



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA DE ARQUITECTURA**

Proyecto de investigación previo a la obtención del título de Arquitecto

Título del proyecto:

**Propuesta de un prototipo de panel de tabiquería desarrollando con paja toquilla  
como alternativa en la construcción.**

**Autor:**

- Gilsson Leonel Arteaga Alcivar.

**Tutor:**

Arq. Indira Salazar.

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2024**

## DECLARATORIA DE AUTORÍA.

Yo, Gilsson Leonel Arteaga Alcivar, con cédula de ciudadanía 1401167109, autor del trabajo de investigación titulado: **“PROPUESTA DE UN PROTOTIPO DE PANEL DE TABIQUERÍA DESARROLLANDO CON PAJA TOQUILLA COMO ALTERNATIVA EN LA COSNTRUCCIÓN”**, dirigido por Mgs. Arq. Indira Salazar en calidad de directora del proyecto de investigación, certificamos que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedemos a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor de la obra referida será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 21 de mayo del 2024.



Gilsson Leonel Arteaga  
Alcivar  
C.I: 1401167109

## **DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR.**

Quien suscribe, catedráticos designados Tutor y Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **“PROPUESTA DE UN PROTOTIPO DE PANEL DE TABIQUERÍA DESARROLLANDO CON PAJA TOQUILLA COMO ALTERNATIVA EN LA COSNTRUCIÓN”**, presentado por Gilsson Leonel Arteaga Alcivar, con cédula de ciudadanía 1401167109, certifico que recomiendo la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha asesorado durante el desarrollo, revisado y evaluado el trabajo de investigación escrito y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar, doy por escrita la presente acta favorable.

De conformidad a la normativa aplicable firmo, en Riobamba 21 de mayo del 2024.



Mgs. Arq. Indira Yajaira Salazar Silva

**DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

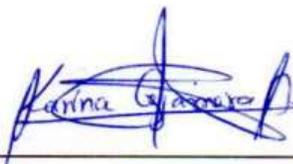
## **CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **“PROPUESTA DE UN PROTOTIPO DE PANEL DE TABIQUERÍA DESARROLLANDO CON PAJA TOQUILLA COMO ALTERNATIVA EN LA COSNTRUCCIÓN”**, desarrollado por Gilsson Leonel Arteaga Alcivar, con cédula de ciudadanía 1401167109, bajo la tutoría de Mgs. Arq. Indira Salazar; certificamos la APROBACIÓN de este, con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 21 de mayo del 2024.

Arq. Karina Elizabeth Cajamarca

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO**



---

Mgs. Arq. Hector Manuel Cepeda Godoy

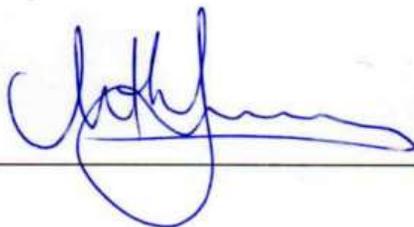
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**



---

Mgs. Arq. Nathalie Madeleine Santamaria Herrera

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**



---

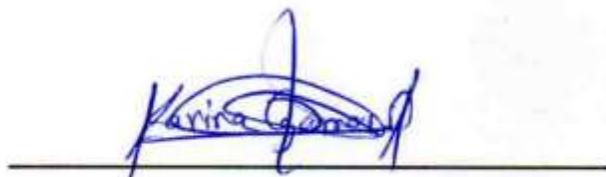
## **CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación “**PROPUESTA DE UN PROTOTIPO DE PANEL DE TABIQUERÍA DESARROLLANDO CON PAJA TOQUILLA COMO ALTERNATIVA EN LA COSNTRUCCIÓN**”, desarrollado por Gilsson Leonel Arteaga Alcivar, con cédula de ciudadanía 1401167109, bajo la tutoría de Mgs. Arq. Indira Salazar; certificamos la **APROBACIÓN** de este, con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 21 de mayo del 2024.

Arq. Karina Elizabeth Cajamarca

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO**



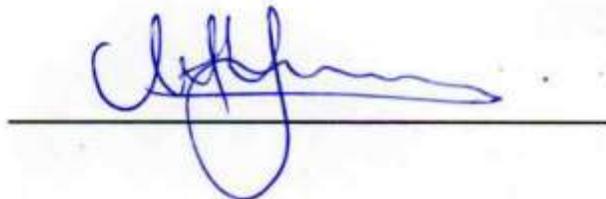
Mgs. Arq. Hector Manuel Cepeda Godoy

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**



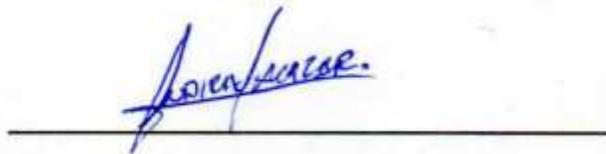
Mgs. Arq. Nathalie Madeleine Santamaria Herrera

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**



Arq. Indira Yajaira Salazar

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**



## CERTIFICACIÓN



Dirección  
Académica  
VICERRECTORADO ACADÉMICO



# CERTIFICACIÓN

Que, **GILSSON LEONEL ARTEAGA ALCIVAR**, con cédula de ciudadanía 1401167109 estudiantes de la Carrera ARQUITECTURA, NO VIGENTE, Facultad de INGENIERIA; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado “**PROPUESTA DE UN PROTOTIPO DE PANEL DE TABIQUERÍA DESARROLLANDO CON PAJA TOQUILLA COMO ALTERNATIVA EN LA COSNTRUCCIÓN**”, cumple con el N 3 %, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio TURNITIN, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 21 de mayo del 2024.

Mgs. Arq. Indira Yajaira Salazar Silva

C.I. 1500791106

**TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

## **DEDICATORIA**

Hoy culmina una etapa importante en mi vida académica, y no puedo dejar de expresar mi gratitud a quienes han sido pilares fundamentales en este camino. Esta tesis no solo representa horas de investigación y esfuerzo, sino también el amor, el apoyo y la fe que me han sostenido en cada paso.

A ti, Dios, dedico este logro. Eres el Creador de todo conocimiento y la fuente inagotable de sabiduría. En los momentos de incertidumbre, encontré en ti la luz que iluminó mi mente y me condujo hacia respuestas. Gracias por escuchar mis oraciones y por ser mi refugio en las tormentas académicas. Sin Tu dirección, esta tesis no habría sido posible.

A mis padres, quienes han sido mis primeros maestros y mis mayores motivadores. Vuestra confianza en mí y vuestro sacrificio han sido el motor que me impulsó a seguir adelante. A mis hermanos, cómplices de risas y desvelos, gracias por estar siempre a mi lado. A mis abuelos, cuyas historias de vida me inspiraron a perseverar. A todos ustedes, mi familia, por ser mi red de amor y apoyo incondicional.

A mis amigos, quienes compartieron no solo apuntes y cafés, sino también risas, frustraciones y sueños. Vuestras palabras de aliento, vuestras llamadas nocturnas antes de los exámenes y vuestra compañía en las bibliotecas fueron mi bálsamo. A mis compañeros de clase, con quienes compartí debates y descubrimientos. A todos ustedes, gracias por ser parte de mi historia académica.

*¡Con cariño Gilsson L. Arteaga A*

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que contribuyeron al éxito de mi tesis. Sin su apoyo, este logro no habría sido posible.

En primer lugar, agradezco a mi tutora, la Arq. Indira Salazar por su orientación experta y paciencia durante todo el proceso de investigación. Sus comentarios y sugerencias fueron invaluable. También quiero reconocer a la Arq. Cecibel González por su valiosa contribución durante su periodo como docente de la universidad. Agradezco al personal académico y técnico del departamento de ingeniería, por su ayuda en la recopilación de datos y en la realización de experimentos.

Mi familia y amigos merecen un agradecimiento especial. Su constante apoyo y aliento me motivaron a seguir adelante incluso en los momentos más desafiantes. Finalmente, agradezco a Dios por guiarme y darme fuerzas durante este viaje académico. Gracias a todos por ser parte de este importante capítulo en mi vida.

## ÍNDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORÍA.....	
DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR.....	
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	
CERTIFICACIÓN.....	
DEDICATORIA.....	
AGRADECIMIENTO .....	
ÍNDICE DE IMÁGENES.....	
ÍNDICE DE TABLAS .....	
RESUMEN Y PALABRAS CLAVE.....	
ABSTRACT.....	
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....	21
1.1. ANTECEDENTES.....	21
1.2. PROBLEMA.....	22
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	24
1.4. OBJETIVOS.....	25
1.4.1. Objetivo General.....	25
1.4.2. Objetivos Específicos .....	25
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	26
2.1. Marco Conceptual .....	26
2.1.1. Materiales Compuestos .....	26
2.1.2. Matriz.....	26
2.1.3. El Refuerzo .....	27
2.1.4. La interfase o Región de Contacto .....	27
2.1.5. Fibras Naturales.....	28
2.1.6. Fibras Vegetales .....	28
2.1.7. Carludovica Palmata / Paja Toquilla.....	29
2.1.8. Características.....	29
2.1.9. Taxonomía .....	30
2.1.10. Uso de la Paja Toquilla .....	30
2.2. Paja Toquilla en el Ecuador .....	31
2.2.1. Producción.....	32
2.2.2. Siembra .....	33
2.2.3. Extracción y preparación.....	34
2.3. Propiedades Físicas de la Paja Toquilla.....	37
2.4. Propiedades Químicas de la Paja Toquilla .....	38
2.5. Análisis de la Paja Toquilla como elemento en la Construcción .....	38
2.5.1. Casa ceremonial CHINIM JEA.....	39
2.5.2. Ubicación .....	39
2.5.3. Entorno .....	41

2.5.4.	Función .....	41
2.5.5.	Estructura .....	42
2.6.	Arcilla .....	42
2.6.1.	Propiedades de las Arcillas .....	43
2.7.	La Tierra como Material Constructivo .....	43
2.7.1.	Propiedades de la Tierra como material Constructivo .....	44
2.7.2.	Sistemas constructivos en Tierra .....	44
2.8.	Yeso.....	45
2.8.1.	Tipos de yesos .....	46
2.8.2.	Aplicación .....	46
2.9.	Cemento.....	47
2.10.	Elementos Prefabricados .....	48
2.10.1.	Paneles Prefabricados .....	49
2.10.2.	Tableros de madera.....	49
2.10.3.	Panel de fibrocemento.....	50
2.10.4.	Panel de Yeso .....	50
2.10.5.	Panel de Tierra .....	51
2.10.6.	Panel Vegetal .....	51
2.10.7.	Panel y tablero de arroz.....	51
2.10.8.	Tableros de Cáñamo .....	52
2.10.9.	Paneles y Tableros de Lana de Madera .....	52
2.11.	Métodos de elaboración de paneles.....	53
2.11.1.	Método Continuo.....	53
2.11.2.	Método Discontinuo .....	53
2.12.	Instalación de Paneles .....	53
2.12.1.	Fijaciones.....	53
2.13.	Métodos Constructivos Similares.....	55
2.13.1.	Drywall .....	55
2.13.2.	Balas de Paja.....	55
2.13.3.	Paja Encofrada .....	56
<b>CAPÍTULO III. METODOLOGÍA .....</b>		<b>57</b>
3.1.	Tipo de Investigación .....	57
3.2.	Marco Normativo .....	57
3.2.1.	Resistencia a flexión.....	58
3.2.2.	Resistencia a Compresión .....	58
3.2.3.	Ensayo de Porosidad.....	58
3.2.4.	Resistencia al Hinchamiento .....	59
3.2.5.	Conductividad Térmica y Transmisión Térmica.....	59
3.2.6.	Resistencia al Fuego.....	60
3.3.	Análisis de estudios Referenciales.....	61
3.3.1.	Panel de Arcilla Reforzada con Fibra.....	61

3.3.2.	Panel de Yeso Reforzada con Fibra .....	63
3.3.3.	Panel de Yeso Reforzada con Fibras Naturales .....	65
3.4.	Materiales y Métodos de Elaboración .....	67
3.5.	Materiales Vegetales .....	67
3.5.1.	Paja Toquilla .....	67
3.5.2.	Mucílago de Nopal .....	68
3.6.	Materiales Sintéticos .....	69
3.6.1.	Cola vinílica o Industrial. (Cola de carpintero) .....	69
3.7.	Materiales Minerales.....	69
3.7.1.	Arcilla o Tierra.....	69
3.7.2.	Yeso .....	70
3.7.3.	Cemento .....	70
3.7.4.	Cal .....	70
3.8.	Equipos para Pruebas de Laboratorio .....	71
3.8.1.	Balanza Electrónica .....	71
3.8.2.	Caja para ensayo Térmico .....	71
3.8.3.	Equipo de Prueba para Resistencia al fuego .....	72
3.8.4.	Equipo de Medición Automática de flexión y compresión.....	72
3.9.	Dosificación .....	73
3.9.1.	Dosificación del Yeso .....	73
3.9.2.	Dosificación de la tierra (Arcilla) .....	76
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>		<b>80</b>
4.1.	Conclusiones .....	80
4.2.	Recomendaciones .....	81
<b>ANEXOS.....</b>		<b>82</b>
<b>Dosificación del Cemento .....</b>		<b>82</b>
3.10.	Elaboración de las Mezclas.....	83
3.10.1.	Mezcla de yeso y fibra.....	84
3.10.2.	Mezcla de tierra (arcilla) y fibra.....	85
3.10.3.	Mezcla de cemento y fibra .....	86
3.11.	Vaciado y Curado .....	87
3.11.1.	Vaciado y Compactación de la mezcla .....	87
3.11.2.	Retiro de moldes, curado y secado.....	88
3.12.	Experimentación en Laboratorio .....	88
3.12.1.	Ensayos a Compresión .....	89
3.12.2.	Ensayos a Flexión .....	100
3.13.	Conclusiones Luego de los Ensayos Mecánicos .....	111
3.14.	Ensayos de Hinchamiento .....	112
3.14.1.	Análisis de Resultados para los ensayos de hinchamiento .....	114
3.15.	Ensayos de Porosidad.....	114
3.15.1.	Análisis de Resultados para los ensayos de porosidad.....	116

3.16.	Ensayos de Conductividad Térmica .....	117
3.16.1.	Análisis de Resultados para los ensayos de conductividad térmica	118
3.17.	Ensayos de Resistencia al Fuego .....	121
3.17.1.	Análisis de Resultados para los ensayos de resistencia al fuego .....	122
3.18.	Prueba de Perforación - Anclaje .....	122
3.19.	Resumen de Ensayos Realizados .....	123
3.20.	Conclusiones de los Resultados .....	124
<b>CAPÍTULO IV. PROTOTIPO DE PANEL DE TABIQUERÍA DESARROLLADO</b>		
<b>CON PAJA TOQUILLA .....</b>		
4.3.	Diseño y Elaboración del Panel.....	126
4.4.	Sistema de Anclaje .....	127
4.5.	Propuesta Arquitectónica .....	127
4.5.1.	Cuadro de Programación .....	128
4.5.2.	Esquema Funcional.....	128
4.5.3.	Organización Espacial .....	129
4.5.4.	Zonificación .....	130
4.5.5.	Diseño Arquitectónico (Ver en anexos).....	130
<b>REFERENCIAS.....</b>		<b>139</b>

## ÍNDICE DE IMÁGENES

<b>Imagen 1</b>	Escaparate Antiguo de Sombreros de Paja Toquilla.....	21
<b>Imagen 2</b>	Sombreros de paja toquilla.....	22
<b>Imagen 3</b>	Panel tejido a mano con paja toquilla .....	22
<b>Imagen 4</b>	Paja Toquilla silvestre.....	23
<b>Imagen 5</b>	Desechos de Paja Toquilla .....	23
<b>Imagen 6</b>	Tratamiento de fibra para artesanías .....	24
<b>Imagen 7</b>	Hoja de Paja Toquilla.....	24
<b>Imagen 8</b>	Malai - Bicompuesto de Coco.....	26
<b>Imagen 9</b>	Construcción con Bahareque .....	26
<b>Imagen 10</b>	Panel contrachapado OSB.....	27
<b>Imagen 11</b>	Fibra de Alpaca .....	28
<b>Imagen 12</b>	Aprovechamiento de las Fibras Vegetales.....	28
<b>Imagen 13</b>	Carludovica Palmata .....	29
<b>Imagen 14</b>	Techo de Paja Toquilla .....	30
<b>Imagen 15</b>	Artesanías de Paja Toquilla .....	31
<b>Imagen 16</b>	Comercialización del Panama Hat .....	31
<b>Imagen 17</b>	Producción de Paja Toquilla .....	32
<b>Imagen 18</b>	Producción de Paja Toquilla Comunidad Barcelona .....	33
<b>Imagen 19</b>	Producción de Paja Toquilla en el Ecuador .....	33
<b>Imagen 20</b>	Planta de Paja Toquilla .....	33
<b>Imagen 21</b>	Cosecha de Cogollos de Paja Toquilla.....	34
<b>Imagen 22</b>	Desorillado de la Paja Toquilla.....	34
<b>Imagen 23</b>	Espinado y Desvenado.....	35
<b>Imagen 24</b>	Cocción de la Paja Toquilla .....	35
<b>Imagen 25</b>	Secado de la Paja Toquilla.....	36
<b>Imagen 26</b>	Blanqueado de la Paja Toquilla .....	36
<b>Imagen 27</b>	Techo Tejido de Paja Toquilla.....	37
<b>Imagen 28</b>	Casa ceremonial CHINIM JEA .....	40
<b>Imagen 29</b>	Levantamiento Arquitectónico CHINIM JEA .....	41
<b>Imagen 30</b>	Levantamiento estructural Casa ceremonial CHINIM JEA.....	42
<b>Imagen 31</b>	Materiales sostenibles .....	42
<b>Imagen 32</b>	Arcilla cocida en la construcción .....	43
<b>Imagen 33</b>	Casa Terminal .....	43
<b>Imagen 34</b>	Casa Mila / Construcción de Tapial.....	45
<b>Imagen 35</b>	Ladrillos de Adobe.....	45
<b>Imagen 36</b>	Construcción con muros de Bahareque.....	45
<b>Imagen 37</b>	Molduras de Yeso .....	46
<b>Imagen 38</b>	Stucco Professional.....	47
<b>Imagen 39</b>	Mortero de Yeso .....	47

<b>Imagen 40</b> Cemento .....	48
<b>Imagen 41</b> Elementos prefabricados .....	48
<b>Imagen 42</b> Tableros de madera .....	50
<b>Imagen 43</b> Tableros de fibrocemento .....	50
<b>Imagen 44</b> Tableros de Yeso.....	50
<b>Imagen 45</b> Tableros de arcilla.....	51
<b>Imagen 46</b> Paneles de paja prefabricados .....	51
<b>Imagen 47</b> Panel y tablero de arroz.....	51
<b>Imagen 48</b> Tableros de Caamo .....	52
<b>Imagen 49</b> Tableros de lana de madera.....	52
<b>Imagen 50</b> Tornillo autorroscante .....	54
<b>Imagen 51</b> Fijación con clavos .....	54
<b>Imagen 52</b> Fijaciones mecánicas .....	55
<b>Imagen 53</b> Construcción drywall .....	55
<b>Imagen 54</b> Construcción balas de Paja .....	56
<b>Imagen 55</b> Probetas de panel hecho de arcilla y fibras .....	61
<b>Imagen 56</b> Probetas de Arcilla curadas.....	61
<b>Imagen 57</b> Paneles de arcilla.....	62
<b>Imagen 58</b> Mezcla de Yeso y Fibra .....	63
<b>Imagen 59</b> Mezcla homogénea .....	63
<b>Imagen 60</b> Pesaje y Medición de Probetas .....	64
<b>Imagen 61</b> Elaboración de Probetas de Yeso y fibras vegetales.....	65
<b>Imagen 62</b> Secado de probetas de yeso y fibra .....	65
<b>Imagen 63</b> Paneles de yeso y fibra vegetal .....	66
<b>Imagen 64</b> Recolección de la Paja Toquilla.....	67
<b>Imagen 65</b> Abertura y Desvenado de las hojas .....	67
<b>Imagen 66</b> Cocinado y secado de las hojas .....	68
<b>Imagen 67</b> Picado de Nopal y reposo en agua .....	68
<b>Imagen 68</b> Cola Vinílica .....	69
<b>Imagen 69</b> Extracción de Tierra Arcillosa .....	69
<b>Imagen 70</b> Yeso y Cemento.....	70
<b>Imagen 71</b> Proceso de apagado de Cal viva.....	70
<b>Imagen 72</b> Balanza electrónica de precisión.....	71
<b>Imagen 73</b> Caja Térmica.....	71
<b>Imagen 74</b> Soplete de fuego.....	72
<b>Imagen 75</b> Equipos de medición para Flexión y Compresión .....	72
<b>Imagen 76</b> Enaceitado y engrasado de los moldes.....	83
<b>Imagen 77</b> Pesaje de los materiales para probeta de yeso y paja.....	84
<b>Imagen 78</b> Mezcla de todos los materiales para las dosificaciones de yeso .....	84
<b>Imagen 79</b> Vertido de la mezcla de yeso y paja en los moldes.....	85
<b>Imagen 80</b> Pesaje de los materiales para probeta de arcilla y paja .....	85

<b>Imagen 81</b>	Mezcla de todos los materiales para las dosificaciones de arcilla .....	85
<b>Imagen 82</b>	Vertido de la mezcla de arcilla y paja en los moldes .....	86
<b>Imagen 83</b>	Pesaje de los materiales para probeta de cemento y paja.....	86
<b>Imagen 84</b>	Mezcla de todos los materiales para las dosificaciones de cemento.....	86
<b>Imagen 85</b>	Vertido de la mezcla de cemento y paja en los moldes .....	87
<b>Imagen 86</b>	Vertido, apisonado y desmolde de las probetas .....	87
<b>Imagen 87</b>	Experimentación de las probetas en los laboratorios de la UNACH .....	88
<b>Imagen 88</b>	Proceso de secado, pesado y medido de las probetas .....	88
<b>Imagen 89</b>	Ensayo a compresión, laboratorio de la UNACH.....	89
<b>Imagen 90</b>	Ensayo a compresión y rotura de probeta YCC.....	89
<b>Imagen 91</b>	Curva de comportamiento de probeta YCC.....	91
<b>Imagen 92</b>	Promedios de resistencia a compresión, probeta YCC.....	91
<b>Imagen 93</b>	Ensayo a compresión y rotura de probeta YCN.....	91
<b>Imagen 94</b>	Curva de comportamiento de probeta YCN.....	93
<b>Imagen 95</b>	Promedios de resistencia a compresión, probeta YCN.....	93
<b>Imagen 96</b>	Ensayo a compresión y rotura de probeta TCN .....	93
<b>Imagen 97</b>	Curva de comportamiento de probeta TCN .....	95
<b>Imagen 98</b>	Promedios de resistencia a compresión, probeta TCN .....	95
<b>Imagen 99</b>	Ensayo a compresión y rotura de probeta TNF .....	95
<b>Imagen 100</b>	Curva de comportamiento de probeta TNF .....	97
<b>Imagen 101</b>	Promedios de resistencia a compresión, probeta TNF.....	97
<b>Imagen 102</b>	Ensayo a compresión y rotura de probeta CCF .....	97
<b>Imagen 103</b>	Curva de comportamiento de probeta CCF .....	99
<b>Imagen 104</b>	Promedios de resistencia a compresión, probeta CCF.....	99
<b>Imagen 105</b>	Mejores resultados de ensayos a compresión .....	99
<b>Imagen 106</b>	Ensayo a flexión y rotura de probeta YCC .....	101
<b>Imagen 107</b>	Promedios de resistencia a flexión, probeta YCC .....	102
<b>Imagen 108</b>	Curva de comportamiento de probeta YCC.....	102
<b>Imagen 109</b>	Ensayo a flexión y rotura de probeta YCN.....	103
<b>Imagen 110</b>	Promedios de resistencia a flexión, probeta YCN .....	104
<b>Imagen 111</b>	Curva de comportamiento de probeta YCN.....	104
<b>Imagen 112</b>	Ensayo a flexión y rotura de probeta TCN .....	105
<b>Imagen 113</b>	Promedios de resistencia a flexión, probeta TCN.....	106
<b>Imagen 114</b>	Promedios de resistencia a flexión, probeta TCN.....	106
<b>Imagen 115</b>	Ensayo a flexión y rotura de probeta TNF.....	107
<b>Imagen 116</b>	Promedios de Probetas ensayadas.....	108
<b>Imagen 117</b>	Curva de comportamiento de probeta TNF .....	108
<b>Imagen 118</b>	Ensayo a flexión y rotura de probeta CCF.....	109
<b>Imagen 119</b>	Promedios de resistencia a flexión, probeta CCF .....	110
<b>Imagen 120</b>	Curva de comportamiento de probeta CCF .....	110
<b>Imagen 121</b>	Mejores resultados de ensayos a flexión.....	111

<b>Imagen 122</b>	Pesaje y medición de Probetas .....	112
<b>Imagen 123</b>	Inmersión de probetas en agua.....	112
<b>Imagen 124</b>	Ensayo de hinchamiento .....	113
<b>Imagen 125</b>	Ensayo de hinchamiento .....	114
<b>Imagen 126</b>	Medición y pesaje de probetas saturadas .....	114
<b>Imagen 127</b>	Ensayo de Porosidad .....	115
<b>Imagen 128</b>	Ensayo de porosidad .....	116
<b>Imagen 129</b>	Pesaje de probetas saturadas .....	116
<b>Imagen 130</b>	Colocación de probetas dentro de la caja térmica.....	119
<b>Imagen 131</b>	Sellado de la caja térmica con panel de poliestireno y tapa de mdf .....	119
<b>Imagen 132</b>	Ensayo de conductividad térmica, probetas CCF .....	120
<b>Imagen 133</b>	Ensayo de conductividad térmica, probetas CCF .....	120
<b>Imagen 134</b>	Ensayo de conductividad térmica, probetas YCC.....	120
<b>Imagen 135</b>	Ensayo de resistencia al fuego .....	121
<b>Imagen 136</b>	Fallo de probetas en ensayo de resistencia al fuego .....	122
<b>Imagen 137</b>	Ensayo de Perforación .....	122
<b>Imagen 138</b>	Perforaciones limpias en probetas ensayadas .....	123
<b>Imagen 139</b>	Moldes para Probetas.....	126
<b>Imagen 140</b>	Elaboración de Panel.....	126
<b>Imagen 141</b>	Paneles Prefabricados .....	127
<b>Imagen 142</b>	Perforación de paneles Prefabricados .....	127
<b>Imagen 143</b>	Cuadro de Programación Vivienda Social Unifamiliar .....	128
<b>Imagen 144</b>	Esquema Funcional .....	129
<b>Imagen 145</b>	Organización Espacial .....	129
<b>Imagen 146</b>	Zonificación .....	130

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Taxonomía de la Paja Toquilla .....	30
<b>Tabla 2</b> Resultado de las pruebas físicas de la Paja Toquilla .....	38
<b>Tabla 3</b> Clasificación de la resistencia al fuego.....	60
Tabla 4 Clasificación de la resistencia al fuego.....	60
<b>Tabla 5</b> Dosificación Muestra YCC 001.....	74
<b>Tabla 6</b> Dosificación Muestra YCC 002.....	74
<b>Tabla 7</b> Dosificación Muestra YCC 003.....	74
<b>Tabla 8</b> Dosificación Muestra YCC 004.....	74
<b>Tabla 9</b> Dosificación Muestra YCC 005.....	75
<b>Tabla 10</b> Dosificación Muestra YCN 001 .....	75
<b>Tabla 11</b> Dosificación Muestra YCN 002 .....	75
<b>Tabla 12</b> Dosificación Muestra YCN 003 .....	76
<b>Tabla 13</b> Dosificación Muestra YCN 004 .....	76
<b>Tabla 14</b> Dosificación Muestra YCN 005 .....	76
<b>Tabla 15</b> Dosificación Muestra TCN 001 .....	77
<b>Tabla 16</b> Dosificación Muestra TCN 002.....	77
<b>Tabla 17</b> Dosificación Muestra TCN 003.....	77
<b>Tabla 18</b> Dosificación Muestra TCN 004.....	78
<b>Tabla 19</b> Dosificación Muestra TCN 005.....	78
<b>Tabla 20</b> Dosificación Muestra TNF 001 .....	78
<b>Tabla 21</b> Dosificación Muestra TNF 002 .....	79
<b>Tabla 22</b> Dosificación Muestra TNF 003 .....	79
<b>Tabla 23</b> Dosificación Muestra TNF 004 .....	79
<b>Tabla 24</b> Dosificación Muestra TNF 005 .....	79
<b>Tabla 25</b> Dosificación Muestra CCF 001 .....	82
<b>Tabla 26</b> Dosificación Muestra CCF 002 .....	82
<b>Tabla 27</b> Dosificación Muestra CCF 003 .....	83
<b>Tabla 28</b> Dosificación Muestra CCF 004 .....	83
<b>Tabla 29</b> Dosificación Muestra CCF 005 .....	83
<b>Tabla 30</b> Resistencia a la Compresión. Probeta YCC.....	90
<b>Tabla 31</b> Resistencia a la Compresión. Probeta YCN .....	92
<b>Tabla 32</b> Resistencia a la Compresión. Probeta TCN.....	94
<b>Tabla 33</b> Resistencia a la Compresión. Probeta TNF .....	96
<b>Tabla 34</b> Resistencia a la Compresión. Probeta CCF .....	98
<b>Tabla 35</b> Resistencia a la Flexión. Probeta YCC .....	102
<b>Tabla 36</b> Resistencia a la Flexión. Probeta YCN.....	104
<b>Tabla 37</b> Resistencia a la Flexión. Probeta TCN .....	106
<b>Tabla 38</b> Resistencia a la Flexión. Probeta TNF.....	108
<b>Tabla 39</b> Resistencia a la Flexión. Probeta CCF.....	110

<b>Tabla 40</b> Resistencia al Hinchamiento.....	113
<b>Tabla 41</b> Prueba de Porosidad.....	115
<b>Tabla 42</b> Índice de transferencia de calor 1 min .....	118
<b>Tabla 43</b> Índice de transferencia de calor 30 min .....	118
<b>Tabla 44</b> Índice de transferencia de calor 60 min .....	118
<b>Tabla 45</b> Clasificación según resistencia al fuego .....	121
<b>Tabla 46</b> Determinación de la resistencia al Fuego .....	122
<b>Tabla 47</b> Resumen de Ensayos realizados .....	124
<b>Tabla 48</b> Resumen de Dosificación .....	124

## **RESUMEN Y PALABRAS CLAVE.**

Este proyecto de investigación y experimentación se enfocó en desarrollar un prototipo de panel construido a partir de paja toquilla. El objetivo principal era ampliar las posibilidades en el campo de la construcción. Para evaluar la funcionalidad del panel, se realizaron pruebas físicas y mecánicas, como ensayos de flexión, compresión, hinchamiento, porosidad, conductividad térmica, resistencia al fuego y pruebas de perforación en probetas con distintas dosificaciones, siguiendo normativas nacionales e internacionales. La paja toquilla y los materiales minerales se extrajeron de la provincia de Morona Santiago, orientando el proyecto arquitectónico hacia el diseño de una vivienda ubicada en ese sector. Después de analizar los ensayos mecánicos, se seleccionaron las muestras CCF 005, YCC 002, CCF 004 y CCF 002, mismas que reaccionaron correctamente en los ensayos físicos. Finalmente, se eligió una dosificación que contiene yeso y fibras de paja toquilla en un porcentaje del 1.06%. Esta elección se basó en su buen comportamiento tanto en exigencias físicas como mecánicas, además de su ligereza y resistencia, demostrando su validez en el campo de la construcción. Como resultado, se obtuvo un panel diseñado para la división interna de espacios en viviendas, demostrando ser funcional y eficiente.

