Norma N.T.P. ISO 8336

*Tabla XXV: Ancho del panel*

MUESTRA	LADO	DIMENSIONES (CM)					
		20mm	50mm	Centro	50mm	20mm	
<b>Panel de cemento con 5% de fibras</b>	<b>M - 04</b>	<b>B</b>	60.00	60.00	60.20	60.10	60.10
	<b>M - 05</b>	<b>B</b>	60.10	60.00	60.10	60.10	60.10
	<b>M - 06</b>	<b>B</b>	60.10	60.10	60.20	60.20	60.20
<b>Panel de cemento con 10% de fibras</b>	<b>M - 04</b>	<b>B</b>	60.00	60.00	60.10	60.20	60.10
	<b>M - 05</b>	<b>B</b>	60.20	60.20	60.00	60.00	60.10
	<b>M - 06</b>	<b>B</b>	60.10	60.10	60.20	60.20	60.20
<b>Panel de cemento con 15% de fibras</b>	<b>M - 04</b>	<b>B</b>	60.20	60.20	60.20	60.10	60.10
	<b>M - 05</b>	<b>B</b>	60,1	60.00	60.00	60.20	60.20
	<b>M - 06</b>	<b>B</b>	60.10	60.10	60.20	60.10	60.10

*Fuente: Propia*

Se tomaron 5 mediciones en cada panel a 20mm de cada lado, 50mm de cada lado, en la parte central. Para posteriormente calcular la medida promedio del ancho de cada panel según el porcentaje de fibras contenido.

*Tabla XXVI: Ancho promedio del panel*

MUESTRA	Medida Promedio (cm)	Ancho promedio (cm)
<b>M - 04</b>	60.08	60.11
<b>M - 05</b>	60.08	

<b>Panel con 5% de Fibras</b>	<b>M - 06</b>	60.16	
<b>Panel con 10% de Fibras</b>	<b>M - 04</b>	60.08	
	<b>M - 05</b>	60.10	60.13
	<b>M - 06</b>	60.16	
<b>Panel con 15% de Fibras</b>	<b>M - 04</b>	60.16	
	<b>M - 05</b>	60.10	60.14
	<b>M - 06</b>	60.12	

*Fuente: Propia*

El ancho promedio de cada panel se determinó como el promedio entre las dimensiones tomadas para cada una de las muestras. El ancho promedio en los paneles con 5% de fibras es de 60.11cm, para paneles con 10% de fibras es de 60.13 y en paneles con 15% de fibras es de 60.14cm.

*Tabla XXVII: Largo del Panel*

MUESTRA	LADO	DIMENSIONES (CM)					
		20mm	50mm	Centro	50mm	20mm	
<b>Panel de cemento con 5% de fibras</b>	<b>M - 04</b>	<b>B</b>	100.20	100.20	100.20	100.20	100.10
	<b>M - 05</b>	<b>B</b>	100.10	100.10	100.10	100.20	100.20
	<b>M - 06</b>	<b>B</b>	100.10	100.10	100.20	100.00	100.00
<b>Panel de cemento con 10% de fibras</b>	<b>M - 04</b>	<b>B</b>	100.30	100.30	100.20	100.10	100.10
	<b>M - 05</b>	<b>B</b>	100.20	100.20	100.10	100.10	100.10
	<b>M - 06</b>	<b>B</b>	100.00	100.00	100.20	100.10	100.10
<b>Panel de cemento con 15% de fibras</b>	<b>M - 04</b>	<b>B</b>	100.20	100.10	100.20	100.30	100.30
	<b>M - 05</b>	<b>B</b>	100.20	100.10	100.10	100.20	100.20
	<b>M - 06</b>	<b>B</b>	100.00	100.10	100.20	100.00	100.00

*Fuente: Propia*

Se tomaron 5 mediciones en cada panel a 20mm de cada lado, 50mm de cada lado, en la parte central. Para posteriormente calcular la medida promedio del largo de cada panel según el porcentaje de fibras contenido.

Tabla XXVIII: Largo promedio del panel

MUESTRA		Medida Promedio (cm)	Largo promedio (cm)
Panel con 5% de Fibras	M - 04	100.18	100.13
	M - 05	100.14	
	M - 06	100.08	
Panel con 10% de Fibras	M - 04	100.20	100.14
	M - 05	100.14	
	M - 06	100.08	
Panel con 15% de Fibras	M - 04	100.22	100.15
	M - 05	100.16	
	M - 06	100.06	

Fuente: Propia

El largo promedio de cada panel se determinó como el promedio entre las dimensiones tomadas para cada una de las muestras. El largo promedio en los paneles con 5% de fibras es de 100.13 cm, para paneles con 10% de fibras es de 100.14 cm y en paneles con 15% de fibras es de 100.15 cm.

Tabla XXIX: Espesor del panel

MUESTRA	LADO	DIMENSIONES (cm)					
		20mm	50mm	Centro	50mm	20mm	
Panel de cemento con 5% de Fibras	M - 04	A	14.50	14.50	14.00	14.50	15.00
		B	15.00	14.00	14.00	14.50	14.50
		C	14.50	15.00	14.50	14.00	13.50
		D	13.50	13.50	15.00	15.00	14.50
	M - 05	A	14.00	14.50	14.50	15.00	15.00
		B	14.50	14.00	15.00	14.50	14.00
		C	14.00	14.50	15.00	15.00	15.50
		D	15.50	15.50	15.00	15.00	14.50
	M - 06	A	16.00	15.50	14.50	14.50	14.50
		B	14.50	14.00	14.50	14.50	14.50
		C	14.50	14.50	15.00	15.00	15.00
		D	15.00	14.50	14.50	15.00	15.50
Panel de cemento	M - 04	A	14.00	14.50	15.00	15.50	14.00
		B	15.50	15.50	15.00	14.50	14.00

<b>con 10% de Fibras</b>	<b>M - 05</b>	<b>C</b>	14.00	14.50	15.00	15.50	15.50
		<b>D</b>	15.00	14.50	15.00	14.00	14.00
		<b>A</b>	14.00	13.50	14.00	14.50	15.00
		<b>B</b>	15.00	15.50	15.00	15.00	14.50
		<b>C</b>	14.50	15.00	14.00	13.50	13.50
	<b>M - 06</b>	<b>D</b>	13.50	13.50	14.50	15.00	14.50
		<b>A</b>	16.00	15.50	15.00	15.00	15.00
		<b>B</b>	15.00	16.00	15.50	15.50	15.50
		<b>C</b>	15.50	15.50	16.50	16.50	16.50
		<b>D</b>	16.50	16.50	16.00	16.00	16.00
<b>Panel de cemento con 15% de Fibras</b>	<b>M - 04</b>	<b>A</b>	16.50	16.50	16.00	15.50	15.50
		<b>B</b>	15.50	15.50	16.00	15.50	15.50
		<b>C</b>	15.00	15.50	16.00	15.50	15.00
		<b>D</b>	15.00	15.50	16.50	16.00	16.50
	<b>M - 05</b>	<b>A</b>	15.50	15.00	15.50	15.50	16.00
		<b>B</b>	16.00	16.00	16.00	15.50	15.50
		<b>C</b>	15.50	15.00	15.50	15.50	15.00
		<b>D</b>	15.00	15.50	15.50	15.00	15.50
	<b>M - 06</b>	<b>A</b>	14.00	15.00	15.50	15.00	15.00
		<b>B</b>	14.50	14.00	15.00	14.50	14.00
		<b>C</b>	14.00	14.50	15.00	15.00	15.50
		<b>D</b>	15.50	15.50	15.00	15.00	14.50

*Fuente: Propia*

Se tomaron 5 mediciones en cada panel a 20mm de cada lado, 50mm de cada lado, en la parte central. Para posteriormente calcular la medida promedio del espesor de cada panel según el porcentaje de fibras contenido.

*Tabla XXX: Espesor promedio del panel*

<b>MUESTRA</b>		<b>Medida Promedio (mm)</b>	<b>Espesor promedio (mm)</b>
<b>Panel con 5% de Fibras</b>	<b>M - 04</b>	14.38	14.63
	<b>M - 05</b>	14.73	
	<b>M - 06</b>	14.78	
	<b>M - 04</b>	14.73	14.96
	<b>M - 05</b>	14.38	

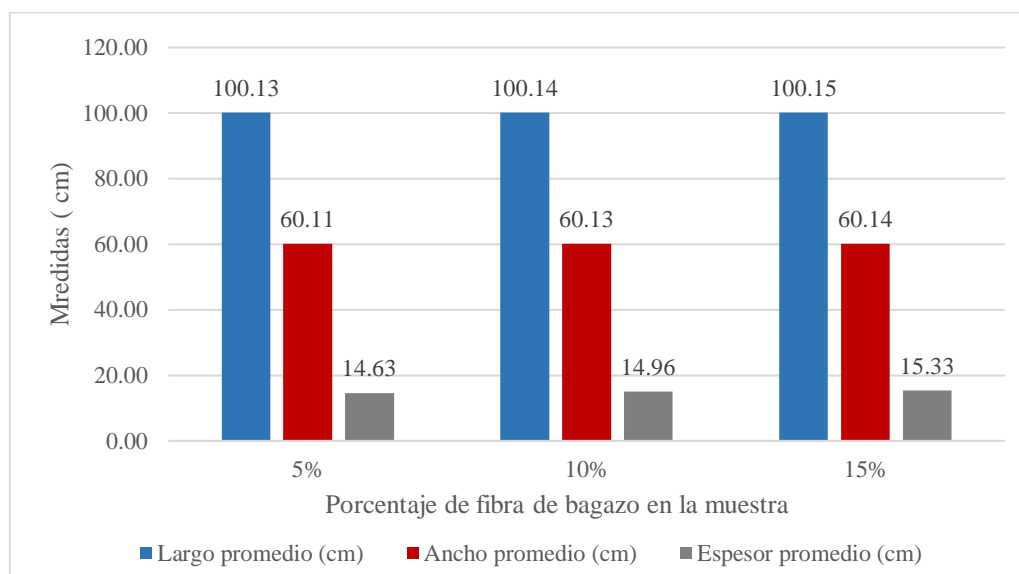
<b>Panel con 10% de Fibras</b>	<b>M - 06</b>	15.78	
<b>Panel con 15% de Fibras</b>	<b>M - 04</b>	15.73	
	<b>M - 05</b>	15.48	15.33
	<b>M - 06</b>	14.80	

*Fuente: Propia*

El espesor promedio de cada panel se determinó como el promedio entre las dimensiones tomadas para cada una de las muestras. El espesor promedio en los paneles con 5% de fibras es de 14.63mm, para paneles con 10% de fibras es de 14.96mm y en paneles con 15% de fibras es de 15.33mm.

A continuación, el gráfico muestra una comparativa entre las medidas geométricas de los paneles propuestos según el porcentaje de fibra de bagazo, se muestra el largo y ancho en centímetros, mientras que el espesor está expresado en milímetros.

*Gráfico II: Dimensiones geométricas promedio de los paneles*



*Fuente: Propia*

Se puede describir del gráfico anterior que los paneles con 5% de fibra presentan un largo de 100.13cm, un ancho de 60.11cm y un espesor de 14.63mm. Los paneles con 10% de bagazo presentan un largo promedio de 100.14, un ancho de 60.13 cm y un espesor de dicho panel de 14.96mm. Y, por último, los paneles con 15% de fibra tuvieron en promedio un largo de 100.13cm, ancho de 60.14cm y espesor de 15.33mm.

### *Densidad aparente*

Se llevó a cabo el ensayo para determinar la densidad aparente de los paneles propuestas según lo mencionado en la Norma N.T.P. ISO 8336

*Tabla XXXI: Densidad aparente*

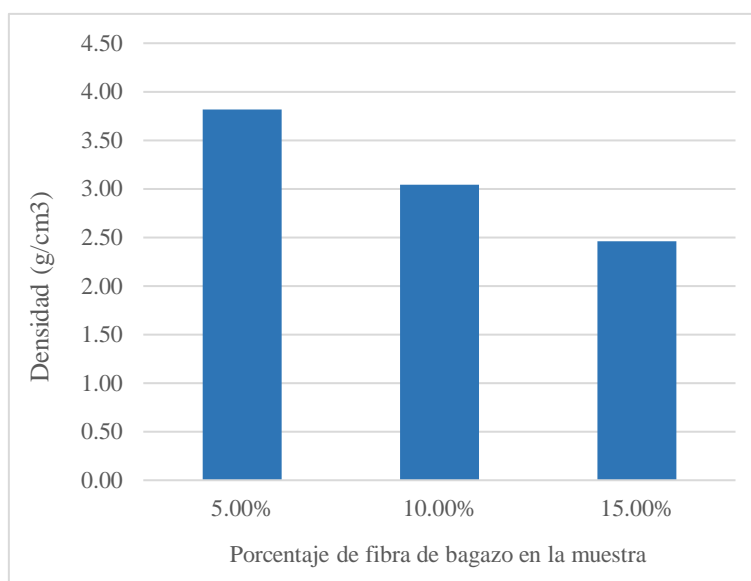
<b>MUESTRA</b>	<b>Masa Seca</b>	<b>Volumen desplazado</b>	<b>Densidad Aparente</b>	
<b>Panel de cemento con 5% de fibras</b>	<b>M-01</b>	1770	470	3.766
	<b>M-02</b>	1700	410	4.146
	<b>M-03</b>	1700	480	3.542
	<b>Promedio</b>			3.82 g/cm <sup>3</sup>
<b>Panel de cemento con 10% de fibras</b>	<b>M-01</b>	1520	510	2.980
	<b>M-02</b>	1680	530	3.170
	<b>M-03</b>	1520	510	2.980
	<b>Promedio</b>			3.04 g/cm <sup>3</sup>
<b>Panel de cemento con 15% de fibras</b>	<b>M-01</b>	1260	550	2.291
	<b>M-02</b>	1150	440	2.614
	<b>M-03</b>	1540	620	2.484
	<b>Promedio</b>			2.46 g/cm <sup>3</sup>

*Fuente: Propia*

La densidad aparente se expresó en g/cm<sup>3</sup>. En el caso del panel propuesto con 5% de fibras la densidad fue de 3.82g/cm<sup>3</sup>, para el panel con 10% de fibras se calculó una densidad de 3.04g/cm<sup>3</sup> y para el panel con 15% de fibras se obtuvo una densidad de 2.46g/cm<sup>3</sup>.

En el siguiente gráfico se presenta una comparativa entre las densidades de cada uno de los paneles en relación al porcentaje de bagazo.

Gráfico III: Densidad aparente promedio



Fuente: Propia

**Permeabilidad al agua**

Según lo mencionado en la Norma N.T.P. ISO 8336.

Tal cual lo indica la normativa al ser este un ensayo visual se presenta en la tabla las observaciones que se realizaron como resultado de la ejecución de esta investigación.

Tabla XXXII: Datos recopilados de la Permeabilidad al agua

Muestras	Altura con la que inicia el agua (mm)	Altura en la que queda (mm)	Observaciones	
<b>Panel con 5% de Fibras</b>	<b>M-07</b>	20	16.54	No se observa humedad en la cara opuesta
	<b>M-08</b>	20	15.72	No se observa humedad en la cara opuesta
	<b>M-09</b>	20	16.26	No se observa humedad en la cara opuesta
<b>Panel con 10% de Fibras</b>	<b>M-07</b>	20	13.68	Se observa humedad en la cara opuesta
	<b>M-08</b>	20	12.75	Se observa humedad en la cara opuesta
	<b>M-09</b>	20	13.45	Se observa humedad en la cara opuesta
<b>Panel de</b>	<b>M-07</b>	20	11.44	Se observa humedad en la cara opuesta

<b>cemento con 15% de Fibras</b>	<b>M-08</b>	20	10.98	Se observa humedad en la cara opuesta
	<b>M-09</b>	20	11.32	Se observa humedad en la cara opuesta

*Fuente: Propia*

### **Resistencia al congelamiento**

Según lo establecido en la NTP ISO 8336.

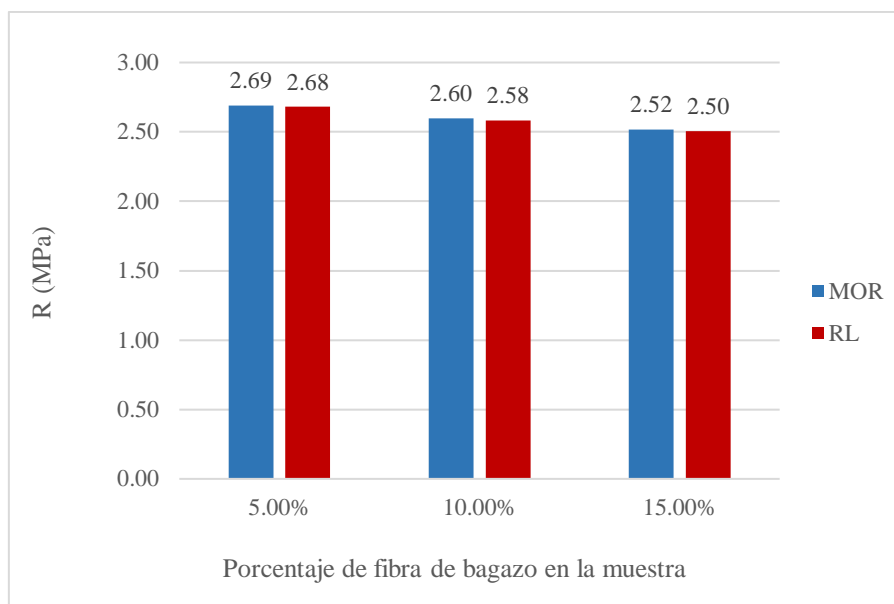
Los resultados que se encontraron se presentan en la tabla donde se determinó el módulo de rotura, desviación estándar, el límite inferior calculado como se indica en la normativa mencionada al 95% de confianza.

*Tabla XXXIII: Resistencia al congelamiento de los paneles*

<b>Muestra</b>		<b>MOR</b>	<b>MOR<sub>i</sub></b>	<b>R</b>	<b>s</b>	<b>R<sub>L</sub></b>	<b>R</b>
		<b>MPa</b>	<b>MPa</b>	<b>MPa</b>	<b>%</b>	<b>MPa</b>	<b>Kg/cm<sup>2</sup></b>
<b>Panel con 5% de Fibras</b>	<b>F - 01</b>	2.76	1.00	2.69	1.6%	2.68	274.34
	<b>F - 02</b>	2.70	0.98				
	<b>F - 03</b>	2.62	0.97				
<b>Panel con 10% de Fibras</b>	<b>F - 01</b>	2.66	1.00	2.60	2.9%	2.58	264.96
	<b>F - 02</b>	2.55	0.96				
	<b>F - 03</b>	2.59	1.01				
<b>Panel con 15% de Fibras</b>	<b>F - 01</b>	2.45	1.00	2.52	2.4%	2.50	256.83
	<b>F - 02</b>	2.55	1.04				
	<b>F - 03</b>	2.55	1.00				

*Fuente: Propia*

*Gráfico IV: Resistencia al congelamiento de los paneles*



*Fuente: Propia*

El gráfico muestra una comparativa de las resistencias promedio obtenidas frente al límite inferior calculado a un 95% de confianza para cada uno de los porcentajes de fibra de bagazo en las muestras.

En el caso del material con 5% de fibra el MOR es de 2.69MPa mientras que su límite inferior es de 2.68MPa; para el material que llevaba 10% de caña su MOR resultó de 2.60MPa y su límite inferior 2.58MPa, por último, el panel al que se le consideró 15% de fibra presenta un MOR de 2.52MPa siendo el límite inferior 2.50MPa.

### *Agua tibia/caliente*

Paneles sometidos al ambiente tibio/ caliente según lo establecido en la Norma NTP ISO 8336.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos que vienen siendo; el módulo de rotura, la desviación estándar, el límite inferior calculado como se indica en la normativa mencionada al 95% de confianza.

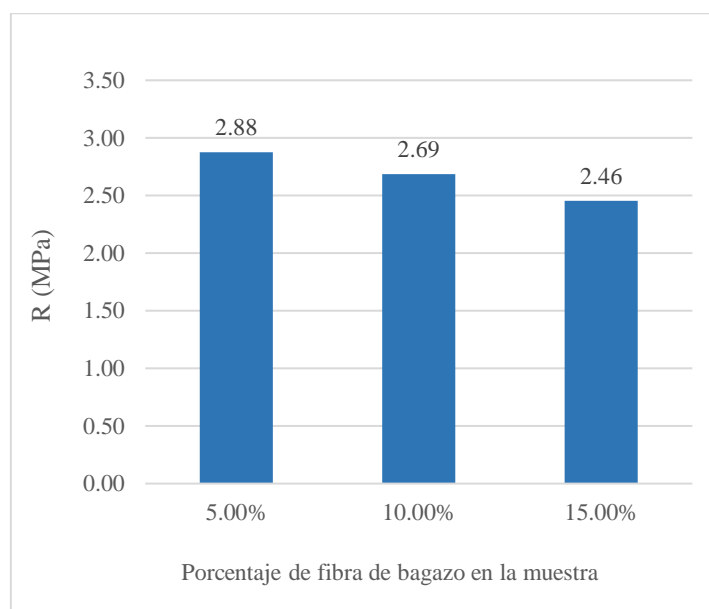
*Tabla XXXIV: Resistencia al agua tibia/ caliente de los paneles*

Muestra		MOR	MOR <sub>i</sub>	R	s	R <sub>L</sub>	R
		MPa	MPa	MPa	%	MPa	Kg/cm <sup>2</sup>
Panel con 5%	F - 01	2.87	1.00	2.88	6.4%	2.84	293.37
	F - 02	3.00	1.05				

<b>de Fibras</b>	<b>F - 03</b>	2.76	0.92				
<b>Panel con 10% de Fibras</b>	<b>F - 01</b>	2.62	1.00				
	<b>F - 02</b>	2.73	1.04	2.69	2.8%	2.67	273.89
<b>Panel con 15% de Fibras</b>	<b>F - 03</b>	2.70	0.99				
	<b>F - 01</b>	2.48	1.00				
	<b>F - 02</b>	2.42	0.98	2.46	2.5%	2.44	250.47
	<b>F - 03</b>	2.48	1.03				

*Fuente: Propia*

*Gráfico V: Resistencia al agua tibia/ caliente de los paneles*



*Fuente: Propia*

El gráfico muestra una comparativa de las resistencias promedio obtenidas frente al límite inferior calculado a un 95% de confianza para cada uno de los porcentajes de fibra de bagazo en las muestras.

Para el material con 5% de fibra el MOR es de 2.88MPa mientras que su límite inferior es de 2.84MPa; para el material que llevaba 10% de caña su MOR resultó de 2.69MPa y su límite inferior 2.67MPa, por último, el panel al que se le consideró 15% de fibra presenta un MOR de 2.46MPa siendo el límite inferior 2.46MPa.

### *Saturado – Seco*

Paneles propuestos según lo mencionado en la Norma NTP ISO 8336.

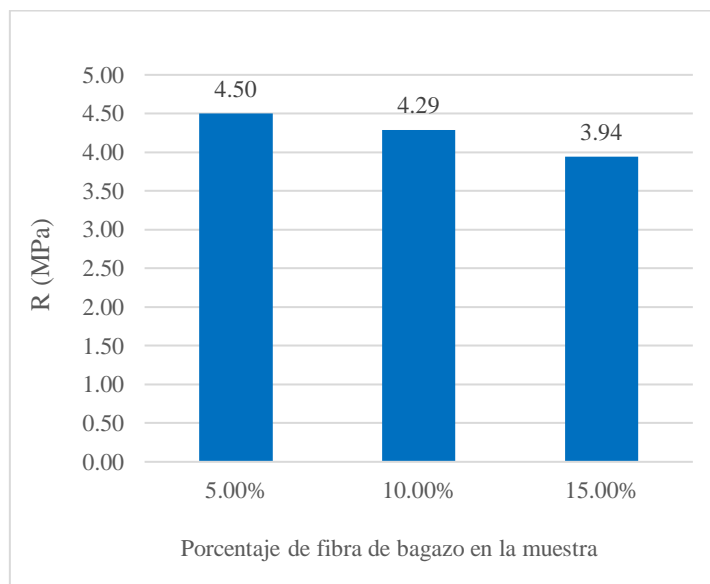
En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos que vienen siendo; el módulo de rotura, la desviación estándar, el límite inferior calculado como se indica en la normativa mencionada al 95% de confianza.

*Gráfico VI: Resistencia al Saturado - Seco de los paneles*

Muestra		MOR MPa	MOR <sub>i</sub> MPa	R MPa	s %	R <sub>L</sub> MPa	R Kg/cm <sup>2</sup>
Panel con 5% de Fibras	F - 01	4.55	1.00	4.50	0.9%	4.50	458.98
	F - 02	4.48	0.98				
	F - 03	4.48	1.00				
Panel con 10% de Fibras	F - 01	4.27	1.00	4.29	1.6%	4.28	437.57
	F - 02	4.34	1.02				
	F - 03	4.27	0.98				
Panel con 15% de Fibras	F - 01	3.92	1.00	3.94	3.8%	3.92	401.90
	F - 02	3.85	0.98				
	F - 03	4.06	1.05				

*Fuente: Propia*

*Gráfico VII: Resistencia al Saturado - Seco de los paneles*



*Fuente: Propia*

El gráfico muestra una comparativa de las resistencias promedio obtenidas frente al límite inferior calculado a un 95% de confianza para cada uno de los porcentajes de fibra de bagazo en las muestras.

Para el material con 5% de fibra el MOR dio un valor de 4.50 MPa mientras que su límite inferior es de 2.50 MPa; para el material que llevaba 10% de caña su MOR resultó de 2.29MPa y su límite inferior 2.28 MPa, por último, el panel al que se le consideró 15% de fibra presenta un MOR de 3.94 MPa siendo el límite inferior 3.92 MPa.

### ***Resistencia a la flexión***

Según lo mencionado en la Norma NTP ISO 8336.

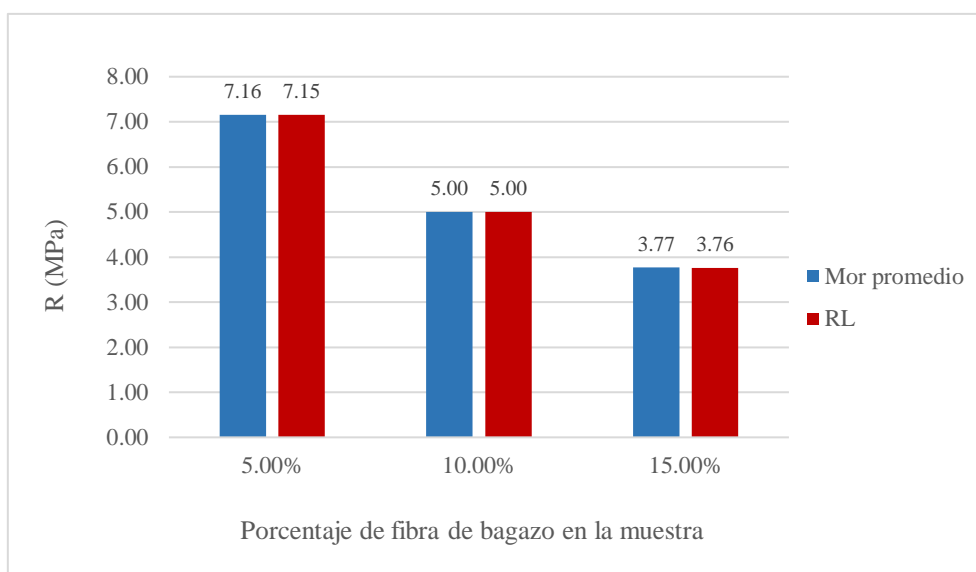
A continuación, se muestran los resultados obtenidos como el módulo de rotura, desviación estándar, el límite inferior calculado como se indica en la normativa mencionada ambos al 95% de confianza.

*Tabla XXXV: Resistencia a flexión de los paneles de 600mm x 1000mm*

<b>Muestras</b>		<b>MOR</b>	<b>MOR<sub>i</sub></b>	<b>R</b>	<b>s</b>	<b>R<sub>L</sub></b>	<b>R</b>
<b>200mm x 300mm</b>		<b>MPa</b>	<b>MPa</b>	<b>MPa</b>	<b>%</b>	<b>MPa</b>	<b>Kg/cm<sup>2</sup></b>
<b>Panel de cemento con 5% de Fibras</b>	<b>F - 01</b>	12.34	1.00				
	<b>F - 02</b>	12.19	0.99	12.12	1.5%	12.11	1235.69
	<b>F - 03</b>	11.83	0.97				
<b>Panel de cemento con 10% de Fibras</b>	<b>F - 01</b>	11.50	1.00				
	<b>F - 02</b>	11.72	1.02	11.36	4.9%	11.33	1158.04
	<b>F - 03</b>	10.85	0.93				
<b>Panel de cemento con 15% de Fibras</b>	<b>F - 01</b>	10.28	1.00				
	<b>F - 02</b>	10.79	1.05	10.58	3.2%	10.56	1079.14
	<b>F - 03</b>	10.68	0.99				

*Fuente: Propia*

Gráfico VIII: Resistencia a flexión de los paneles de 600mm x 1000mm



Fuente: Propia

El gráfico muestra una comparativa de las resistencias promedio obtenidas frente al límite inferior calculado a un 95% de confianza para cada uno de los porcentajes de fibra de bagazo en las muestras.

Muestras 600 x 1000 mm		MOR	MOR <sub>i</sub>	R	s	R <sub>L</sub>	R
		MPa	MPa	MPa	%	MPa	Kg/cm <sup>2</sup>
Panel con 5% de Fibras	F - 01	7.17	1.00	7.16	0.7%	7.15	729.84
	F - 02	7.13	0.99				
	F - 03	7.18	1.01				
Panel con 10% de Fibras	F - 01	4.98	1.00	5.00	1.2%	5.00	510.12
	F - 02	5.04	1.01				
	F - 03	4.99	0.99				
Panel con 15% de Fibras	F - 01	3.78	1.00	3.77	1.4%	3.76	383.99
	F - 02	3.73	0.99				
	F - 03	3.78	1.01				

### Resistencia al fuego

Paneles propuestos teniendo como referencia lo mencionado en la Norma ASTM E119 y NCH 935/1.

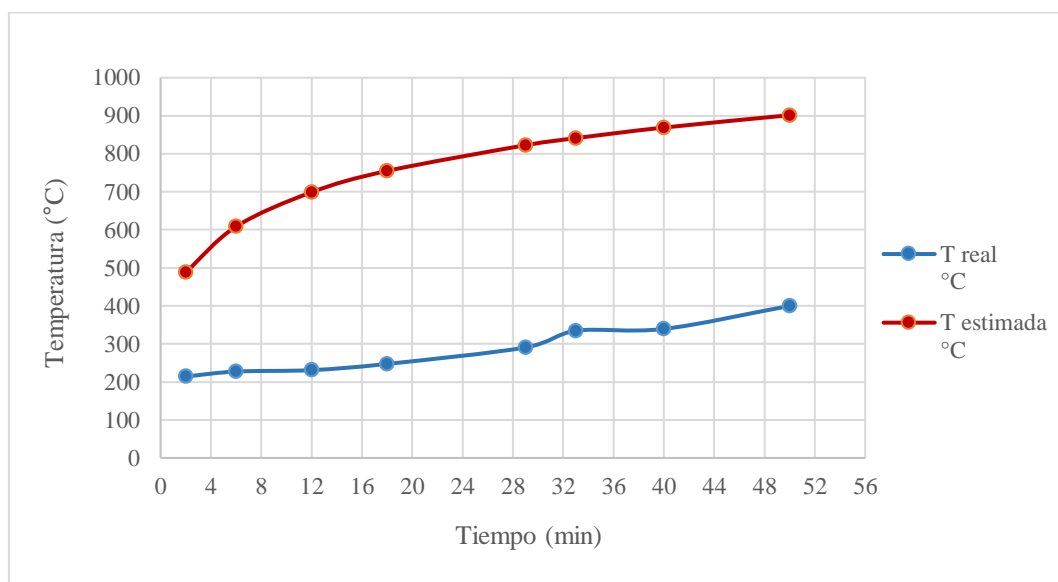
Tabla XXXVI: Situación I: Primera simulación de fuego aplicada a los paneles

SITUACIÓN I		Tiempo (min)	T real °C	T estimada °C
<b>Dimensiones Promedio</b>		2	214.1	488.17
<b>L =</b>	60 cm	6	227.2	608.38
<b>A =</b>	100 cm	12	230.9	698.73
<b>e =</b>	13 mm	18	247.2	754.69
<b>MUESTRAS</b>		29	290.6	822.42
<b>5%</b>	<b>M - 04</b>	33	334.5	841.02
<b>10%</b>	<b>M - 04</b>	40	339.30	868.89
<b>15%</b>	<b>M - 04</b>	50	399.80	901.41

Fuente: Propia

En la primera situación de exposición al fuego se tomaron temperaturas de los paneles a los 2, 6, 12, 18, 29, 33, 40 y 50 minutos. A los 2 minutos la temperatura registrada fue de 214.1 °C y se culminó la prueba a los 50 minutos registrando una temperatura de 399.80 °C.

Gráfico IX: Situación I: Primera simulación de fuego aplicada a los paneles



Fuente: Elaboración Propia

El gráfico muestra la comparación entre la curva de temperatura establecida por la normativa y la curva obtenida a partir de los datos recopilados.

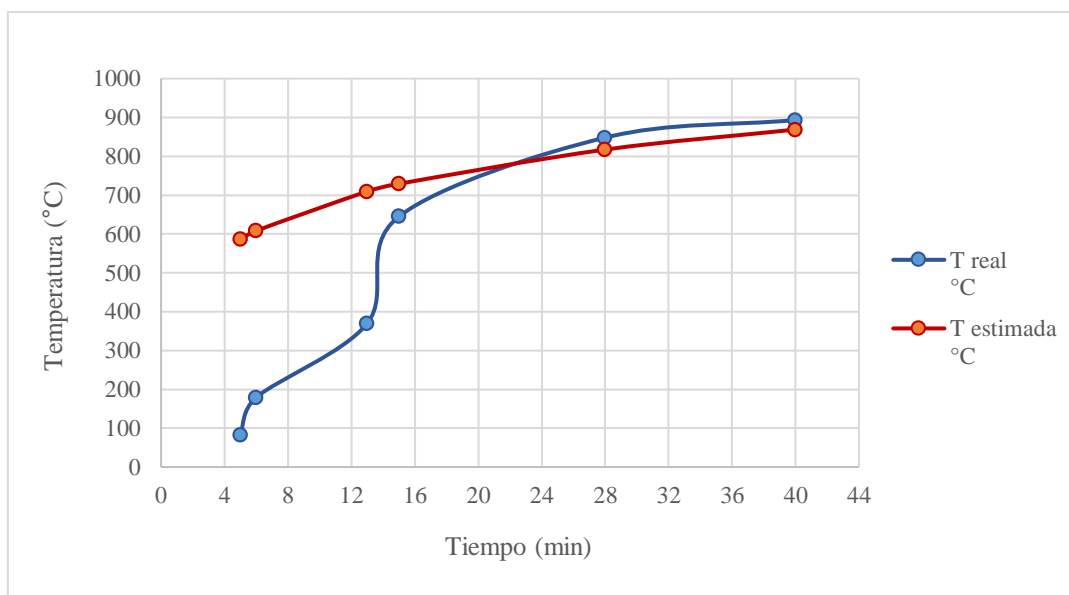
Tabla XXXVII: Situación II: Primera simulación de fuego aplicada a los paneles

SITUACIÓN II		Tiempo (min)	T real °C	T estimada °C
L =	60 cm	5	83.18	586.14
A =	100 cm	6	179	608.38
e =	13 mm	13	370.03	709.63
5%	M - 05	15	645.2	729.31
10%	M - 05	28	848.2	817.38
15%	M - 05	40	893.50	868.89

Fuente: Propia

En la segunda situación de exposición al fuego se tomaron temperaturas de los paneles a los 5, 6, 13, 15, 28 y 40 minutos. A los 5 minutos la temperatura registrada fue de 83.18°C y se culminó la prueba a los 40 minutos registrando una temperatura de 893.50 °C.