**Palabras clave:** Ensayos Físicos, Ensayos Mecánicos, Fibra de paja toquilla, Panel Prefabricado, Yeso.

## ABSTRACT

This research and experimentation project focused on developing a prototype panel constructed from toquilla straw. The main objective was to expand possibilities in the field of construction. Physical and mechanical tests were conducted to evaluate the panel's functionality, including bending, compression, swelling, porosity, thermal conductivity, fire resistance, and perforation tests on specimens with different dosages, following national and international standards. The toquilla straw and mineral materials were extracted from the Morona Santiago province, orienting the architectural project toward designing a dwelling in that area. After analyzing the mechanical tests, samples CCF 005, YCC 002, CCF 004, and CCF 002 were selected, and all of them reacted correctly in the physical tests. Finally, a dosage containing gypsum and toquilla straw fibers at a percentage of 1.06% was chosen. This selection was based on its excellent performance in both physical and mechanical requirements, as well as its lightweight and strength, demonstrating its validity in construction. As a result, a panel designed for internal space division in homes was obtained, proving to be functional and efficient.

**Keywords:** Physical Tests, Mechanical Tests, Toquilla Straw Fiber, Prefabricated Panel, Plaster.



Reviewed by:  
Ms.C. Ana Maldonado León  
ENGLISH PROFESSOR  
C.I.0601975980

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1. ANTECEDENTES.

A lo largo del tiempo el ser humano se ha caracterizado por desarrollar técnicas y habilidades especiales acoplándose al lugar en el que se encuentra, así como a las herramientas con las que cuenta. En el Ecuador han existido comunidades indígenas, que se han adaptado a las condiciones del medio en el que se encuentran establecidas, entre algunas de estas, es posible mencionar a las comunidades Shuar y Achuar asentadas a lo largo de la región amazónica, o a las comunidades que se desarrollaron a lo largo del litoral ecuatoriano, las mismas que haciendo uso de sus conocimientos ancestrales han moldeado los diferentes elementos naturales con los que cuentan.

Sus construcciones se han establecido a partir del aprovechamiento de sus recursos, adaptándose a su entorno y sin provocar un cambio drástico en el paisaje. Los elementos principales empleados en la construcción han sido históricamente la madera, la guadua o bambú y la cubierta de hojas de palma o paja toquilla tejida.

La paja toquilla es un material natural y renovable que se ha utilizado en la construcción de viviendas durante siglos (UNESCO, 2012). En Ecuador, la existencia del sombrero de paja toquilla hecho a mano data desde hace aproximadamente 5 mil años, evidenciados por algunas culturas precolombinas como, Jama-Coaque, Manteña, Chorrera y otras, en donde su forma, era semejante a las alas de un murciélago, denominados entonces como “tocas” o “tocados” (Ministerio de Turismo, 2019).

En el siglo XVII, el indígena Domingo Choez fusionó la materia prima (paja toquilla) con los sombreros españoles, dando como resultado el origen de los sombreros de paja toquilla. A finales del siglo XIX y hasta la primera mitad del XX, las provincias de Azuay y Cañar se convirtieron en importantes talleres manufactureros de sombreros de paja toquilla, monopolizados por un grupo de firmas exportadoras, localizadas en la ciudad de Cuenca, asociadas a casas importadoras, básicamente de Estados Unidos (MonteHats, 2020).



*Imagen 1* Escaparate Antiguo de Sombreros de Paja Toquilla

**Nota:** La elaboración de los sombreros de toquilla, fue una fuente de desarrollo para los pueblos de la costa de Ecuador. Reproducida de, DaschaStyle, 2020 ([www.daschastyle.com](http://www.daschastyle.com)). CC BY 2.0

En 2012, el tejido tradicional del sombrero ecuatoriano de paja toquilla fue inscrito en la Lista Representativa del Patrimonio Cultural Inmaterial de la Humanidad de la UNESCO (UNESCO, 2012).

Aguirre (2018) menciona que “El tejido de la paja toquilla para la elaboración de sombreros y múltiples artesanías como adornos, cestos, bolsos, carteras y demás, es una de las actividades de mayor tradición en Azuay y Cañar, siendo uno de los atractivos turísticos más interesantes para quienes visitan estas provincias”.



*Imagen 2 Sombreros de paja toquilla*

**Nota:** El sombrero de paja toquilla ha sido mundialmente conocido y utilizado por distintas celebridades. Reproducida de, MyWatch, 2020 ([www.watchsite.com](http://www.watchsite.com)). CC BY 2.0

La utilización de la paja toquilla no se limita a la fabricación de sombreros. Existen investigaciones en donde se analiza esta fibra desde un punto de vista centrado en la construcción.

La paja toquilla se ha utilizado para la fabricación de paneles prefabricados. Estos paneles son una alternativa sostenible y ecológica a los materiales de construcción convencionales, respetando su naturaleza y su origen.



*Imagen 3 Panel tejido a mano con paja toquilla*

**Nota:** El sombrero de paja toquilla ha sido mundialmente conocido y utilizado por distintas celebridades. Reproducida de, Mariuxi Chalén, 2018. CC BY 2.0

Los paneles prefabricados de paja toquilla son resistentes al fuego, a los impactos y a la humedad, y pueden ser reutilizados después de demoler la vivienda. Además, su diseño permite acortar los tiempos de construcción y reducir el gasto energético. Los paneles se fabrican prensando la paja toquilla dentro de marcos de madera y se comercializan en un tamaño estándar de 300 cm por 40 cm, con una profundidad de 12 cm (Chalén, 2018).

## **1.2. PROBLEMA.**

Históricamente a la paja toquilla se la ha vinculado con el sistema de cobertura de las comunidades ubicadas en sectores cálidos y húmedos, cumpliendo esa labor desde que se realizaron los primeros asentamientos tradicionales. Otro de los usos más comunes que ha tenido la paja toquilla en la construcción, ha sido el rol de elemento conector, sirviendo como amarre de la estructura en las cubiertas, sin embargo, la paja toquilla no se ha sometido a un

cambio dentro de la construcción desde entonces, llegando al punto de ser fácilmente reemplazable por sistemas industrializados.



*Imagen 4 Paja Toquilla silvestre*

**Nota:** Existe una gran producción de paja Toquilla en el Ecuador gracias a sus condiciones climáticas, Reproducida de, Ana Mireya Guerrero, 2014 ([www.pinzonesygorriones.blogspot.com](http://www.pinzonesygorriones.blogspot.com)). CC BY 2.0

Las fibras naturales, empleadas durante siglos por indígenas y campesinos de Ecuador en la elaboración de productos artesanales, podrían desempeñar un papel crucial en la obtención de recursos en medio de la actual crisis económica. Estas fibras han ganado relevancia a nivel mundial en los últimos años debido al aumento de la demanda en los países industrializados del Norte, como una alternativa a las fibras sintéticas que tienen un impacto negativo en el medio ambiente (Inter Press Service, 2020).



*Imagen 5 Desechos de Paja Toquilla*

**Nota:** Existe una gran cantidad de fibras de paja toquilla que se desechan debido a que no son aptas para artesanías, Reproducida de, Fernando Sopeña, 2016 ([www.andandoporbogota.blogspot.com](http://www.andandoporbogota.blogspot.com)). CC BY 2.0

Ecuador, con su abundante biodiversidad, alberga aproximadamente 25,000 especies de plantas vasculares. Esta cifra lo posiciona como el país con la mayor diversidad de este tipo de vegetales por kilómetro cuadrado en América Latina, lo que lo convierte en un verdadero paraíso de las fibras naturales.

Las características medioambientales del país, hacen que esta fibra se desarrolle mucho más fácil, sobre todo en zonas como el oriente y la costa. Este beneficio medioambiental podría ser mejor utilizado, si el uso de la paja toquilla se ampliara y no se limite en la producción de artesanías, abriendo las posibilidades a distintas industrias, entre ellas a la construcción.

Demirel, M. (2019). "La demanda actual por parte de los países industrializados también ayuda a que el cultivo sea rentable. 'Las fibras sintéticas son muy negativas porque tardan más de 500 años en descomponerse, por eso en Europa se está yendo hacia las naturales'", afirmó Kozlowski."

Para Melian (2024) en la construcción, las fibras naturales han ganado relevancia como una opción ecológica. Materiales como el bambú, la paja, la madera, el cáñamo y las hojas de palma ofrecen ventajas tanto para el medio ambiente como para la funcionalidad de las estructuras. Al utilizar estos materiales, se reduce el impacto ambiental y los riesgos para la salud.

Sin embargo, Chóez (2014) identifica que el cultivo de paja toquilla en Ecuador ha disminuido drásticamente, quedando solo en un 1% de su área original. Esta reducción se debe a varios factores, como la baja rentabilidad económica, la falta de asistencia técnica y el limitado acceso al crédito para los productores.



*Imagen 6 Tratamiento de fibra para artesanías*

**Nota:** Reducción de la capacidad de producción de Paja Toquilla en Ecuador, Reproducida de, José López, 2014 ([www.elaristocrata.com](http://www.elaristocrata.com)). CC BY 2.0

Esta cantidad tan baja de paja toquilla está centrada en la producción de artesanías desperdiciando en gran manera sus propiedades físicas y mecánicas, las mismas que podrían ser mejor aprovechadas en el campo de la construcción, explorando en el mundo de los sistemas prefabricados, como un elemento de refuerzo que brinde otro tipo de características a un elemento. De este modo, el aprovechamiento de esta fibra vegetal puede ser muy beneficioso, ya que abre las posibilidades dentro del campo de la construcción y como material de refuerzo para ser exportado.

### 1.3. JUSTIFICACIÓN.



*Imagen 7 Hoja de Paja Toquilla*

**Nota:** Hoja de paja toquilla en estado maduro, Reproducida de, iNaturalist, 2020 ([www.ecuador.inaturalist.org](http://www.ecuador.inaturalist.org)). CC BY 2.0

Por medio de la construcción, la arquitectura intenta brindar nuevas soluciones innovadoras, contribuyendo con la eficiencia en el ámbito constructivo y la reducción de tiempo en obra. Por este motivo y considerando el uso limitado que ha tenido la paja toquilla en el Ecuador, siendo cultivado y procesado en su mayoría para la elaboración de artesanías,

ha sido seleccionado como la indicado para llevar a cabo el desarrollo de un panel no estructural que pueda ser utilizado en obra.

La paja toquilla es un material de naturaleza vegetal y renovable que se ha utilizado dentro del campo de la construcción durante siglos. En el Ecuador es posible observar el uso de este material, sobre todo en las cubiertas de ciertas comunidades indígenas. Este material vegetal se lo cosecha dos veces al año y al ser de fácil obtención, requiere una cantidad mínima de energía, siendo esto muy beneficioso para la construcción, debido a que no genera contaminación, convirtiéndolo en un elemento sostenible.

El proyecto busca reinterpretar el uso que se le ha dado a la paja toquilla durante la historia, de tal manera que se aproveche este material de origen vegetal al máximo, considerando sus características físicas y mecánicas, al momento de elaborar un panel prefabricado.

En consecuencia, al diseñar el panel de tabiquería elaborado con paja toquilla se busca alcanzar un confort al interior de la construcción y por este motivo, los estudios físicos, mecánicos y la experimentación con distintos materiales dentro de los laboratorios, será fundamental, de modo que sea posible identificar las condiciones de los paneles, así como su aporte dentro de la construcción.

#### **1.4. OBJETIVOS.**

##### ***1.4.1. Objetivo General***

Desarrollar un prototipo de panel construido a base de la paja toquilla, que permita ampliar las posibilidades dentro del campo de la construcción de viviendas.

##### ***1.4.2. Objetivos Específicos***

- Analizar la fibra de paja toquilla como un elemento natural aplicado a la construcción.
- Experimentar, diseñar y construir un panel con paja toquilla aplicada a la construcción, conforme a normativas nacionales e internacionales.
- Elaborar un modelo de vivienda con la aplicación del panel a base de paja toquilla para la construcción, cuyo montaje y adaptabilidad será representado en un modelo virtual.

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Marco Conceptual

#### 2.1.1. *Materiales Compuestos*



*Imagen 8 Malai - Bicompuesto de Coco*

**Nota:** un estudio de investigación y diseño de materiales, ha estado diseñando a partir de material de base biológica fermentado en agua de coco y fibras naturales, Reproducida de, Design Nuance, 2018 ([www.designnuance.com](http://www.designnuance.com)). CC BY 2.0

Rueda (2017) en su investigación afirma que los compuestos son combinaciones macroscópicas de dos o más materiales diferentes que poseen una interfase discreta y reconocible que los separa. Debido a ello, son heterogéneos (sus propiedades no son las mismas en todo su volumen). Aunque algunos materiales compuestos son de origen natural, como la madera o el hueso, la mayoría de los materiales compuestos que se utilizan en la actualidad son creados y producidos por seres humanos.

Una característica de todos los materiales compuestos es que, en cada uno de ellos, se pueden distinguir dos componentes bien diferenciados: la matriz y el refuerzo o fase discontinua. Este tipo de materiales surgen por la constante búsqueda de mejorar sus características, así como sus propiedades, haciéndolos más ligeros, más flexibles y mucho más resistentes (Rueda, 2017).

#### 2.1.2. *Matriz*



*Imagen 9 Construcción con Bahareque*

**Nota:** Bahareque, una técnica constructiva sismorresistente en Colombia, Reproducida de, ArchDaily, 2018 ([www.archdaily.com](http://www.archdaily.com)). CC BY 2.0

Rueda (2017) explica que la matriz es la fase continua en la que el refuerzo queda ‘embebido’. Tanto materiales metálicos, cerámicos o resinas orgánicas pueden cumplir este

papel. A excepción de los cerámicos, el material que se elige como matriz no es, en general, tan rígido ni tan resistente como el material de refuerzo.

Sus principales funciones son:

- Definir las propiedades físicas y Químicas.
- Transmitir las cargas al refuerzo.
- Protegerlo y brindarle cohesión.

#### 2.1.2.1. Propiedades de las Matrices.

Rueda (2017) describe que la matriz en un material compuesto tiene varias funciones esenciales:

- Soportar las fibras: La matriz mantiene las fibras en su posición correcta dentro del compuesto.
- Transferir la carga: Es responsable de transferir la carga o fuerza a las fibras fuertes.
- Proteger contra daños: La matriz protege el material compuesto durante su fabricación y uso, evitando daños.
- Prevenir la propagación de grietas: Evita que las grietas se extiendan a lo largo de las fibras en el compuesto.
- Controlar propiedades eléctricas y químicas: La matriz influye en las propiedades eléctricas y el comportamiento químico del material compuesto, así como su desempeño a altas temperaturas.

#### 2.1.3. El Refuerzo



*Imagen 10 Panel contrachapado OSB*

**Nota:** Estos paneles ocupan partículas de viruta refuerzan su estructura, Reproducida de, AA Taller de Arquitectura, 2024 ([www.aatallerdearquitectura.es](http://www.aatallerdearquitectura.es)). CC BY 2.0

El refuerzo se utiliza para incrementar la resistencia y rigidez mecánicas, pero también se emplea para mejorar el comportamiento a altas temperaturas o la resistencia a la abrasión. El refuerzo puede adoptar la forma de partículas o fibras (Rueda, 2017).

#### 2.1.4. La interfase o Región de Contacto

Rueda (2017) menciona que las propiedades de los materiales compuestos no solo dependen de las características de las fibras y la matriz, sino también de la interfase entre estos dos componentes. La resistencia del compuesto está estrechamente relacionada con una

interfase adecuada. Cuando la conexión entre los dos componentes es débil, la transferencia de carga de la matriz a la fibra no será eficiente.

### **2.1.5. Fibras Naturales**



*Imagen 11 Fibra de Alpaca*

**Nota:** La Alpaca es uno de los dos camélidos altoandinos domesticados en el mundo y donde el Perú destaca como primer productor de su fibra, Reproducida de, Quechua Alpaca, 2018 ([www.quechualpaca.com](http://www.quechualpaca.com)). CC BY 2.0

Chalén (2018) explica que las fibras naturales contienen fragmentos, hebras o pelo que provienen de la naturaleza y se pueden hilvanar para formar hilos o cuerdas según las necesidades. Estas fibras naturales son la base de muchos sistemas constructivos tradicionales, como el adobe y el bahareque.

Este material es esencial en la vida de comunidades que preservan sus tradiciones. Su origen natural lo convierte en una opción biodegradable y altamente resistente, lo que lo hace adecuado tanto para la creación de artesanías como para su uso en la construcción.

### **2.1.6. Fibras Vegetales**



*Imagen 12 Aprovechamiento de las Fibras Vegetales*

**Nota:** Las fibras vegetales se utilizan para la elaboración de artesanías, construcción, entre otras, Reproducida de, Raquel Carballo, 2019 ([www.culturatradicionalgc.org](http://www.culturatradicionalgc.org)). CC BY 2.0

Palma, García, Pilquinao, Chung y Molina (2021) describen que las fibras vegetales de uso artesanal son partes vegetales como hojas, tallos, raíces o inflorescencias. Estas fibras, debido a sus características de flexibilidad, se utilizan como materia prima en el tejido de cestería.

Pese a lo trabajoso que puede resultar trabajar con ellas, las fibras vegetales aún forman parte de la vida de muchas comunidades.

### 2.1.6.1. Características de las fibras vegetales.

Chalén (2018) destaca que las fibras vegetales de origen natural incluyen una variedad de materiales, como aquellas extraídas de la vellosidad de algunas semillas (como el algodón), los tallos (como la paja toquilla y el cáñamo), las fibras de follaje (como el sisal) y las fibras de cáscaras (como las de coco). Estas fibras desempeñan un papel crucial en diversas aplicaciones, desde la artesanía hasta la construcción.

### 2.1.7. *Carludovica Palmata* / Paja Toquilla



*Imagen 13 Carludovica Palmata*

**Nota:** Clasificación y etimología de la Caludovica Palmata, Adaptada de, Fichero de plantas alimenticias, 2022 ([www.secretosparacontar.org](http://www.secretosparacontar.org)). CC BY 2.0

Mederos, Balmaseda, Suárez y Paula (2020) describen que la paja toquilla es una especie de palmera con hojas en forma de abanico que salen desde el suelo, sostenidas por largos pecíolos cilíndricos. Cada hoja tiene una longitud de dos a tres metros y presenta un exterior de color verde, mientras que su centro es de color marfil o blanco perla. Esta parte central es la que se utiliza para la elaboración de los sombreros.

Además de ser empleada en la creación de artesanías, en algunas comunidades indígenas se aprovecha para la construcción e incluso se consume el tallo tierno.

### 2.1.8. Características

La *Carludovica palmata* se parece a una pequeña palmera en la madurez, los pecíolos alcanzan de 2 a 3 metros de longitud, las hojas miden de 1,5 a 4 metros de largo y 1 metro de ancho y tienen forma de abanico. Las inflorescencias brotan en la base de la planta junto a los pecíolos (Alarcón & Burbano, 2004).

La paja toquilla es larga, suave, tiene una gran resistencia y diámetro de fibra, que está entre 10 y 20  $\mu\text{m}$ . Las propiedades de las fibras naturales como *C. palmata* están influenciadas por una serie de factores, entre ellos el clima, la edad de la planta, el tratamiento químico, entre otros (Moo et al. 2019).

A lo largo del tiempo algunas comunidades han adoptado la paja toquilla para realizar distintas actividades debido a su abundancia y a sus cualidades de resistencia y maleabilidad.

### 2.1.9. Taxonomía

Taxonomía de la Paja Toquilla		
	<b>Reino</b>	PLANTAE
	<b>Subreino</b>	TRACHEOBIONTA
	<b>División</b>	MAGNOLIOPHYTA
	<b>Clase</b>	LILLIOPSIDA
	<b>Subclase</b>	LILIIDAE
	<b>Orden</b>	PANDANALES
	<b>Familia</b>	CYCLANTHACEAE
	<b>Subfamilia</b>	CARLUOVICOIDEAE
	<b>Género</b>	CARLUOVICA
	<b>Especie</b>	CARDULOVICA PALMATA

*Tabla 1 Taxonomía de la Paja Toquilla*

**Nota:** Taxonomía de la paja Toquilla, Adaptada de, Jiménez, 2013 CC BY 2.0

### 2.1.10. Uso de la Paja Toquilla

Para Bennett et al. (1992) la paja toquilla tiene múltiples usos: las hojas se utilizan para techos de viviendas; la corteza del pecíolo se emplea en la confección de canastas y aventadores; de las hojas se extrae la fibra que, una vez procesada, se utiliza para tejer sombreros; y la parte tierna de la base de las hojas y el rizoma, conocidos como palmito, son comestibles.

#### 2.1.10.1. Paja Toquilla en la Construcción.



*Imagen 14 Techo de Paja Toquilla*

**Nota:** Cubierta construida con hojas de paja toquilla amarrada a la estructura, Reproducida de, Belén Guerrero, 2016 ([www.clave.com.ec](http://www.clave.com.ec)). CC BY 2.0

Guerrero (2016) señala que la arquitectura vernácula se caracteriza por el uso de materiales del entorno circundante en la construcción de viviendas. En el oriente ecuatoriano, se emplea la paja toquilla, también conocida como lizán u hojas de lizán, para elaborar los techos de las casas.

El uso de la paja toquilla en la construcción, es más visible en las comunidades indígenas del oriente ecuatoriano. Esta planta forma parte principalmente de la cubierta de las casas, aislando el interior de la humedad, el frío y el calor. Dentro del proceso constructivo, el tejido

y el amarrado es fundamental, ya que con esto garantiza la resistencia y durabilidad del material.

#### 2.1.10.2. Paja Toquilla para artesanías y comercio.



*Imagen 15 Artesanías de Paja Toquilla*

**Nota:** Elaboración de artesanías hechas con fibras de Paja Toquilla, Reproducida de, El Comercio, 2018 ([www.elcomercio.ec](http://www.elcomercio.ec)). CC BY 2.0

Palacios et al. (2016) señalan que, en la costa ecuatoriana, la fibra que se obtiene de las hojas se usa para elaborar utensilios domésticos, artesanías y sombreros de variada calidad; la base del tallo (pecíolo de las hojas) joven se consume como alimento, y la planta misma se usa como ornamental.

Uno de los usos más conocidos que se le da a la paja toquilla es la elaboración de los famosos sombreros de paja toquilla, más conocidos como “Panamá hats”. La forma variada de darle uso a la paja toquilla ha posicionado al Ecuador como el mejor en cuanto al uso artesanal.

### 2.2. Paja Toquilla en el Ecuador

La tradición de elaborar sombreros de paja toquilla tiene raíces en la época prehispánica, mucho antes de la historia reciente del territorio que hoy conocemos como Ecuador, específicamente en la provincia de Manabí. Los habitantes de la costa ecuatoriana creaban figurillas de cerámica con tocados que simulaban sombreros, posiblemente hechos de paja toquilla. En esa misma época, también utilizaban fibras vegetales para confeccionar sogas, telas, cestas y objetos peculiares para protegerse del sol, los cuales en la época colonial se denominarían “sombreros” (INPC Instituto Nacional de Patrimonio Cultural, 2012).



*Imagen 16 Comercialización del Panama Hat*

**Nota:** Desde Panamá el sombrero se internacionalizó y la gente empezó a denominarlo “Panama Hat”, Reproducida de, Homero Ortega, 2018 ([www.homeroortega.com](http://www.homeroortega.com)). CC BY 2.0

La fibra que actualmente se conoce como Paja Toquilla antes se la denominaba jipijapa, por este motivo, los sombreros que se elaboraban, llevaban su nombre. Cuando estos sombreros comenzaron a comercializarse a través del canal de Panamá, su popularidad creció rápidamente. Incluso llegaron a ser utilizados por el presidente Roosevelt en Estados Unidos, aunque de manera equivocada, ya que los denominó “Panamá Hat” (INPC Instituto Nacional de Patrimonio Cultural, 2012).

En la actualidad el Ecuador se ha convertido en uno de los países que mejor uso le da a la paja toquilla, en la elaboración de artesanías, llegando a valorar sus sombreros en miles de dólares.

### **2.2.1. Producción**



*Imagen 17 Producción de Paja Toquilla*

**Nota:** Toquillales ubicados en la costa ecuatoriana, Reproducida de, Revista Vistazo, 2015 ([www.vistazo.com](http://www.vistazo.com)). CC BY 2.0

La producción de la paja toquilla en el Ecuador tiene sus inicios desde los tiempos de la colonia, donde esta fibra era utilizada por los indígenas para prendas y actividades de caza (Mederos et al. 2020).

La planta de toquilla crece de forma natural en terrenos húmedos, a altitudes que oscilan entre 0 y 1300 metros sobre el nivel del mar, tanto en la región costera como en el lado oriental de los Andes en Ecuador. Se encuentra especialmente en áreas abiertas o perturbadas.

Durante el invierno, una hectárea de cultivo produce alrededor de 35 “ochos” de toquilla, que son de mejor calidad debido a las lluvias. Sin embargo, en verano, la producción disminuye a 20 o 18 “ochos” por hectárea debido a la falta de precipitaciones, lo que afecta su calidad.

Cada “ocho” de paja toquilla (término conocido en la comunidad de Barcelona), está conformado por 112 cogollos de obtenidos de los toquillales, agrupados en forma de atados.