Gráfico X: Situación II: Primera simulación de fuego aplicada a los paneles



Fuente: Propia

En el gráfico se observa la curva de temperatura establecida por la norma versus la curva obtenida a partir de los datos recogidos.

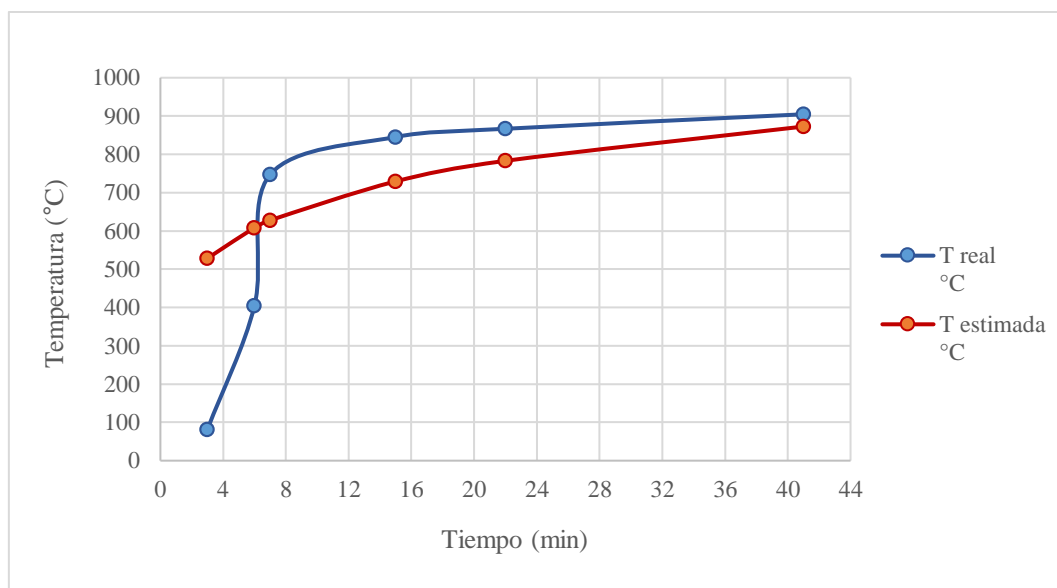
Tabla XXXVIII: Situación III: Primera simulación de fuego aplicada a los paneles

SITUACIÓN III		Tiempo (min)	T real °C	T estimada °C
L =	60 cm	3	81.5	528.36
A =	100 cm	6	405	608.38
e =	13 mm	7	747.2	627.74
5%	<b>M - 06</b>	15	845.2	729.31
10%	<b>M - 06</b>	22	866.7	782.98
15%	<b>M - 06</b>	41	904.5	872.48

Fuente: Propia

En la tercera situación de exposición al fuego se tomaron temperaturas de los paneles a los 3, 6, 7, 15, 21 y 41 minutos. A los 3 minutos la temperatura registrada fue de 81.5°C y se culminó la prueba a los 41 minutos registrando una temperatura de 904.5 °C.

Gráfico XI: Situación III: Primera simulación de fuego aplicada a los paneles



Fuente: Elaboración Propia

El gráfico muestra la comparación entre la curva de temperatura establecida por la normativa y la curva obtenida a partir de los datos recopilados.

## PH de los paneles

Paneles propuestos según lo mencionado en la Norma ASTM D 4262

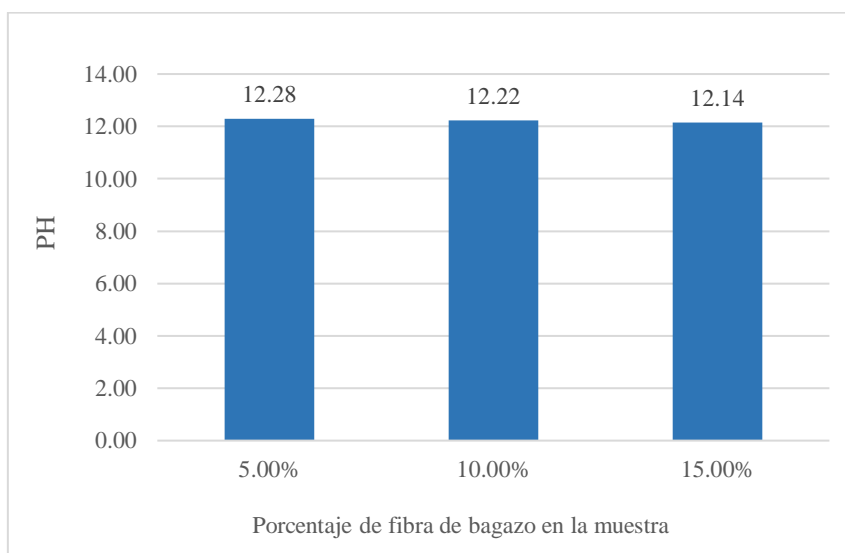
Tabla XXXIX: PH de los paneles

Muestra	Peso de la muestra (gr)	PH	PH Promedio
Panel de cemento con 5% de fibras	PH-01	20.01	12.31
	PH-02	20.01	12.25
	PH-03	20.03	12.29
Panel de cemento con 10% de fibras	PH-01	20.03	12.22
	PH-02	20.02	12.23
	PH-03	20.01	12.22
Panel de cemento con 15% de fibras	PH-01	20.00	12.16
	PH-02	20.00	12.14
	PH-03	20.00	12.12

Fuente: Propia

En la tabla se presenta las muestras codificadas que se ensayaron, en este caso las tres muestras por porcentaje de fibra añadida, el peso de estas muestras, el PH tomado y seguido del PH promedio.

Gráfico XII: PH promedio de las muestras




Fuente: Propia

El gráfico visualiza una comparativa de los distintos valores del PH tomados a las muestras.

## Ficha técnica del panel propuesto

Ilustración V: Ficha técnica - Panel de fibrocemento

<b>FICHA TÉCNICA</b>		<b>NTP ISO 8336</b>																																	
<b>PANELES DE FIBROCEMENTO*</b>																																			
	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<p>Paneles hechos a base de cemento y fibras de bagazo de caña de azúcar obtenidas del desperdicio de la fabricación del azúcar.</p> <p>Estos paneles pertenecen a la categoría 2, tipo B según lo especificado en la NTP ISO 8336.</p>																																	
	<b>COMPOSICIÓN</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th><b>CARACTERÍSTICAS</b></th> <th><b>UNIDADES</b></th> <th><b>VALOR</b></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Largo</td> <td>cm</td> <td>100 ± 0.2</td> </tr> <tr> <td>Ancho</td> <td>cm</td> <td>60.0 ± 0.2</td> </tr> <tr> <td>Espesor</td> <td>mm</td> <td>14.6 ± 0.3</td> </tr> <tr> <td>Densidad</td> <td>g/cm<sup>3</sup></td> <td>3.82</td> </tr> <tr> <td>M.O.R</td> <td>Mpa</td> <td>7.16</td> </tr> <tr> <td>M.O.R congelado</td> <td>Mpa</td> <td>2.69</td> </tr> <tr> <td>M.O.R caliente - tibio</td> <td>Mpa</td> <td>2.88</td> </tr> <tr> <td>M.O.R saturado - seco</td> <td>Mpa</td> <td>4.50</td> </tr> <tr> <td>Resistencia al fuego</td> <td></td> <td>F30</td> </tr> <tr> <td>Propagación de hongos</td> <td></td> <td>No</td> </tr> </tbody> </table>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>VALOR</b>	Largo	cm	100 ± 0.2	Ancho	cm	60.0 ± 0.2	Espesor	mm	14.6 ± 0.3	Densidad	g/cm <sup>3</sup>	3.82	M.O.R	Mpa	7.16	M.O.R congelado	Mpa	2.69	M.O.R caliente - tibio	Mpa	2.88	M.O.R saturado - seco	Mpa	4.50	Resistencia al fuego		F30	Propagación de hongos		No
	<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>VALOR</b>																																
Largo	cm	100 ± 0.2																																	
Ancho	cm	60.0 ± 0.2																																	
Espesor	mm	14.6 ± 0.3																																	
Densidad	g/cm <sup>3</sup>	3.82																																	
M.O.R	Mpa	7.16																																	
M.O.R congelado	Mpa	2.69																																	
M.O.R caliente - tibio	Mpa	2.88																																	
M.O.R saturado - seco	Mpa	4.50																																	
Resistencia al fuego		F30																																	
Propagación de hongos		No																																	
<b>USOS</b>	<p>Diseñado para áreas internas donde no influya de manera directa el sol, lluvia, nieve o condiciones climáticas severas</p>																																		

\*Fibra de bagazo de caña de azúcar

Fuente: Elaboración Propia

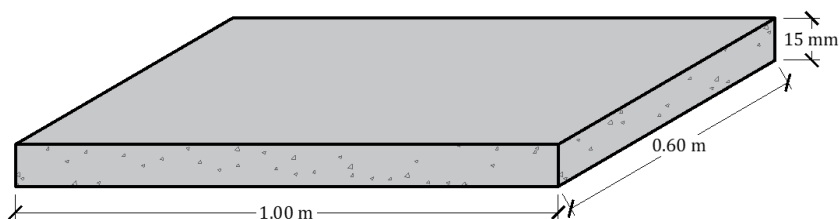
## ***Sistema de construcción propuesto para el FIBROCEMENTO***

### ***Componentes del sistema:***

#### ***Paneles de Fibrocemento:***

Las dimensiones de los paneles de fibrocemento presentan medidas de 0.6 m x 1.00 m. así mismo, el espesor de los paneles con fibra de caña de azúcar es de 13mm.

*Ilustración VI: Dimensiones del panel*

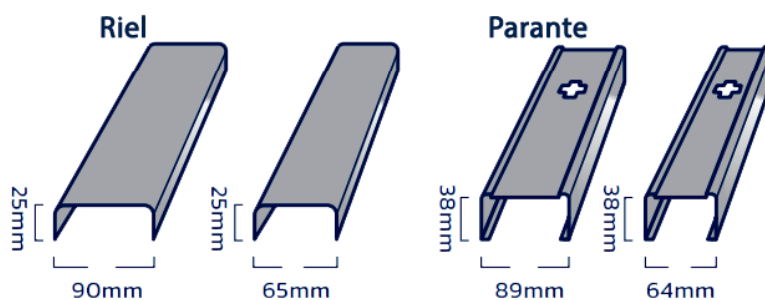


*Fuente: Propia*

#### ***Estructura Metálica:***

La estructura metálica estará conformada por montantes y rieles de acero galvanizado, con perfiles en "U" y "C". Los montantes o llamados parantes se colocan verticalmente y los rieles horizontalmente.

*Ilustración VII: Perfiles metálicos*



*Fuente: [32]*

#### ***Elementos de Fijación:***

Tornillos autorroscantes especiales para fibrocemento y metal, resistentes a la corrosión. Así también se empleará cinta de malla de fibra de vidrio para las uniones entre paneles.

#### ***Aislamiento y Acabados:***

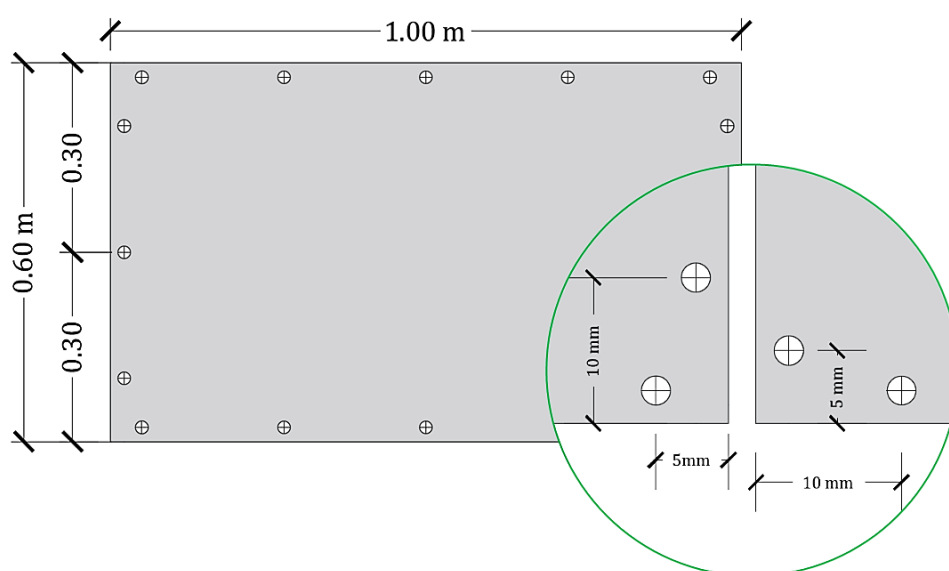
Como material aislante se usará espuma de poliuretano, para mejorar la acústica y el aislamiento térmico. Mientras que para las juntas se aplicará masilla especial para fibrocemento, utilizada para el acabado de juntas y cabezas de tornillos.

### ***Proceso de Construcción***

Iniciar con la preparación del área a trabajar para lo cual se realizará el marcado de las líneas donde se instalarán los muros y se hará la verificación de la nivelación del piso y techo. Posterior a ello se procederá con la colocación de los rieles Inferior y superior, estos se fijan al piso y al techo usando tornillos. Para la instalación de los montantes es importante visualizar su distribución, estos elementos se colocan verticalmente dentro de los rieles, espaciados a 60 o 50 cm, dependiendo de la orientación de los paneles. Respecto a su fijación de los montantes, se deben asegurar a los rieles con tornillos autorroscantes.

Una vez instalada la estructura sigue el corte y adecuación de los paneles utilizando herramientas adecuadas (sierras de dientes finos o cortadoras específicas para fibrocemento). Los paneles se fijan a la estructura metálica con tornillos, asegurándose de que las cabezas de los tornillos queden sutilmente hundidas. Cabe mencionar que para el espaciado entre paneles se deja una separación mínima de 2-3 mm entre paneles para permitir su expansión y contracción.

*Ilustración VIII : Detalle de junta y fijación*

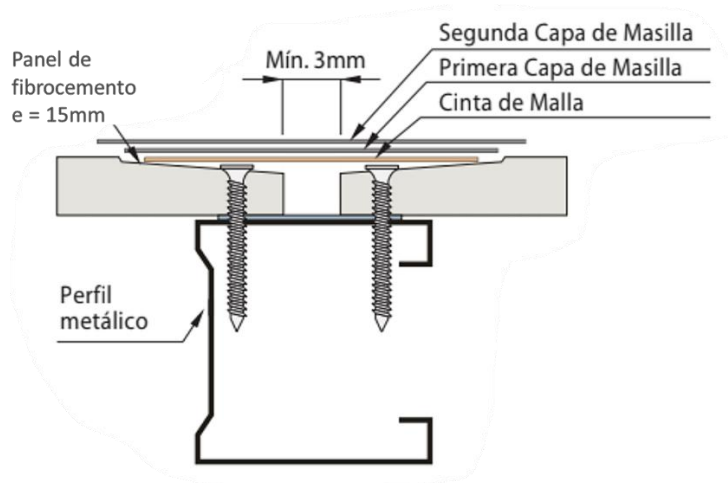


*Fuente: Propia*

Sobre el tratamiento de juntas, se va a rellenar las juntas y cubrir las cabezas de los tornillos con masilla para fibrocemento. Dejar secar y lijar para obtener una superficie lisa. Posterior a

ello se le dará un acabado final una vez lijada y seca la masilla, se puede proceder con la aplicación de pintura, textura o cualquier acabado decorativo deseado.

*Ilustración IX: Fijación de paneles*



*Fuente: [33]*

### ***Ventajas del Sistema***

Resistente a la humedad y resistente al fuego puesto que no es combustible, proporcionando seguridad adicional.

Versatilidad, dado que es adecuado para interiores y exteriores.

Facilidad de mantenimiento, estos paneles de fibrocemento requieren menos mantenimiento comparado con otros materiales.

### ***Aplicaciones Comunes***

Es aplicable para muros interiores, cielorrasos, revestimientos como una capa adicional sobre otras estructuras para mejorar la protección y la estética. Este sistema de construcción en seco con fibrocemento proporciona una alternativa robusta y eficiente al drywall, aprovechando las propiedades superiores del fibrocemento para aplicaciones más exigentes.

### Análisis de costos unitarios

Se han preparado los análisis de costos unitarios con el fin de llevar a cabo una posterior comparación y evaluación.

Tabla XL: ACU Bagazo de caña - Tratamiento químico

<b>ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS</b>						
<b>PARTIDA:</b>		<b>Bagazo de caña - Tratamiento químico</b>				
<b>RENDIMIENTO:</b>		10 kg/día				
					<b>Total S/. 13.55</b>	
Descripción	Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio		
				Unitario	Parcial	Total
<b>MANO DE OBRA</b>						<b>3.98</b>
Oficial	hh	0.25	0.2000	19.90	3.98	
<b>MATERIALES</b>						<b>9.45</b>
NaOH	Kg		0.5150	16.00	8.24	
Agua	m3		0.0206	10.00	0.21	
Fibra de bagazo de caña de azúcar	Kg		0.5000	2.00	1.00	
<b>EQUIPO Y HERRAMIENTAS</b>						<b>0.12</b>
Desgaste de herramientas	% MO		3.0000	3.98	0.12	

Fuente: Propia

En la tabla XL con un rendimiento de producción de 10kg/día, con un precio de 9.45 en materiales, 3.98 en mano de obra y 3% en el desgaste de equipos, el Kg de bagazo de caña tiene un costo de 13.55 soles.