#### **2.2.1.1. Zonas de Mayor Producción**

Rojas & Sisalema (2009) afirman que en la cordillera de Chongón-Colonche se asientan las comunidades Barcelona, Loma Alta, Dos Mangas, Sinchal y el Recinto El Suspiro, que por varias generaciones se han dedicado a la producción y el procesamiento de paja toquilla. En los años 1900 el 75% de los sombreros elaborados con paja toquilla, utilizaban su producto.



**Imagen 18** Producción de Paja Toquilla Comunidad Barcelona

**Nota:** Producción artesanal de fibras de paja toquilla en la comunidad de Barcelona, Reproducida de, Revista Insider, 2023 ([www.insiderlatam.com](http://www.insiderlatam.com)). CC BY 2.0

Las principales zonas donde se cultiva este producto están ubicadas en la provincia de Manabí, específicamente en las Zonas de Pile, Montecristi, Jipijapa y San Lorenzo. Además, también existen sembríos en las provincias de Esmeraldas, Los Ríos y Guayas, aunque las zonas de cultivo en la Provincia de Morona Santiago no son tan prominentes como en el caso de Manabí (Rojas & Sisalema, 2009).



**Imagen 19** Producción de Paja Toquilla en el Ecuador

**Nota:** Por sus características, algunas provincias se dedican a la producción de paja toquilla, en cambio, las que trabajan con ella, se ubica en la zona austral.

### 2.2.2. Siembra



**Imagen 20** Planta de Paja Toquilla

**Nota:** Plantas de Paja Toquilla listas para la siembra, Reproducida de, Young Living Academy, 2022 ([www.younglivingacademy.edu.ec](http://www.younglivingacademy.edu.ec)). CC BY 2.0

Palacios et al. (2016) señalan que la siembra de la paja toquilla se realiza en temporales invernales, con lluvia o bajas precipitaciones. Durante el día es posible plantar entre 50 a 60 cepas. En cultivos nuevos, es recomendable alternar las plantaciones con sembríos de cítricos y plantas de banano.

De esta manera se busca aprovechar la producción del banano en los primeros tres años, mientras las plantas de paja toquilla alcanzan su madurez.

Los hombres son los encargados de efectuar las actividades de siembra y de manejo de los toquillales. Para el mantenimiento de los nuevos cultivos, se tiene en cuenta una primera limpieza al tercer mes de siembra y luego se repite cada cinco meses. Una vez madurado el toquillal, posterior a los tres años, el mantenimiento es anual (Palacios et al. 2016).

### **2.2.3. Extracción y preparación**



*Imagen 21 Cosecha de Cogollos de Paja Toquilla*

**Nota:** Corte de cogollos de paja toquilla a 45° pasado los 3 años de maduración, Reproducida de, El diario, 2016 ([www.eldiario.edu.ec](http://www.eldiario.edu.ec)). CC BY 2.0

Para iniciar el proceso de cosecha de los cogollos de paja toquilla, se tiene que esperar un lapso de tres años en donde el toquillal alcanza su madurez. Cuando el toquillal recibe un adecuado mantenimiento y un correcto nivel de humedad, la productividad aumenta.

La recolección de los cogollos se la realiza especialmente en temporales invernales, o de garúa. En algunos sectores de la costa, se cosechan los cogollos dos veces al año. Para identificar los cogollos de mayor calidad, es necesario que estos superen una altura de 80 cm siendo los más valorados en el mercado, llegando a costar cinco dólares por cada ocho (Palacios et al. 2016).

Según Palacios et al. (2016) una vez cosechados los cogollos de la paja toquilla, tienen que pasar por el siguiente proceso de preparación de la fibra:

#### **a. Desorillado.**



*Imagen 22 Desorillado de la Paja Toquilla*

**Nota:** Proceso de desorillado de los cogollos de paja toquilla usando una espina, Reproducida de, Ministerio de Cultura y Patrimonio, 2022 ([www.culturaypatrimonio.gob.ec](http://www.culturaypatrimonio.gob.ec)). CC BY 2.0

Consiste en desprender los pliegos laterales (de color verde oscuro) y las venas o nervaduras externas del cogollo semi-abierto. Para ello, se usa una pequeña herramienta llamada espina o picador formado por dos agujas separadas entre sí unos 2 cm.

#### **b. Espinado y desvenado.**



*Imagen 23 Espinado y Desvenado*

**Nota:** Proceso de espinado y desvenado de los cogollos de paja toquilla, Reproducida de, Ministerio de Cultura y Patrimonio, 2022 ([www.culturaypatrimonio.gob.ec](http://www.culturaypatrimonio.gob.ec)). CC BY 2.0

Consiste en clavar la espina aproximadamente en el punto de separación de los lóbulos rasgando hacia el ápice de la hoja; luego, se separan las venas hacia la base del cogollo, dejando solo las láminas suaves (parte interna de color crema, que se convierte en la fibra de paja toquilla) pegadas al tallo.

#### **c. Armado de pesetas**

Las pesetas están conformadas por 28 cogollos, cada uno de ellos contiene la fibra que resultó luego del proceso espinado y desvenado. Una vez armadas las pesetas, están listas para su cocción, secado y blanqueado.

#### **d. Cocinado**

Tradicionalmente las comunidades dedicadas a la producción de paja toquilla han usado pailas de bronce para cocinar las fibras. Se utiliza leña como combustible, las pesetas se tienen que colocar de forma paulatina, aumentando siempre el nivel del agua.



*Imagen 24 Cocción de la Paja Toquilla*

**Nota:** Proceso de cocción de las pesetas de paja toquilla en cocinas de leña, Reproducida de, UTE Santa Elena, 2014 ([www.utesantaelena.wordpress.com](http://www.utesantaelena.wordpress.com)). CC BY 2.0

Según Palacios et al. (2016) cuando el agua llega a su punto de ebullición, se colocan las pesetas en la paila durante unos diez minutos. Para evitar que la paja flote durante la cocción,

se ponen piedras o troncos de madera sobre ella. Para manipular la fibra, se utiliza un madero de aproximadamente 1,5 metros de largo. Luego, las pesetas se retiran de la paila y se reemplazan con otras.

#### e. Ecurrido y Secado

Una vez cocinadas las pesetas, las fibras se retiran de la paila, se las coloca sobre una mesa de maderos para que se enfríen y se escurran por unos 10 minutos. Luego, se sacuden, se separan las fibras, se limpian, se desatan y se las coloca sobre cordeles o alambres para el secado (Palacios et al. 2016).

El tiempo de secado, depende principalmente del clima. En días de verano, la paja se seca en un día, mientras que, en temporal invernal, el tiempo de secado bajo cubierta tarda 5 días.



*Imagen 25 Secado de la Paja Toquilla*

**Nota:** Proceso de tendido y secado de la paja toquilla bajo el sol, Reproducida de, UTE Santa Elena, 2014 ([www.utesantaelena.wordpress.com](http://www.utesantaelena.wordpress.com)). CC BY 2.0

#### f. Blanqueado



*Imagen 26 Blanqueado de la Paja Toquilla*

**Nota:** Proceso de blanqueado de la paja toquilla, Reproducida de, UTE Santa Elena, 2014 ([www.utesantaelena.wordpress.com](http://www.utesantaelena.wordpress.com)). CC BY 2.0

Palacios et al. (2016) indican que para el azufrado se utilizan cajas herméticas de madera de 2 m de largo, 1 m de ancho y 1.5 m de altura, donde se colocan cinco ochos (610 cogollos). La caja se cierra y el humo que circula en su interior, blanquea los cogollos.

#### g. Selección y Empacado

Según Palacios et al. (2016) para la comercialización de la fibra, es importante tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Las fibras deben tener al menos 80 cm de largo.
- Deben estar sueltas entre sí, sin enredos.
- Es fundamental que sean resistentes y elásticas.
- El estado de secado debe ser adecuado.
- Los tallos deben ser del mismo tamaño.
- Hay que considerar el tipo y la forma de empaclado.
- Además, deben estar libres de manchas.



*Imagen 27 Techo Tejido de Paja Toquilla*

**Nota:** Techo tejido de una cubierta para casa vernácula del oriente, Reproducida de, Belén Guerrero, 2016 ([www.clave.com.ec](http://www.clave.com.ec)). CC BY 2.0

Las fibras gruesas, que no son adecuadas para fabricar sombreros ni artesanías, se utilizan en la construcción, especialmente en los techos. Sin embargo, la paja toquilla que se emplea en las comunidades indígenas de la Amazonía no sigue este proceso, ya que las hojas se tejen cuando están verdes.

### **2.3. Propiedades Físicas de la Paja Toquilla**

Chalén (2018) señala que la parte intermedia de la fibra es la que mayor fuerza resiste, y esta resistencia también depende del grosor y de la presencia de quiebres en la misma. Por otro lado, la parte superior es la que presenta menor resistencia a la ruptura, debido a que generalmente es la más fina del cogollo.

Procedimiento:

- Se tomaron muestras de fibra de paja toquilla.
- Se dividieron las muestras en tres partes: inferior, intermedia y superior.
- Luego se evalúa cada parte diez veces para obtener datos precisos.
- Finalmente se someten las muestras a un tensiómetro, que mide la resistencia de los materiales.

Resultados:

Parte intermedia:

- Es la más fuerte.
- Su resistencia depende del grosor de la fibra y la presencia de quiebres.

Parte superior:

- Es más frágil.
- Generalmente, es la más fina del cogollo.

Las pruebas físicas realizadas en el laboratorio de control de calidad del Centro Textil de la Escuela Politécnica Nacional, bajo la supervisión del Ing. Omar Bonilla, como lo explica Chalén (2018) en su investigación, arrojaron los siguientes resultados:

<b>Propiedades Físicas de la Paja Toquilla</b>					
	<b>Carga Máxima (N)</b>	<b>Longitud de la Fibra (mm)</b>	<b>Título – TEX (gr/m*1000)</b>	<b>Tenacidad (Cn/TEX)</b>	<b>Elongación Ruptura (%)</b>
<b>Mínimo</b>	3.052	0.1831	181.00	1.07	0.37
<b>Promedio</b>	30.52	1.0392	470.29	6.33	2.08
<b>Máximo</b>	95.37	1.526	8633.0	20.00	3.66

*Tabla 2 Resultado de las pruebas físicas de la Paja Toquilla*

**Nota:** El Ing. Omar Bonilla llevó a cabo unas pruebas físicas en el centro textil de la Escuela Politécnica Nacional en donde identificó los siguientes resultados, Reproducida de, Medina, 2000. CC BY 2.0

#### **2.4. Propiedades Químicas de la Paja Toquilla**

Chalén (2018) afirma que las pruebas para determinar las características químicas de la paja toquilla se realizan mediante las normas TAPPI; las cuales son las normas que internacionalmente se utilizan para los controles de calidad en lo referente a papel, fibras naturales, etc.

Proceso de análisis:

- Se corta la fibra de paja toquilla en trozos de 3 cm.
- Estos trozos se utilizan para realizar pruebas de caracterización química.

Se evalúan varios aspectos:

- Humedad inicial: Antes del análisis, la fibra tiene un 6,9 % de humedad.
- Humedad de análisis: Durante el análisis, la humedad es del 5,55 %.
- Contenido de grasa: Se verifica y se obtiene un resultado del 3,74 % de contenido de grasas.
- Contenido de lignina: Se evalúa antes y después del proceso de blanqueo. La fibra sin blanquear tiene un contenido de 29,40 % de lignina.

#### **2.5. Análisis de la Paja Toquilla como elemento en la Construcción**

La paja toquilla ha sido un material ampliamente utilizado en la construcción vernácula, especialmente en las zonas cálidas y húmedas del Ecuador. En las comunidades shuar, es común ver este material en la edificación de viviendas, donde desempeña un papel fundamental en la cubierta.

En estas comunidades, para construir las cubiertas, se cosecha la paja toquilla en su estado maduro, cuando la palma está completamente abierta. Luego, las hojas de paja toquilla se tejen entre sí, colocándolas lo más cerca posible. Estas hojas tienen propiedades impermeables, lo que las hace eficientes para resistir los fuertes temporales de la Amazonía.

En la provincia de Morona Santiago, la producción de la paja toquilla se ha llevado a cabo de manera tradicional, y en muchos casos, de forma silvestre. Aunque este material no tiene tanta relevancia en la elaboración de artesanías como en otras provincias, en la construcción es todo lo contrario. La mayoría de las construcciones tradicionales, como las chozas, utilizan materiales como la paja toquilla en la composición de sus cubiertas.

Para comprender mejor el uso de la paja toquilla como elemento constructivo, se realiza un breve análisis de un centro ceremonial que forma parte de un proyecto destinado a fomentar el turismo mediante el aprovechamiento de los recursos naturales y la cultura shuar. Esta construcción se encuentra en la provincia de Morona Santiago a 45 minutos de la ciudad de Macas.

#### ***2.5.1. Casa ceremonial CHINIM JEA***

La casa ceremonial de Chinim Jea forma parte de un complejo turístico al pie de una cascada, rodeado de vegetación endémica y paisajes que se enmarcan a través de los recorridos botánicos que existen. El proyecto está concebido para atraer turistas al sector, promoviendo la cultura Shuar, mediante ferias y eventos en esta edificación.

#### ***2.5.2. Ubicación***



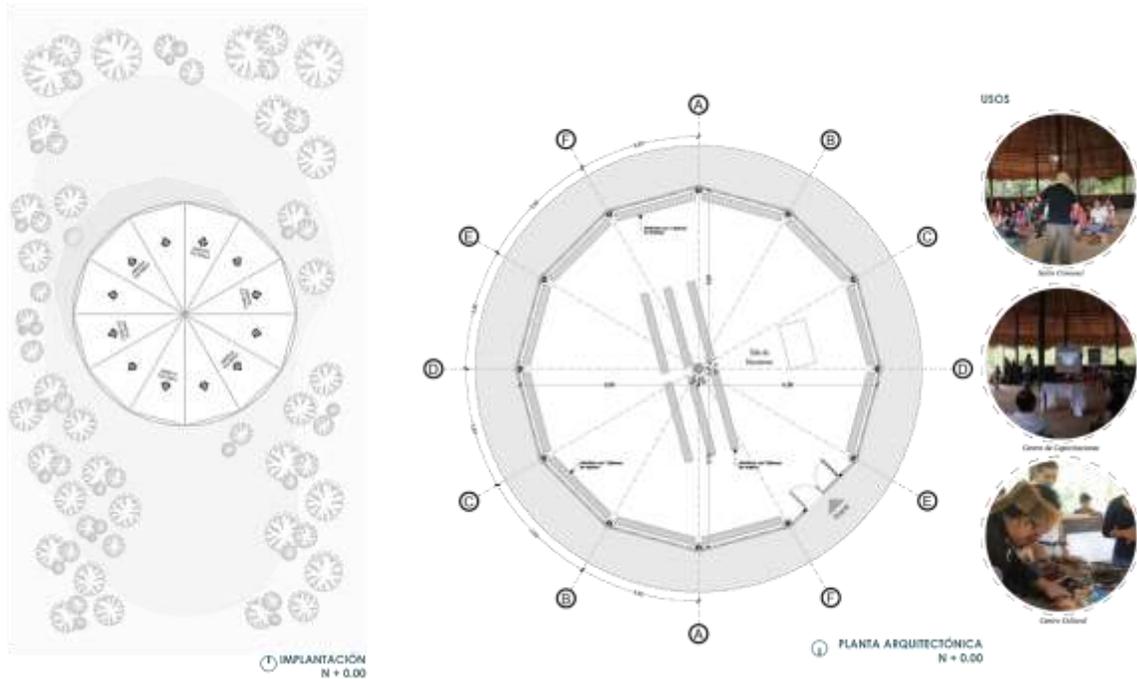
*Imagen 28 Casa ceremonial CHINIM JEA*

**Nota:** El proyecto turístico de la comunidad Samikin cuenta con una construcción típica shuar, en donde se puede apreciar el uso de la paja toquilla como elemento compositor de su cubierta.

La construcción shuar elegida como elemento de estudio se encuentra ubicada en la comunidad Samikim (-2.244784497555439, -77.6696353649975), en el cantón Taisha en la provincia de Morona Santiago, a dos horas del centro de la ciudad de Macas.

Se consideró su estado actual ya que, al pertenecer al proyecto de turismo comunitario “Chinim Jea”, la construcción es relativamente nueva.

### 2.5.3. Entorno



*Imagen 29 Levantamiento Arquitectónico CHINIM JEA*

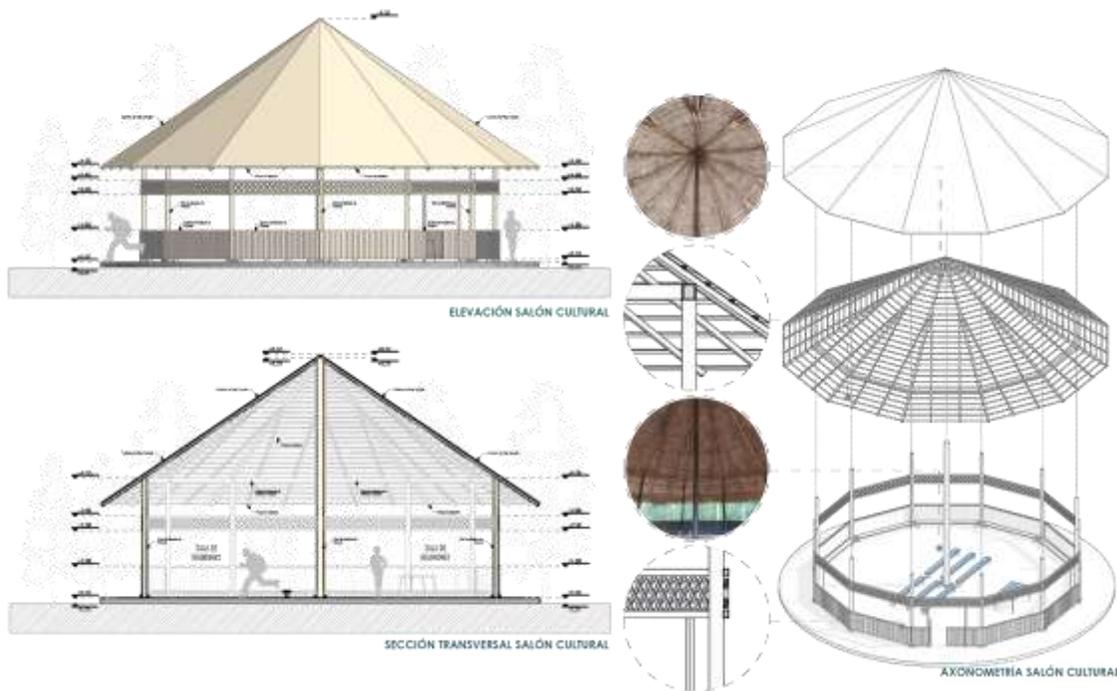
**Nota:** Se realiza el levantamiento arquitectónico con el fin de observar la distribución, su funcionamiento y la conformación de la estructura.

El centro ceremonial se encuentra rodeada de una espesa vegetación, muy cerca de una cascada, aprovechando sus visuales. Cerca del complejo se encuentra ubicada una escuela, de donde se planifican actividades culturales.

### 2.5.4. Función

El proyecto está conformado por una planta libre circular multifuncional, debido a que puede ser adaptada como centro ceremonial para la comunidad, así también como un salón para capacitación. El mobiliario que se encuentra en dentro de la construcción, ha sido elaborado por los comuneros, haciendo uso de los materiales de la zona. Los residentes de la comunidad son los encargados de administrar el complejo y mantenerlo en buenas condiciones.

### 2.5.5. Estructura



*Imagen 30 Levantamiento estructural Casa ceremonial CHINIM JEA*

**Nota:** El levantamiento de la estructura de la casa ceremonial nos permite entender mejor cómo se compone la cubierta hecha con paja toquilla.

La estructura principal está formada por pilares y vigas de chonta. Para la cubierta, se distribuyen correas de madera y tiras de madera cada 30 cm, las mismas que sirven de apoyo para poder amarrar las hojas.

### 2.6. Arcilla



*Imagen 31 Materiales sostenibles*

**Nota:** La arcilla es un material sostenible con características que aportan para la construcción sostenible y sustentable. Reproducida de, Todobarro,2020 ([www.todobarro.com](http://www.todobarro.com)) CC BY 2.0

Linares et al. (1983) explica que las arcillas son materiales naturales ampliamente distribuidos en la superficie de la corteza terrestre. Estos materiales pueden formar masas plásticas al mezclarse con agua, lo que permite fabricar productos cerámicos.

La granulometría de estos materiales arcillosos varía, y se habla de “fracción arcilla” o “fracción fina” para las partículas minerales con un diámetro esférico equivalente o inferior a 2 micras (0.002 mm).

### 2.6.1. *Propiedades de las Arcillas*

Guamán (2019) explica que cuando la arcilla se expone al calor extremo, cambia sus propiedades físicas y químicas, convirtiéndose en cerámica o material cerámico. A temperaturas superiores a los 200 °C, las arcillas pierden su plasticidad y ductilidad, volviéndose incapaces de formar parte de una suspensión coloidal.



*Imagen 32 Arcilla cocida en la construcción*

**Nota:** La arcilla es un material que cambia sus características, mejorando su resistencia cuando se le expone a altas temperaturas. Reproducida de, Public Domain Pictures Pixabay, 2019 ([www.housegrail.com](http://www.housegrail.com)) CC BY 2.0

Para Guamán (2019), las principales propiedades de la arcilla son:

- **Plasticidad:** La arcilla es maleable y puede deformarse bajo cargas de compresión debido a su estructura laminar en el agua.
- **Encogimiento:** La arcilla experimenta encogimiento durante el secado, siendo más notable en la primera cocción (bizcochada).
- **Baja Conductividad Térmica:** Ya sea en su estado de arcilla seca o húmeda, así como en su estado de material cocido o cerámico, se considera un material termoaislante debido a su baja capacidad de conducción de calor.

### 2.7. **La Tierra como Material Constructivo**

La tierra es un material de construcción que ha sido utilizado por el hombre desde tiempos prehistóricos. Es un material no renovable compuesto por arcilla, limo y arena, que posee características especiales como la cantidad de minerales y el porcentaje de los mismos establecidos mediante estudios que permiten su identificación cuantitativa y cualitativa (Molina Contreras & Becerra Becerra, 2020).



*Imagen 33 Casa Terminal*

**Nota:** Los ladrillos de arcilla dentro de una construcción aportan en la parte funcional como en la parte estética. Reproducida de, Archello, 2015 ([www.archello.com](http://www.archello.com)) CC BY 2.0

La tierra como material de construcción ha sido la razón de origen de las primeras unidades de vivienda en las que el desarrollo científico y tecnológico desea implementar estrategias para el mejoramiento de la calidad de la materia prima (Molina Contreras & Becerra Becerra, 2020).

### ***2.7.1. Propiedades de la Tierra como material Constructivo***

#### **2.7.1.1. Zonas de Mayor Producción.**

En la actualidad, la tierra como material de construcción sigue siendo una alternativa viable y sostenible. En un artículo publicado en la revista Hábitat Sustentable, (Zuleta Roa, 2011) destaca la importancia de la tierra como material de construcción sostenible. El autor señala que la tierra es un material accesible y abundante, y que un tercio de la población mundial vive en casas de tierra.

#### **2.7.1.2. Inercia Térmica.**

La tierra actúa como un acumulador que va liberando la temperatura poco a poco. La capacidad de almacenar calor a lo largo del día para retornarla más tarde hace de esta un material propicio para ser utilizado en las distintas condiciones climáticas (Guamán, 2019).

#### **2.7.1.3. Habitabilidad.**

Guamán (2019) explica que, al no existir desprendimientos de gases, en las construcciones de tierra, se logra un clima confortable al interior, debido a que la tierra ayuda a regular la humedad y la temperatura al interior.

#### **2.7.1.4. Aislamiento acústico.**

Los muros contruidos con tierra, son malos transmisores de sonido, de tal modo que evitan el paso del ruido, siendo su aislamiento acústico mucho más efectivo que en los muros convencionales (Guamán, 2019).

### ***2.7.2. Sistemas constructivos en Tierra***

#### **2.7.2.1. Tapial.**

Según Domínguez (2023) el tapial es una técnica de construcción de muros utilizando tierra apisonada entre dos encofrados de madera o de ladrillo. Para construir un muro de tapial, se coloca una primera capa de tierra en uno de los encofrados, se apisona con una máquina o herramienta manual y se vuelve a añadir más tierra, que también se compacta.



*Imagen 34 Casa Mila / Construcción de Tapial*

**Nota:** La construcción con tapial es una técnica muy antigua que aprovecha los beneficios de la arcilla al compactarlos para levantar sus muros. Reproducida de, Escala Urbana Arquitectura, 2011 ([www.flickr.com](http://www.flickr.com)) CC BY 2.0

### 2.7.2.2. Adobe.



*Imagen 35 Ladrillos de Adobe*

**Nota:** Los ladrillos de adobe son un material que por sus características brinda confort térmico al interior de una construcción. Reproducida de, Julien Harneis - Archdaily, 2015. ([www.archdaily.com](http://www.archdaily.com)) CC BY 2.0

El proceso de construcción de un adobe según Guamán (2019) consiste en elaborar un molde en el cual se colocará de manualmente la tierra humedecida (preparada) en capas delgadas y luego apisonar cada una de las capas para que se comprima y forme un todo más denso.

### 2.7.2.3. Bahareque.



*Imagen 36 Construcción con muros de Bahareque*

**Nota:** Los ladrillos de adobe son un material que por sus características brinda confort térmico al interior de una construcción. Reproducida de, Francisco Martínez, 2015. ([www.archdaily.cl](http://www.archdaily.cl)) CC BY 2.0

El sistema en bahareque consiste en el armado de una estructura de madera rellena de tierra. La cimentación de este sistema es corrida y en las esquinas se dejan unas piedras basas que servirán de base para las columnas de madera (Yepez, 2012).

## 2.8. Yeso

El yeso es un material ampliamente utilizado en la construcción debido a su capacidad para endurecerse rápidamente al mezclarse con agua. Según Villanueva (2004) el yeso ha

sido utilizado desde la revolución neolítica hasta nuestros días y ha evolucionado de una producción artesanal a una producción industrial.

El yeso es un material versátil que se puede utilizar para crear una variedad de formas y diseños. Para Arquitectura Pura (2023) el yeso se utiliza en la preparación de superficies de soporte para la pintura artística al fresco, así como en guarnecidos, enlucidos y revoques. Además, se utiliza como pasta de agarre y juntas, y para obtener estucados.

### **2.8.1. Tipos de yesos**

#### **2.8.1.1. Escayola.**

La escayola es un producto industrial, un yeso de alta calidad y grano muy fino, con pureza mayor del 80% en sulfato de calcio hemihidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ ), que se obtiene del yeso natural o aljez. La escayola se utiliza en la construcción para fabricar placas y elementos ornamentales (del Río, 2004).

#### **2.8.1.2. Yeso Blanco.**

Está elaborado con piedras de mayor pureza (contiene mínimo 66% de hemidirato), se caracteriza por tener una granulometría más fina que el yeso negro. Está constituido por sulfato de calcio semihidratado y anhidrita II artificial. No se contamina porque no está en contacto directo con el combustible cuando se calienta. Su uso es por lo regular para dar un acabado liso en enlucidos, refilos, etc (Ordóñez, 2020).

#### **2.8.1.3. Otros tipos de Yesos.**

El denominado yeso mármol o cemento Keene, está constituido por un yeso de enlucido al cual se le adicionan sales de alumbre y es sometido a una segunda cocción, alrededor de los 600 °C. Tiene un fraguado lento y desarrolla una resistencia a la compresión entre los 150 y 200 kg/cm<sup>2</sup> (Rueda, 2017).

Este tipo de yesos se caracterizan por no presentar retracciones ni expansiones. Normalmente se lo utiliza en acabados, sellando juntas o para colocar revestimientos.

### **2.8.2. Aplicación**

#### **2.8.2.1. Molduras.**



*Imagen 37 Molduras de Yeso*

**Nota:** El diseño de molduras para los elementos compositores de fachadas, son más fáciles de trabajar cuando se usa yeso. Reproducida de, Moguerza Construcciones, 2013. ([www.moguerza.blogspot.com](http://www.moguerza.blogspot.com)) CC BY 2.0

Según Rueda (2017) para las molduras se utiliza generalmente la escayola. Luego se realiza el corrido de molduras que consiste en hacer deslizar una terraja con el perfil deseado sobre unas guías. Al moverse la terraja sobre una masa de escayola recién colocada forma la moldura.

#### 2.8.2.2. Estuco.



*Imagen 38 Stucco Professional*

**Nota:** El diseño de molduras para los elementos compositores de fachadas, son más fáciles de trabajar cuando se usa yeso. Reproducida de, ENKI Industrias, 2019. ([www.enki-industrias.com](http://www.enki-industrias.com)) CC BY 2.0

Por otro lado, Rueda (2017) señala que, el estuco es un recubrimiento para muros y cielos rasos, que se extiende con la llana. Está compuesto por escayola o yeso fino, amasado con agua que contiene gelatina, puede contener también pigmentos colorantes.

#### 2.8.2.3. Morteros de Yeso.



*Imagen 39 Mortero de Yeso*

**Nota:** Por lo general los morteros de yeso no son tan resistentes como otros, pero son más prácticos en la obra. Reproducida de, Revista de Diseño My house, 2023. CC BY 2.0

Según Construmatica (2012) el mortero de yeso es una mezcla de yeso, arena y agua. Es menos resistente que otros morteros, pero endurece rápidamente. Normalmente no se utiliza para levantar tabiques de división interior; se emplea con mayor frecuencia para fijar elementos de obra.

### 2.9. Cemento

El cemento es un polvo fino y suave que se utiliza como aglomerante, ya que endurece al entrar en contacto con el agua. Se produce a partir de una mezcla de caliza y arcilla, las cuales se calcinan y posteriormente se muelen. Este proceso da lugar a un material versátil y fundamental en la construcción, utilizado para unir otros elementos y crear estructuras sólidas (Ferrovia, 2022).



*Imagen 40 Cemento*

**Nota:** El cemento es el material de construcción más común que existe por sus características y sus beneficios. Reproducida de, Rubi blog, 2023 ([www.rubi.com](http://www.rubi.com))CC BY 2.0

Según Ferrovial (2022), el cemento presenta diversas ventajas en la construcción:

- **Economía:** El uso del cemento ofrece una solución económica, ya que es un material ampliamente disponible y asequible.
- **Resistencia y durabilidad:** Su vida útil se mide en miles de años, y con el tiempo, incluso se vuelve más robusto. Además, no se ve afectado por la humedad y puede soportar cambios climáticos significativos.
- **Bajo mantenimiento:** Una vez construida, una estructura de cemento requiere muy poco mantenimiento, lo que reduce los costos a largo plazo.
- **Versatilidad:** El cemento se adapta a diversas aplicaciones, desde la construcción de edificios hasta la pavimentación de calles, puentes sobre el mar e incluso la creación de bancos en parques.
- **Resistencia al fuego:** El cemento es un material ignífugo, lo que lo convierte en una excelente opción para edificios importantes como hospitales, escuelas, museos, bibliotecas y bancos.
- **Sostenibilidad:** Además, el cemento actúa como un aislante natural, reduciendo la dependencia de sistemas de calefacción y aire acondicionado.

## 2.10. Elementos Prefabricados



*Imagen 41 Elementos prefabricados*

**Nota:** Los elementos prefabricados aportan grandes beneficios en la obra, sobre todo reducen los tiempos. Reproducida de, Perú construye, 2018. ([www.peruconstruye.com](http://www.peruconstruye.com)) CC BY 2.0

Los elementos prefabricados en la construcción surgieron debido a la necesidad de acelerar y flexibilizar el proceso de construcción. Para Perú Construye (2018), los elementos prefabricados son una tecnología inteligente e industrializada que sirve para construir cualquier tipo de obra, sea de edificación o infraestructura, con una alta calidad, eficiencia energética, rentabilidad y seguridad.

### ***2.10.1. Paneles Prefabricados***

Según explica Construmática (2021) la clasificación de los paneles prefabricados está dado según su peso y su formato:

- **Prefabricados livianos:** son pequeños, livianos y fáciles de manejar. Estos elementos pueden ser colocados manualmente por una o dos personas y su peso no supera los 30 kg.
- **Prefabricados semipesados:** estos elementos requieren de medios mecánicos, como palancas o poleas, para ser colocados. Además, su peso no supera los 500 kg.
- **Prefabricados pesados:** se requiere maquinaria pesada para instalar estos elementos, cuyo peso supera los 500 kg. Además, estos elementos están diseñados de acuerdo a los espacios donde se colocarán.

#### **Por su formato.**

- **Bloques:** Los bloques de ladrillo y hormigón son elementos prefabricados que se utilizan en la construcción de muros. Estos bloques son autoestables, lo que significa que no requieren apoyos adicionales para su colocación.
- **Paneles:** Las placas de fachada, muros de contención y hormigón son ejemplos de elementos prefabricados que tienen una relación significativa entre su grosor y superficie.
- **Elementos lineales:** son elementos esbeltos y cuya sección transversal es mucho menor que su longitud. (columnas, pilotes, vigas).

### ***2.10.2. Tableros de madera***

Estos tableros son fabricados a partir de una mezcla de partículas de madera, fibras, aditivos y conglomerantes que son trabajados bajo condiciones de temperatura y presión controladas. Estos paneles se utilizan en la construcción y en la fabricación de muebles, entre otros usos (Chan et al. 2004).

Para Infomadera (2011), los tableros prefabricados se dividen en dos categorías principales según su uso en el mercado:

- **Tableros estructurales:** Estos tableros se utilizan en la construcción y el embalaje. Los más comunes son el OSB y los tableros contrachapados estructurales.
- **Tableros no estructurales:** Estos tableros se utilizan en la fabricación de muebles. Algunos ejemplos son los tableros de contrachapado decorativos, OSB decorativo y MDF.



*Imagen 42 Tableros de madera*

**Nota:** Tableros de madera generalmente utilizados en el diseño interior, son fáciles de transportar y anclar. Reproducida de, Perú construye, 2018. ([www.peruconstruye.com](http://www.peruconstruye.com)) CC BY 2.0

### **2.10.3. Panel de fibrocemento**



*Imagen 43 Tableros de fibrocemento*

**Nota:** Tableros de fibrocemento, son muy utilizados por su ligereza y sus propiedades dentro de la construcción. Reproducida de, Eternit Perú, 2017. ([www.archdaily.mx](http://www.archdaily.mx)) CC BY 2.0

Los paneles de fibrocemento son un material de construcción que se compone de cemento, agua, fibras minerales y sintéticas, y aditivos. La mezcla de estos componentes produce placas ligeras y rígidas que se utilizan principalmente en la construcción para acabados de cubiertas y recubrimiento de exteriores.

Estas placas son relativamente económicas y rápidas de instalar. Además, se presentan en diferentes longitudes y texturas según los espacios en los que se utilizarán (Buildtecs, 2020).

### **2.10.4. Panel de Yeso**



*Imagen 44 Tableros de Yeso*

**Nota:** Los paneles de yeso se utilizan mucho al interior, sobre todo para levantar tabiques o como acabado de cielo falso. Reproducida de, Placomat, 2020. ([www.placomat.com](http://www.placomat.com)) CC BY 2.0

Las placas de yeso son un material de construcción muy utilizado en la creación de tabiques interiores, cielos falsos y paredes. Están hechas a partir de roca de yeso pulverizado que se somete a una temperatura de 530°F y se cubre con dos capas exteriores de cartón, generalmente reciclado, para dar un acabado natural (USG, 2014).

### **2.10.5. Panel de Tierra**



*Imagen 45 Tableros de arcilla*

**Nota:** Los paneles de tierra no son tan comunes, eso no significa que sus propiedades no sean las mejores, sus propiedades son sobre todo térmicas. Reproducida de, Terracota, 2014. CC BY 2.0

Los paneles de tierra presentan todas las propiedades inherentes a los materiales cerámicos en cuanto a sostenibilidad, resistencia al fuego, aislamiento térmico, etc. La utilización más generalizada del panel cerámico es como elemento de soporte para cubiertas, aunque también es empleado en otras aplicaciones como formación de escaleras, revestimiento de estructuras, voladizos, recrecidos de suelos, cámaras sanitarias, etc (Hisपालyt, 2017).

### **2.10.6. Panel Vegetal**



*Imagen 46 Paneles de paja prefabricados*

**Nota:** Los paneles de paja son otra alternativa para la construcción, además de ser amigable con el ambiente, es buen aislante térmico. Reproducida de, Natural Building, 2021. CC BY 2.0

Los paneles vegetales son una alternativa que permite una mayor utilización y optimización de los recursos renovables en los procesos constructivos, con el objetivo de disminuir la proliferación de materiales constructivos no sostenibles. Algunos estudios utilizan residuos de biomasa con procesos técnicos para generar paneles de bajo impacto, con características térmicas favorables para los procesos ambientales (Alpha Hardin, 2022).

### **2.10.7. Panel y tablero de arroz**



*Imagen 47 Panel y tablero de arroz*

**Nota:** En la construcción la búsqueda de nuevos materiales biodegradables ha llevado a la experimentación con las fibras de arroz. Reproducida de, RH 50 Insulating panel by rice House, 2024

Los paneles y tableros de arroz son materiales de construcción que presentan rigidez o semirrigidez. Están elaborados a partir de la cáscara de arroz y otras fibras naturales, que se comprimen y garantizan su calidad. Estos materiales suelen utilizarse como aislantes, tanto térmicos como acústicos, para paredes, pisos y techos (García & Vangsbo, 2024).

Es interesante que la cáscara de arroz contenga mucha sílice, lo que le da propiedades adicionales. De hecho, actúa como un pesticida natural contra ciertas plagas e insectos. Así que, además de su uso en construcción, estos paneles también ayudan a mantener un entorno sostenible y controlar las plagas.

#### ***2.10.8. Tableros de Cáñamo***



*Imagen 48 Tableros de Cáñamo*

**Nota:** El cáñamo es otra de las fibras que se ha demostrado su funcionamiento dentro del campo de la construcción. Reproducida de, ARUP, 2024.

Estos paneles se utilizan principalmente en la construcción para sistemas de paredes, incluyendo paredes externas, particiones internas y paneles de aislamiento. Su flexibilidad permite un corte y conformado sencillo, lo que facilita una construcción eficiente (García & Vangsbo, 2024).

Para García & Vangsbo (2024) los paneles de cáñamo presentan una característica clave en cuanto a su transpirabilidad. Permiten que la humedad atraviese el material, evitando la acumulación de condensación y contribuyendo a mantener una buena calidad del aire en espacios interiores.

#### ***2.10.9. Paneles y Tableros de Lana de Madera***



*Imagen 49 Tableros de lana de madera*

**Nota:** Como alternativa de las fibras naturales, se elabora una mezcla que contenga cemento, misma que ayude en la resistencia de este tablero. Reproducida de, ARUP, 2024.

Los paneles de lana de madera se fabrican mediante una combinación de fibras de madera, agua y cemento Portland. La lana de madera se mezcla con cemento Portland y agua para proporcionar al producto la resistencia y estructura necesarias para soportar cualquier entorno. Una vez que los tres componentes están ensamblados, se prensan en grandes bloques de fibra de madera (García & Vangsbo, 2024).

Estos paneles de lana de madera se utilizan principalmente como revestimientos de pared. Sin embargo, debido al aire atrapado entre las fibras, también presentan buenas propiedades térmicas y acústicas.

## **2.11. Métodos de elaboración de paneles**

Como lo explica Guamán (2019) en su investigación, los paneles pueden ser fabricados de diferentes maneras, y la elección del método a utilizar depende de los materiales que se utilizarán, el tiempo de elaboración y la accesibilidad a las herramientas.

### ***2.11.1. Método Continuo***

El método de producción continua se utiliza con mayor frecuencia en la fabricación industrial de paneles. Este proceso implica colocar el material preparado en una banda o prensa de doble cinta, donde el producto final se produce de manera continua y homogénea.

Este tipo de procedimientos agilizan los tiempos de fabricación, favoreciendo la construcción.

### ***2.11.2. Método Discontinuo***

El proceso de producción discontinua se basa en verter la mezcla en moldes ya construidos con sus medidas respectivas. Luego, se debe esperar el fraguado del panel para poder retirarlo de su molde, curarlo, almacenarlo y finalmente distribuirlo.

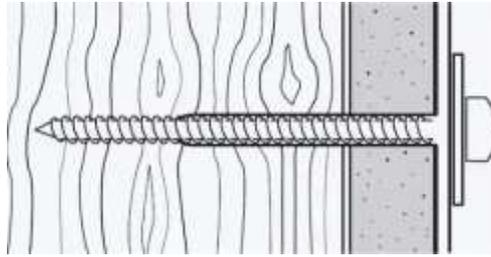
## **2.12. Instalación de Paneles**

En la construcción con paneles prefabricados, se utiliza una estructura rígida que sirve como soporte para los paneles que conforman el tabique. La elección del tipo de estructura rígida se basa en la resistencia del panel a cortes o perforaciones, así como en la resistencia suficiente para soportar el peso del tabique (Cidark, 2021).

### ***2.12.1. Fijaciones***

Las fijaciones en los tableros prefabricados son elementos que se utilizan para unir los tableros a la estructura del panel. Según Cidark (2021) los tableros se pueden fijar a la estructura utilizando clavos o tornillos. Es recomendable fijarlos desde el centro de los tableros hacia los bordes, dejando el perímetro para el final.

#### **2.12.1.1. Tornillos autorroscantes.**



*Imagen 50 Tornillo autorroscante*

**Nota:** Los tornillos están presentes en la mayoría de construcciones, debido a su facilidad para perforar y anclar elementos constructivos. Reproducida de, Ikea, 2016.

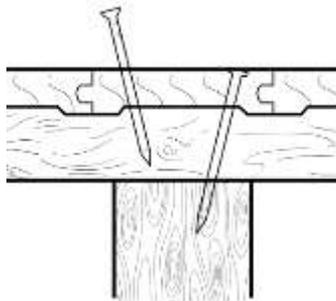
Son tornillos que, por su morfología, al roscarse en su alojamiento, cortan y deforman el material hasta formar una rosca hembra métrica. Para explicarlo de forma sencilla, los tornillos autorroscantes son aquellos que forman su propia rosca en el orificio al introducirlos para el atornillado. Su anatomía es muy parecida a la de un tornillo convencional: cabeza, vástago y punta (Tormetal, 2022).

Su resistencia mecánica a los esfuerzos de corte es mayor que la de los clavos.

#### 2.12.1.2. Clavos.

Los clavos son elementos de fijación metálica que se utilizan para unir tableros de madera. El tipo de clavo más utilizado es de fuste de adherencia mejorada, con resaltes en la forma de cuñas o helicoides. Están hechos de acero y tienen una resistencia entre 4000 y 8000 daN/cm<sup>2</sup>. Los clavos tienen un diámetro que varía entre 0,7 y 9 mm y una longitud que oscila entre 7 y 310 mm (Decarpinteria, 2018).

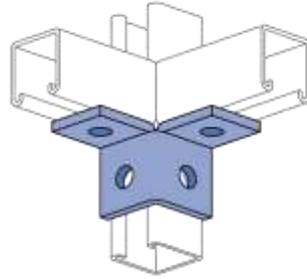
Es importante elegir el tipo de clavo adecuado para el proyecto, ya que esto puede afectar la calidad y la durabilidad de la construcción.



*Imagen 51 Fijación con clavos*

**Nota:** Los clavos son el material por excelencia en la construcción, especialmente son utilizados para fijar elementos fabricados con madera. Reproducida de, Ikea, 2016.

### 2.12.1.3. Uniones Mecánicas.



*Imagen 52 Fijaciones mecánicas*

**Nota:** Las fijaciones son otro tipo de anclajes, en los cuales se prioriza el uso de elementos metálicos para armar una estructura. Reproducida de, Ikea, 2016.

Son elementos que se utilizan para mantener la posición relativa entre varias piezas, limitando el movimiento entre las piezas y los grados de libertad de estas. Estos sistemas de unión utilizan elementos metálicos como pasadores y placas, y requieren un material adicional para transmitir los esfuerzos. En la prefabricación, las uniones son un punto crítico y podrían clasificarse en dos tipos: las que se aplican a construcciones de alta demanda sísmica y las que no (Bearcat, 2020).

## 2.13. Métodos Constructivos Similares

### 2.13.1. Drywall



*Imagen 53 Construcción drywall*

**Nota:** Las construcciones bajo el sistema drywall se hacen cada día más populares, debido a su rápido armado en construcción. Reproducida de, CEBS Servicios Generales, 2021.

El sistema drywall es un método de construcción en seco que se utiliza en la construcción de interiores y acabados. Este sistema se compone de una estructura de perfiles de acero galvanizado de bajo peso y espesor que lleva un revestimiento de placas de yeso laminado y celulosa (para el interior) o fibrocemento (para el exterior). El drywall es un material económico y fácil de usar que permite hacer construcciones elaboradas en muy poco tiempo y con un resultado similar al clásico ladrillo y cemento (Mapfre, 2021).

### 2.13.2. Balas de Paja

Este sistema es una alternativa sostenible y económica a la construcción tradicional, ya que las balas de paja son un material renovable y abundante. Además, son un excelente

aislante térmico y acústico, lo que las hace ideales para la construcción de viviendas y edificios. Este sistema se puede utilizar para construir muros, techos y otros elementos estructurales, y se puede combinar con otros materiales de construcción, como el adobe o la madera (Ecodome, 2017).



*Imagen 54 Construcción balas de Paja*

**Nota:** Construcción elaborada con balas de paja y estructura de madera que se incorporan dentro del entorno en el que se encuentran. Reproducida de, LEVANTE El mercantil valenciano, 2017.

### ***2.13.3. Paja Encofrada***

Es una técnica de construcción que se utiliza para hacer tabiques o muros de edificios auxiliares. Consiste en colocar la mezcla de paja y barro en un encofrado de madera, que se retira una vez que la mezcla se ha secado. La paja encofrada es una técnica sencilla y económica, se utiliza en paredes que no reciben mucha luz solar directa para mantener una temperatura constante en toda la edificación (Taller Construcción con Paja y Barro, 2018).

Estos métodos alternativos en la construcción, son muy válidos ya brindan nuevas posibilidades a la hora de edificar, además de acortar tiempos, algunos reducen las emisiones de gases de efecto invernadero, como la paja encofrada, lo que los convierte en un elemento biodegradable.

## **CAPÍTULO III. METODOLOGÍA**

### **3.1. Tipo de Investigación**

El proyecto está establecido bajo una investigación cuantitativa, con un alcance descriptivo, que permita desarrollar una propuesta arquitectónica, en donde se tomará en cuenta el valor constructivo de la paja toquilla dentro de la elaboración de paneles para la construcción.

Para llevar a cabo la presente investigación, se establecen cuatro etapas.

- Una primera etapa de análisis de los estudios existentes, revisando su fundamento teórico y los resultados obtenidos con respecto a las fibras naturales y los ciertos conglomerantes, así como su uso y el respectivo proceso de elaboración. Además, de un análisis constructivo, que permita observar el funcionamiento de la de paja toquilla como un elemento de cobertura en una construcción shuar.
- La segunda etapa será de pruebas técnicas en los laboratorios de la Universidad Nacional de Chimborazo las mismas que permitan determinar las características físicas de hinchamiento, aislamiento acústico, resistencia al fuego y conductividad térmica, de los paneles propuestos, así como sus propiedades mecánicas de compresión y flexión, según la normativa vigente.
- Después de la etapa de experimentación en el laboratorio, se obtienen una serie de resultados y afirmaciones que permiten determinar el valor constructivo y el comportamiento de la paja toquilla en la fabricación de paneles prefabricados.
- Finalmente, la cuarta etapa servirá para desarrollar un modelo de vivienda social a partir de los resultados obtenidos en la fase experimental, documentando el proceso de elaboración del panel y su aplicación de forma técnica.

### **3.2. Marco Normativo**

En el ámbito de la construcción, se establecen ciertas normas que regulan la seguridad y calidad de una edificación. Estas normas especifican claramente los parámetros que los materiales deben cumplir para ser eficientes y factibles en una obra.

Para comenzar los ensayos de laboratorio de cada probeta, se deben cumplir las normas establecidas por el INEN, el organismo oficial ecuatoriano encargado de la normalización, certificación y metrología, a través de la norma ecuatoriana de la construcción. Dado que los lineamientos para la fabricación de tableros de yeso, tierra o similares no están contemplados en las NEC, se recurre a la Norma Española de la Construcción a través de AENOR, el organismo responsable del desarrollo y difusión de las normas técnicas en España.

Estas normas permiten establecer los parámetros adecuados para el cumplimiento de los paneles en aspectos como la resistencia a la flexión y compresión, resistencia al fuego, humedad y capacidad térmica.

Es importante mencionar que, al tratarse de una investigación exploratoria, se llevarán a cabo pruebas detalladas de resistencia a la flexión y compresión, resistencia a la humedad e hinchamiento, capacidad térmica y resistencia al fuego. Las demás pruebas se dejarán para una posible investigación.

### **3.2.1. Resistencia a flexión**

La norma española AENOR sugiere que las dimensiones de las probetas para el método de resistencia a la flexión de los morteros de cemento hidráulico se rigen por la norma americana ASTM C348 (2002). Para cumplir con esta norma, se deben establecer tres probetas con moldes de 160x40x40mm, con tolerancias en sus dimensiones entre lados opuestos de 0.40 y  $\pm 0.3$ mm, altura +0.25 y -0.15mm, longitud interior de 160 y  $\pm 2.5$  mm. El procedimiento comienza pesando los materiales, luego pasa por un proceso de mezclado según cada dosificación, amasando la mezcla de forma manual durante 30 segundos. Posteriormente, se procede a colocar la mezcla dentro del molde, tomando su forma y terminando con un acabado liso y uniforme. El desmolde se realiza después de 45 minutos, y finalmente, la probeta se deja secar a temperatura ambiente durante 7 días antes de su ruptura.

La norma española UNE 13279-1 (2009) establece que la resistencia a la flexión de los yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción debe ser igual o superior a 1.0 N/mm<sup>2</sup>.

### **3.2.2. Resistencia a Compresión**

Para los ensayos a compresión se considera la norma ASTM C109 / C109M-02, que establece el uso de tres probetas con moldes cúbicos de 50 mm por arista, y tolerancia en sus dimensiones entre lados opuestos de 0.13 mm y altura hasta 0.13 mm. El procedimiento comienza pesando los materiales, luego pasa por un proceso de mezclado según cada dosificación, amasando la mezcla de forma manual durante 30 segundos. Posteriormente, se procede a colocar la mezcla dentro del molde, tomando su forma y terminando con un acabado liso y uniforme. El desmolde se realiza después de 45 minutos, y finalmente, la probeta se deja secar a temperatura ambiente durante 7 días antes de su ruptura.

La norma española UNE 13279-1 (2009), que se refiere a los yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción, establece que la resistencia a compresión de los yesos debe ser igual o superior a 2.0 N/mm<sup>2</sup>.

### **3.2.3. Ensayo de Porosidad**

El análisis de la porosidad es de gran relevancia, ya que está relacionado con otras características, como la resistencia. Para calcular el porcentaje de porosidad en un elemento, se sigue la norma UNE-EN:2005+A1 (2010), que establece que la porosidad de los objetos fabricados con yeso se determina midiendo su peso inicial y su peso cuando está completamente saturado de líquido.

### 3.2.4. Resistencia al Hinchamiento

Para realizar los ensayos de hinchamiento, se sigue la norma UNE-EN 520:2005+A1 (2010). Esta norma establece que, al medir el hinchamiento, se deben consultar las directrices de la norma alemana DIN 98761-1. Dicha norma especifica los requisitos para los tableros de partículas de uso general y establece que el hinchamiento después de 2 horas de inmersión no debe superar el 8%.

### 3.2.5. Conductividad Térmica y Transmisión Térmica

Para calcular la conductividad térmica de las probetas, se utiliza la norma Chilena NCH 853 “Acondicionamiento térmico, envolvente térmica de edificios, cálculo de resistencias y transmitancia térmicas”. Esta norma establece los procedimientos de cálculo para determinar las resistencias y transmitancias térmicas de elementos constructivos, en particular los de la envolvente térmica, como muros perimetrales, complejos de techumbres y pisos, y cualquier otro elemento que separe ambientes de temperaturas distintas.

Para llevar a cabo el ensayo de resistencia al fuego de elementos constructivos, como paredes y divisiones, columnas, vigas, losas, pisos o techos, se deben simular dos cámaras (dos habitaciones), una de aire caliente o confinado y otra de aire ambiente. Para ello, se construye una caja de madera, que se impermeabiliza por dentro con Poliestireno expandido (espuma Flex) y en las esquinas con cinta para evitar el escape o ingreso de aire. Los paneles a ensayar se colocan en el espacio para separar las dos cámaras. Para realizar el ensayo, se requiere una fuente de calor para la cámara caliente, que en este caso es un foco de 100W. Antes de encender el foco, se toma la temperatura inicial, luego se coloca la tapa de la caja y se procede a tomar los datos en intervalos de tiempo de 1, 30 y 60 minutos, introduciendo los termómetros en cada una de las cámaras. Este proceso se repite con cada uno de los paneles a ensayar.

Según Tudela (1982) el rango de coeficiente de conductividad térmica en los materiales de construcción va desde 0.03 W/m°C en aislantes hasta valores mayores de 200 W/m°C.

Para obtener el resultado de este ensayo, se utilizó una fórmula que se basa en la ley de Fourier para el flujo de calor a través de una pared plana. La fórmula aplicada es la siguiente:

$$Q = kA \frac{(t_2 - t_1)}{L}$$

Donde:

K= Conductividad térmica

A= Área del material

L= Espesor del material

Q= Índice de transferencia de calor

T1= Temperatura final

T2= Temperatura inicial

$\Delta T$ = Variación de tiempo

### 3.2.6. Resistencia al Fuego

La norma técnica ecuatoriana NTE INEN 804 establece un método de ensayo para determinar la resistencia al fuego de elementos constructivos, como paredes, columnas, vigas, losas, pisos o techos. El método de ensayo consiste en someter a una probeta normalizada del elemento constructivo al fuego en un horno, bajo condiciones de presión y temperatura controladas, y medir el tiempo durante el cual la probeta es resistente al fuego, según los criterios de integridad, capacidad de aislamiento y estabilidad del elemento constructivo. La norma se aplica a elementos estructurales y otros elementos constructivos, excluyendo puertas, ventanas y elementos constructivos de vidrio.

Clasificación según la resistencia al fuego. Norma NTE INEN 804:

<b>RESISTENCIA AL FUEGO</b>	
<b>Aplicación</b>	<b>Clasificación / Resistencia</b>
Residenciales	F 30 minutos
Edificios	F 60 minutos

*Tabla 3 Clasificación de la resistencia al fuego*

**Nota:** Tabla para identificar la resistencia al fuego según la normativa. Reproducida de, Norma NTE INEN 804.

### Artículos 4.3.2, 4.3.3 y 4.3.4 de la O.G.U.C (Miduvi)

Estos artículos establecen los parámetros de resistencia en minutos que deben cumplir los paneles que son ensayados.

<b>ELEMENTOS HORIZONATALES</b>		
<b>TIPO</b>	<b>Elementos soportantes horizontales</b>	<b>Techumbre incluido cielo falso</b>
a	F – 120	F – 60
b	F – 90	F – 60
c	F – 60	F – 30
d	F – 30	F – 15

*Tabla 4 Clasificación de la resistencia al fuego*

**Nota:** Tabla para identificar la resistencia al fuego según la normativa. Reproducida de, O.G.U.C Miduvi.

### 3.3. Análisis de estudios Referenciales

#### 3.3.1. Panel de Arcilla Reforzada con Fibra



*Imagen 55 Probetas de panel hecho de arcilla y fibras*

**Nota:** Elaboración de las probetas a base de arcilla y fibras para ensayos físicos y mecánicos. Reproducida de, Guamán Jessica, 2019.

Proyecto: “Elaboración de un panel a base de arcilla reforzado con fibra natural, para división de espacios interiores”

Autor: Guaman Morocho Jessica Alexandra.

Año: 2019

#### **Resumen.**



*Imagen 56 Probetas de Arcilla curadas*

**Nota:** Etiquetado de cada probeta de arcilla para los ensayos físicos y mecánicos a. Reproducida de, Guamán Jessica, 2019.

Esta investigación propuso la elaboración de un panel a base de arcilla, aditivos naturales como el nopal, fibras naturales y productos industriales como la cola blanca para la elaboración de un composite como nueva alternativa de construcción. La investigación buscó aprovechar y conocer las ventajas y desventajas de cada uno de los materiales del componente para mejorar sus características físicas-mecánicas y obtener un material innovador y mejorado. La elección de los materiales se basó en el costo, producción, uso y su disponibilidad. Una vez determinados los materiales, el diseño de las probetas estuvo sujeto a una dosificación que cumpliera con las pruebas mecánicas dispuestas según la normativa correspondiente.