Tabla XLI: ACU Paneles de fibrocemento 5% fibra (e=15mm)

<b>ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS</b>						
<b>PARTIDA:</b>		<b>Paneles de fibrocemento 5% fibra (e = 15mm)</b>				
<b>RENDIMIENTO:</b>		10 m2/día				
					<b>Total S/. 31.86</b>	
Descripción	Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio		
				Unitario	Parcial	Total
<b>MANO DE OBRA</b>						<b>15.15</b>
Oficial	hh	0.50	0.4000	19.90	7.96	
Peón	hh	0.50	0.4000	17.98	7.19	
<b>MATERIALES</b>						<b>16.26</b>
Cemento tipo I	bls		0.2667	32.20	8.59	
Arena fina	m3		0.0071	50.00	0.36	
Agua	m3		0.0078	10.00	0.08	
Fibra de bagazo de caña de azúcar	Kg		0.5333	13.55	7.23	
<b>EQUIPO Y HERRAMIENTAS</b>						<b>0.45</b>
Desgaste de herramientas	% MO		3.0000	15.15	0.45	

Fuente: Propia

En la tabla XLI con un rendimiento de producción de 10m<sup>2</sup>/día, con un precio de 16.26 en materiales, 15.15 en mano de obra y 3% en el desgaste de equipos, el m<sup>2</sup> de paneles de fibrocemento 5% fibra (e = 15mm) tiene un costo de 31.86 soles.

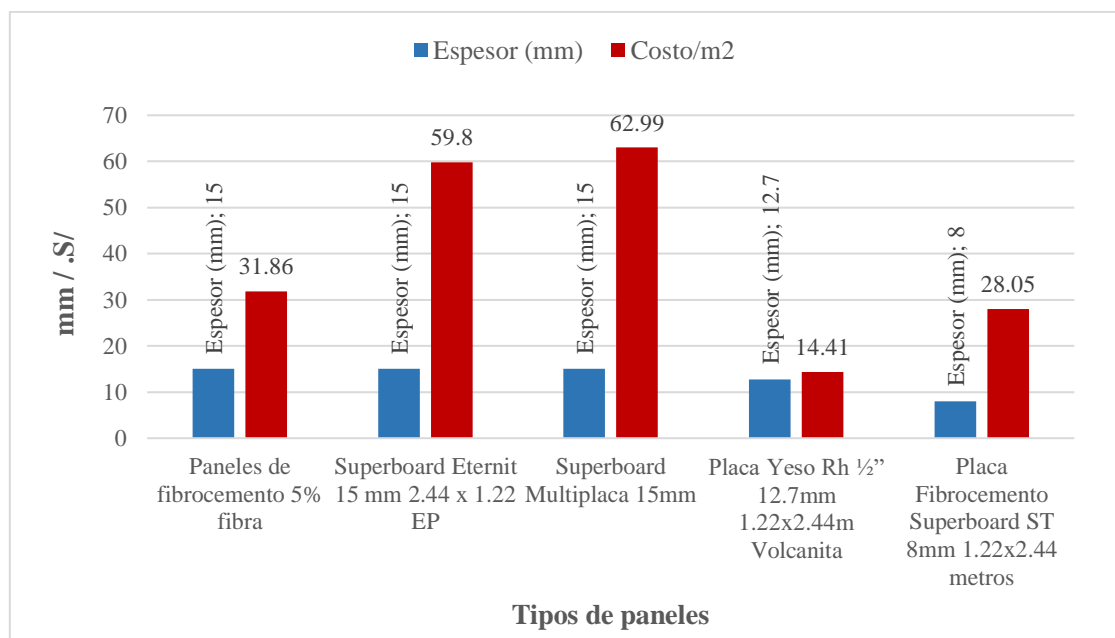
Tabla XLII: Dimensiones y costos de materiales similares

Panel de usos similares	espesor	largo	ancho	área	costo
	mm	m	m	m <sup>2</sup>	/m <sup>2</sup>
<b>Paneles de fibrocemento 5% fibra</b>	15.0	1.0	0.6	0.6	31.86
<b>Superboard Eternit 15 mm 2.44 x 1.22 EP</b>	15.0	2.4	1.2	3.0	59.80
<b>Superboard Multiplaca 15mm</b>	15.0	2.4	1.2	3.0	62.99
<b>Placa Yeso Rh ½” 12.7mm 1.22x2.44m Volcanita</b>	12.7	2.4	1.2	3.0	14.41
<b>Placa Fibrocemento Superboard ST 8mm 1.22x2.44 metros</b>	8.0	2.4	1.2	3.0	28.05

Fuente: Propia

La tabla anterior presenta las dimensiones y costo por m<sup>2</sup> de los diversos paneles similares al propuesto en la presente investigación, muestran 2 paneles con el mismo espesor de 15mm y otros 2 con un espesor menor.

Gráfico XIII: Paneles con características similares



Fuente: Propia

En el gráfico se muestran los espesores de los paneles y el costo/m<sup>2</sup> de cada uno. El panel propuesto de 15mm tiene un costo de 31.86 soles/m<sup>2</sup>, el Superboard Eternit de 15mm cuesta 59.8 soles/m<sup>2</sup>, mientras que el Superboard Multiplaca de 15 mm asciende a 62.99 soles/m<sup>2</sup>.

## Discusiones

Según el objetivo general de determinar las propiedades físicas y mecánicas de paneles elaborados con cemento y fibras de bagazo de caña con la finalidad de proponer un material alternativo y sostenible en la construcción se puede decir que con los resultados obtenidos que se obtuvieron las propiedades necesarias para calificar y evaluar la hipótesis, así mismo, el panel propuesto es sostenible dado que la fibra empleada es una de las fibras con mayor presencia en la región.

A continuación se presentan las discusiones de los objetivos así como de cada uno de las propiedades determinadas.

### Caracterización química y de manera física las fibras de bagazo de caña

Según el objetivo de caracterizar por medios químicos y de manera física el bagazo de caña de azúcar a emplear en esta investigación se realizó un análisis de una muestra en la que como se muestra en la tabla XII el bagazo originario como residuo de la caña de azúcar tiene un alto contenido de carbono, el cual llega a más de 43%, así mismo respecto a su composición en la tabla XIII resalta su alto contenido de celulosa con un 41%. Estos resultados al ser comparados con Zamora 2019 [6] en donde el contenido de celulosa en la fibra de la caña es de 46.6 % y sus paneles si logran un buen desempeño, así mismo en esta investigación se establece un rango de celulosa en la que esta desde 41 a 44% apoya a soportar los esfuerzos a flexión que se le someta mejorando así su resistencia estando el valor encontrado en la muestra dentro de este rango.

### Medidas dimensionales y geométricas

Según el objetivo de establecer las propiedades físicas y mecánicas de los paneles elaborados, las medidas dimensionales como largo, ancho y espesor se encuentran dentro de estas propiedades, aunque estas medidas en específico forman parte de los ensayos tipo establecidos por la ISO 8336 [28] si cuentan con restricciones para el espesor en específico.

*Tabla XLIII: Tolerancias en espesor nominal para láminas con textura*

Espesor mm	Tolerancia
$e \leq 6$	- 0,6 mm + 0,9 mm
$6 < e \leq 20$	- 10 % e + 15 % e
$e > 20$	- 2 mm + 3 mm

Espesor	Tolerancia
$e = 15$ mm	5% e = 0.75 mm
Rango aceptable	15.75 mm – 14.25

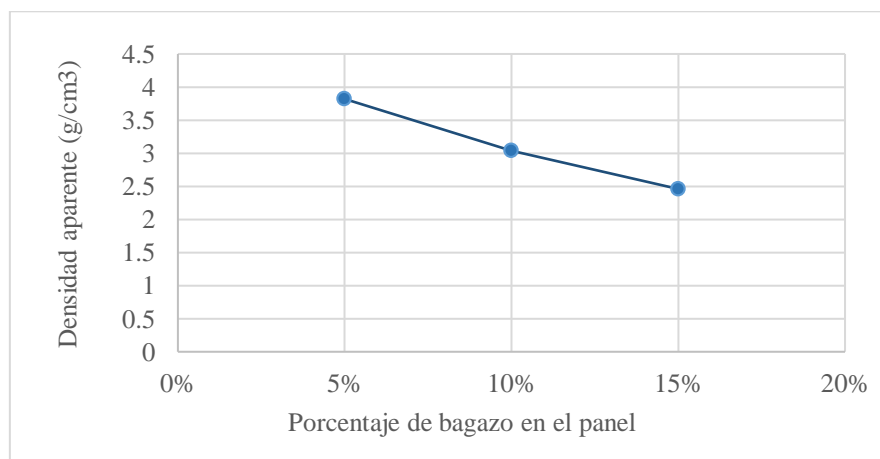
Fuente: NTP ISO 8336

Bajo lo mencionado en la ISO 3668 los espesores deberían estar dentro de 15.75 mm a 14.25mm. comparando lo mencionado con la tabla XXX la M – 05% tienen en promedio un espesor de 14.63 mm que se encuentra dentro del rango, al igual la M – 10% con 14.96mm en promedio y la M – 15% con 15.33mm. Por otro lado la dimensión del largo es de 100.13 cm para los que tienen 5%, 100.14 para los del 10% y 100.15 para el 15%.

### Densidad aparente

Según el objetivo de establecer las propiedades físicas y mecánicas de los paneles elaborados, la densidad aparente es una de ellas. De la tabla XXXI los resultados obtenidos evidencian que la muestra con mayor densidad es la de del panel con 5% de bagazo el cual tiene una densidad de 3.82 g/cm<sup>3</sup>, el panel con 10% de bagazo presenta una densidad de 3.04 g/cm<sup>3</sup> y por último el panel con 15% de bagazo 2.46 gr/cm<sup>3</sup>. Estos resultados al ser comparados con lo mencionado por Ramos (2023) en su tesis [5], quien concluyó que cuanto más porcentaje de fibra se agregue se tendrá una menor densidad en el panel, en su investigación trabajo con fibra de totora la cual tiene características similares a la fibra del bagazo de caña. Lo que en relación con la presente tesis también se afirma y comprueba.

Gráfico XIV: Tendencia de densidad en relación con el porcentaje de fibra



Fuente: Propia

### Permeabilidad al agua

Según el objetivo de establecer las propiedades por medios físicos y las propiedades mecánicas de los paneles elaborados, la permeabilidad al agua es una de ellas. De la tabla

XXXII los resultados muestran que los paneles con 5% de fibra son impermeables puesto que no se observó humedad en la cara opuesta a la ensayada, mientras que en los paneles con 10% y 15% de fibra si se observó la humedad en la cara opuesta a la que se le aplicó el agua inicial. Estos resultados al ser comparados con lo mencionado por Ramos (2023) quien en su tesis [5] concluye que su propuesta de fibrocemento es impermeable sin depender del porcentaje de fibra que este considerado. Además, Fonseca (2021) [11] menciona que si bien las fibras pueden crear poros interconectados más grandes, aumentando permeabilidad al agua por lo que es importante tratar las fibras antes de añadirlas a una mezcla cementante con buena densificación puesto que eso lleva a la interrupción de los poros internos interconectados, las fibras rompen las interconexiones y reducen la absorción de agua.

### **Resistencia al congelamiento**

Según el objetivo de establecer las propiedades físicas y mecánicas de los paneles elaborados, la resistencia al congelamiento es una de ellas, sin embargo, dentro de NTP ISO 8336 este no es un ensayo necesario para todos los paneles ya que es muy específico para ciertos usos. Así mismo en la tabla XXXIII se visualizan los resultados de la resistencia a flexión de la muestra que fue expuesta a ese ambiente siendo 2.68 MPa de resistencia. Sin embargo, en la ISO 8336 no considera resistencias menores a 4 MPa para cualquiera de las categorías.

### **Agua tibia – caliente**

Según el objetivo de establecer las propiedades físicas y mecánicas de los paneles elaborados el desempeño de las muestras es una de ellas, sin embargo, dentro de NTP ISO 8336 este no es un ensayo necesario para todos los paneles ya que es muy específico para ciertos usos. Así mismo en la tabla XXXIV se visualizan los resultados de la resistencia a flexión de la muestra que fue expuesta a ese ambiente siendo 2.88 MPa de resistencia. Sin embargo, en la ISO 8336 no considera resistencias menores a 4 MPa para cualquiera de las categorías.

### **Saturado – seco**

Según el objetivo de establecer las propiedades físicas y mecánicas de los paneles elaborados evaluar el desempeño de los paneles frente a situaciones saturadas y secas forma parte de las propiedades. Sin embargo, dentro de NTP ISO 8336 este no es un ensayo necesario para todos los paneles ya que es muy específico para ciertos usos. Así mismo, los resultados de la resistencia a flexión de la muestra con 5% es de 4.50 MPa, 4.29 MPa para el panel con 10% y

3.94% a una muestra con 15% de fibras. Tomando en cuenta solo estos datos los dos primeros porcentajes irían en una Categoría B, CLASE 1.

### **Resistencia a la flexión**

Tomando en cuenta el objetivo de establecer las propiedades físicas y mecánicas de los paneles elaborados es importante conocer la resistencia a la flexión de la muestra. En la tabla XXXV se muestran los resultados del ensayo de Resistencia a la flexión siendo el panel al 5% quien tienen una mayor resistencia de 12.12 MPa, el panel con 10% tuvo una resistencia de 11.36 MPa y seguido el panel que contiene 15% de fibra en el panel con una resistencia de 10.56MPa, resultados que al ser al ser comparados con el estudio de Ramos (2023) quien dio por conclusión la mejora en la resistencia a la flexión llegando hasta 18Mpa , sin embargo sus porcentajes de fibra eran de 3%, con estos resultados se puede inferir que la resistencia a la flexión aumenta en relación inversa al porcentaje de fibra añadida. Por otro lado Sendra (2021) [7] en su investigación concluye que la incorporación de fibra de caña de azúcar en comparación con otras fibras vegetales no es favorable emplearla dado que no mejora la resistencia a flexión, sino que la empeora a medida que aumenta su presencia.

### **Resistencia al fuego**

Según el objetivo de establecer las propiedades físicas y mecánicas de los paneles elaborados. La resistencia al fuego se referencia en ambas normas ASTM E119 y NCH 935/1, sin embargo, a falta de un horno específico se simuló 3 situaciones en la que como se observa en el gráfico IX la curva real dista bastante de la curva esperada. En el gráfico X la situación II el gráfico real está más cercano a la curva esperada. Respecto a esto la NCH935/1 (1997) [34] clasifica a los materiales según la cantidad en la que estuvieron expuestos. Es por ello que el panel sometido a los ensayos se clasificaría como Clase F 30 dado que el tiempo de exposición al fuego fue mayor a 30 y menor a 60 minutos.

### **Resistencia a la humedad / crecimiento de hongos**

Según el objetivo de establecer las propiedades físicas y mecánicas de los paneles elaborados la resistencia a la humedad y por su consecuencia que tan propenso es el nuevo material a ser ambiente para la propagación de hongos, es una propiedad analizada. En el gráfico XII se exponen los resultados de la tendencia del PH según el porcentaje de bagazo en la

muestra, es así que la muestra con 5% tiene un PH de 12.28 mientras que la muestra con 10% presenta un PH de 12.22 y la muestra con 15% un PH de 12.14, resultados que al ser comparados con lo expuesto en la tesis de Morales (2018) [35] quien concluyó que luego de un tratamiento a las fibras utilizadas y que estas presentaran tendencia a la neutralidad alrededor de 7 por ende no es un ambiente para la obtención de hongos, con estos resultados se afirma que si la fibra añadida presenta ph neutro el crecimiento de hongos será negativo. Además, Buckman (19991) [36] menciona que el pH óptimo para la mayoría de las bacterias está entre 6.0 y 8.5, y solo unas pocas prefieren un pH superior a 8.5, cabe mencionar que los hongos tienden a crecer en pH extremadamente bajos, pero estos hongos pueden crecer en medios con pH hasta 8.5, aunque la mayoría prefiere un ambiente ácido.

### **Sistema constructivo**

Luego de revisar las características finales del panel propuesto se tomó como referencia los Sistemas Constructivos No Convencionales (SCNC) Drywall y Eternit, estos se rescataron para proponer el sistema constructivo para el fibrocemento Dado que las características de los materiales como el drywall y el de Eternit son similares, en caso del material propuesto es de menor dimensión y no califica para ser usado en exteriores según los parámetros de la NTP. ISO 8336.

### **Análisis de costos**

Según el objetivo de análisis de costos unitarios se realizó un ACU en el que el costo por m<sup>2</sup> para la elaboración de estos paneles de 60cm x 100cm y 15mm de espesor es de 31.86 soles, así mismo paneles Superboard Eternit de igual espesor presentan un costo de 59.80 por m<sup>2</sup> y Superboard Multiplaca 62.99 por m<sup>2</sup>, datos que al ser comparados con lo presentado por Tinoco (2018) [4] quien concluyó que el panel propuesto en su tesis resultaba en 10.41 soles por m<sup>2</sup>, sin embargo en su caso el panel de su investigación tenía al yeso como conglomerante reduciendo así los costos, con estos resultados se afirma que es posible fabricar paneles de fibrocemento económicos y con características favorables haciendo uso de materiales agrícolas.

### **Conclusiones**

Con el desarrollo de esta investigación, se ha llegado a la conclusión de que la fibra de bagazo de caña puede ser efectivamente utilizada en la fabricación de paneles de fibrocemento para su aplicación en la construcción. Tras un análisis exhaustivo de sus propiedades, se han

obtenido resultados favorables que cumplen con los estándares normativos establecidos. Estos hallazgos sugieren que el uso de fibra de bagazo de caña representa una opción viable y prometedora en la búsqueda de materiales de construcción sostenibles y eficientes. Sin embargo, se identifican áreas para futuras investigaciones, como la optimización de procesos de producción y la evaluación a largo plazo del rendimiento de estos paneles en aplicaciones reales de construcción.

Para la caracterización física y química de las fibras de bagazo de caña, se empleó un tratamiento químico con NaOH y se presentó un proceso de 4 pasos contemplando el licuado, tamizado, lavado con hidróxido de sodio y secado. Luego de la ejecución de este proceso se concluye que es efectivo puesto que luego de ser obtenida la fibra se procedió en una comparativa de su PH antes y después y si hubo cambios en beneficio significativos.

En relación con el proceso de elaboración de los paneles hechos a base de cemento y fibras de bagazo de caña al 5%, 10% y 15% se propuso y ejecutó un procedimiento que constó de cinco fases las cuales se llevaron a cabo y describieron en la investigación.

*Ilustración X : Fases para la elaboración de un panel*

FASE I	Recolección del bagazo de caña de azúcar proveniente de la azucarera pomalca
FASE II	Obtención de la fibra de bagazo de caña de azúcar y caracterización de la misma.
FASE III	Elaboración de paneles a base de fibras de bagazo de caña de azúcar.
FASE IV	Evaluación de los paneles mediante la determinación de sus propiedades.
FASE V	Análisis de los datos obtenidos y determinación de su viabilidad

*Fuente: Propia*

Con respecto a las propiedades físicas y mecánicas de los paneles elaborados con cemento y fibras de bagazo de caña al 5%, 10% y 15% se concluye que elaborara paneles de cemento con 5%, 10% y 15% de fibra de caña es viable, así mismo se presenta un cuadro resumen de las propiedades determinadas.

*Tabla XLIV: Resumen de propiedades en los distintos porcentajes de fibra*

Características	Unidades	Porcentaje de fibra en el panel		
		5%	10%	15%
<b>Largo</b>	<b>cm</b>	100.13	100.14	100.15
<b>Ancho</b>	<b>cm</b>	60.11	60.13	60.14
<b>Espesor</b>	<b>mm</b>	14.63	14.96	15.33
<b>Densidad</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	3.82	3.04	2.46
<b>Permeabilidad al agua</b>		Impermeable	Permeable	Permeable
<b>Resistencia al congelamiento</b>	<b>MPa</b>	2.69	2.60	2.52
<b>Agua tibia/ caliente</b>	<b>MPa</b>	2.88	2.69	2.46
<b>Saturado - seco</b>	<b>MPa</b>	4.50	4.29	3.94
<b>Resistencia a la flexión</b>	<b>MPa</b>	12.12	11.36	10.58
<b>Carga puntual (60cm x 100cm)</b>	<b>Kgf</b>	105.10	74.47	3.77
<b>Resistencia al fuego</b>	<b>F30</b>	SI	SI	SI
<b>Resistencia a los hongos / PH</b>	<b>12 &lt; PH &lt; 13</b>	SI	SI	SI

*Fuente: Propia*

En conclusión, con los resultados conseguidos el panel de fibrocemento con mejores características es el que contiene 5% de fibras de bagazo de caña de azúcar y a continuación se presenta sus propiedades mecánicas y físicas analizadas.

*Tabla XLV: Propiedades del panel óptimo*

Características	Unidades	Valor
<b>Largo</b>	<b>cm</b>	100.13
<b>Ancho</b>	<b>cm</b>	60.11
<b>Espesor</b>	<b>mm</b>	14.63
<b>Densidad</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	3.82
<b>Permeabilidad al agua</b>		Impermeable
<b>Resistencia al congelamiento</b>	<b>MPa</b>	2.69
<b>Agua tibia/ caliente</b>	<b>MPa</b>	2.88
<b>Saturado - seco</b>	<b>MPa</b>	4.50
<b>Resistencia a la flexión</b>	<b>MPa</b>	12.12

<b>Carga puntual (60cm x 100cm)</b>	<b>Kgf</b>	105.1	
<b>Resistencia al fuego</b>		SI	F30
<b>Resistencia a los hongos / PH</b>		12.28	Resiste a los hongos

*Fuente: Propia*

A partir de las propiedades obtenidas del panel óptimo, se elaboró una ficha técnica detallada. Esta ficha incluye una descripción de los paneles, destacando su composición y características principales. Además, se concluye que el panel de fibrocemento con un 5% de fibra de bagazo de caña de azúcar pertenece a un panel tipo B de categoría 2, conforme a las especificaciones establecidas en la NTP ISO 8336. En la ficha técnica se menciona la composición específica del material, detallando la proporción de cemento, arena y fibra de bagazo de caña de azúcar, así como los beneficios asociados a esta combinación, tales como la mejora en la sostenibilidad y la eficiencia en costos. También se describen los diversos usos posibles de estos paneles, que van desde aplicaciones en revestimientos interiores, hasta su utilización en muros divisorios interiores.

Después de analizar las características principales, se concluyó que el sistema constructivo más adecuado para estos paneles es la construcción en seco. Este método se destaca por su rapidez en el montaje, limpieza en la obra y menor impacto ambiental en comparación con los métodos tradicionales. En este sistema, se emplea una estructura compuesta por parantes y rieles de acero galvanizado, lo cual proporciona la rigidez y estabilidad necesarias. Los paneles de fibrocemento se fijarán a esta estructura mediante tornillos autorroscantes, asegurando una sujeción firme y duradera. Así mismo el material aislante será la espuma de poliuretano. La combinación de una estructura de acero con paneles de fibrocemento y aislamiento de espuma de poliuretano no solo garantiza una construcción sólida y eficiente, sino que también ofrece una solución sostenible y de alto rendimiento para proyectos modernos.

Se llevaron a cabo análisis de costos unitarios tanto para la fibra de bagazo de caña de azúcar en su proceso de tratamiento químico como para los paneles de fibrocemento que contienen un 5% de esta fibra. Estos análisis concluyeron en que el costo por kilogramo de la fibra de bagazo de caña de azúcar es de 13.55 soles, mientras que el costo por metro cuadrado de fibrocemento de 15 mm de espesor es de 19.51 soles. Se realizó una comparación con otros paneles similares disponibles en el mercado, y se concluyó que el panel propuesto no solo presenta un costo significativamente menor, sino que también resulta ser una opción más accesible y económica.

Esta ventaja económica, junto con los beneficios ambientales de utilizar un residuo agrícola como la fibra de bagazo de caña de azúcar, hace que este panel de fibrocemento sea una alternativa atractiva y sostenible en la construcción. Además, el uso de esta fibra contribuye a la reducción de desechos y al aprovechamiento de recursos naturales, lo cual es un valor añadido en términos de sostenibilidad y responsabilidad ambiental.

### **Recomendaciones**

Se recomienda reforzar con alguna fibra metálica los paneles propuestos con el fin de obtener valores de MOR más estables frente a situaciones de ambiente desfavorable. Además, el uso de fibras metálicas podría mejorar significativamente la resistencia, proporcionando una mayor seguridad y durabilidad en aplicaciones estructurales. La integración de fibras metálicas también puede ayudar a reducir la deformación y el agrietamiento bajo cargas pesadas, lo que es crucial para su desempeño en entornos exigentes.

Se recomienda investigar la viabilidad de incorporar diferentes porcentajes de fibra de bagazo de caña de azúcar en la mezcla de los paneles de fibrocemento. Además de los porcentajes ya evaluados del 5%, 10%, y 15%, se sugiere probar con otros valores para determinar si existe un equilibrio óptimo entre la resistencia del material, su flexibilidad y el costo de producción. Esta exploración podría revelar una combinación ideal que maximice la durabilidad y el rendimiento de los paneles, al mismo tiempo que se mantiene un costo eficiente. La optimización de estos factores es crucial para desarrollar un producto que no solo sea competitivo en el mercado, sino que también cumpla con los estándares de calidad y sostenibilidad requeridos en la industria de la construcción.

En cuanto a los costos, se sugiere llevar a cabo estudios de mercado exhaustivos para identificar oportunidades de comercialización y fomentar la adopción de estos paneles en proyectos de construcción. Específicamente, se deben explorar sectores donde los costos más bajos puedan representar una ventaja competitiva significativa. Al identificar estos nichos de mercado, se podrá enfocar los esfuerzos de comercialización y promoción de manera más efectiva, destacando los beneficios económicos y sostenibles de utilizar estos paneles de fibrocemento.

## Referencias

- [1] A. Bentur y S. Mindess, *Fibre reinforced cementitious composites*, 2. ed. en Modern concrete technology series, no. 15. London: Taylor & Francis, 2007.
- [2] H. G. Kotik, «Fibras naturais e compósitos reforçados com fibras naturais: a motivação para sua pesquisa e desenvolvimento», *Matéria (Rio J.)*, vol. 24, p. e12477, ago. 2019, doi: 10.1590/S1517-707620190003.0801.
- [3] C. Neyra Lopez, «Caracterización de la región lambayeque 2020». Sistema Nacional de Evaluación, Acreditación y Certificación de la Calidad Educativa - SINEACE, 21 de mayo de 2020. Accedido: 12 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.sineace.gob.pe/repositorio/handle/20.500.12982/6220>
- [4] G. A. Tinoco Padilla, «Uso del residuo agrícola de la caña de azúcar como material alternativo para la elaboración de paneles prefabricados ecológicos de yeso – Lima 2018», Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo, Lima-Perú, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/25868>
- [5] D. R. Ramos Apaza, «Evaluación del efecto de adición de la fibra de totora (*Schoenoplectus californicus*) en cemento Portland tipo I para la elaboración de paneles de fibrocemento», Universidad Nacional del Altiplano. Repositorio Institucional - UNAP, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/19814>
- [6] L. V. Lozano Zamora y E. A. Rojas Fraile, «Elaboración de paneles termoaislantes para cubierta a partir de fibras de bagazo de la caña de azúcar», Tesis de pregrado, Universidad La Gran Colombia, Bogotá-Colombia, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://repository.ugc.edu.co/handle/11396/5731>
- [7] A. Martín Sendra, «Estudio comparativo de fibras naturales para reforzar hormigón», Proyecto/Trabajo fin de carrera/grado, Universitat Politècnica de València, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/160345>
- [8] J. M. Caro Perdomo, «Método experimental para determinar la formulación base de un cemento reforzado con fibras naturales», Tesis de pregrado, Universidad de los Andes, Bogotá-Colombia, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/40271>
- [9] B. M. P. Morales y J. L. M. Cuevas, «Estudio de las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar», *Revista INGENIERÍA UC*, vol. 26, n.º 2, pp. 202-212, 2019.
- [10] K. M. F. Hasan, P. G. Horváth, y T. Alpár, «Development of lignocellulosic fiber reinforced cement composite panels using semi-dry technology», *Cellulose*, vol. 28, n.º 6, pp. 3631-3645, abr. 2021, doi: 10.1007/s10570-021-03755-4.

- [11] Fonseca, Régis Pamponet da, «Influência de diferentes tipos de fibras vegetais amazônicas no desempenho de uma argamassa a base de cimento Portland e Metacaulim», Tese (doutorado), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/227117>
- [12] A. Karimah *et al.*, «A review on natural fibers for development of eco-friendly bio-composite: characteristics, and utilizations», *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 13, pp. 2442-2458, jul. 2021, doi: 10.1016/j.jmrt.2021.06.014.
- [13] IETCC, «Celulosa nanofibrilada y pulpa celulósica usada como refuerzo en materiales», IETCC. Accedido: 12 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.ietcc.csic.es/serie-monografias/celulosa-nanofibrilada-y-pulpa-celulosica-usada-como-refuerzo-en-materiales-2/>
- [14] A. Komuraiah, N. S. Kumar, y B. D. Prasad, «Chemical Composition of Natural Fibers and its Influence on their Mechanical Properties», *Mech Compos Mater*, vol. 50, n.º 3, pp. 359-376, jul. 2014, doi: 10.1007/s11029-014-9422-2.
- [15] O. Faruk y M. Sain, Eds., *Lignin in polymer composites*. Amsterdam ; Boston: Elsevier : William Andrew, 2016.
- [16] Omar Faruk y Mohini Sain, *Biofiber reinforcement in composite materials*. en Woodhead publishing series in composites science and engineering, no. Number 51. Amsterdam: Woodhead Publishing, 2015.
- [17] E. M. Manals-Cutiño y M. Penedo-Medina, «Caracterización del bagazo de caña como biomasa vegetal», *Tecnología Química*, vol. XXXV, n.º 2, pp. 179-192, 2015.
- [18] R. G. Lazarini, «Pré-tratamento de fibras de bagaço de cana-de-açúcar e seu uso em altos teores em compósitos com polipropileno via mistura termocinética», Tesis de maestre, Universidade federal de Sao Carlos, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/12656>
- [19] D. G. Devadiga, K. S. Bhat, y G. Mahesha, «Sugarcane bagasse fiber reinforced composites: Recent advances and applications», *Cogent Engineering*, vol. 7, n.º 1, p. 1823159, ene. 2020, doi: 10.1080/23311916.2020.1823159.
- [20] C.-L. Hwang, V.-A. Tran, J.-W. Hong, y Y.-C. Hsieh, «Effects of short coconut fiber on the mechanical properties, plastic cracking behavior, and impact resistance of cementitious composites», *Construction and Building Materials*, vol. 127, pp. 984-992, nov. 2016, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.09.118.
- [21] A. Brown-Gómez *et al.*, «Fibras de bagazo como refuerzo en materiales termoplásticos», *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, vol. 45, n.º 1, pp. 29-36, 2011.

- [22] J. Fernández-Rodríguez y N. Díaz-Hernández, «Evaluación de un material compuesto reforzado con fibras de bagazo en matriz de cemento», *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, vol. 51, n.º 1, pp. 53-59, 2017.
- [23] R.- ASALE y RAE, «conglomerante | Diccionario de la lengua española», «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario. [En línea]. Disponible en: <https://dle.rae.es/conglomerante>
- [24] Santiago Crespo Escobar, *MATERIALES DE CONSTRUCCION PARA EDIFICACION Y OBRA CIVIL*. Club Universitario, 2010.
- [25] C01 Committee, «Terminology Relating to Hydraulic and Other Inorganic Cements». ASTM International. doi: 10.1520/C0219-20A.
- [26] Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, «Resolución Ministerial N.º 400-2017-Vivienda». 20 de octubre de 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/normas-legales/12020-400-2017-vivienda>
- [27] TOPTEC, «Sistema constructivo en seco dryboard Placas de fibrocemento». 19 de julio de 2022. [En línea]. Disponible en: [https://www.toptec.com.co/files/products/files/1658848942\\_Manual-TOPTEC-2019-8.dryboard\\_page-0001.pdf](https://www.toptec.com.co/files/products/files/1658848942_Manual-TOPTEC-2019-8.dryboard_page-0001.pdf)
- [28] ISO - International Organization for Standardization, «ISO 8336:2017 Fibre-cement flat sheets - Product specification and test methods». 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.iso.org/standard/62950.html>
- [29] William McDonough y Michael Braungart, *Cradle to cradle : remaking the way we make things*, First Edition.
- [30] G. M. Kane, C. A. Bakker, y A. R. Balkenende, «Towards design strategies for circular medical products», *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 135, pp. 38-47, ago. 2018, doi: 10.1016/j.resconrec.2017.07.030.
- [31] D. F. Campbell y J. C. Stanley, *Diseños experimentales y cuasiexperimentales en la investigación social*, 1a. edición, 9a. reimpresión. Buenos Aires (Argentina): Amorrortu Editores, 2005.
- [32] Cobertecho, «Ficha técnica acero drywall». 2019. [En línea]. Disponible en: <https://cobertecho.com/wp-content/uploads/2022/10/ACERO-DRYWALL-FICHA-TECNICA.pdf>
- [33] Eternit, «Ficha Tecnica Superboard PRO Biselado.pdf». 18 de septiembre de 2020. [En línea]. Disponible en: [https://drive.google.com/file/d/1sQb-VQJNwn1Qb9uK0ifa6rjgEKJ6HAMy/view?usp=sharing&usp=embed\\_facebook](https://drive.google.com/file/d/1sQb-VQJNwn1Qb9uK0ifa6rjgEKJ6HAMy/view?usp=sharing&usp=embed_facebook)

- [34] Ministerio de Vivienda y Urbanismo, «NCh935/1:1997», NCH 935/1. [En línea]. Disponible en: [www.minvu.cl](http://www.minvu.cl)
- [35] J. Y. Morales Avila, «Producción artesanal de calaminas ecológicas a partir del cogollo de piña y bagazo de la caña de azúcar del mercado Caquetá del distrito del Rímac – 2018», Universidad César Vallejo, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/36915>
- [36] Buckman, S. J. y Buckman, J. D., *Microbiología. PULPA Y PAPEL QUIMICA Y TECNOLOGIA QUIMICA VOL.2: LIMUSA*, 1991.

## Anexos

## Anexo I: Validación de ensayos de laboratorio



**USAT**  
Universidad Católica  
Santo Toribio de Mogrovejo

**UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL**  
**LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIENTOS**

INFORME N° LEM USAT 038-2024-I

FECHA: 24 de Mayo 2024

## VALIDACIÓN DE ENSAYOS DE LABORATORIO

**ESTUDIANTE:** Eloisa de Jesús Prada Ñiquen

**TITULO DE LA TESIS:** Evaluación de las características físico-mecánicas de un panel elaborado con cemento y fibras de bagazo de caña

El que suscribe, responsable del laboratorio de Ingeniería Civil Ambiental, verifica y da conformidad que los siguientes ensayos de laboratorio realizados por el indicado estudiante se han efectuado en las instalaciones de la USAT, asimismo valida los ensayos realizados fuera de nuestras instalaciones siempre que no se puedan realizar en esta universidad:

- Contenido de humedad
- Peso unitario fino
- Peso volumétrico
- Peso específico y absorción del agregado
- Contenido de humedad
- Características Dimensionales y Geométricas
- Densidad Aparente
- Permeabilidad al agua
- Prueba estándar para determinar el pH del concreto
- Resistencia a la flexión
- Resistencia al fuego
- Caracterización Físico Química



**USAT**  
LABORATORIO DE ENSAYOS DE CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES  
TÉCNICO DE LABORATORIO

Se alcanza al interesado para los fines pertinentes.

Observación: Adjunto formatos de ensayos y resultados obtenidos

**Henry Rivadeneira Oblitas**  
Responsable de Lab. Ing. Civil Ambiental



Henry Rivadeneira Oblitas  
Tec. Laboratorio  
USAT



**USAT**  
Universidad Católica  
Santo Toribio de Mogrovejo

## Anexo II: Análisis físico-químico del bagazo

LABORATORIO FÍSICO QUÍMICO AMBIENTAL PERÚ S.A.C.