#### **Conclusiones.**

Luego de los ensayos realizados a las probetas, se concluye que las fibras de bagazo de caña y de cabuya son adecuadas como materia prima para para reforzar los paneles, debido

a su resistencia y flexibilidad. Comprobando que los paneles alcanzaron una resistencia a la compresión óptima, dentro de los rangos de 40 kg/cm<sup>2</sup> a 70 kg/cm<sup>2</sup>, cumpliendo con la norma europea UNE EN 12859, que establece las características y especificaciones para paneles de yeso con una resistencia de 30 kg/cm<sup>2</sup> a 35 kg/cm<sup>2</sup>.



*Imagen 57 Paneles de arcilla*

**Nota:** Al finalizar todos los ensayos físicos y mecánicos, se proponen tres tipos de paneles con distintas medidas cada uno. Reproducida de, Guamán Jessica, 2019.

### **Metodología experimental:**

Caracterización de los componentes:

- Se llevan a cabo pruebas con diferentes dosificaciones de los componentes para encontrar una proporción que responda mejor a los esfuerzos de flexión y compresión.
- Se emplea la cola vinílica y el mucilago de nopal a las mezclas, de tal manera que permita observar cómo responden cada una de ellas y en conjunto.
- Luego de un tiempo de secado de 45 días, las probetas se llevan al laboratorio para realizar todos los ensayos.

Métodos de ensayo

#### **Pruebas de laboratorio:**

- Resistencia a compresión
- Resistencia a flexión
- Conductividad térmica y transmisión térmica
- Resistencia al hinchamiento
- Resistencia al fuego.
- Prueba de perforación-anclaje y corte

#### **Componentes:**

- Fibra de bagazo de caña de azúcar
- Cabuya
- Baba de Nopal (Tuna)

- Cola de dispersión
- Arcilla

### 3.3.2. *Panel de Yeso Reforzada con Fibra*



*Imagen 58 Mezcla de Yeso y Fibra*

**Nota:** Proceso de elaboración de dosificación para probetas de yeso y fibras. Reproducida de, Rueda Andrea, 2017.

Proyecto: “Paneles de yeso con fibra de banano y su uso en la construcción”

Autor: Rueda Sarango Andrea del Rocío.

Año: 2017



*Imagen 59 Mezcla homogénea*

**Nota:** Proceso de elaboración de dosificación para probetas de yeso y fibras. Reproducida de, Rueda Andrea, 2017.

### **Resumen.**

La investigación tuvo como objetivo reciclar la fibra vegetal de banano, que se obtuvo del tronco de la planta que generalmente es eliminada. Para ello, se siguió un proceso que inició desde la etapa de recolección, tratamiento para la eliminación de residuos orgánicos, y distintas formas de ubicar la fibra dentro de la matriz conformada por yeso y cal. Una vez concluido con el proceso de elaboración y secado de las probetas, fueron sometidas a los distintos ensayos en el laboratorio, de manera que permita comprobar la incidencia de la fibra de banano, dentro de las características físicas y mecánicas. Debido a que se establecieron probetas con fibra y sin fibra.

### **Conclusiones.**

Luego de realizar las pruebas de laboratorio se estableció que “El panel de yeso con fibra de banano”, cumplió con las especificaciones técnicas necesarias para ser aplicado en la

construcción. Las medidas de los paneles son de 90x60x2 cm y es ideal para utilizarse en la construcción al interior, como cielo falso o mampostería, dadas sus condiciones físicas y su resistencia mecánica. Además de ser un elemento amigable con el ambiente, es fácil de cortar e instalar.



*Imagen 60 Pesaje y Medición de Probetas*

**Nota:** Proceso de pesaje y medición de probetas elaboradas con yeso y fibras para realizar los ensayos de laboratorio y de campo. Reproducida de, Rueda Andrea, 2017.

### **Metodología experimental:**

- Caracterización de los componentes.
- Elaboración y experimentación de las probetas con distintas composiciones. Se inicia con la recolección y limpieza de la fibra con cal, seguido del secado y corte.
- Ensayos físico-mecánicos de laboratorio, como flexión, capilaridad, porosidad, hinchamiento, resistencia al fuego, ensayo acústico, envejecimiento, perforación y anclaje.
- Selección de la dosificación más adecuada para construir el panel tipo y poder aplicarlo en una vivienda.

Métodos de ensayo:

Pruebas de laboratorio:

Propiedades Mecánicas

- Ensayo a flexión

Propiedades Físicas

- Ensayo de capilaridad
- Ensayo de porosidad
- Ensayo de hinchamiento
- Ensayo de resistencia al fuego
- Ensayo acústico de las probetas
- Ensayo de envejecimiento

Componentes:

- Fibra de banano
- Yeso
- Cola de dispersión
- Cal

### 3.3.3. *Panel de Yeso Reforzada con Fibras Naturales*

Proyecto: “Elaboración de un panel prefabricado de yeso con fibras naturales, como alternativa para acabado de la construcción de cielo raso y paredes”



*Imagen 61* Elaboración de Probetas de Yeso y fibras vegetales

**Nota:** Proceso de medición de materiales y dosificaciones para elaboración de probetas de yeso y fibras naturales. Reproducida de, Cristian Ordóñez,2020.

Autor: Ordóñez Crespo Cristian Andrés.

Año: 2020

#### **Resumen.**

La investigación se enfoca en la fabricación de paneles prefabricados de yeso con fibras naturales, específicamente la fibra vegetal de banano. El proceso de experimentación se realizó artesanalmente siguiendo los patrones existentes de fabricación local, lo que permitió obtener un sistema de panel con cualidades de aislamiento térmico, trabajo de textura y alternativas geométricas aplicables en los espacios internos de la edificación. Los materiales empleados, yeso y fibras, obtuvieron una respuesta favorable según los análisis aplicados en laboratorio, considerando las normativas técnicas referidas al material. El resultado de la investigación propone el modelo de panel de yeso con fibra como una alternativa ecológica y sostenible para la conformación de elementos de innovación desde una perspectiva constructiva.

#### **Conclusiones.**



*Imagen 62* Secado de probetas de yeso y fibra

**Nota:** Proceso de secado de probetas de yeso y fibras naturales para posterior ejecutar las pruebas de campo y laboratorio. Reproducida de, Cristian Ordóñez,2020.

Las fibras naturales elegidas para la fabricación de paneles prefabricados de yeso cumplen con la función de compactar, reforzar y estabilizar los paneles, lo que garantiza un mejor comportamiento del elemento frente a los esfuerzos a los que se encuentra sometido en el uso dentro de las construcciones. La cabuya permite mejorar el comportamiento del material garantizando su durabilidad de forma ecológica.

### **Metodología experimental:**



*Imagen 63 Paneles de yeso y fibra vegetal*

**Nota:** Proceso de experimentación de probetas para elaboración de paneles de yeso y fibras vegetales. Reproducida de, Cristian Ordóñez,2020.

- Análisis documental de caracterización de los materiales de yeso y fibras naturales.
- La fase experimental de diseño se llevó a cabo mediante la propuesta de un prototipo de panel.
- Experimentación en laboratorios aplicando las normativas UNE-EN-13279-2 (Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción). Norma UNE-EN-13279-1 (Yesos para la construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción) y la norma UNE-EN-12859 (Paneles de yeso).

Métodos de Ensayo:

Experimentación en laboratorio

Propiedades Mecánicas:

- Ensayos a compresión
- Ensayos a flexión

### **Componentes:**

Fibra de bagazo de caña de azúcar

- Cabuya
- Viruta de pino
- Cola de dispersión
- Arcilla

### 3.4. Materiales y Métodos de Elaboración

Para llevar a cabo la elaboración de las probetas se tomaron en cuenta diversos materiales que en contacto con la fibra de paja toquilla, se espera que reaccionen de manera positiva. La intención de probar con distintos materiales es observar los resultados en cada una de los ensayos de laboratorio planteados, con el fin de determinar la probeta con mejores características, que garantice un correcto funcionamiento dentro de la construcción de elementos divisorios no estructurales.

### 3.5. Materiales Vegetales

#### 3.5.1. Paja Toquilla



*Imagen 64* Recolección de la Paja Toquilla

**Nota:** Se realiza la cosecha de los cogollos de paja toquilla en plantas que han cumplido su proceso de maduración de tres años.

La paja toquilla utilizada en la investigación se extrajo de cinco comunidades diferentes de la Provincia de Morona Santiago, en donde esta planta se utiliza para la construcción de sus cubiertas.

- Muestra 01: Cantón Morona / Comunidad Jimbitono.
- Muestra 02: Cantón Morona / Comunidad San Isidro.
- Muestra 03: Cantón Morona / Comunidad Sagrado Corazón.
- Muestra 04: Cantón Sucúa / Comunidad Seipa.
- Muestra 05: Cantón Sucúa / Comunidad Santa Marianita.

#### 3.5.1.1. Tratamiento de la Paja Toquilla.



*Imagen 65* Abertura y Desvenado de las hojas

**Nota:** El procedimiento de abertura y desvenado se lo realiza tratando de cuidar que las hojas no se dañen.

Para recolectar la paja toquilla, se tiene que identificar los mejores cogollos, estos oscilan entre los 80 a 90 cm de largo.

Se procede a cortar el cogollo aplicando un corte a 45°, de arriba hacia abajo, cuidando de no dañar las demás hojas (1). El siguiente paso es abrir el cogollo, para esto se golpea levemente los cogollos en una superficie dura, de manera que sus hojas queden desplegadas (2). Una vez separadas las hojas, se procede a desvenarlas, haciendo uso de un objeto con una punta en su extremo, separando las fibras (3).

Se selecciona y se separa la fibra gruesa de la fina (4). Luego de ello, las fibras pasan por un proceso de cocción, en una cocina de leña. Se colocan las fibras dentro de una paila con agua hirviendo, durante 10 minutos (5). Una vez terminada su cocción, las fibras son retiradas y tendidas durante otros 10 minutos, para que se escurran y se enfríen (6).



*Imagen 66 Cocinado y secado de las hojas*

**Nota:** La cocción de las fibras de paja toquilla se hace con el fin de darle un tratamiento, previo a su uso como material constructivo.

Luego de haberse enfriado se procede a desatarlas y sacudirlas para luego ser tendidas sobre cordeles o alambres, de tal modo que se sequen con el sol. En días soleados este proceso tarda un día (7).

### **3.5.2. Mucílago de Nopal**



*Imagen 67 Picado de Nopal y reposo en agua*

**Nota:** El mucílago de nopal sirve como un elemento ligante que le brinda otro tipo de resistencia a las probetas.

Se considera el uso del mucílago de nopal debido a sus propiedades en la construcción, ya que aumenta la resistencia mecánica de un elemento y reduce su permeabilidad.

Para extraer el mucílago del nopal, se limpian las hojas, quitando los restos de las espinas y luego son picadas en pequeños trozos. Los restos picados son colocados en un recipiente,

luego se le agrega agua limpia bajo una relación de 1:1. Después de un lapso de 72 horas filtra el contenido del recipiente, obteniendo así, el mucílago de nopal.

### 3.6. Materiales Sintéticos

#### 3.6.1. Cola vinílica o Industrial. (Cola de carpintero)



*Imagen 68 Cola Vinílica*

**Nota:** Cola vinílica como complemento para las dosificaciones propuestas. Reproducida de, Maderera la avenida, 2020. CC BY 2.0

Se requiere un galón de cola vinílica para la elaboración de los paneles, de tal manera que nos permita determinar su reacción y si resulta ser un material adecuado.

Se selecciona la cola vinílica, debido a sus propiedades mecánicas, dado a que presenta una excelente resistencia, además de un secado rápido. La cola vinílica se la puede adquirir en cualquier ferretería.

### 3.7. Materiales Minerales

#### 3.7.1. Arcilla o Tierra



*Imagen 69 Extracción de Tierra Arcillosa*

**Nota:** Tierra arcillosa extraída de una mina cerca de una fábrica de ladrillos cocidos.

La arcilla utilizada para la elaboración de los paneles, se obtuvo de una pequeña mina ubicada en la parroquia Río Blanco de la provincia de Morona Santiago. En este sector una familia se dedica a la fabricación de ladrillos y tejas de manera tradicional, Se extrajeron 2 sacos de 80 kg cada uno, a un precio de \$5.00 por saco.

La muestra de tierra que se extrajo cuenta con un elevado contenido de arcilla, ideal para la realización de las probetas.

### 3.7.2. Yeso

Para la práctica fue necesario adquirir un saco de 50 kg de yeso blanco a un costo de \$7.15, debido a sus características y propiedades físicas y mecánicas. Otra de las bondades del yeso, es su trabajabilidad y fraguado rápido, además es de fácil obtención, ya que se lo puede encontrar en cualquier ferretería.

Este material es muy utilizado como aislante, además de ser resistente y duradero, es ideal en la prefabricación de elementos constructivos.

### 3.7.3. Cemento



*Imagen 70 Yeso y Cemento*

**Nota:** Los materiales conglomerantes elegidos son el cemento y el yeso, la intención es probar mezclas distintas haciendo uso de estos elementos.

Para poder comprobar cómo actúa la paja toquilla en diferentes materiales aglomerantes, se adquirió un saco de cemento de 50 Kg. De esta manera se pretende realizar probetas que contengan mayor contenido de cemento y observar su reacción al ser reforzado con las fibras de paja toquilla. Este material es de fácil acceso, ya que lo podemos encontrar en cualquier ferretería cercana, el precio del saco de 50 kg. es de \$ 7.15.

### 3.7.4. Cal

Otro de los materiales utilizados para llevar a cabo la elaboración de los paneles, fue la cal. Se adquirió un saco de 25 kg de cal viva en la ciudad de Riobamba, en una pequeña calera ubicada al norte de la ciudad a un precio de \$ 5.00. Para poder hacer uso de la cal, se procedió con el respectivo apagado, el cual consiste en mezclar la cal viva con agua, este proceso genera una enorme cantidad de calor, haciendo que la mezcla llegue al punto de ebullición, se la deja reposar mínimo por 16 horas dentro del recipiente.



*Imagen 71 Proceso de apagado de Cal viva*

**Nota:** Se realiza el proceso de apagado de cal, dejando reposar por 24 horas, en un proceso químico donde reacciona la cal y el agua.

Pasado ese tiempo obtenemos una pasta, la misma que se debe manipular con guantes.

### **3.8. Equipos para Pruebas de Laboratorio**

Los equipos y herramientas que se utilizaron durante los procesos de experimentación y pruebas, dentro de los laboratorios de la Universidad Nacional de Chimborazo, nos permitirán medir con precisión cada uno de los parámetros establecidos durante la experimentación del panel.

Para los equipos que no se encontraban dentro de las instalaciones de los laboratorios de la universidad, fue necesario su construcción o adaptación. Siendo el caso de la caja térmica, misma que permite determinar el valor de conductividad térmica de los paneles, así como también el mechero para el ensayo de resistencia contra el fuego.

#### **3.8.1. Balanza Electrónica**



*Imagen 72 Balanza electrónica de precisión*

**Nota:** La balanza electrónica ayudará en el proceso de medición exacta de los gramos utilizados por cada dosificación.

Para poder llevar a cabo las dosificaciones de las probetas, es necesario la utilización de una balanza electrónica, que nos permita medir las cantidades con precisión. El pesaje de los materiales y de las probetas resultantes, se lo realiza con dicha balanza, determinando su valor en gramos.

#### **3.8.2. Caja para ensayo Térmico**



*Imagen 73 Caja Térmica*

**Nota:** Se elabora una caja térmica para llevar a cabo la experimentación y determinar el porcentaje de transmisión térmica.

Se construye una caja elaborada de manera artesanal para la medición térmica, según la normativa NCH 853 de acondicionamiento térmico, envolvente térmica de edificios, cálculo de resistencias y transmitancia térmicas.

La caja ha sido construida con mdf de 9mm. Sus dimensiones son 50 cm de profundidad por 25 cm de altura. La caja simula dos habitaciones, separadas por una porta panel en el centro. Una capa de poliestireno reviste el interior de la caja, sellando sus esquinas con cinta aislante.

### **3.8.3. Equipo de Prueba para Resistencia al fuego**



*Imagen 74 Soplete de fuego*

**Nota:** Es necesario conseguir un soplete para llevar a cabo la prueba de resistencia al fuego directo, este soplete se puede conseguir en cualquier centro comercial.

Otro de los ensayos necesarios es el de resistencia al fuego directo en las probetas de los paneles de paja toquilla. De este modo se logra determinar la resistencia de los paneles frente a la exposición contra el fuego. Para esta prueba se hace uso de un soplete alimentado por gas licuado, es necesario llevar a cabo estos ensayos al aire libre, en espacios abiertos, para evitar accidentes.

### **3.8.4. Equipo de Medición Automática de flexión y compresión**

Para poder llevar a cabo los ensayos de flexión y compresión, se hizo uso de los equipos existentes dentro de los laboratorios de Ingeniería Civil, de la universidad Nacional de Chimborazo.



*Imagen 75 Equipos de medición para Flexión y Compresión*

**Nota:** Los equipos utilizados para las pruebas mecánicas se encuentran en los laboratorios de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Chimborazo

Se usó el equipo modelo Shimadzu para los ensayos de flexión, es necesario marcar por la mitad las probetas con una tinta que no se borre, esta servirá de guía para centrar y transmitir las cargas de manera correcta hacia la probeta. Para los ensayos a compresión se usó el equipo hidráulico de 3000 KN, en donde se ubican las probetas cúbicas.

### 3.9. Dosificación

La elaboración de las probetas se realizó en el taller de maderas, de la carrera de arquitectura. Se establecieron grupos de trabajo con los estudiantes que cursaban la materia de sistemas constructivos vernáculos, bajo la coordinación del docente a cargo.

Se considera a la paja toquilla como el elemento fundamental, que brinde otro tipo de características a los paneles convencionales. La intención es observar la respuesta de las fibras, frente al uso de diferentes materiales (arcilla, yeso, cemento). Como complemento, se emplea el mucílago de nopal, cola vinílica y cal, de modo que aporte en la composición de los paneles.

Al ser un proyecto experimental, se contemplaron cinco tipos de dosificaciones distintas, cada una con cinco variantes en las que se modifica el valor en gramos de los materiales y el lugar de procedencia de la fibra de paja toquilla.

Se tuvo en cuenta sistemas constructivos que comparten ciertas similitudes con los materiales de esta investigación.

#### 3.9.1. Dosificación del Yeso

Para las dos primeras dosificaciones se tuvo en cuenta al yeso, el mismo que sumado a la cal brindará características diferentes a las probetas. La fibra de paja toquilla, varía conforme a las distintas comunidades de donde fue recolectada, esto nos ayudará a determinar cuál de todas es la más apta para realizar los paneles.

La diferencia entre dosificaciones se evidencia en el uso de cola vinílica o las que usan mucílago de nopal. Cada una con propiedades diferentes.

#### **Dosificación 01. (Yeso / Cal / Cola / Fibra / Agua.)**

Para la primera dosificación del yeso y fibra de paja toquilla, se considera el uso de la cal, la cola vinílica y agua. Se realizan cinco dosificaciones diferentes, con la finalidad de determinar la probeta con mejores características.

Simbología de Codificación. YCC001

- Y= Yeso
- C= Cal
- C= Cola

#### **Muestra YCC 001.**

<b>Dosificación</b>		
<b>Material</b>	<b>Peso</b>	<b>Porcentaje %</b>
Yeso	3211.00 g	45.66
Cal	852.00 g	13.70

Cola	52.00 g	2.74
Fibra Comunidad Jimbitono	12.00 g	1.37
Agua	1685.00 ml	36.53

*Tabla 5 Dosificación Muestra YCC 001*

**Nota:** Cada dosificación varía en cantidad de materiales y peso, para observar su comportamiento.

### **Muestra YCC 002.**

<b>Dosificación</b>		
<b>Material</b>	<b>Peso</b>	<b>Porcentaje %</b>
Yeso	3778.40 g	50.38
Cal	607.58 g	13.70
Cola	87.45 g	2.74
Fibra Comunidad San Isidro	9.54 g	1.06
Agua	1409.00 ml	36.64

*Tabla 6 Dosificación Muestra YCC 002*

**Nota:** Cada dosificación varía en cantidad de materiales y peso, para observar su comportamiento.

### **Muestra YCC 003.**

<b>Dosificación</b>		
<b>Material</b>	<b>Peso</b>	<b>Porcentaje %</b>
Yeso	600.00 g	48.33
Cal	80.00 g	6.44
Cola	50.00 g	4.03
Fibra Comunidad Sagrado Corazón.	11.50 g	0.93
Agua	500.00 ml	40.27

*Tabla 7 Dosificación Muestra YCC 003*

**Nota:** Cada dosificación varía en cantidad de materiales y peso, para observar su comportamiento.

### **Muestra YCC 004.**

<b>Dosificación</b>		
<b>Material</b>	<b>Peso</b>	<b>Porcentaje %</b>
Yeso	600.00 g	46.16
Cal	80.00 g	8.39
Cola	50.00 g	2.52
Fibra Comunidad Seipa	11.50 g	0.97
Agua	500.00 ml	41.96

*Tabla 8 Dosificación Muestra YCC 004*

**Nota:** Cada dosificación varía en cantidad de materiales y peso, para observar su comportamiento.

### **Muestra YCC 005.**

<b>Dosificación</b>		
<b>Material</b>	<b>Peso</b>	<b>Porcentaje %</b>
Yeso	600.00 g	45.66

Cal	80.00 g	13.70
Cola	50.00 g	2.74
Fibra Comunidad Santa Marianita	11.50 g	1.37
Agua	500.00 ml	36.53

*Tabla 9 Dosificación Muestra YCC 005*

**Nota:** Cada dosificación varía en cantidad de materiales y peso, para observar su comportamiento.

### **Dosificación 02. (Yeso / Cal / Nopal / Fibra / Agua.)**

Para las siguientes probetas, se toma el yeso, la fibra de paja toquilla, además de utilizar la cal, se opta por cambiar la cola vinílica por el mucílago de nopal, de modo que brinde características distintas a los paneles.

Simbología de Codificación. YCN

- Y= Yeso
- C= Cal
- N= Nopal

### **Muestra YCN 001.**

<b>Dosificación</b>		
<b>Material</b>	<b>Peso</b>	<b>Porcentaje %</b>
Yeso	600.00 g	45.00
Cal	80.00 g	13.50
Nopal	50.00 g	5.00
Fibra Comunidad Jimbitono	11.50 g	1.50
Agua	500.00 ml	35.00

*Tabla 10 Dosificación Muestra YCN 001*

**Nota:** Cada dosificación varía en cantidad de materiales y peso, para observar su comportamiento.

### **Muestra YCN 002.**

<b>Dosificación</b>		
<b>Material</b>	<b>Peso</b>	<b>Porcentaje %</b>
Yeso	600.00 g	49.00
Cal	80.00 g	9.20
Nopal	50.00 g	3.40
Fibra Comunidad San Isidro	11.50 g	1.80
Agua	500.00 ml	36.60

*Tabla 11 Dosificación Muestra YCN 002*

**Nota:** Cada dosificación varía en cantidad de materiales y peso, para observar su comportamiento.

### **Muestra YCN 003.**

<b>Dosificación</b>		
<b>Material</b>	<b>Peso</b>	<b>Porcentaje %</b>

Yeso	600.00 g	50.00
Cal	80.00 g	9.00
Nopal	50.00 g	6.00
Fibra Comunidad Sagrado Corazón	11.50 g	1.00
Agua	500.00 ml	34.00

*Tabla 12 Dosificación Muestra YCN 003*

**Nota:** Cada dosificación varía en cantidad de materiales y peso, para observar su comportamiento.

#### **Muestra YCN 004.**

<b>Dosificación</b>		
<b>Material</b>	<b>Peso</b>	<b>Porcentaje %</b>
Yeso	600.00 g	50.00
Cal	80.00 g	9.00
Nopal	50.00 g	6.00
Fibra Comunidad Seipa	11.50 g	1.00
Agua	500.00 ml	34.00

*Tabla 13 Dosificación Muestra YCN 004*

**Nota:** Cada dosificación varía en cantidad de materiales y peso, para observar su comportamiento.

#### **Muestra YCN 005.**

<b>Dosificación</b>		
<b>Material</b>	<b>Peso</b>	<b>Porcentaje %</b>
Yeso	600.00 g	45.00
Cal	80.00 g	13.70
Nopal	50.00 g	3.02
Fibra Comunidad Seipa	11.50 g	1.30
Agua	500.00 ml	36.80

*Tabla 14 Dosificación Muestra YCN 005*

**Nota:** Cada dosificación varía en cantidad de materiales y peso, para observar su comportamiento.

### **3.9.2. Dosificación de la tierra (Arcilla)**

Para las siguientes dos dosificaciones, se hizo uso de la tierra arcillosa obtenida como el elemento principal para la conformación de los paneles, al igual que con los yesos, el lugar de procedencia de la paja toquilla irá cambiando para determinar cada uno de sus resultados.

#### **Dosificación 03. (Tierra / Cola / Nopal / Fibra / Agua.)**

Simbología de Codificación. TCN

- T= Tierra - Arcilla
- C= Cola
- N= Nopal

**Muestra TCN 001.**

<b>Dosificación</b>		
<b>Material</b>	<b>Peso</b>	<b>Porcentaje %</b>
Tierra	600.00 g	73.40
Cola	80.00 g	3.50
Nopal	50.00 g	13.20
Fibra Comunidad Jimbitono	11.50 g	1.60
Agua	500.00 ml	8.30

*Tabla 15 Dosificación Muestra TCN 001*

**Nota:** Cada dosificación varía en cantidad de materiales y peso, para observar su comportamiento.

**Muestra TCN 002.**

<b>Dosificación</b>		
<b>Material</b>	<b>Peso</b>	<b>Porcentaje %</b>
Tierra	600.00 g	73.50
Cola	80.00 g	4.50
Nopal	50.00 g	13.80
Fibra Comunidad San Isidro	11.50 g	1.550
Agua	500.00 ml	6.70

*Tabla 16 Dosificación Muestra TCN 002*

**Nota:** Cada dosificación varía en cantidad de materiales y peso, para observar su comportamiento.

**Muestra TCN 003.**

<b>Dosificación</b>		
<b>Material</b>	<b>Peso</b>	<b>Porcentaje %</b>
Tierra	600.00 g	73.80
Cola	80.00 g	3.90
Nopal	50.00 g	11.70
Fibra Comunidad Sagrado Corazón	11.50 g	1.20
Agua	500.00 ml	9.40

*Tabla 17 Dosificación Muestra TCN 003*

**Nota:** Cada dosificación varía en cantidad de materiales y peso, para observar su comportamiento.

**Muestra TCN 004.**

<b>Dosificación</b>		
<b>Material</b>	<b>Peso</b>	<b>Porcentaje %</b>
Tierra	600.00 g	73.60
Cola	80.00 g	4.30
Nopal	50.00 g	8.00
Fibra Comunidad Seipa	11.50 g	1.40
Agua	500.00 ml	12.70

*Tabla 18 Dosificación Muestra TCN 004*

**Nota:** Cada dosificación varía en cantidad de materiales y peso, para observar su comportamiento.

**Muestra TCN 005.**

<b>Dosificación</b>		
<b>Material</b>	<b>Peso</b>	<b>Porcentaje %</b>
Tierra	600.00 g	73.80
Cola	80.00 g	3.70
Nopal	50.00 g	7.20
Fibra Comunidad Seipa	11.50 g	1.20
Agua	500.00 ml	14.10

*Tabla 19 Dosificación Muestra TCN 005*

**Nota:** Cada dosificación varía en cantidad de materiales y peso, para observar su comportamiento.

**Dosificación 04. (Tierra / Nopal / Fibra / Agua.)**

Para las siguientes dos dosificaciones, se hizo uso de la tierra arcillosa obtenida como el elemento principal para la conformación de los paneles, al igual que con los yesos, el lugar de procedencia de la paja toquilla irá cambiando para determinar cada uno de sus resultados.