ENSAYOS QUÍMICOS Y SERVICIOS GENERALES

RUC: 20605355189



### INFORME DE ANÁLISIS F.Q.A PERÚ S.A.C.

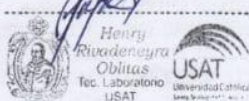
SOLICITANTE	: ELOÍSA DE JESÚS PRADA ÑIQUEN
PROYECTO	: Evaluación de las características físico-mecánicas de un panel elaborado con cemento y fibras de bagazo de caña
MUESTRA	: FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR
FECHA DE INGRESO	: 26 DE SETIEMBRE DEL 2023
MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO	

## ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO:

CODIFICACIÓN DE MUESTRA	CAJA 001	
FÍSICOQUÍMICOS	UNIDADES	RESULTADO
CARBONO	%	43.26
HIDRÓGENO	%	5.83
NITRÓGENO	%	0.47
AZUFRE	%	0.32
OXÍGENO		49.63
ANÁLISIS COMPOSICIONAL		
CELULOSA	%	41.02
HEMICELULOSA	%	21.19
LIGNINA	%	18.76
ANÁLISIS PROXIMAL		
HUMEDAD	%	3.89
MATERIAL VOLÁTIL	%	80.35
CARBÓN FIJO	%	9.17
CERNIZA	%	6.67
PROPIEDADES FÍSICAS		
DENSIDAD	Kg/m <sup>3</sup>	181.69
PODER CALORÍFICO	Kj/kg	7519.48

\*MÉTODOS DE ENSAYO UTILIZADOS: Proteína: NTP 205.005/79; Grasa: NTP 205.006/80; Humedad: NTP 205.002/79; Cenizas: NTP 205.003/79  
MÉTODO ASTM D-271

TRUJILLO, 02 DE OCTUBRE DEL 2023



AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITES - CARBON - CAL

CELULAR: 944 077 288 - 949 959 632 CORREO ELECTRÓNICO: fqaperusac@gmail.com

Anexo III: Análisis granulométrico de la caña de azúcar



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

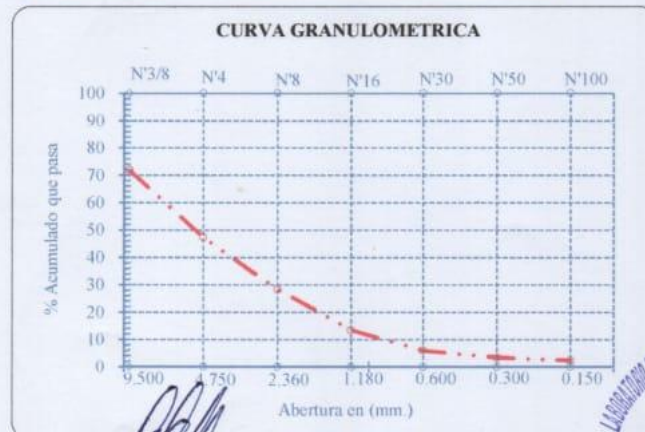


**Tesista** : Eloisa de Jesus Prada Ñiquen  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Evaluación de las características físico-mecánicas de un panel elaborado con cemento y fibras de bagazo de caña  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 10 de Octubre 2023

**Ensayo** : Análisis granulométrico por tamizado de la fibra de bagazo de caña de azúcar  
**Referencia** : Norma ASTM C-136 ó N.T.P. 400.012

**Origen** : Azucarera Pomalca

Malla		Peso Ret.	(%) Ret.	(%) Acum. Ret.	(%) Acum. Que Pasa
Pulg.	(mm.)				
1/2"	12.700	17	22.1	22.1	77.92
3/8"	9.500	4.72	6.1	28.2	71.79
Nº 04	4.750	18.86	24.5	52.7	47.30
Nº 08	2.360	14.54	18.9	71.6	28.42
Nº 16	1.180	11.49	14.9	86.5	13.49
Nº 30	0.600	5.81	7.5	94.1	5.95
Nº 50	0.300	1.99	2.6	96.6	3.36
Nº 100	0.150	0.84	1.1	97.7	2.27
Fondo		1.75	2.3	100.0	0.00
Módulo de Fineza				5.495	
Abertura de malla de referencia				9.500	



Henry Rivadeneira Obillos  
Tec. Laboratorio USAT



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES  
USAT



TECNICO DE LABORATORIO

Anexo IV: Ensayo de granulometría del agregado



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



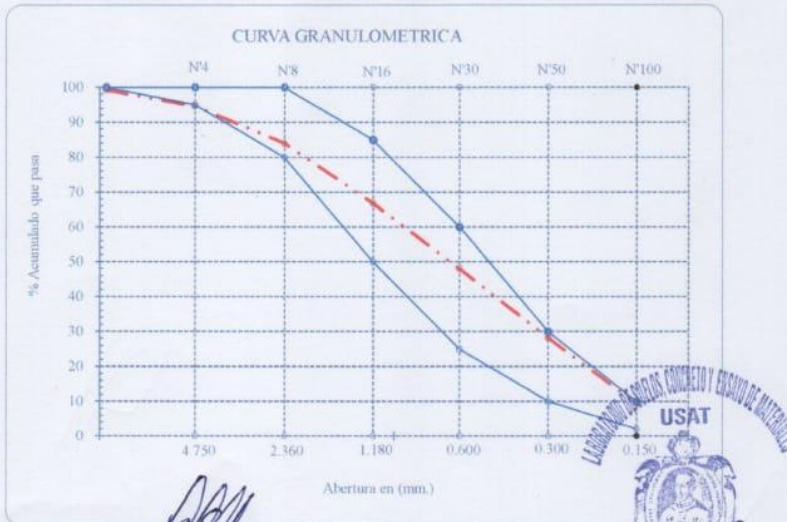
**Tesista** : Eloísa de Jesus Prada Niquen  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Evaluación de las características físico-mecánicas de un panel elaborado con cemento y fibras de bagazo de caña  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 10 de Octubre 2023

Ensayo : Análisis granulométrico por tamizado del agregado fino  
 Referencia : Norma ASTM C-136 ó N.T.P. 400.012

**Cantera** : Cantera La Victoria-Pátapo. **P. Inicial H.** 1000.0 **% de Humedad =** 1.25  
**P. Inicial S.** 987.6

Malla		Peso Ret.	(% Ret.)	(% Acum. Ret.)	(% Acum. Que Pasa)	Especificaciones:	
Pulg.	(mm.)						
1/2"	12.700	0	0.0	0.0	100.0	100	100
3/8"	9.500	8.04	0.8	0.8	99.2	100	100
Nº 04	4.750	45.24	4.6	5.4	94.6	95	100
Nº 08	2.360	105.29	10.7	16.1	83.9	80	100
Nº 16	1.180	169.15	17.1	33.2	66.8	50	85
Nº 30	0.600	186.18	18.9	52.0	48.0	25	60
Nº 50	0.300	195.31	19.8	71.8	28.2	10	30
Nº 100	0.150	186.5	18.9	90.7	9.3	2	10
Fondo	0.000	91.89	9.3	100.0		0.0	

Módulo de Fineza	2.700
Abertura de malla de referencia	9.500



*Henry Rivaldencyra Oblitas*  
 Tec. Laboratorio USAT  
 Universidad Católica del Perú

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES  
 USAT  
 TÉCNICO DE LABORATORIO

*Anexo V: Contenido de humedad del agregado*



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



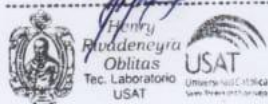
**Tesista** : Eloísa de Jesus Prada Ñiquen  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Evaluación de las características físico-mecánicas de un panel elaborado con cemento y fibras de bagazo de caña  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 10 de Octubre 2023

**Ensayo** : Contenido de humedad del agregado fino  
**Referencia** : Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

**Cantera** : Cantera La Victoria-Pátapo.

**I.- Datos**

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	1000	1000
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	987.61	987.61
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0
D.- Contenido de humedad	(%)	1.25	1.25
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	1.25	



Anexo VI: Peso unitario del agregado



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



**Tesista** : Eloísa de Jesús Prada Ñiquen  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Evaluación de las características físico-mecánicas de un panel elaborado con cemento y fibras de bagazo de caña  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 10 de Octubre 2023

**Ensayo** : Peso unitario del agregado fino  
**Referencia** : Norma ASTM C-29 ó N.T.P. 400.017

**Cantera** : Cantera La Victoria-Pátapo.

**1.- PESO UNITARIO SUELTO**

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	7606	7606
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		7606	7606
4.- Constante ó Volumen	(m <sup>3</sup> )	0.00548	0.00548
5.- Peso unitario suelto húmedo	(kg/m <sup>3</sup> )	1388	1388
6.- Peso unitario suelto seco (Promedio)	(kg/m <sup>3</sup> )	1371	

**2.- PESO UNITARIO COMPACTADO**

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	8894	8894
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		8894	8894
4.- Constante ó Volumen	(m <sup>3</sup> )	0.00548	0.00548
5.- Peso unitario compactado húmedo	(kg/m <sup>3</sup> )	1623	1623
6.- Peso unitario compactado seco (Promedio)	(kg/m <sup>3</sup> )	1603	

**Ensayo** : Contenido de humedad del agregado fino  
**Referencia** : Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

**3.- CONTENIDO DE HUMEDAD**

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	1000	1000
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	987.61	987.61
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0.0
D.- Contenido de humedad	(%)	1.3	1.3
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	1.25	

Henry Rivasdeneyra Oblitas  
Tec. Laboratorio USAT



TECNICO DE LABORATORIO

Anexo VII: Peso específico del agregado



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



Tesista : Eloísa de Jesus Prada Ñiquen  
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
Tesis : Evaluación de las características físico-mecánicas de un panel elaborado con cemento y fibras de bagazo de caña  
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
Fecha de emisión : Chiclayo, 10 de Octubre 2023

Ensayo : Peso específico y Absorción del agregado fino

Referencia : Norma ASTM C-128 ó N.T.P. 400.022

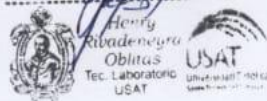
Cantera : Cantera La Victoria-Pátapo.

**I.- Datos.**

1.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco + Peso c	(g)	1020.3	1020.3
2.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco	(g)	691.69	691.69
3.- Peso del Agua	(g)	328.63	328.63
4.- Peso de la Arena Secada al Horno + Peso del Frasco	(g)	682	681.62
5.- Peso del Frasco	(g)	191.69	191.69
6.- Peso de la Arena Secada al Horno	(g)	490	490
7.- Volumen del frasco	(g)	500	500

**II.- Resultados**

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm <sup>3</sup> )	2.859
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm <sup>3</sup> )	2.918
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm <sup>3</sup> )	3.037
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	2.06



Anexo VIII: Propiedades del agregado



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



**Tesista** : Eloisa de Jesus Prada Niquen  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Evaluación de las características físico-mecánicas de un panel elaborado con cemento y fibras de bagazo de caña  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 10 de Octubre 2023

**CEMENTO:**

1.- Tipo de cemento : Portland Compuesto Tipo ICo  
2.- Peso específico : 2970 Kg/m<sup>3</sup>

**AGREGADOS :**

Agregado fino :

Cantera : Cantera La Victoria-Pátapo.

1.- Peso específico de masa : 2.859 gr/cm<sup>3</sup>  
2.- Peso específico de masa S.S.S. : 2.918 gr/cm<sup>3</sup>  
3.- Peso unitario suelto : 1371 Kg/m<sup>3</sup>  
4.- Peso unitario compactado : 1603 Kg/m<sup>3</sup>  
5.- % de absorción : 2.1 %  
6.- Contenido de humedad : 1.3 %  
7.- Módulo de fineza : 2.692

**Granulometría :**

Malla	% Retenido	% Acumulado que pasa
3/8"	0.8	99.2
Nº 04	4.6	94.6
Nº 08	10.7	83.9
Nº 16	17.1	66.8
Nº 30	18.9	48.0
Nº 50	19.8	28.2
Nº 100	18.9	9.3
Fondo	9.3	0.0



Henry Rivadeneira Oblitas  
Tec. Laboratorio USAT

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES  
USAT  
TÉCNICO DE LABORATORIO

Anexo IX: Exposición al fuego I



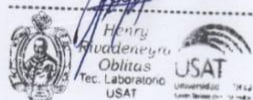
UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



**Tesista** : Eloísa de Jesus Prada Ñiquen Pag 1 de 2  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Evaluación de las características físico-mecánicas de un panel elaborado con cemento y fibras de bagazo de caña  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 23 de Noviembre 2023  
**Ensayo** : Standard Test Method for pH of Chemically Cleaned or Etched Concrete Surfaces  
**Referencia** : Norma ASTM E 119 y NCH 935/1

SITUACIÓN I		Tiempo (min)	T real °C	T estimada °C
Dimensiones Promedio		2	214.1	488.17
L =	60 cm	6	227.2	608.38
A =	100 cm	12	230.9	698.73
e =	13 mm	18	247.2	754.69
MUESTRAS		29	290.6	822.42
5%	M - 04	33	334.5	841.02
10%	M - 04	40	339.30	868.89
15%	M - 04	50	399.80	901.41

SITUACIÓN II		Tiempo (min)	T real °C	T estimada °C
L =	60 cm	5	83.18	586.14
A =	100 cm	6	179	608.38
e =	13 mm	13	370.03	709.63
5%	M - 05	15	645.2	729.31
10%	M - 05	28	848.2	817.38
15%	M - 05	40	893.50	868.89



Anexo X: Exposición al fuego II

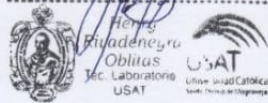


UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



Pag 2 de 2

SITUACIÓN III		Tiempo (min)	T real °C	T estimada °C
L =	60 cm	3	81.5	528.36
A =	100 cm	6	405	608.38
e =	13 mm	7	747.2	627.74
5%	M - 06	15	845.2	729.31
10%	M - 06	22	866.7	782.98
15%	M - 06	41	904.5	872.48



## Anexo XI: Saturado Seco - Flexión



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



**Tesista** : Eloísa de Jesus Prada Ñiquen Pag 1 de 1  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Evaluación de las características físico-mecánicas de un panel elaborado con cemento y fibras de bagazo de caña  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 17 de Noviembre 2023

**Ensayo** : Resistencia a la flexión  
**Referencia** : N.T.P. ISO 8336

Saturado - Seco : Módulo de Rotura

Muestra	P	P	ls	b	e	R <sub>i</sub>	
	Kgf	N	mm	mm	mm	Mpa	
Panel con 5% de Fibras	F - 01	65.00	637.43	200.00	200.00	14.50	4.55
	F - 02	64.00	627.63	200.00	200.00	14.50	4.48
	F - 03	64.00	627.63	200.00	200.00	14.50	4.48
Panel con 10% de Fibras	F - 01	61.00	598.21	200.00	200.00	14.50	4.27
	F - 02	62.00	608.01	200.00	200.00	14.50	4.34
	F - 03	61.00	598.21	200.00	200.00	14.50	4.27
Panel con 15% de Fibras	F - 01	56.00	549.17	200.00	200.00	14.50	3.92
	F - 02	55.00	539.37	200.00	200.00	14.50	3.85
	F - 03	58.00	568.79	200.00	200.00	14.50	4.06

Muestra	MOR	MOR <sub>i</sub>	R	s	R <sub>L</sub>	R	
	MPa	MPa	MPa	%	MPa	Kg/cm2	
Panel con 5% de Fibras	F - 01	4.55	1.00	4.50	0.9%	4.50	458.98
	F - 02	4.48	0.98				
	F - 03	4.48	1.00				
Panel con 10% de Fibras	F - 01	4.27	1.00	4.29	1.6%	4.28	437.57
	F - 02	4.34	1.02				
	F - 03	4.27	0.98				
Panel con 15% de Fibras	F - 01	3.92	1.00	3.94	3.8%	3.92	401.90
	F - 02	3.85	0.98				
	F - 03	4.06	1.05				

Henry Rivadeneira  
Oblitas  
Tec. Laboratorio  
USAT



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES  
USAT  
401.90  
TÉCNICO DE LABORATORIO

## Anexo XII: Agua Tibia / Caliente - Flexión



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



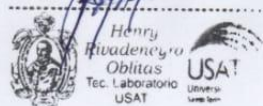
**Tesista** : Eloísa de Jesus Prada Ñiquen Pag 1 de 1  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Evaluación de las características físico-mecánicas de un panel elaborado con cemento y fibras de bagazo de caña  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 17 de Mayo 2024

**Ensayo** : Resistencia a la flexión  
**Referencia** : N.T.P. ISO 8336

Agua Tibia/ Caliente : Módulo de Rotura

Muestra	P Kg	P N	ls mm	b mm	e mm	R <sub>f</sub> Mpa	
Panel con 5% de Fibras	F - 01	41.00	402.07	200.00	200.00	14.50	2.87
	F - 02	40.00	392.27	200.00	200.00	14.00	3.00
	F - 03	40.00	392.27	200.00	200.00	14.60	2.76
Panel con 10% de Fibras	F - 01	38.00	372.65	200.00	200.00	14.60	2.62
	F - 02	38.00	372.65	200.00	200.00	14.30	2.73
	F - 03	36.00	353.04	200.00	200.00	14.00	2.70
Panel con 15% de Fibras	F - 01	33.00	323.62	200.00	200.00	14.00	2.48
	F - 02	35.00	343.23	200.00	200.00	14.60	2.42
	F - 03	33.00	323.62	200.00	200.00	14.00	2.48

Muestra	MOR MPa	MOR <sub>i</sub> MPa	R MPa	s %	R <sub>L</sub> MPa	R Kg/cm <sup>2</sup>	
Panel con 5% de Fibras	F - 01	2.87	1.00	2.88	6.4%	2.84	293.37
	F - 02	3.00	1.05				
	F - 03	2.76	0.92				
Panel con 10% de Fibras	F - 01	2.62	1.00	2.69	2.8%	2.67	273.89
	F - 02	2.73	1.04				
	F - 03	2.70	0.99				
Panel con 15% de Fibras	F - 01	2.48	1.00	2.46	2.5%	2.44	245.47
	F - 02	2.42	0.98				
	F - 03	2.48	1.03				