Simbología de Codificación. TNF

- T= Tierra - Arcilla
- N= Nopal
- F= Fibra

**Muestra TNF 001.**

<b>Dosificación</b>		
<b>Material</b>	<b>Peso</b>	<b>Porcentaje %</b>
Tierra	600.00 g	80.00
Cola	80.00 g	0.00
Nopal	50.00 g	12.00
Fibra Comunidad Jimbitono	11.50 g	1.50
Agua	500.00 ml	6.50

*Tabla 20 Dosificación Muestra TNF 001*

**Nota:** Cada dosificación varía en cantidad de materiales y peso, para observar su comportamiento.

**Muestra TNF 002.**

<b>Dosificación</b>		
<b>Material</b>	<b>Peso</b>	<b>Porcentaje %</b>
Tierra	600.00 g	79.80
Cola	80.00 g	0.00
Nopal	50.00 g	10.80

Fibra Comunidad San Isidro	11.50 g	1.70
Agua	500.00 ml	7.70

*Tabla 21 Dosificación Muestra TNF 002*

**Nota:** Cada dosificación varía en cantidad de materiales y peso, para observar su comportamiento.

**Muestra TNF 003.**

<b>Dosificación</b>		
<b>Material</b>	<b>Peso</b>	<b>Porcentaje %</b>
Tierra	600.00 g	80.30
Cola	80.00 g	0.00
Nopal	50.00 g	11.70
Fibra Comunidad Sagrado Corazón	11.50 g	1.20
Agua	500.00 ml	6.80

*Tabla 22 Dosificación Muestra TNF 003*

**Nota:** Cada dosificación varía en cantidad de materiales y peso, para observar su comportamiento.

**Muestra TNF 004.**

<b>Dosificación</b>		
<b>Material</b>	<b>Peso</b>	<b>Porcentaje %</b>
Tierra	600.00 g	79.30
Cola	80.00 g	0.00
Nopal	50.00 g	8.20
Fibra Comunidad Seipa	11.50 g	2.20
Agua	500.00 ml	10.30

*Tabla 23 Dosificación Muestra TNF 004*

**Nota:** Cada dosificación varía en cantidad de materiales y peso, para observar su comportamiento.

**Muestra TNF 005.**

<b>Dosificación</b>		
<b>Material</b>	<b>Peso</b>	<b>Porcentaje %</b>
Tierra	600.00 g	80.40
Cola	80.00 g	0.00
Nopal	50.00 g	5.20
Fibra Comunidad Seipa	11.50 g	1.10
Agua	500.00 ml	13.30

*Tabla 24 Dosificación Muestra TNF 005*

**Nota:** Cada dosificación varía en cantidad de materiales y peso, para observar su comportamiento.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. Conclusiones

Según los resultados obtenidos en los ensayos realizados a los paneles prefabricados que contenían paja toquilla y distintos materiales aglomerantes, se pueden destacar los siguientes hallazgos:

**Cumplimiento Normativo:** De todas las probetas sometidas a pruebas, cuatro de ellas cumplieron con las normativas nacionales e internacionales aplicables a las placas de yeso laminado. Estas normativas garantizan la calidad y seguridad del producto.

**Elección del Panel Propuesto:** Se seleccionó un panel desarrollado a partir de una mezcla de yeso y fibras de paja toquilla para fabricar la propuesta. Este panel tiene dimensiones de 60x60x25 mm y cumple con la normativa UNE-EN 12859. Además, satisface las especificaciones técnicas de resistencia mecánica y física, lo que lo hace apto para su uso como elemento de tabiquería.

#### **Propiedades Mecánicas:**

**Resistencia a la flexión:** Los paneles registran una resistencia de 1.13 N/mm<sup>2</sup>.

**Resistencia a la compresión:** Los paneles soportan una carga de 60.18 kg/cm<sup>2</sup>.

**Hinchamiento:** El porcentaje de hinchamiento es del 1.47%.

**Porosidad:** La porosidad alcanza el 43.46%.

**Resistencia al Fuego:** Los paneles resisten el fuego durante 60 minutos.

**Transferencia de Calor:** El índice de transferencia de calor varía según el tiempo: 0.00003 kw a 1 min, 0.00202 kw a 30 min y 0.004 kw a 60 min.

**Facilidad de Montaje:** Los paneles responden favorablemente al ser perforados, lo que los hace fáciles de montar.

El uso de la fibra de paja toquilla en la elaboración de los paneles de tabiquería, según los resultados obtenidos en los ensayos propuestos, ha demostrado beneficiar el comportamiento de dichos paneles, sobre todo frente a los esfuerzos a compresión. El panel desarrollado cuenta con un porcentaje del 1.06% de paja toquilla, mismo que ha demostrado su aporte en la estructura del panel elaborado con yeso, brindando características de resistencia mecánicas y físicas.

El panel fabricado con yeso y fibras de paja toquilla demostró su utilidad como muro divisor en una vivienda unifamiliar, misma que fue representada digitalmente. Su resistencia y cumplimiento normativo lo hacen una opción valiosa en construcción

Se ha demostrado que el panel de yeso y paja toquilla funciona correctamente en el interior de viviendas como un elemento divisor de espacios. Su fácil instalación también hace que la construcción sea más flexible

Las fibras de paja toquilla son un elemento biodegradable, por lo tanto, contribuyen de manera efectiva a reducir el impacto ambiental, ya que, al ser un material biodegradable de origen vegetal, se convierte en un elemento amigable con la naturaleza. Este componente puede ser utilizado con refuerzo en la elaboración de paneles pre fabricados, como se ha demostrado en esta investigación.

#### **4.2. Recomendaciones**

Finalmente, se recomienda profundizar en la investigación y experimentación de materiales de construcción fabricados a partir de fibras provenientes de otras industrias, especialmente aquellas relacionadas con la alimentación y la artesanía.

Es importante investigar más a fondo los paneles fabricados con fibra de paja toquilla y cemento debido a sus características y propiedades mecánicas. Estos paneles podrían utilizarse como componentes de fachadas, considerando su resistencia al hinchamiento, la humedad y el fuego.

La incorporación de fibras vegetales en la elaboración de paneles prefabricados, junto con su industrialización, podría generar nuevas oportunidades de empleo. Por lo tanto, se sugiere explorar la viabilidad de producir estos elementos a mayor escala, así como su valor en el mercado.

Para obtener una comprensión más profunda de los resultados obtenidos en los ensayos físicos y mecánicos, se sugiere evitar trabajar con múltiples dosificaciones que puedan generar confusión en los procesos de experimentación. En cambio, se recomienda utilizar una dosificación estable en la que solo varíen los porcentajes de la fibra de paja toquilla. De esta manera, será posible observar de manera más clara cuáles son las deficiencias dentro de la dosificación.

Se recomienda también tener en cuenta el tipo de materiales con los que se lleva a cabo el proceso de experimentación de las probetas, así como también realizar un correcto proceso de elaboración, partiendo desde el tamizaje, en el caso de la arcilla, bajo este sentido, es necesario volver a revisar los resultados de los elementos que fallaron, sobre todo de aquellos fabricados con tierra arcillosa, e identificar los procedimientos que no permitieron que las probetas cumplan con lo establecido en la normativa.

## ANEXOS

### Dosificación del Cemento

Como último elemento se toma en cuenta al cemento, debido a sus propiedades en la construcción y sus características físicas y mecánicas. Al igual que en los anteriores casos, los lugares de procedencia de la paja toquilla varían, de tal manera que nos permitan determinar la más apta en contacto con el cemento.

#### Dosificación 05. (Cemento / Cal / Fibra / Agua.)

Simbología de Codificación. CCF

- C= Cemento
- C= Cal
- F= Fibra

#### Muestra CCF 001.

Dosificación		
Material	Peso	Porcentaje %
Cemento	600.00 g	50.00
Cal	80.00 g	8.93
Nopal	50.00 g	0.00
Fibra Comunidad Jimbitono	11.50 g	1.79
Agua	500.00 ml	39.29

*Tabla 25 Dosificación Muestra CCF 001*

**Nota:** Cada dosificación varía en cantidad de materiales y peso, para observar su comportamiento.

#### Muestra CCF 002.

Dosificación		
Material	Peso	Porcentaje %
Cemento	600.00 g	50.50
Cal	80.00 g	9.00
Nopal	50.00 g	0.00
Fibra Comunidad San Isidro	11.50 g	1.50
Agua	500.00 ml	39.00

*Tabla 26 Dosificación Muestra CCF 002*

**Nota:** Cada dosificación varía en cantidad de materiales y peso, para observar su comportamiento.

#### Muestra CCF 003.

Dosificación		
Material	Peso	Porcentaje %
Cemento	600.00 g	49.70

Cal	80.00 g	8.30
Nopal	50.00 g	0.00
Fibra Comunidad Sagrado Corazón	11.50 g	1.60
Agua	500.00 ml	40.40

*Tabla 27 Dosificación Muestra CCF 003*

**Nota:** Cada dosificación varía en cantidad de materiales y peso, para observar su comportamiento.

#### **Muestra CCF 004.**

<b>Dosificación</b>		
<b>Material</b>	<b>Peso</b>	<b>Porcentaje %</b>
Cemento	600.00 g	53.00
Cal	80.00 g	7.80
Nopal	50.00 g	0.00
Fibra Comunidad Seipa	11.50 g	2.20
Agua	500.00 ml	37.00

*Tabla 28 Dosificación Muestra CCF 004*

**Nota:** Cada dosificación varía en cantidad de materiales y peso, para observar su comportamiento.

#### **Muestra CCF 005.**

<b>Dosificación</b>		
<b>Material</b>	<b>Peso</b>	<b>Porcentaje %</b>
Cemento	600.00 g	50.70
Cal	80.00 g	8.70
Nopal	50.00 g	0.00
Fibra Comunidad Seipa	11.50 g	1.90
Agua	500.00 ml	38.70

*Tabla 29 Dosificación Muestra CCF 005*

**Nota:** Cada dosificación varía en cantidad de materiales y peso, para observar su comportamiento.

### **3.10. Elaboración de las Mezclas**



*Imagen 76 Enaceitado y engrasado de los moldes*

**Nota:** Es necesario cubrir los moldes con un desmoldante que ayude en el proceso de desencofrado.

Para empezar con el proceso de elaboración de las probetas, es necesario tener claras las dosificaciones a usar.

El primer paso es el pesaje en gramos de cada uno de los materiales descritos en las dosificaciones anteriormente presentadas. Los moldes se elaboraron en plywood de 9mm, considerando las medidas de las probetas según la normativa para cada ensayo de laboratorio. Para facilitar el proceso de desmolde, se debe recubrir los moldes con plástico de cocina y lubricarlos con aceite reciclado.

Es importante utilizar implementos de seguridad, previo al proceso de mezclado. Para la protección de las manos, se requiere el uso de guantes de hule, que evitará que las manos entren en contacto directo con todos los materiales.

Sobre todo, se necesita suma precaución al trabajar con la pasta de la cal, obtenida luego del proceso de apagado, debido a que, al entrar en contacto con el agua, provoca una reacción química, que puede causar quemaduras en la piel.

### ***3.10.1. Mezcla de yeso y fibra***



*Imagen 77 Pesaje de los materiales para probeta de yeso y paja*

**Nota:** Las cantidades de los materiales deben ser pesados y vertidos en un recipiente seco

Dentro de un recipiente que esté limpio y seco, se vierte la cantidad de yeso medida según sea la dosificación, seguido de la cola vinílica (YCC) o el nopal (YCN) y aproximadamente un 75% del agua calculada.

Se mezclan los materiales hasta que se distribuyan todos los elementos de manera homogénea. Luego de ello, se procede a incorporar las fibras de paja toquilla, en ese orden para evitar que las fibras se peguen entre sí, creando grumos.



*Imagen 78 Mezcla de todos los materiales para las dosificaciones de yeso*

**Nota:** Proceso de vertido y mezcla de materiales

La cal es el último elemento en incorporarse a la mezcla, junto con el resto del agua, dado que, al juntarla con los demás materiales la mezcla se empieza a endurecer en un lapso de 4 a 5 minutos. Es necesario que la mezcla esté en constante movimiento, para evitar que endurezca y se pierda.



*Imagen 79 Vertido de la mezcla de yeso y paja en los moldes*

**Nota:** Las probetas elaboradas con yeso y fibras se dejan reposar para después ser desencofradas

### **3.10.2. Mezcla de tierra (arcilla) y fibra**

Para empezar con la elaboración de las probetas de tierra arcillosa y fibras de paja toquilla, es necesario tamizar la tierra que se ha obtenido, debido a que contiene algunos sedimentos que afectan en la composición de los paneles.



*Imagen 80 Pesaje de los materiales para probeta de arcilla y paja*

**Nota:** El material arcilloso se necesita triturar hasta que se queden las partículas más finas

Dentro de un recipiente limpio y seco, se vierte la tierra tamizada y pesada según cada dosificación, seguido de la cola vinílica y del mucílago de nopal (TCN) o sólo del mucílago (TNF). Los materiales se mezclan manualmente, distribuyéndolos de forma homogénea.



*Imagen 81 Mezcla de todos los materiales para las dosificaciones de arcilla*

**Nota:** Durante el proceso de mezcla, se deben retirar las partículas más grandes

Finalmente se incorpora el agua previamente medida, en el caso de necesitar más agua, se la irá agregando en pequeñas dosis de 50g, detalladas en los anexos de cada dosificación, hasta que quedar una pasta manejable que pueda ser colocada dentro de los moldes.



*Imagen 82 Vertido de la mezcla de arcilla y paja en los moldes*

**Nota:** Compactación de la mezcla de arcilla y fibra de paja toquilla en los moldes

### 3.10.3. Mezcla de cemento y fibra



*Imagen 83 Pesaje de los materiales para probeta de cemento y paja*

**Nota:** Es necesario considerar los pesos conforme a cada dosificación establecida

El proceso de realización de las probetas que contienen cemento y las fibras de paja toquilla, es similar a los dos anteriores. Se empieza con la medición y pesaje de cada uno de los elementos a utilizar.



*Imagen 84 Mezcla de todos los materiales para las dosificaciones de cemento*

**Nota:** Durante el proceso de elaboración de la mezcla, hay que hacer uso de guantes

Dentro de un recipiente que esté seco y limpio, se vierte el cemento previamente pesado. Se continúa incorporando la cal y el nopal, dejando a las fibras de paja toquilla para el final. Los materiales se mezclan de forma que queden dispersos de manera homogénea y finalmente se vierte el agua medida según su dosificación.



*Imagen 85 Vertido de la mezcla de cemento y paja en los moldes*  
**Nota:** Proceso de vertido de mezcla de cemento y fibras en los moldes

### 3.11. Vaciado y Curado

#### 3.11.1. Vaciado y Compactación de la mezcla



*Imagen 86 Vertido, apisonado y desmolde de las probetas*

**Nota:** Para el apisonado de la mezcla en los moldes es necesario hacerlo por capas, evitando las burbujas

Para el correcto vaciado de la mezcla, se toma en cuenta la norma NTE INEN 0488, (cubos de ensayo para compresión) el mismo que establece que el vaciado de la mezcla en los moldes deberá ser realizado en un lapso de tiempo no menor a los dos minutos y medio.

La mezcla se vierte por capas, la primera capa es aproximadamente la mitad del molde, se la compacta con 32 golpes en rondas de 8 de forma perpendicular a la anterior, esto en un lapso de 10 segundos.

Una vez llena y compactada la probeta, se procede a pasar una llana metálica, levemente humectada, sobre la mezcla de tal manera que todos los bordes queden nivelados.

Cada una de las dosificaciones tiene tres tipos de moldes distintos hechos en plywood de 9mm, los mismos que serán utilizados para las probetas destinadas a los distintos ensayos de compresión, flexión, hinchamiento, conductividad térmica y resistencia al fuego.

Una vez realizado este proceso, las probetas se colocan bajo la sombra en un ambiente ventilado para que la mezcla repose durante 24 horas.

### **3.11.2. Retiro de moldes, curado y secado**

Pasadas las 24 horas en reposo bajo la sombra, se procede con a desmoldar las probetas. Este paso es necesario realizarlo con mucho cuidado, evitando dañar los filos de las probetas, en ocasiones se deberán destapar los moldes.

Para sacar las probetas, se deben aplicar golpes leves en los costados de los moldes, haciendo presión con las yemas de los dedos, sobre la superficie de la probeta. Este paso se debe hacer con mucha paciencia y sin apurarse.

Una vez afuera, se dejan las probetas bajo la sombra, para que culmine su proceso de secado, durante 7 y 28 días, previos a los ensayos de laboratorio.

Este procedimiento se repite para las probetas de yeso y de cemento. Para las muestras de arcilla, es necesario dejarlas reposar 48 horas, antes de su desmolde, para evitar que las probetas se dañen.

### **3.12. Experimentación en Laboratorio**



*Imagen 87 Experimentación de las probetas en los laboratorios de la UNACH*

**Nota:** Siguiendo la dirección técnica de las encargadas del laboratorio, se llevan a cabo los ensayos mecánicos

Para llevar a cabo la experimentación de las probetas hechas de fibra de paja toquilla, se seguirán las regulaciones UNE-EN-13279-2, UNE-EN-13279-1 y UNE-EN-12859.

La norma UNE-EN-13279-2 describe los métodos de ensayo para yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. La norma UNE-EN-13279-1 establece las definiciones y especificaciones para yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. Por último, la norma UNE-EN-12859 define los paneles de yeso, sus especificaciones y los métodos de ensayo.



*Imagen 88 Proceso de secado, pesado y medido de las probetas*

**Nota:** Para poder realizar todos los procesos de experimentación es necesario pesar y medir las probetas

Es necesario tomar el peso de las probetas con la balanza electrónica, antes de iniciar las pruebas de laboratorio, y las dimensiones con la ayuda de un calibrador, de tal manera que se registren en los resultados. Para proceder con los ensayos, es necesario el uso de guantes de hule y un mandil, siguiendo los lineamientos de los laboratorios de la Universidad Nacional de Chimborazo.

### 3.12.1. Ensayos a Compresión

Las probetas utilizadas en el ensayo de compresión son muestras cúbicas de 50 mm. Se fabricaron tres muestras para cada dosificación, lo que nos permite determinar cuál de ellas produce los mejores resultados, al calcular los promedios de resistencia y compararlos entre sí.



*Imagen 89 Ensayo a compresión, laboratorio de la UNACH.*

**Nota:** Colocación de las probetas cúbicas de 50 mm en la máquina automática de la Universidad

Las probetas se someten a una carga puntual en sentido vertical, poniendo en contacto la cara más lisa de la muestra con los discos de la máquina, hasta que falle o se rompa. Los ensayos se realizaron en los laboratorios de ingeniería civil de la Universidad Nacional de Chimborazo a los 7, 14 y 28 días, posterior a su desencofrado.

#### 3.12.1.1. Resultados de ensayos a compresión. PROBETA YCC



*Imagen 90 Ensayo a compresión y rotura de probeta YCC*

**Nota:** Pruebas de compresión probetas cúbicas de yeso y paja toquilla

Se hace la comparación con una probeta sin paja, misma que registra un promedio de 19.51 kg/cm<sup>2</sup>. En este caso, las probetas con los mejores resultados, después de haber realizado los ensayos a compresión, corresponden a los paneles YCC 004, alcanzando un promedio de 64.06 kg/cm<sup>2</sup>.

RESISTENCIA A COMPRESIÓN							
Componentes: Yeso, Cal, Cola, Fibra de Paja toquilla, Agua							
Muestra YCC 001	Peso (g)	Altura (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Carga Máxima (kN)	Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio
1	151	50	50	50	7,965	32,49	49,39
2	150	50	50	50	9,52	38,86	
3	150	50	50	50	18,837	76,82	

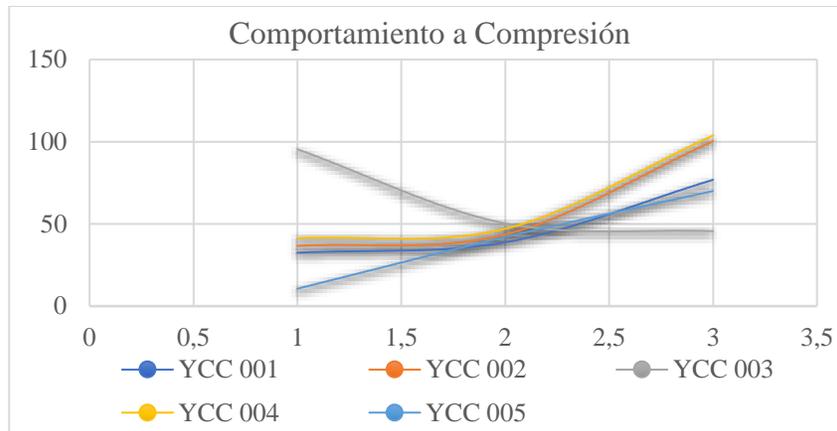
Muestra YCC 002	Peso (g)	Altura (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Carga Máxima (kN)	Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio
1	173	50	50	50	8,979	36,63	60,18
2	167	50	50	50	10,68	43,61	
3	161	50	50	50	24,591	100,3	

Muestra YCC 003	Peso (g)	Altura (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Carga Máxima (kN)	Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio
1	172	50	50	50	23,389	95,4	63,78
2	166	50	50	50	12,34	50,34	
3	155	50	50	50	11,184	45,61	

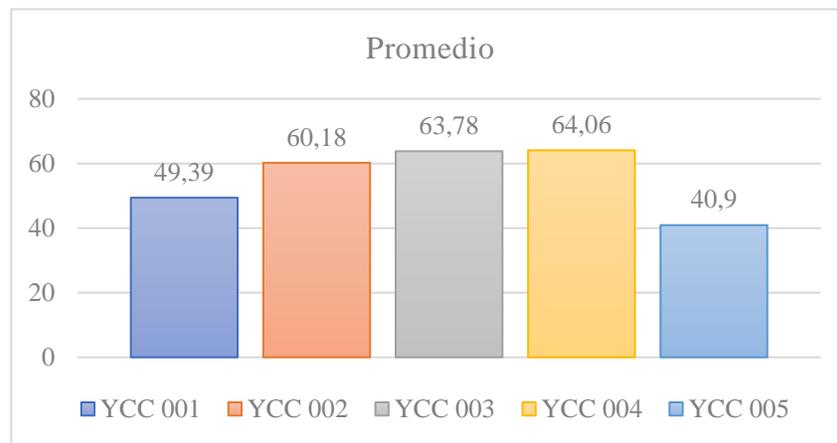
Muestra YCC 004	Peso (g)	Altura (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Carga Máxima (kN)	Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio
1	171	50	50	50	10,138	41,35	64,06
2	165	50	50	50	11,53	47,06	
3	168	50	50	50	25,443	103,78	

Muestra YCC 005	Peso (g)	Altura (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Carga Máxima (kN)	Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio
1	182	50	50	50	2,6	10,6	40,90
2	185	50	50	50	10,31	42,03	
3	150	50	50	50	17,179	70,06	

*Tabla 30 Resistencia a la Compresión. Probeta YCC*  
**Nota:** Resultados de ensayos a compresión de probetas YCC



*Imagen 91* Curva de comportamiento de probeta YCC



*Imagen 92* Promedios de resistencia a compresión, probeta YCC.

### 3.12.1.2. Resultados de ensayos a compresión. PROBETA YCN



*Imagen 93* Ensayo a compresión y rotura de probeta YCN

**Nota:** Pruebas de compresión probetas cúbicas de yeso y paja toquilla

Se hace la comparación con una probeta sin paja, misma que registra un promedio de 18.35 kg/cm<sup>2</sup>. En este caso, las probetas con los mejores resultados, después de haber realizado los ensayos a compresión, corresponden a los paneles YCN 002, con una resistencia máxima de 107.24 kg/cm<sup>2</sup>

RESISTENCIA A COMPRESIÓN							
Componentes: Yeso, Cal, Mucílago de Nopal, Fibra de Paja toquilla, Agua							
Muestra YCN 001	Peso (g)	Altura (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Carga Máxima (kN)	Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio
1	170	50	50	50	12,165	49,62	77,43
2	165	50	50	50	16,95	69,17	
3	161	50	50	50	27,825	113,49	

Muestra YCN 002	Peso (g)	Altura (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Carga Máxima (kN)	Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio
1	184	50	50	50	35,482	144,73	107,24
2	167	50	50	50	23,42	95,53	
3	150	50	50	50	19,99	81,47	

Muestra YCN 003	Peso (g)	Altura (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Carga Máxima (kN)	Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio
1	172	50	50	50	15,568	63,5	73,81
2	170	50	50	50	17,34	70,76	
3	151	50	50	50	21,391	87,18	

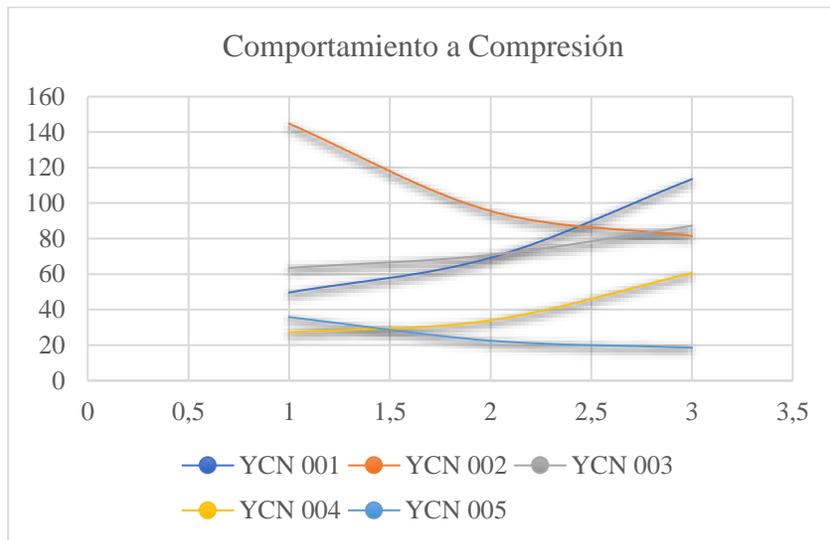
  

Muestra YCN 004	Peso (g)	Altura (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Carga Máxima (kN)	Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio
1	195	50	50	50	6,662	27,17	40,56
2	154	50	50	50	8,32	33,94	
3	140	50	50	50	14,853	60,57	

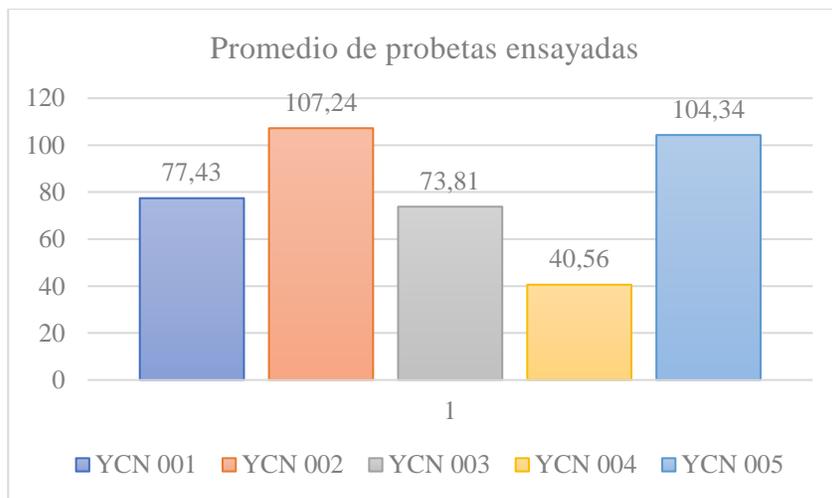
  

Muestra YCN 005	Peso (g)	Altura (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Carga Máxima (kN)	Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio
1	189	50	50	50	35,771	145,9	104,34
2	153	50	50	50	22,47	91,65	
3	144	50	50	50	18,524	75,46	

*Tabla 31 Resistencia a la Compresión. Probeta YCN*  
**Nota:** Resultados de ensayos a compresión de probetas YCC



*Imagen 94* Curva de comportamiento de probeta YCN.



*Imagen 95* Promedios de resistencia a compresión, probeta YCN

### 3.12.1.3. Resultados de ensayos a compresión. PROBETA TCN



*Imagen 96* Ensayo a compresión y rotura de probeta TCN

**Nota:** Pruebas de compresión probetas cúbicas de yeso y paja toquilla

Para las probetas que se realizaron con tierra arcillosa y fibra de paja toquilla, los resultados luego de los ensayos a compresión determinaron a la dosificación TCN 002 como

la mejor, alcanzando una resistencia de 61.49 kg/cm<sup>2</sup>, seguido de la muestra TCN 001 que registra una compresión de 58.71 kg/cm<sup>2</sup>.

<b>RESISTENCIA A COMPRESIÓN</b>							
Componentes Tierra (Arcilla), Cola, Mucílago de Nopal, Fibra de Paja Toquilla, Agua							
Muestra TCN 001	Peso (g)	Altura (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Carga Máxima (kN )	Resistencia a compresión (kg/cm2 )	Promedio
1	183	50	50	50	24,041	98,05	58,71
2	177	50	50	50	10,74	43,8	
3	172	50	50	50	8,407	34,28	

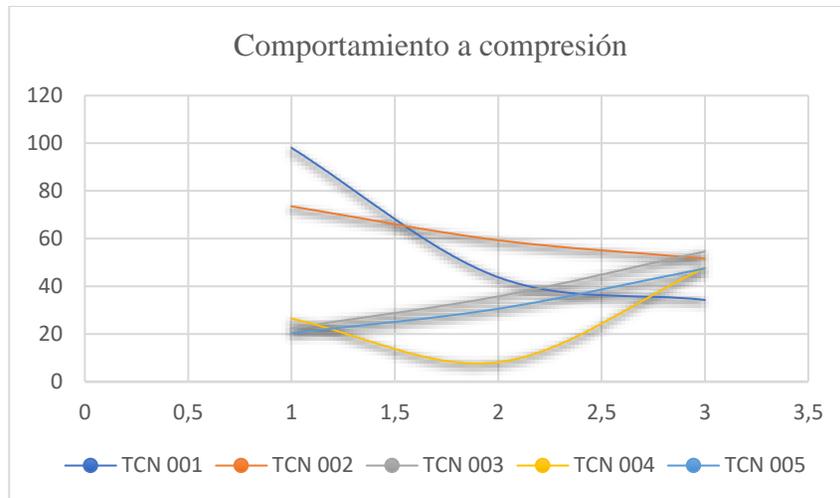
Muestra TCN 002	Peso (g)	Altura (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Carga Máxima (kN )	Resistencia a compresión (kg/cm2 )	Promedio
1	193	50	50	50	18,03	73,54	61,49
2	176	50	50	50	14,54	59,31	
3	164	50	50	50	12,657	51,62	

Muestra TCN 003	Peso (g)	Altura (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Carga Máxima (kN )	Resistencia a compresión (kg/cm2 )	Promedio
1	205	50	50	50	5,503	22,44	37,62
2	190	50	50	50	8,77	35,78	
3	184	50	50	50	13,394	54,63	

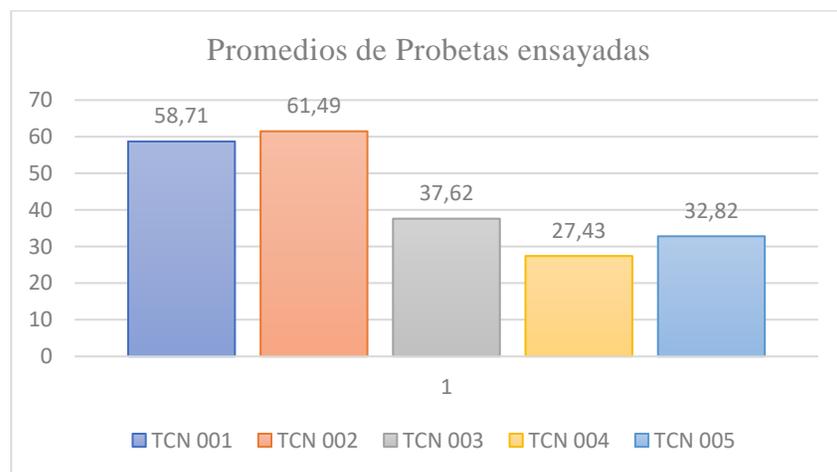
Muestra TCN 004	Peso (g)	Altura (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Carga Máxima (kN )	Resistencia a compresión (kg/cm2 )	Promedio
1	202	50	50	50	66,039	26,41	27,43
2	195	50	50	50	20,37	8,15	
3	199	50	50	50	11,719	47,72	

Muestra TCN 005	Peso (g)	Altura (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Carga Máxima (kN )	Resistencia a compresión (kg/cm2 )	Promedio
1	186	50	50	50	4,996	20,38	32,82
2	180	50	50	50	7,49	30,59	
3	178	50	50	50	11,632	47,5	

*Tabla 32 Resistencia a la Compresión. Probeta TCN*  
**Nota:** Resultados de ensayos a compresión de probetas TCN



*Imagen 97 Curva de comportamiento de probeta TCN*



*Imagen 98 Promedios de resistencia a compresión, probeta TCN*

#### 3.12.1.4. Resultados de ensayos a compresión. PROBETA TNF



*Imagen 99 Ensayo a compresión y rotura de probeta TNF*

**Nota:** Pruebas de compresión probetas cúbicas de yeso y paja toquilla

Los resultados arrojados luego de los ensayos a compresión de las probetas TNF, determinan que a la muestra TNF 003 como la mejor, alcanzando una resistencia de 45.95 kg/cm<sup>2</sup>, seguido del panel correspondiente a la dosificación TNF 004 con un valor de 21.22 kg/cm<sup>2</sup>.

<b>RESISTENCIA A COMPRESIÓN</b>							
Componentes Tierra (Arcilla), Mucílago de Nopal, Fibra de Paja Toquilla, Agua							
Muestra TNF 001	Peso (g)	Altura (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Carga Máxima (kN )	Resistencia a compresión (kg/cm2 )	Promedio
1	235	50	50	50	49,167	19,66	19,09
2	223	50	50	50	5,31	21,68	
3	226	50	50	50	3,902	15,92	

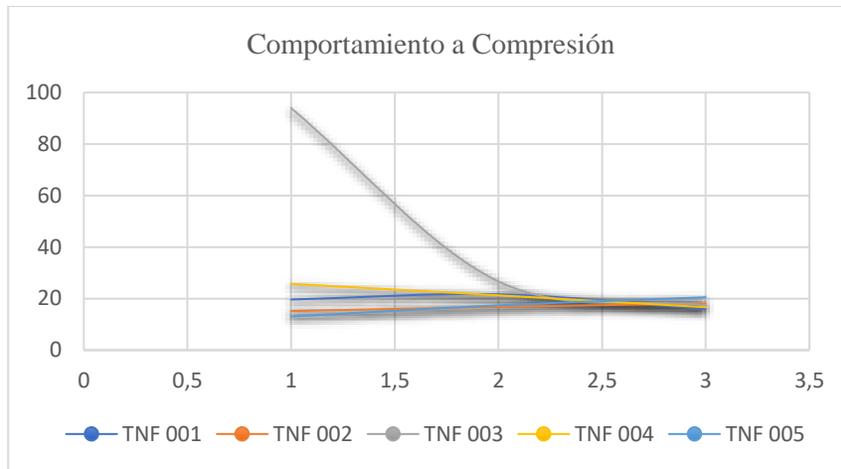
Muestra TNF 002	Peso (g)	Altura (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Carga Máxima (kN )	Resistencia a compresión (kg/cm2 )	Promedio
1	226	50	50	50	29,544	15,14	16,67
2	225	50	50	50	4,12	16,82	
3	221	50	50	50	4,426	18,05	

Muestra TNF 003	Peso (g)	Altura (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Carga Máxima (kN )	Resistencia a compresión (kg/cm2 )	Promedio
1	230	50	50	50	23,027	93,92	45,98
2	225	50	50	50	6,54	26,68	
3	223	50	50	50	4,255	17,34	

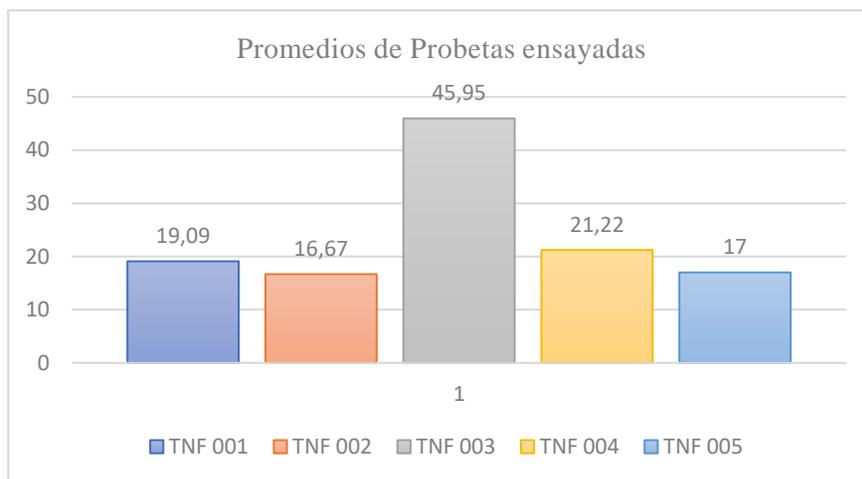
Muestra TNF 004	Peso (g)	Altura (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Carga Máxima (kN )	Resistencia a compresión (kg/cm2 )	Promedio
1	228	50	50	50	6,3	25,70	21,22
2	129	50	50	50	5,22	21,29	
3	232	50	50	50	4,086	16,66	

Muestra TNF 005	Peso (g)	Altura (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Carga Máxima (kN )	Resistencia a compresión (kg/cm2 )	Promedio
1	230	50	50	50	3,2	13,05	17,00
2	225	50	50	50	4,26	17,4	
3	232	50	50	50	5,036	20,54	

*Tabla 33 Resistencia a la Compresión. Probeta TNF*  
**Nota:** Resultados de ensayos a compresión de probetas TNF



*Imagen 100 Curva de comportamiento de probeta TNF*



*Imagen 101 Promedios de resistencia a compresión, probeta TNF*

### 3.12.1.5. Resultados de ensayos a compresión. PROBETA CCF



*Imagen 102 Ensayo a compresión y rotura de probeta CCF*

**Nota:** Pruebas de compresión probetas cúbicas de yeso y paja toquilla

Las probetas elaboradas con cemento y fibras de paja toquilla, registraron una resistencia máxima de 121.28 kg/cm<sup>2</sup>, correspondiente a la mezcla CCF 001. En contraste con las probetas de cemento sin fibras que registran un valor máximo de 150.1 kg/cm<sup>2</sup>.

RESISTENCIA A COMPRESIÓN							
Componentes: Cemento, Cal, Fibra de Paja toquilla, agua							
Muestra CCF 001	Peso (g)	Altura (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Carga Máxima (kN)	Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio
1	216	50	50	50	43,66	22,38	101,28
2	220	50	50	50	50,34	20,53	
3	210	50	50	50	63,979	260,94	

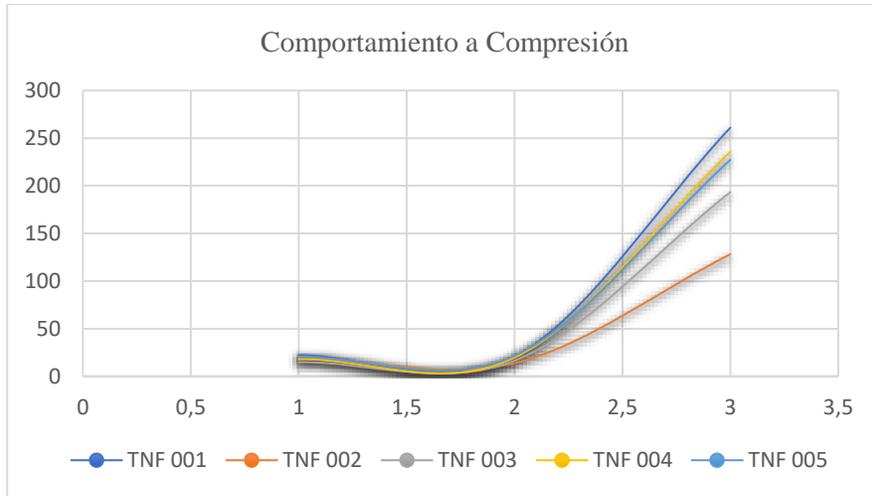
Muestra CCF 002	Peso (g)	Altura (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Carga Máxima (kN)	Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio
1	191	50	50	50	39,39	20,190	54,09
2	195	50	50	50	34,13	13,91	
3	190	50	50	50	31,442	128,17	

Muestra CCF 003	Peso (g)	Altura (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Carga Máxima (kN)	Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio
1	190	50	50	50	29,254	14,990	74,92
2	194	50	50	50	32,1	16,45	
3	195	50	50	50	47,413	193,33	

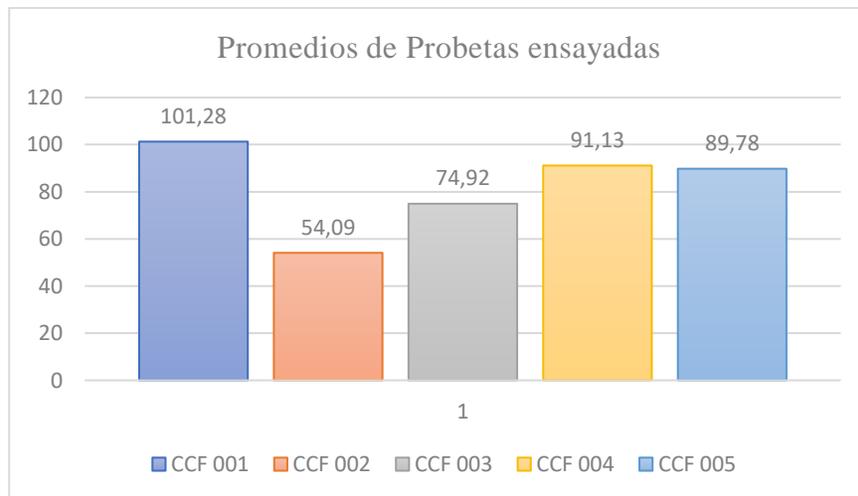
Muestra CCF 004	Peso (g)	Altura (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Carga Máxima (kN)	Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio
1	212	50	50	50	44,243	18,045	91,13
2	0	50	50	50	48,26	19,68	
3	199	50	50	50	57,78	235,65	

Muestra CCF 005	Peso (g)	Altura (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Carga Máxima (kN)	Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio
1	212	50	50	50	50,181	20,467	89,78
2	200	50	50	50	53,17	21,68	
3	204	50	50	50	55,724	227,19	

**Tabla 34** Resistencia a la Compresión. Probeta CCF  
**Nota:** Resultados de ensayos a compresión de probetas CCF

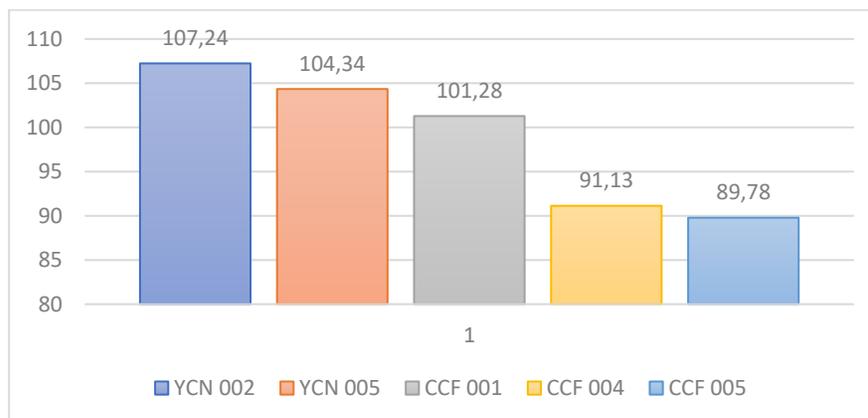


*Imagen 103 Curva de comportamiento de probeta CCF*



*Imagen 104 Promedios de resistencia a compresión, probeta CCF*

### 3.12.1.6. Comparación de ensayos a compresión



*Imagen 105 Mejores resultados de ensayos a compresión*

Luego de terminar el proceso de ensayos a compresión de todas las probetas y según los datos tomados del laboratorio, se realiza una comparación entre los mejores promedios de cada dosificación, considerando que la norma ecuatoriana determina un valor de 20 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia a la compresión para los elementos.

El resultado más alto de resistencia a la compresión registrado, corresponde a la muestra YCN 002, alcanzando un promedio de 107.24 kg/cm<sup>2</sup>, seguido por la muestra de la misma dosificación, YCN 005 con 104.34 kg/cm<sup>2</sup>, la otra dosificación que completa con los 5 mejores resultados corresponde a las muestras CCF 001 con 101.28 kg/cm<sup>2</sup>, CCF 004 con 91.13 kg/cm<sup>2</sup> y CCF 005 con 89.78 kg/cm<sup>2</sup>.

La combinación de yeso, cal, mucílago de nopal, fibra de paja toquilla y agua ha demostrado ser la mejor dosificación para las muestras. Esta mezcla registra una buena adherencia y resistencia a la deformidad, manteniendo entrelazado el yeso con la fibra. Esta combinación ha demostrado ser la más efectiva de todas al momento de aplicar una fuerza de compresión.

La mayoría de las dosificaciones cumple con el mínimo determinado por la normativa, demostrando que la cantidad de fibras de vegetales incorporadas a cada mezcla, funciona bien en las probetas, cuando se le aplica una fuerza de compresión. Este es un requisito fundamental para la elaboración de paneles de tabiquería, destinados a la separación de ambientes de una edificación.

En las probetas fabricadas con cemento y fibras de paja toquilla, se presenta una situación particular. A pesar de cumplir con los estándares establecidos por la norma, se observó que las probetas sin fibras alcanzaron una mayor resistencia a la compresión. Esto sugiere que el aumento en la cantidad de paja toquilla disminuye la resistencia a la compresión, ya que reemplaza los materiales compuestos por las fibras.

### ***3.12.2. Ensayos a Flexión***

Para realizar los ensayos de flexión, se sigue la norma española AENOR que establece las dimensiones de las probetas. Esta norma está regulada por la norma americana ASTM C348, 2002, que describe el método de resistencia a la flexión de los morteros de cemento hidráulico.

Se elaboran tres probetas rectangulares conforme a la norma, de 150x50x50 cada una, cuidando que estén lo más lisas, en cada una de sus caras, el proceso de rotura se lo realiza a los 7, 14 y 28 días después de su desencofrado y secado, con las máquinas existentes en el laboratorio de ingeniería Civil.

Al terminar, se procede a realizar un promedio, revisando las probetas con los mejores resultados registrados, en cumplimiento con la norma. Así también, se debe identificar aquellas probetas que no han cumplido con el valor mínimo, establecido por la normativa.

### 3.12.2.1. Resultados de ensayos a compresión. PROBETA YCC



*Imagen 106 Ensayo a flexión y rotura de probeta YCC*

**Nota:** Pruebas de compresión probetas cúbicas de yeso y paja toquilla

Luego de realizar los ensayos a flexión de las probetas YCC, se observa un promedio bajo, en donde sólo la muestra YCC 002, alcanza a cumplir con lo establecido en la normativa, superando el  $1 \text{ N/mm}^2$ . El resto de las probetas ensayadas, promedia un valor por debajo del establecido según la normativa, haciéndolas descartables.

<b>RESISTENCIA A FLEXIÓN</b>							
Componentes: Yeso, Cal, Cola, Fibra de Paja toquilla, Agua							
Muestra YCC 001	Peso (g)	Altura (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Carga Máxima (kN)	Resistencia a Flexión (N/mm <sup>2</sup> )	Promedio
1	576	50	150	50	1,381	0,552	0,96
2	0	50	150	50	2,05	0,82	
3	486	50	150	50	3,75	1,5	

Muestra YCC 002	Peso (g)	Altura (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Carga Máxima (kN)	Resistencia a Flexión (N/mm <sup>2</sup> )	Promedio
1	558	50	150	50	2,280	0,912	1,13
2	0	50	150	50	2,9	1,16	
3	510	50	150	50	3,31	1,32	

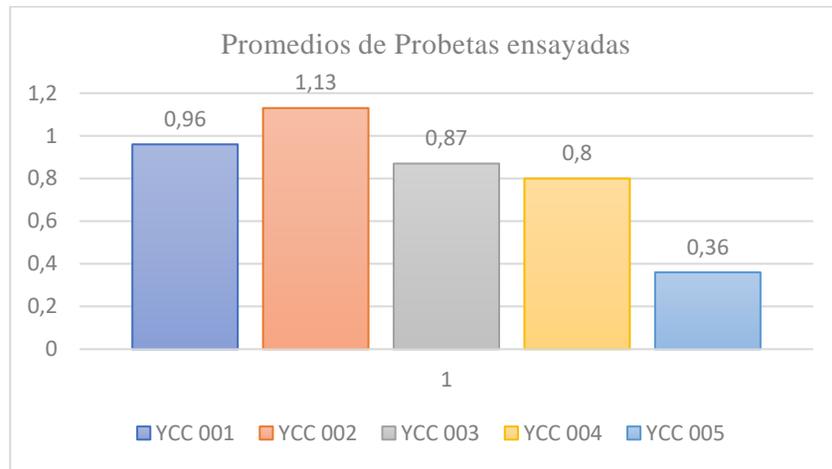
Muestra YCC 003	Peso (g)	Altura (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Carga Máxima (kN)	Resistencia a Flexión (N/mm <sup>2</sup> )	Promedio
1	525	50	150	50	1,120	0,44	0,87
2	0	50	150	50	2,24	0,9	
3	481	50	150	50	3,15	1,26	

Muestra YCC 004	Peso (g)	Altura (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Carga Máxima (kN)	Resistencia a Flexión (N/mm <sup>2</sup> )	Promedio
1	537	50	150	50	0,9825	0,39	0,80

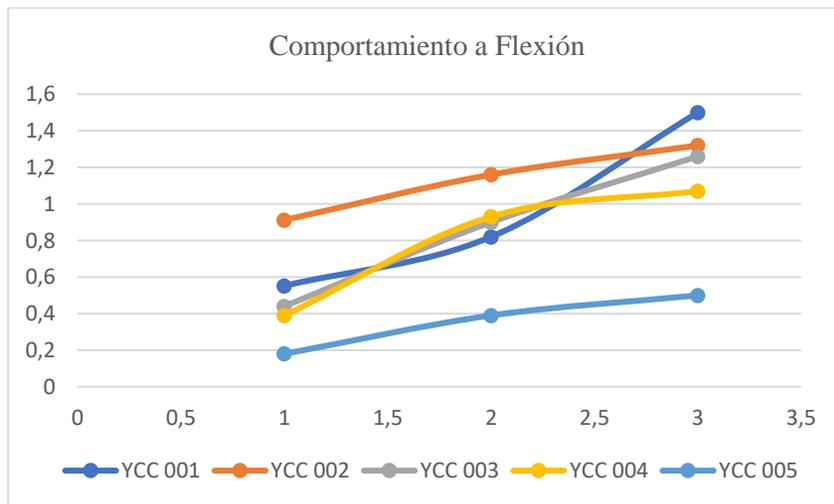
2	0	50	150	50	2,34	0,93	
3	502	50	150	50	2,69	1,07	

Muestra YCC 005	Peso (g)	Altura (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Carga Máxima (kN)	Resistencia a Flexión (N/mm <sup>2</sup> )	Promedio
1	560	50	150	50	0,445	0,18	0,36
2	0	50	150	50	0,984	0,39	
3	437	50	150	50	1,25	0,5	

**Tabla 35 Resistencia a la Flexión. Probeta YCC**  
**Nota: Resultados de ensayos a compresión de probetas YCC**



**Imagen 107 Promedios de resistencia a flexión, probeta YCC**



**Imagen 108 Curva de comportamiento de probeta YCC**

### 3.12.2.2. Resultados de ensayos a compresión. PROBETA YCN.



*Imagen 109* Ensayo a flexión y rotura de probeta YCN

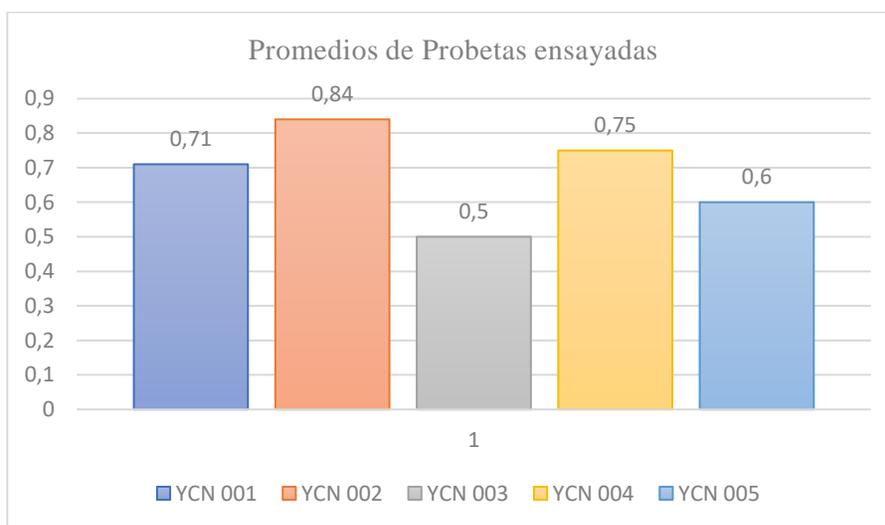
**Nota:** Pruebas de compresión probetas cúbicas de yeso y paja toquilla

Los resultados obtenidos luego del ensayo a flexión aplicado a las probetas YCN, no son muy alentadores, debido a que ninguna de las cinco variantes alcanzó el mínimo de  $1 \text{ N/mm}^2$ , establecido según la normativa. Sus promedios por debajo del mínimo, hacen que esta dosificación sea descartable.

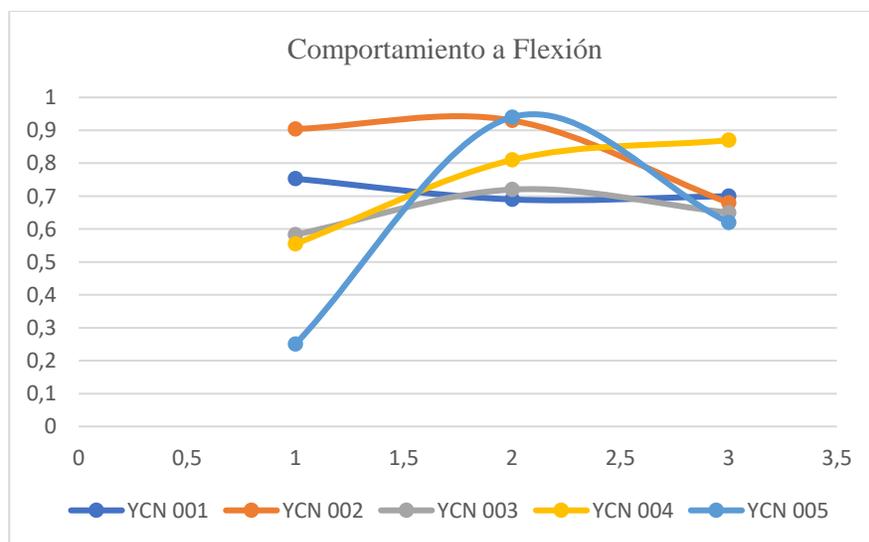
<b>RESISTENCIA A FLEXIÓN</b>							
Componentes: Yeso, Cal, Mucílago de Nopal, Fibra de Paja toquilla, Agua							
Muestra YCN 001	Peso (g)	Altura (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Carga Máxima (kN)	Resistencia a Flexión (N/mm <sup>2</sup> )	Promedio
1	477	50	150	50	1,883	0,753	0,71
2	0	50	150	50	1,73	0,69	
3	473	50	150	50	1,75	0,7	
Muestra YCN 002	Peso (g)	Altura (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Carga Máxima (kN)	Resistencia a Flexión (N/mm <sup>2</sup> )	Promedio
1	536	50	150	50	2,260	0,904	0,84
2	0	50	150	50	2,34	0,93	
3	426	50	150	50	1,65	0,68	
Muestra YCN 003	Peso (g)	Altura (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Carga Máxima (kN)	Resistencia a Flexión (N/mm <sup>2</sup> )	Promedio
1	534	50	150	50	1,459	0,583	0,65
2	0	50	150	50	1,82	0,72	
3	414	50	150	50	1,62	0,65	
Muestra YCN 004	Peso (g)	Altura (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Carga Máxima (kN)	Resistencia a Flexión (N/mm <sup>2</sup> )	Promedio

1	547	50	150	50	1,389	0,555	0,75
2	0	50	150	50	2,05	0,81	
3	444	50	150	50	2,192	0,87	
Muestra YCN 005	Peso (g)	Altura (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Carga Máxima (kN)	Resistencia a Flexión (N/mm <sup>2</sup> )	Promedio
1	532	50	150	50	0,6275	0,25	0,60
2	0	50	150	50	1,2	0,94	
3	401	50	150	50	1,53	0,62	

**Tabla 36** Resistencia a la Flexión. Probeta YCN  
**Nota:** Resultados de ensayos a compresión de probetas YCN



**Imagen 110** Promedios de resistencia a flexión, probeta YCN



**Imagen 111** Curva de comportamiento de probeta YCN

### 3.12.2.3. Resultados de ensayos a compresión. PROBETA TCN.



Imagen 112 Ensayo a flexión y rotura de probeta TCN

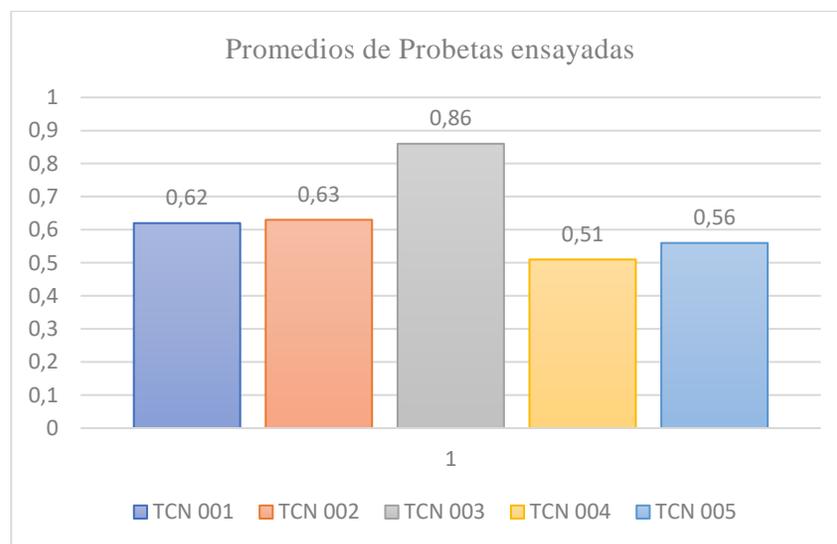
**Nota:** Pruebas de compresión probetas cúbicas de yeso y paja toquilla

Al terminar los ensayos de flexión de la probeta TCN, se pudo observar una baja resistencia a flexión de estos elementos, alcanzando como máximo una resistencia de 0.86 N/mm<sup>2</sup>, por debajo de lo establecido según la normativa. Con estos resultados, se determina que esta dosificación tampoco cumple, siendo descartable.