Anexo XIII: Densidad aparente



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



Pag 1 de 1

**Tesista** : Eloísa de Jesus Prada Ñiquen  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Evaluación de las características físico-mecánicas de un panel elaborado con cemento y fibras de bagazo de caña  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 10 de Noviembre 2023

**Ensayo** : Densidad Aparente  
**Referencia** : N.T.P. ISO 8336

MUESTRA	Masa Seca	Volumen desplazado	Densidad Aparente
---------	-----------	--------------------	-------------------

Panel de cemento con 5% de Fibras	M-01	1770	470	3.766
	M-02	1700	410	4.146
	M-03	1700	480	3.542
	<b>Promedio</b>			3.82 g/cm <sup>3</sup>

Panel de cemento con 10% de Fibras	M-01	1520	510	2.980
	M-02	1680	530	3.170
	M-03	1520	510	2.980
	<b>Promedio</b>			3.04 g/cm <sup>3</sup>

Panel de cemento con 15% de Fibras	M-01	1260	550	2.291
	M-02	1150	440	2.614
	M-03	1540	620	2.484
	<b>Promedio</b>			2.46 g/cm <sup>3</sup>

Henry Rivadeneira Obitas  
Tec. Laboratorio USAT



## Anexo XIV: Congelamiento - Flexión



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



**Tesista** : Eloisa de Jesus Prada Ñiquen Pag 1 de 1  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Evaluación de las características físico-mecánicas de un panel elaborado con cemento y fibras de bagazo de caña  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 17 de Mayo 2024

**Ensayo** : Resistencia a la flexión  
**Referencia** : N.T.P. ISO 8336

Congelamiento - Descongelamiento : Módulo de Rotura

Muestra		P Kgf	P N	ls mm	b mm	e mm	R <sub>i</sub> MPa
Panel con 5% de Fibras	F - 01	40.00	392.27	200.00	200.00	14.60	2.76
	F - 02	38.00	372.65	200.00	200.00	14.40	2.70
	F - 03	40.00	392.27	200.00	200.00	15.00	2.62
Panel con 10% de Fibras	F - 01	38.00	372.65	200.00	200.00	14.50	2.66
	F - 02	39.00	382.46	200.00	200.00	15.00	2.55
	F - 03	38.00	372.65	200.00	200.00	14.70	2.59
Panel con 15% de Fibras	F - 01	36.00	353.04	200.00	200.00	14.70	2.45
	F - 02	37.00	362.85	200.00	200.00	14.60	2.55
	F - 03	38.00	372.65	200.00	200.00	14.80	2.55

Muestra		MOR MPa	MOR <sub>i</sub> MPa	R MPa	s %	R <sub>L</sub> MPa	R Kg/cm <sup>2</sup>
Panel con 5% de Fibras	F - 01	2.76	1.00	2.69	1.6%	2.68	274.34
	F - 02	2.70	0.98				
	F - 03	2.62	0.97				
Panel con 10% de Fibras	F - 01	2.66	1.00	2.60	2.9%	2.58	264.96
	F - 02	2.55	0.96				
	F - 03	2.59	1.01				
Panel con 15% de Fibras	F - 01	2.45	1.00	2.52	2.4%	2.50	256.83
	F - 02	2.55	1.04				
	F - 03	2.55	1.00				



Henry  
Rudenegra  
Oblitas  
Tec. Laboratorio  
USAT



TECNICO DE LABORATORIO

## Anexo XV: MOR - Flexión



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



**Tesista** : Eloisa de Jesus Prada Ñiquen  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Evaluación de las características físico-mecánicas de un panel elaborado con cemento y fibras de bagazo de caña  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 27 de Noviembre 2023

**Ensayo** : Resistencia a la flexión  
**Referencia** : N.T.P. ISO 8336

## Módulo de Rotura

Muestra	P Kgf	P N	ls mm	b mm	e mm	R <sub>i</sub> Mpa	
Panel de cemento con 5% de Fibras	F - 01	168.50	1652.42	200.00	205.00	14.00	12.34
	F - 02	166.50	1632.81	200.00	205.00	14.00	12.19
	F - 03	161.50	1583.77	200.00	205.00	14.00	11.83
Panel de cemento con 10% de Fibras	F - 01	157.10	1540.62	200.00	205.00	14.00	11.50
	F - 02	160.00	1569.06	200.00	205.00	14.00	11.72
	F - 03	148.20	1453.35	200.00	205.00	14.00	10.85
Panel de cemento con 15% de Fibras	F - 01	140.40	1376.85	200.00	205.00	14.00	10.28
	F - 02	147.40	1445.50	200.00	205.00	14.00	10.79
	F - 03	145.80	1429.81	200.00	205.00	14.00	10.68

Muestras 200mm x 300mm	MOR MPa	MOR <sub>i</sub> MPa	R MPa	s %	R <sub>L</sub> MPa	R Kg/cm <sup>2</sup>	
Panel de cemento con 5% de Fibras	F - 01	12.34	1.00	12.12	1.5%	12.11	1235.69
	F - 02	12.19	0.99				
	F - 03	11.83	0.97				
Panel de cemento con 10% de Fibras	F - 01	11.50	1.00	11.36	4.9%	11.33	1158.04
	F - 02	11.72	1.02				
	F - 03	10.85	0.93				
Panel de cemento con 15% de Fibras	F - 01	10.28	1.00	10.58	3.2%	10.56	1079.14
	F - 02	10.79	1.05				
	F - 03	10.68	0.99				



Henry  
Evidencia  
Oblitas  
Tec. Laboratorio  
USAT



TECNICO DE LABORATORIO

Anexo XVI: Carga puntual - Flexión



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



**Tesista** : Eloisa de Jesus Prada Ñiquen  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Evaluación de las características físico-mecánicas de un panel elaborado con cemento y fibras de bagazo de caña  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 27 de Noviembre 2023

**Ensayo** : Resistencia a la flexión  
**Referencia** : N.T.P. ISO 8336

Módulo de Rotura

Muestra	P Kgf	P N	ls mm	b mm	e mm	R <sub>i</sub> Mpa	
Panel con 5% de Fibras	F - 01	105.00	1029.70	500.00	600.00	13.40	7.17
	F - 02	105.55	1035.09	500.00	600.00	13.48	7.13
	F - 03	104.75	1027.25	500.00	600.00	13.38	7.18
Panel con 10% de Fibras	F - 01	74.05	726.18	500.00	600.00	13.50	4.98
	F - 02	74.95	735.01	500.00	600.00	13.50	5.04
	F - 03	74.40	729.61	500.00	600.00	13.53	4.99
Panel con 15% de Fibras	F - 01	56.90	558.00	500.00	600.00	13.58	3.78
	F - 02	56.50	554.08	500.00	600.00	13.63	3.73
	F - 03	57.05	559.47	500.00	600.00	13.60	3.78

Muestras 600 x 1000 mm	MOR MPa	MOR <sub>i</sub> MPa	R MPa	s %	R <sub>L</sub> MPa	R Kg/cm <sup>2</sup>	
Panel con 5% de Fibras	F - 01	7.17	1.00	7.16	0.7%	7.15	729.84
	F - 02	7.13	0.99				
	F - 03	7.18	1.01				
Panel con 10% de Fibras	F - 01	4.98	1.00	5.00	1.2%	5.00	510.12
	F - 02	5.04	1.01				
	F - 03	4.99	0.99				
Panel con 15% de Fibras	F - 01	3.78	1.00	3.77	1.4%	3.76	383.99
	F - 02	3.73	0.99				
	F - 03	3.78	1.01				

Henry Ribadeneyra Oblitas  
Tec. Laboratorio USAT



TÉCNICO DE LABORATORIO

## Anexo XVII: Determinación de PH



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



Pag 1 de 1

**Tesista** : Eloísa de Jesus Prada Ñiquen  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Evaluación de las características físico-mecánicas de un panel elaborado con cemento y fibras de bagazo de caña  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 23 de Noviembre 2023

**Ensayo** : Standard Test Method for pH of Chemically Cleaned or Etched Concrete Surfaces

**Referencia** : Norma ASTM D 4262

Muestra	Peso de la muestra (g)	PH	PH promedio
Panel de cemento con 5% de Fibras	PH-01	20.01	12.31
	PH-02	20.01	12.25
	PH-03	20.03	12.29
Panel de cemento con 10% de Fibras	PH-01	20.03	12.22
	PH-02	20.02	12.23
	PH-03	20.01	12.22
Panel de cemento con 15% de Fibras	PH-01	20.00	12.16
	PH-02	20.00	12.14
	PH-03	20.00	12.12

Henry Rivadeneira  
 Oblitas  
 Tec. Laboratorio  
 USAT

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES  
 USAT  
 TÉCNICO DE LABORATORIO

## Anexo XVIII: Permeabilidad al agua



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



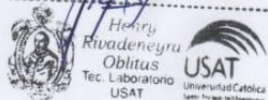
Pag 1 de 1

**Tesista** : Eloisa de Jesus Prada Ñiquen  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Evaluación de las características físico-mecánicas de un panel elaborado con cemento y fibras de bagazo de caña  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 03 de Noviembre 2023

**Ensayo** : Permeabilidad al agua  
**Referencia** : N.T.P. ISO 8336

Muestra	Altura inicial de agua (mm)	Altura que queda (mm)	Observacion
---------	-----------------------------	-----------------------	-------------

Panel de cemento con 5% de Fibras	M-07	20	16.54	No se observa humedad en la cara opuesta
	M-08	20	15.72	No se observa humedad en la cara opuesta
	M-09	20	16.26	No se observa humedad en la cara opuesta
Panel de cemento con 10% de Fibras	M-07	20	13.68	Se observa humedad en la cara opuesta
	M-08	20	12.75	Se observa humedad en la cara opuesta
	M-09	20	13.45	Se observa humedad en la cara opuesta
Panel de cemento con 15% de Fibras	M-07	20	11.44	Se observa humedad en la cara opuesta
	M-08	20	10.98	Se observa humedad en la cara opuesta
	M-09	20	11.32	Se observa humedad en la cara opuesta



Anexo XIX: Dimensiones de Ancho y Largo



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



**Tesista** : Eloisa de Jesus Prada Ñiquen  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Evaluación de las características físico-mecánicas de un panel elaborado con cemento y fibras de bagazo de  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 7 de Noviembre 2023

Pag 1 de 2

**Ensayo** : Características Dimensionales y Geométricas  
**Referencia** : N.T.P. ISO 8336

I. - Medición de Ancho

MUESTRA	LADO	DIMENSIONES (cm)					
		20mm	50mm	Centro	50mm	20mm	
Panel con 5% de Fibras	M - 04	B	60.00	60.00	60.20	60.10	60.10
	M - 05	B	60.10	60.00	60.10	60.10	60.10
	M - 06	B	60.10	60.10	60.20	60.20	60.20
Panel con 10% de Fibras	M - 04	B	60.00	60.00	60.10	60.20	60.10
	M - 05	B	60.20	60.20	60.00	60.00	60.10
	M - 06	B	60.10	60.10	60.20	60.20	60.20
Panel con 15% de Fibras	M - 04	B	60.20	60.20	60.20	60.10	60.10
	M - 05	B	60.1	60.00	60.00	60.20	60.20
	M - 06	B	60.10	60.10	60.20	60.10	60.10

II. - Medición de Largo

MUESTRA	LADO	DIMENSIONES (cm)					
		20mm	50mm	Centro	50mm	20mm	
Panel con 5% de Fibras	M - 04	B	100.20	100.20	100.20	100.20	100.10
	M - 05	B	100.10	100.10	100.10	100.20	100.20
	M - 06	B	100.10	100.10	100.20	100.00	100.00
Panel con 10% de Fibras	M - 04	B	100.30	100.30	100.20	100.10	100.10
	M - 05	B	100.20	100.20	100.10	100.10	100.10
	M - 06	B	100.00	100.00	100.20	100.10	100.10
Panel con 15% de Fibras	M - 04	B	100.20	100.10	100.20	100.30	100.30
	M - 05	B	100.20	100.10	100.10	100.20	100.20
	M - 06	B	100.00	100.10	100.20	100.00	100.00



Anexo XX: Dimensiones de espesor



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



Pag 2 de 2

III.- Medición del Espesor

MUESTRA	LADO	DIMENSIONES (cm)					
		20mm	50mm	Centro	50mm	20mm	
Panel de cemento con 5% de Fibras	M - 04	A	14.50	14.50	14.00	14.50	15.00
		B	15.00	14.00	14.00	14.50	14.50
		C	14.50	15.00	14.50	14.00	13.50
		D	13.50	13.50	15.00	15.00	14.50
	M - 05	A	14.00	14.50	14.50	15.00	15.00
		B	14.50	14.00	15.00	14.50	14.00
		C	14.00	14.50	15.00	15.00	15.50
		D	15.50	15.50	15.00	15.00	14.50
	M - 06	A	16.00	15.50	14.50	14.50	14.50
		B	14.50	14.00	14.50	14.50	14.50
		C	14.50	14.50	15.00	15.00	15.00
		D	15.00	14.50	14.50	15.00	15.00

MUESTRA	LADO	DIMENSIONES (cm)					
		20mm	50mm	Centro	50mm	20mm	
Panel de cemento con 10% de Fibras	M - 04	A	14.00	14.50	15.00	15.50	14.00
		B	15.50	15.50	15.00	14.50	14.00
		C	14.00	14.50	15.00	15.50	15.50
		D	15.00	14.50	15.00	14.00	14.00
	M - 05	A	14.00	13.50	14.00	14.50	15.00
		B	15.00	15.50	15.00	15.00	14.50
		C	14.50	15.00	14.00	13.50	13.50
		D	13.50	13.50	14.50	15.00	14.50
	M - 06	A	16.00	15.50	15.00	15.00	15.00
		B	15.00	16.00	15.50	15.50	15.50
		C	15.50	15.50	16.50	16.50	16.50
		D	16.50	16.50	16.00	16.00	16.00

MUESTRA	LADO	DIMENSIONES (cm)					
		20mm	50mm	Centro	50mm	20mm	
Panel de cemento con 15% de Fibras	M - 04	A	16.50	16.50	16.00	15.50	15.50
		B	15.50	15.50	16.00	15.50	15.50
		C	15.00	15.50	16.00	15.50	15.00
		D	15.00	15.50	16.50	16.00	16.50
	M - 05	A	15.50	15.00	15.50	15.50	16.00
		B	16.00	16.00	16.00	15.50	15.50
		C	15.50	15.00	15.50	15.50	15.00
		D	15.00	15.50	15.50	15.00	15.50
	M - 06	A	14.00	15.00	15.50	15.00	15.00
		B	14.50	14.00	15.00	14.50	14.00
		C	14.00	14.50	15.00	15.00	15.50
		D	15.50	15.50	15.00	15.00	15.50

Henry Rivadeneira Oblitas  
 Tec. Laboratorio USAT

USAT  
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Anexo XXI: Ficha Técnica Cemento Portland

## Cemento Extraforte

### Cemento Portland Compuesto Tipo ICo

Requisitos normalizados - NTP 334.090

#### REQUISITOS QUÍMICOS

ENSAYOS	TIPO	VALOR	UNIDAD	NORMAS DE ENSAYO	RESULTADOS*
MgO	Máximo	6.0	%	NTP 334.086	1.6
SO <sub>3</sub>	Máximo	4.00	%	NTP 334.086	2.70

#### REQUISITOS FÍSICOS

ENSAYOS	TIPO	VALOR	UNIDAD	NORMAS DE ENSAYO	RESULTADOS*
<b>Finura</b>					
Superficie específica	-	-	cm <sup>2</sup> /g	NTP 334.002	5510
Retenido M325	-	-	%	NTP 334.045	2.1
Densidad	-	-	g/cm <sup>3</sup>	NTP 334.005	2.97
Contenido de aire	Máximo	12.0	%	NTP 334.048	6
Expansión en autoclave	Máximo	0.80	%	NTP 334.004	0.05
Contracción en autoclave	Máximo	0.20	%	NTP 334.004	-
<b>Resistencia a la compresión</b>					
3 días	Mínimo	13.0 (1890)	MPa (psi)	NTP 334.051	22.2 (3230)
7 días	Mínimo	20.0 (2900)	MPa (psi)	NTP 334.051	27.8 (4040)
28 días	Mínimo	25.0 (3620)	MPa (psi)	NTP 334.051	35.2 (5130)
<b>Tiempo de Fraguado Vicat</b>					
Fraguado inicial	Mínimo	45	Minutos	NTP 334.006	149
Fraguado final	Máximo	420	Minutos	NTP 334.006	278

\*Valores promedios referenciales de lotes despachados.

El cemento descrito arriba, al tiempo del envío, cumple con los requisitos químicos y físicos de la NTP 334.090.

Fuente: Web Pacasmayo Profesional

[https://storage.googleapis.com/pacasmayo-profesional/documents/FICHA\\_INFORMATIVA\\_EXTRAFORTE.pdf](https://storage.googleapis.com/pacasmayo-profesional/documents/FICHA_INFORMATIVA_EXTRAFORTE.pdf)

## Anexo XXII: Ficha técnica NaOH



## FICHA TÉCNICA

Versión: 03  
Actualización: 03.2022

**NOMBRE DE PRODUCTO:**  
**SODA EN ESCAMAS MARTELL**



TIPO DE ENVASE	PRESENTACIÓN
Bolsa laminada	Bolsa * 1kg
Bolsa laminada	Bolsa * 500gr

**DESCRIPCIÓN:**

Escamas blancas muy solubles en agua y origina mucho calor durante la disolución, con un aspecto jabonoso, característico de un álcali y es muy corrosivo.

**COMPOSICIÓN:**

Hidróxido de potasio e hidróxido de sodio.

**ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN**

- 24 meses en envase cerrado si se mantiene almacenado en ambiente fresco, seco y protegido del sol directo.
- Transporte y distribución a temperatura ambiente.

**CARACTERÍSTICAS:**

PARAMETRO	ESPECIFICACIÓN
ASPECTO	Sólido en escamas
COLOR	Blanco
% NaOH - % KOH	≥ 98

**USOS Y/O APLICACIONES:**

- Se utiliza para el acondicionamiento de superficies metálicas, desengrasado y decapado en general.
- Preparaciones de soluciones lavadoras y desinfectantes.
- Para la industria farmacéutica, alimentos, plás cos, vidrios.

**MODO DE EMPLEO**

- Diluir previamente con agua, vierta el contenido de la bolsa lentamente sobre un recipiente que contenga agua.
- Para desatorar cañerías usar 4 litros de agua por kilogramo de soda en escamas.

Siempre añada la soda en escamas al agua, nunca lo contrario.

**DOSIFICACIÓN:**

- Desatorador: Diluya 1kg de Soda en Escamas Martell por cada 4L de agua.
- Desengrasante: Diluya 1kg de Soda en Escamas Martell por cada 100L de agua.

**PRECAUCIONES:**

- Mantener lejos del alcance de los niños.
- En caso de contacto con los ojos, enjuagar con abundante agua limpia.
- Proteger el producto de la humedad porque puede formar grumos.
- Usar guantes, gafas, y ropa apropiada para la protección del cuerpo.

*Fuente: Web Química Martell*

<https://www.martellsac.com.pe/wp-content/uploads/2023/04/FT.-SODA-EN-ESCAMAS.pdf>

*Anexo XXIII: Evidencias fotográficas Granulometría*

*Fuente: Propia*

*Anexo XXIV: Evidencias fotográficas Peso unitario suelto*



*Fuente: Propia*

*Anexo XXV: Evidencias fotográficas Peso unitario compactado*



*Fuente: Propia*

*Anexo XXVI: Evidencias fotográficas Contenido de humedad*



*Fuente: Propia*

*Anexo XXVII: Evidencias fotográficas de las características dimensionales*

Fuente: Propia

*Anexo XXVIII: Evidencias fotográficas de aplicación de carga puntual sobre el panel*



*Fuente: Propia*

Anexo XXIX: Evidencias fotográficas del ensayo de resistencia al fuego



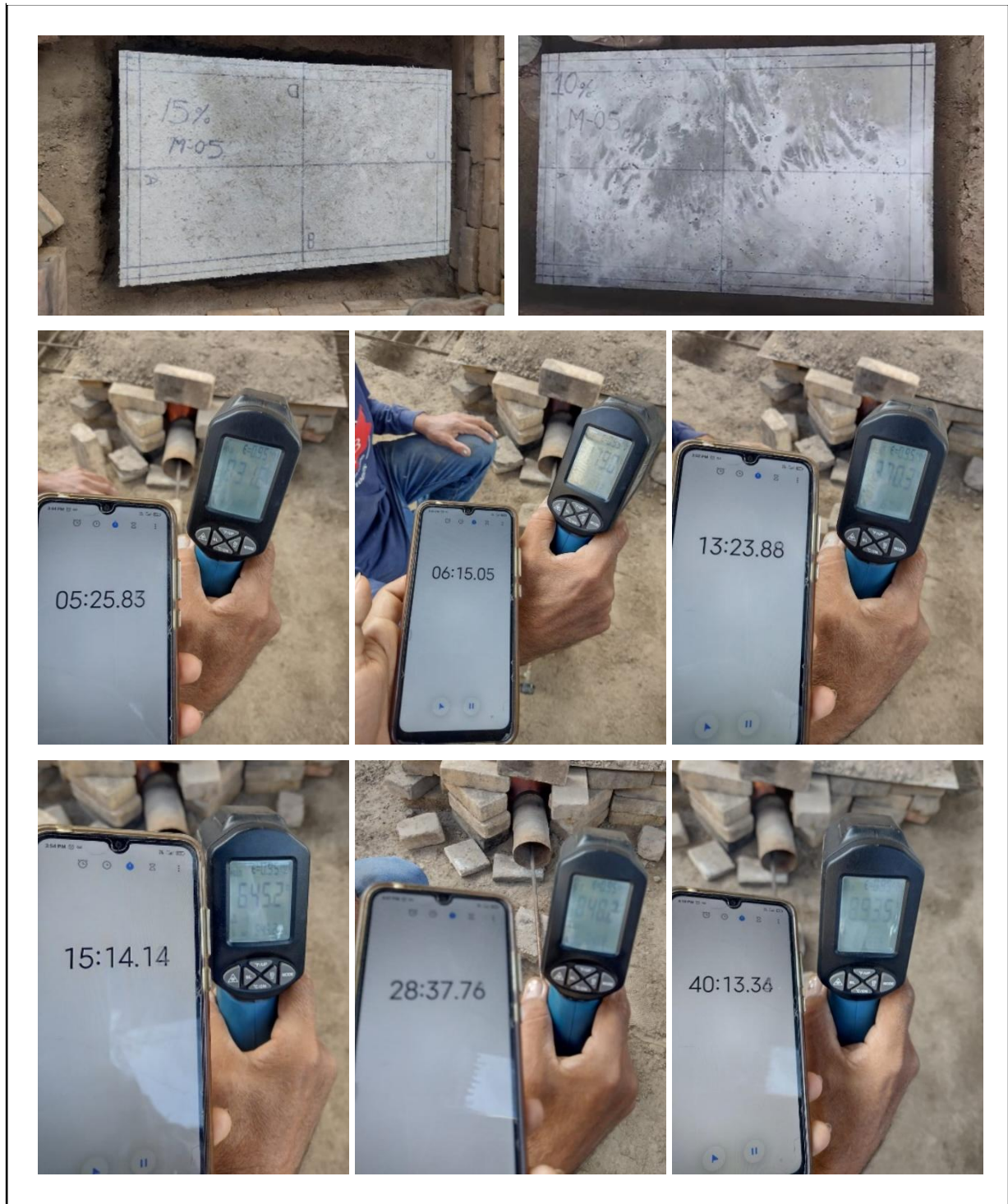
Fuente: Propia

Anexo XXX> Evidencias fotográficas de la toma de temperatura en Situación I



Fuente: Propia

Anexo XXXI> Evidencias fotográficas de la toma de temperatura en Situación II



Fuente: Propia

Anexo XXXII: Evidencias fotográficas de la toma de temperatura en Situación III

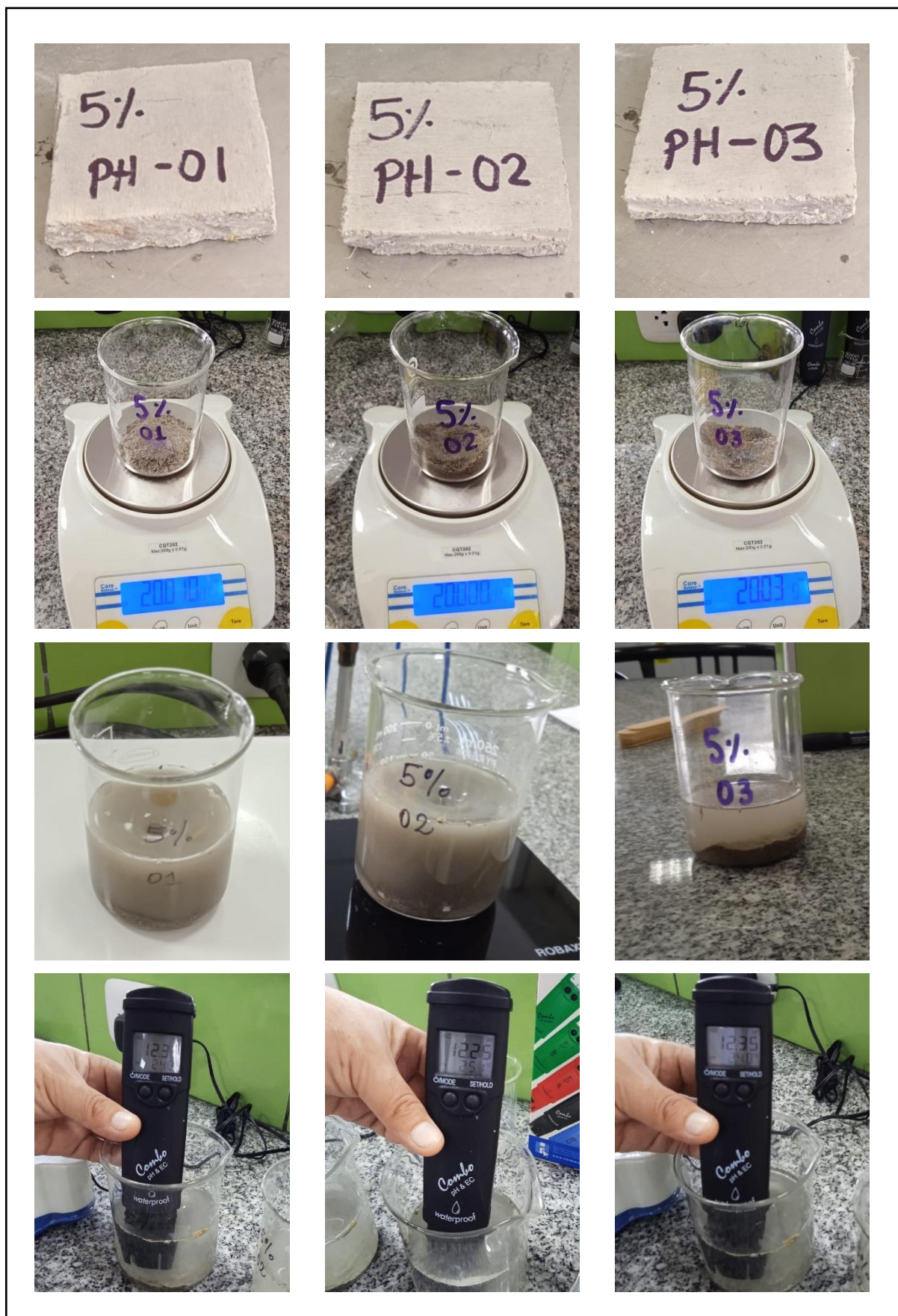


Fuente: Propia

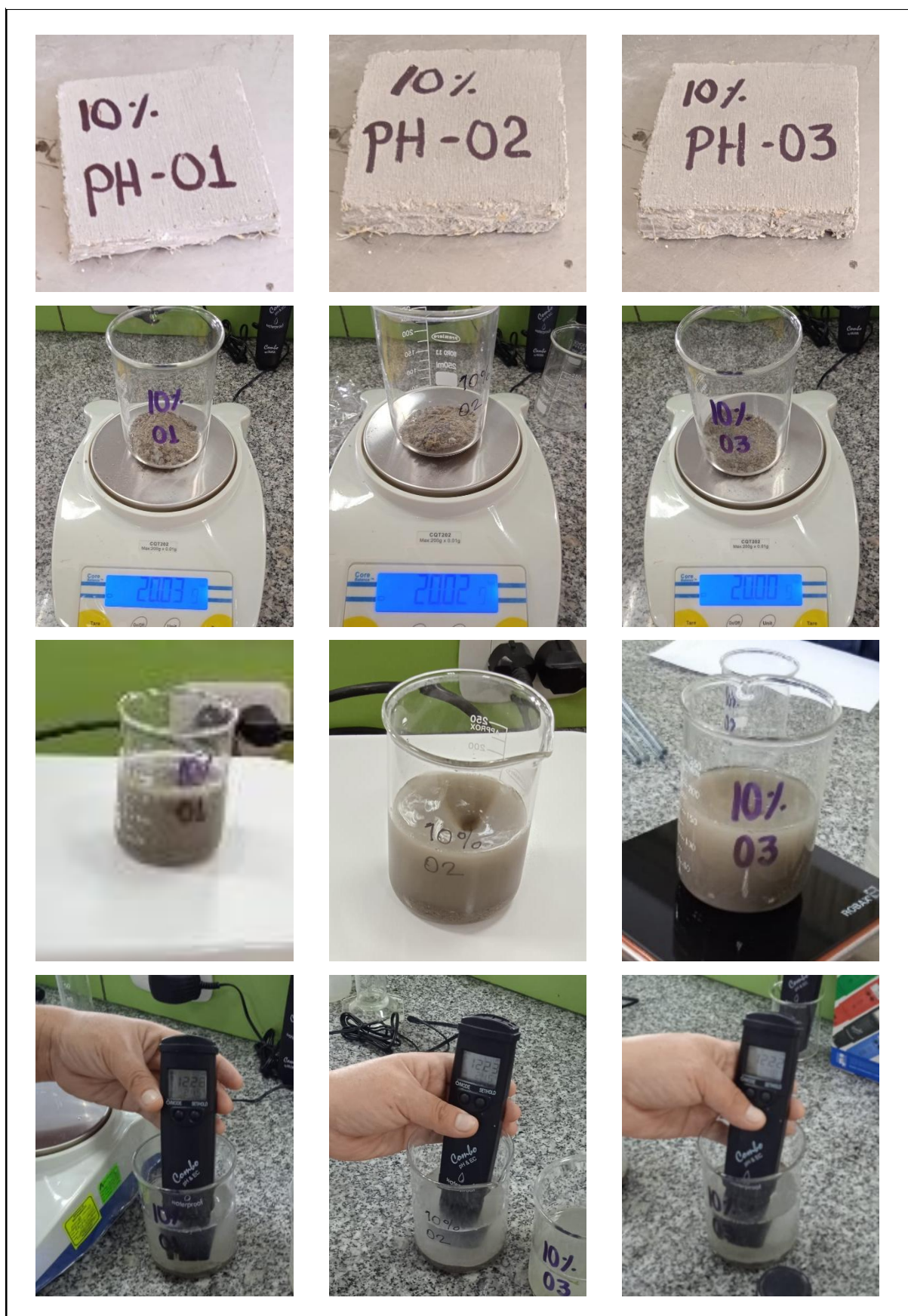
Anexo XXXIII: Evidencias fotográficas de la determinación del PH



Fuente: Propia

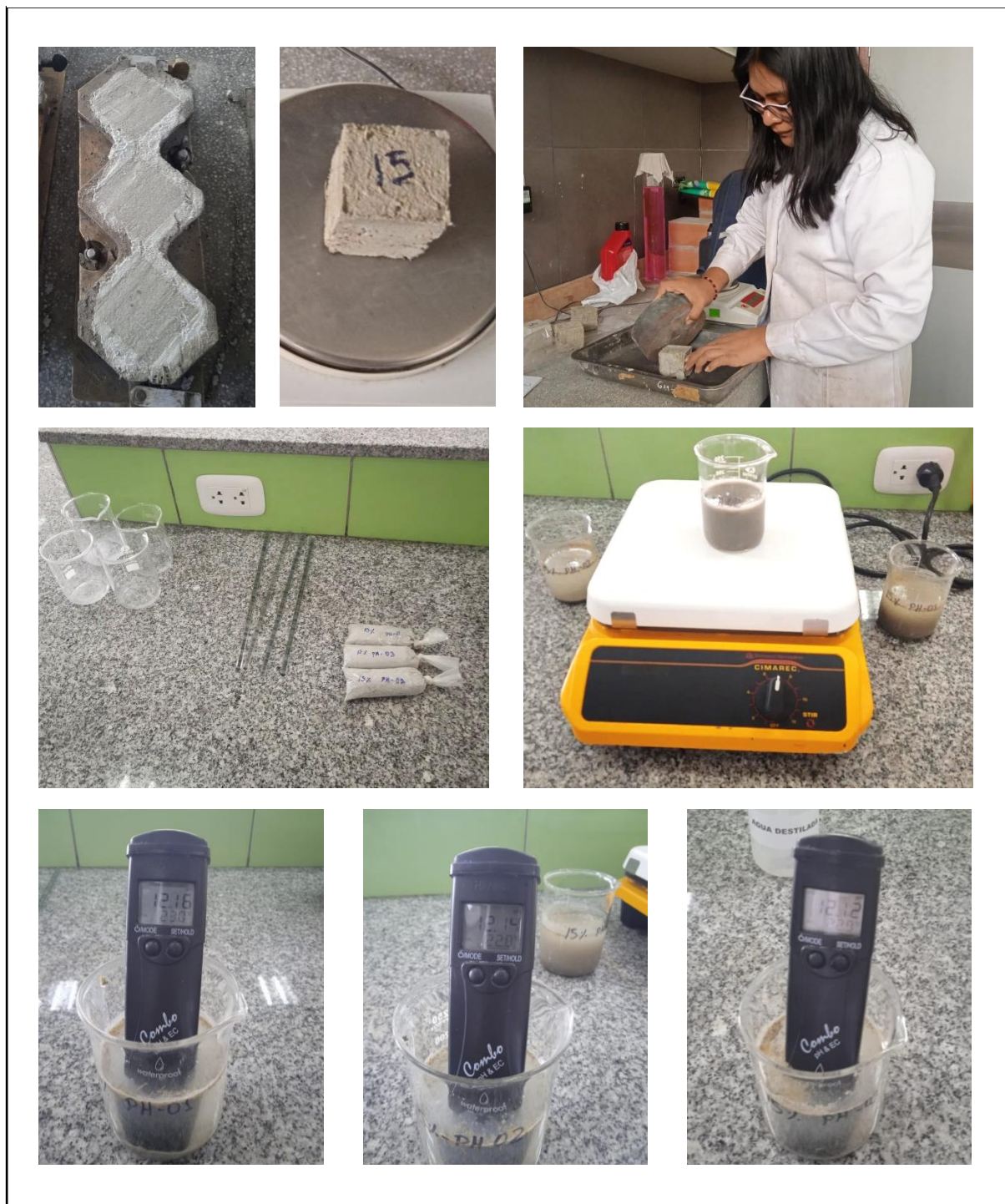
*Anexo XXXIV: Evidencias fotográficas determinación del PH en muestras al 5%*

Fuente: Propia

*Anexo XXXV: Evidencias fotográficas determinación del PH en muestras al 10%*

Fuente: Propia

Anexo XXXVI: Evidencias fotográficas determinación del PH en muestras al 15%



Fuente: Propia