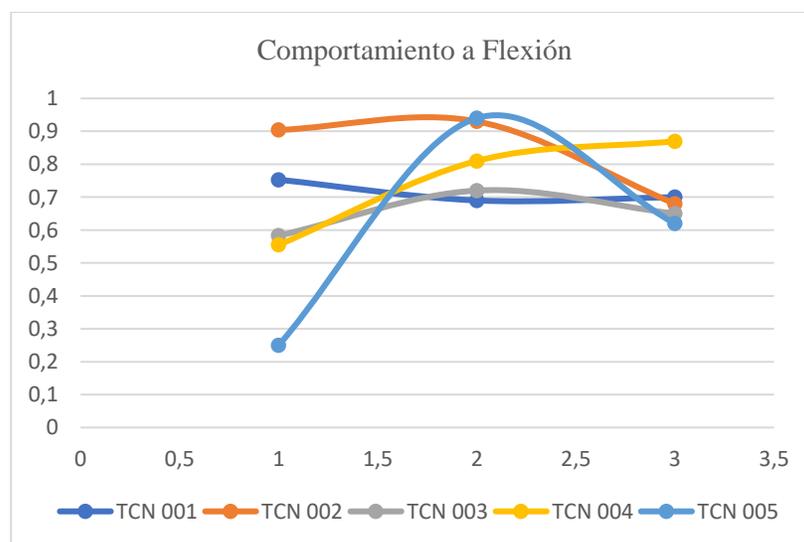
RESISTENCIA A FLEXIÓN							
Componentes Tierra (Arcilla), Cola, Mucílago de Nopal, Fibra de Paja Toquilla, Agua							
Muestra TCN 001	Peso (g)	Altura (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Carga Máxima (kN)	Resistencia a Flexión (N/mm <sup>2</sup> )	Promedio
1	572	50	150	50	0,2125	0,31	0,62
2	0	50	150	50	0,345	0,49	
3	522	50	150	50	0,7325	1,06	
Muestra TCN 002	Peso (g)	Altura (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Carga Máxima (kN)	Resistencia a Flexión (N/mm <sup>2</sup> )	Promedio
1	621	50	150	50	0,1975	0,29	0,63
2	0	50	150	50	0,498	0,73	
3	516	50	150	50	0,6025	0,87	
Muestra TCN 003	Peso (g)	Altura (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Carga Máxima (kN)	Resistencia a Flexión (N/mm <sup>2</sup> )	Promedio
1	563	50	150	50	0,275	0,39	0,86
2	0	50	150	50	0,654	0,95	
3	551	50	150	50	0,865	1,25	
Muestra TCN 004	Peso (g)	Altura (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Carga Máxima (kN)	Resistencia a Flexión (N/mm <sup>2</sup> )	Promedio

1	649	50	150	50	0,2025	0,29	0,51
2	0	50	150	50	0,345	0,49	
3	556	50	150	50	0,5275	0,76	
Muestra TCN 005	Peso (g)	Altura (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Carga Máxima (kN)	Resistencia a Flexión (N/mm <sup>2</sup> )	Promedio
1	583	50	150	50	0,1375	0,19	0,56
2	0	50	150	50	0,315	0,45	
3	552	50	150	50	0,7125	1,03	

**Tabla 37** Resistencia a la Flexión. Probeta TCN  
**Nota:** Resultados de ensayos a compresión de probetas TCN



**Imagen 113** Promedios de resistencia a flexión, probeta TCN



**Imagen 114** Promedios de resistencia a flexión, probeta TCN

### 3.12.2.4. Resultados de ensayos a compresión. PROBETA TNF.



*Imagen 115 Ensayo a flexión y rotura de probeta TNF*

**Nota:** Pruebas de compresión probetas cúbicas de yeso y paja toquilla

Dados los resultados del ensayo a flexión para las probetas TNF, se la identifica como la peor dentro de todas las dosificaciones, dado a su baja capacidad de resistencia a la flexión, con un máximo de  $0.46 \text{ N/mm}^2$  y un mínimo de  $0.11 \text{ N/mm}^2$  muy por debajo de lo establecido en la norma.

RESISTENCIA A FLEXIÓN							
Componentes Tierra (Arcilla), Mucílago de Nopal, Fibra de Paja Toquilla, Agua							
Muestra TNF 001	Peso (g)	Altura (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Carga Máxima (kN)	Resistencia a Flexión (N/mm <sup>2</sup> )	Promedio
1	701	50	150	50	0,115	0,16	0,26
2	0	50	150	50	0,652	0,26	
3	664	50	150	50	0,915	0,36	

Muestra TNF 002	Peso (g)	Altura (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Carga Máxima (kN)	Resistencia a Flexión (N/mm <sup>2</sup> )	Promedio
1	690	50	150	50	0,1425	0,2	0,29
2	0	50	150	50	0,2348	0,33	
3	663	50	150	50	0,2425	0,35	

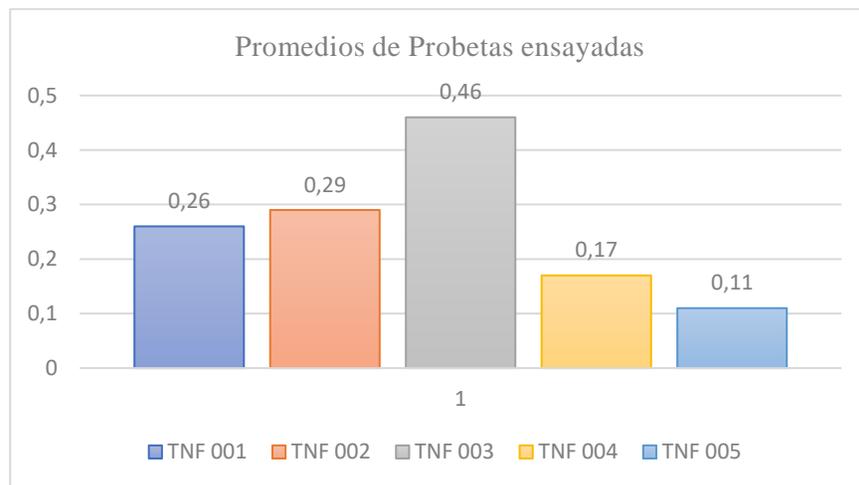
Muestra TNF 003	Peso (g)	Altura (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Carga Máxima (kN)	Resistencia a Flexión (N/mm <sup>2</sup> )	Promedio
1	686	50	150	50	0,325	0,47	0,46
2	0	50	150	50	0,364	0,52	
3	659	50	150	50	0,265	0,38	

Muestra TNF 004	Peso (g)	Altura (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Carga Máxima (kN)	Resistencia a Flexión (N/mm <sup>2</sup> )	Promedio
1	721	50	150	50	0,2775	0,11	0,17
2	0	50	150	50	0,453	0,18	
3	687	50	150	50	0,5325	0,21	

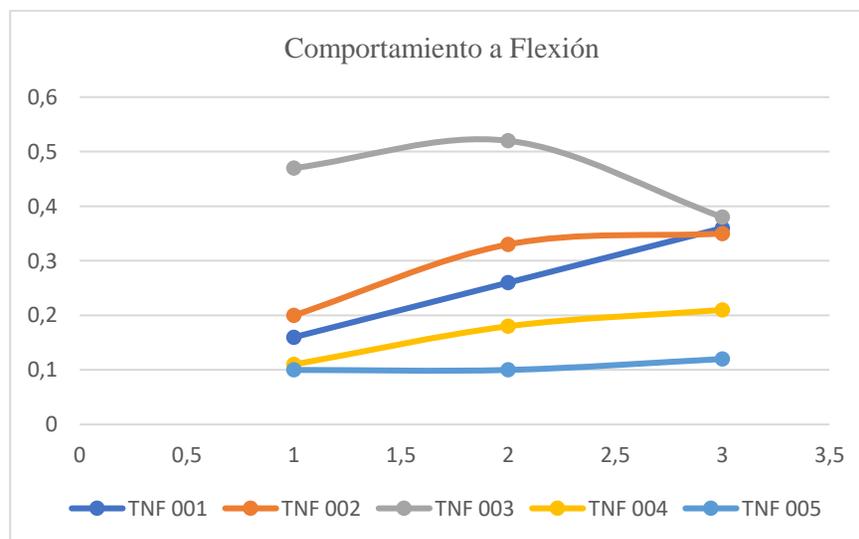
Muestra TNF 005	Peso (g)	Altura (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Carga Máxima (kN)	Resistencia a Flexión (N/mm <sup>2</sup> )	Promedio
1	727	50	150	50	0,2425	0,1	0,11
2	0	50	150	50	0,264	0,1	
3	670	50	150	50	0,3175	0,12	

*Tabla 38 Resistencia a la Flexión. Probeta TNF*

*Nota: Resultados de ensayos a compresión de probetas TNF*

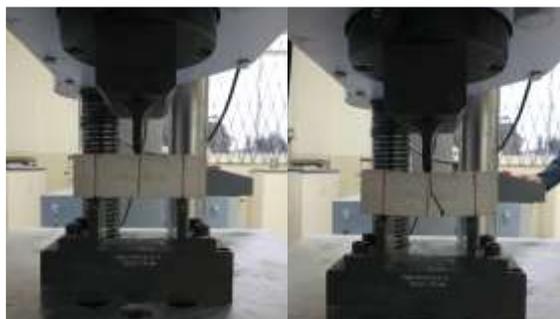


*Imagen 116 Promedios de Probetas ensayadas*



*Imagen 117 Curva de comportamiento de probeta TNF*

### 3.12.2.5. Resultados de ensayos a compresión. PROBETA CCF.



*Imagen 118 Ensayo a flexión y rotura de probeta CCF*

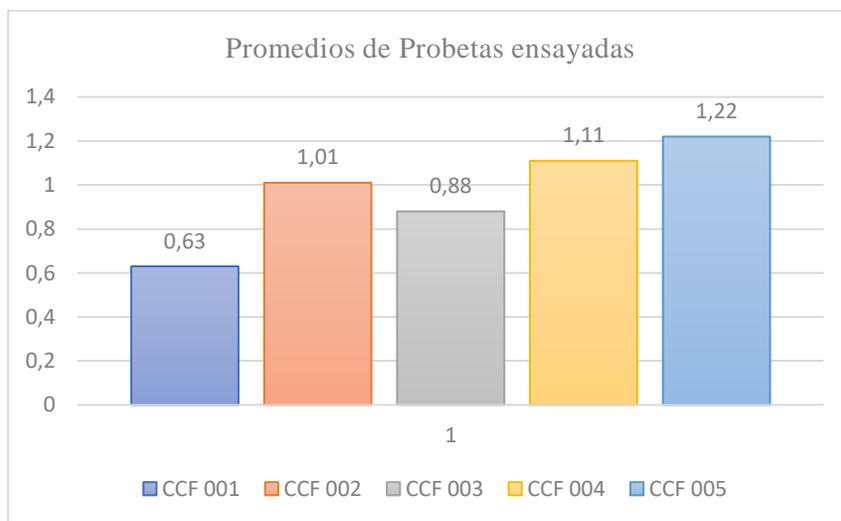
**Nota:** Pruebas de compresión probetas cúbicas de yeso y paja toquilla

Una vez concluidos con los ensayos a flexión de las muestras CCF, se obtiene a la dosificación que mejores resultados tuvo, con un promedio superior al resto de dosificaciones. Con una capacidad máxima a la flexión de 1.22 N/mm<sup>2</sup>, en su muestra CCF 005, por encima de lo establecido según la normativa.

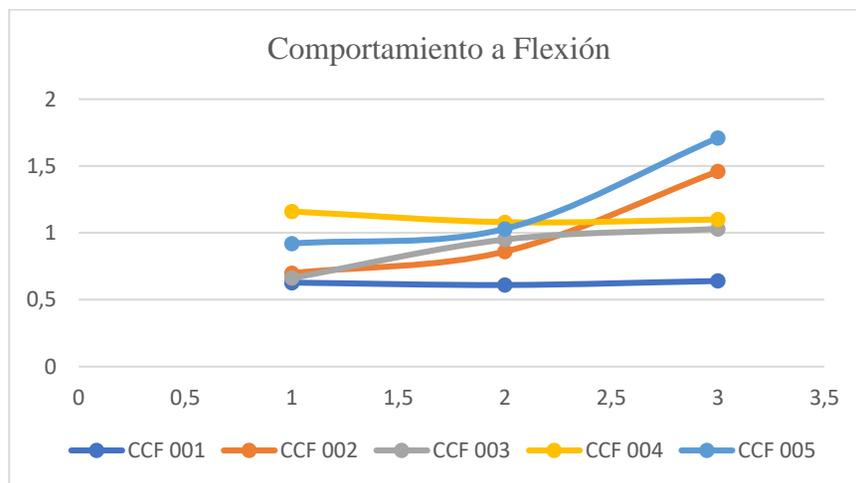
<b>RESISTENCIA A FLEXIÓN</b>							
Componentes: Cemento, Cal, Fibra de Paja toquilla, agua							
Muestra CCF 001	Peso (g)	Altura (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Carga Máxima (kN)	Resistencia a Flexión (N/mm <sup>2</sup> )	Promedio
1	615	50	150	50	1,57	0,628	0,63
2	0	50	150	50	1,53	0,61	
3	570	50	150	50	1,6	0,64	
Muestra CCF 002	Peso (g)	Altura (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Carga Máxima (kN)	Resistencia a Flexión (N/mm <sup>2</sup> )	Promedio
1	619	50	150	50	1,748	0,699	1,01
2	0	50	150	50	2,15	0,86	
3	600	50	150	50	3,65	1,46	
Muestra CCF 003	Peso (g)	Altura (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Carga Máxima (kN)	Resistencia a Flexión (N/mm <sup>2</sup> )	Promedio
1	586	50	150	50	1,656	0,662	0,88
2	0	50	150	50	2,37	0,95	
3	560	50	150	50	2,58	1,03	
Muestra CCF 004	Peso (g)	Altura (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Carga Máxima (kN)	Resistencia a Flexión (N/mm <sup>2</sup> )	Promedio

1	647	50	150	50	2,917	1,16	1,11
2	0	50	150	50	2,7	1,08	
3	608	50	150	50	2,75	1,1	
Muestra CCF 005	Peso (g)	Altura (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Carga Máxima (kN)	Resistencia a Flexión (N/mm <sup>2</sup> )	Promedio
1	651	50	150	50	2,304	0,92	1,22
2	0	50	150	50	2,57	1,03	
3	622	50	150	50	4,27	1,71	

**Tabla 39** Resistencia a la Flexión. Probeta CCF  
**Nota:** Resultados de ensayos a compresión de probetas TNF

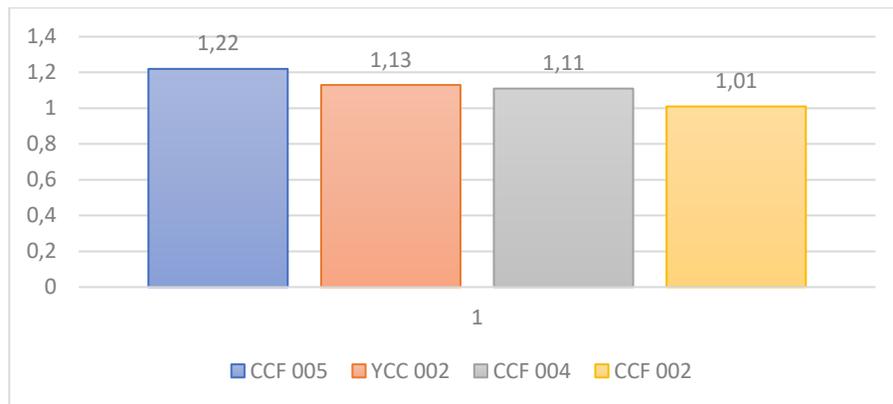


**Imagen 119** Promedios de resistencia a flexión, probeta CCF



**Imagen 120** Curva de comportamiento de probeta CCF

### 3.12.2.6. Comparación de ensayos a flexión



*Imagen 121 Mejores resultados de ensayos a flexión*

Concluido el proceso de experimentación en laboratorios, para las probetas sometidas al ensayo de flexión, se obtuvieron una serie de resultados que nos permiten hacer una comparación entre sí, analizando e identificando las probetas que cumplan con lo establecido en la normativa, con un mínimo de resistencia a la flexión de 1 N/mm<sup>2</sup>.

El resultado más alto de resistencia a la flexión registrado, corresponde a la muestra CCF 005, alcanzando un promedio de 1.22 N/mm<sup>2</sup>, seguido por la muestra YCC 002 con 1.13 N/mm<sup>2</sup>, de nuevo la dosificación CCF se hace presente, completando con las cuatro muestras que cumplieron con lo establecido por la normativa, siendo CCF 004 con 1.11 N/mm<sup>2</sup> y CCF 002 con 1.01 N/mm<sup>2</sup>.

La combinación de cemento, cal, fibra de paja toquilla y agua ha demostrado ser la mejor dosificación para las muestras. Esta mezcla registra una buena adherencia y resistencia a la flexión, manteniendo junta la mezcla por mayor tiempo. Otra dosificación que muestra buenos resultados, es aquella conformada por yeso, cal, cola, fibra de paja toquilla y agua.

Analizando los resultados del ensayo de flexión, se pudo observar una baja resistencia de las probetas. La mayoría de probetas, no cumple con el mínimo establecido según la normativa. Esto puede darse a múltiples factores, como la cantidad de fibra agregada a cada muestra o en el caso de las muestras con tierra arcillosa, por los residuos después del tamizaje o el alto contenido de arcilla.

Al terminar el análisis se puede determinar las probetas que peores resultados han alcanzado, siendo las más bajas aquellas compuestas por tierra arcillosa, mucílago de nopal, fibra de paja toquilla y agua, alcanzando un promedio muy por debajo del mínimo de 1 N/mm<sup>2</sup>. Todas aquellas probetas que no cumplen con la norma, se consideran desechables.

### 3.13. Conclusiones Luego de los Ensayos Mecánicos

Una vez realizadas los ensayos mecánicos (Flexión y compresión), a todas las probetas, se concluye que:

Las dosificaciones propuestas, cumplen en su mayoría con las pruebas realizadas a compresión, con valores que superan el mínimo establecido por la normativa, sin embargo, los resultados de los ensayos a flexión, demuestran resultados negativos, sobresaliendo cuatro dosificaciones que sí cumplieron con el mínimo para resistencia a flexión.

Para determinar la dosificación que mejores características presenta, se considera el resultado más alto de los ensayos a flexión, mismo que corresponde a la muestra CCF 005, con un promedio de 1.22 N/mm<sup>2</sup>, superando el 1 N/mm<sup>2</sup> y una resistencia a la compresión que alcanza los 89.78 kg/cm<sup>2</sup>. Los ensayos nos ayudan a determinar, que la cantidad de paja toquilla, afecta de forma directa en la resistencia de las probetas, a menor cantidad de fibra, la resistencia a compresión aumenta, pero la resistencia a flexión, disminuye.

### 3.14. Ensayos de Hinchamiento

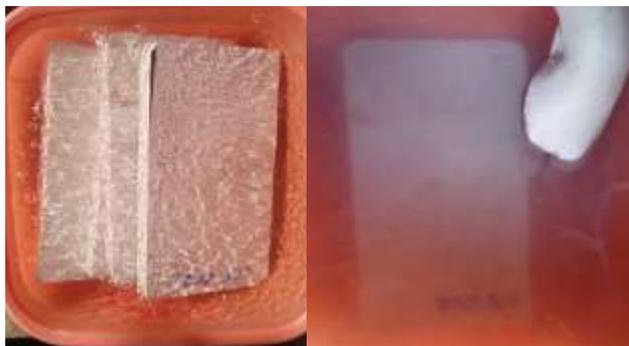
Las probetas utilizadas en estos ensayos se elaboraron siguiendo las directrices establecidas por la norma ACTM 109. Esta norma establece que las dimensiones para la fabricación de paneles ligeros deben ser de 25x15x2 cm.



*Imagen 122 Pesaje y medición de Probetas*

**Nota:** Pruebas de pesaje y medición de probetas

Para llevar a cabo las pruebas de hinchamiento, se considera la norma DIN 68761-1. Las probetas se pesan y miden para luego ser sumergidas completamente en un tanque de agua, registrando sus dimensiones y su peso dentro de un lapso de 2 horas.



*Imagen 123 Inmersión de probetas en agua.*

**Nota:** Pruebas de inmersión de probetas en agua

Es necesario tener en cuenta que las probetas ensayadas, corresponden a aquellas dosificaciones que mejores resultados registraron durante las pruebas de resistencia mecánica.

Para calcular el porcentaje de hinchamiento de cada una de las probetas, fue necesario aplicar la siguiente fórmula:

$$Ht = \frac{t2 - t1}{t1} \times 100$$

Donde:

Ht= Hinchamiento

T1= Espesor de la probeta previo a la inmersión

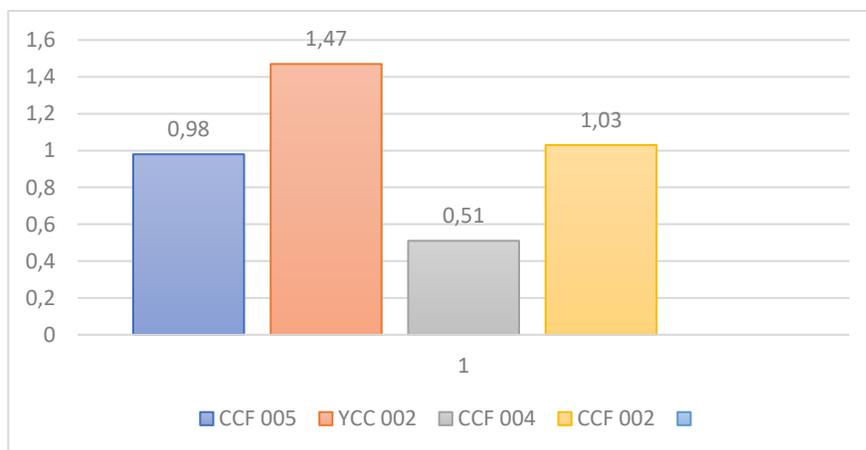
T2= Espesor de la probeta luego de la inmersión

Los resultados que arrojan los ensayos de hinchamiento nos indican que:

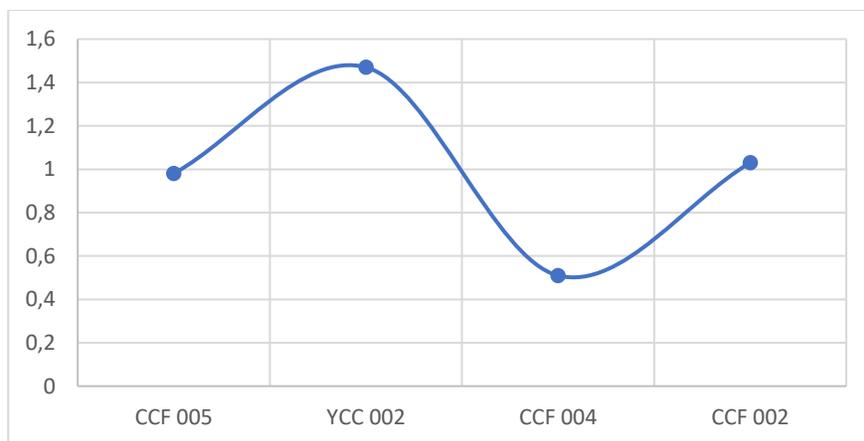
<b>RESISTENCIA A HINCHAMIENTO</b>					
Probeta: 25x15x2 (Norma ACTM 109)					
<b>Norma: DIN 68761-1</b>					
Muestra	Peso Inicial (g)	Peso a 2 Horas (g)	Espesor antes de la inmersión (mm)	Espesor a 2 horas de inmersión (mm)	% Hinchamiento a 2 horas de inmersión
CCF 005	823	893	2,050	2,07	0,98
YCC 002	777	1106	2,040	2,07	1,47
CCF 004	737	803	1,970	1,98	0,51
CCF 002	1045	1109	1,950	1,97	1,03

*Tabla 40 Resistencia al Hinchamiento.*

**Nota:** Resultado de la resistencia al hinchamiento de cada probeta



*Imagen 124 Ensayo de hinchamiento*



*Imagen 125 Ensayo de hinchamiento*

### **3.14.1. Análisis de Resultados para los ensayos de hinchamiento**



*Imagen 126 Medición y pesaje de probetas saturadas*

**Nota:** Pruebas de medición y pesaje de las probetas saturadas

Una vez finalizado el período de inmersión de las muestras, según lo establecido por la norma DIN 68761-1, que limita el hinchamiento máximo al 8% para los tableros de partículas de uso general, se obtuvieron resultados positivos en todas las probetas ensayadas.

La probeta correspondiente a la dosificación YCC 002 registró el mayor porcentaje de hinchamiento, alcanzando un 2.94%, cumpliendo con todas las especificaciones de la normativa.

### **3.15. Ensayos de Porosidad**

En los análisis de las muestras de yeso, se lleva a cabo un ensayo específico para evaluar su porosidad, siguiendo las directrices establecidas por la norma UNE-EN 520:2005+A1, 2010.

Para determinar el porcentaje de porosidad en elementos fabricados a partir de yeso, se considera tanto el peso inicial de la probeta como el peso cuando está saturada de líquido

El procedimiento para evaluar la porosidad de las probetas implica varios pasos. Primero, se toman las medidas precisas de las dimensiones y el peso de las muestras utilizando un calibrador y una balanza electrónica. Luego, las probetas se sumergen en un tanque lleno de agua durante 24 horas.

Al finalizar este período, se vuelven a pesar las probetas para realizar los cálculos necesarios.

Fórmula:

$$Porosidad = \frac{Psat - Ps}{Ps} \times 100\%$$

Donde:

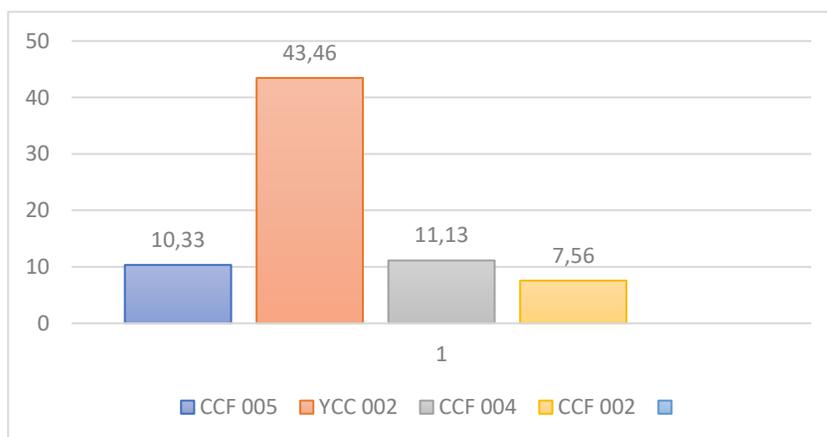
Psat= Peso Saturado en Agua

Ps= Peso inicial

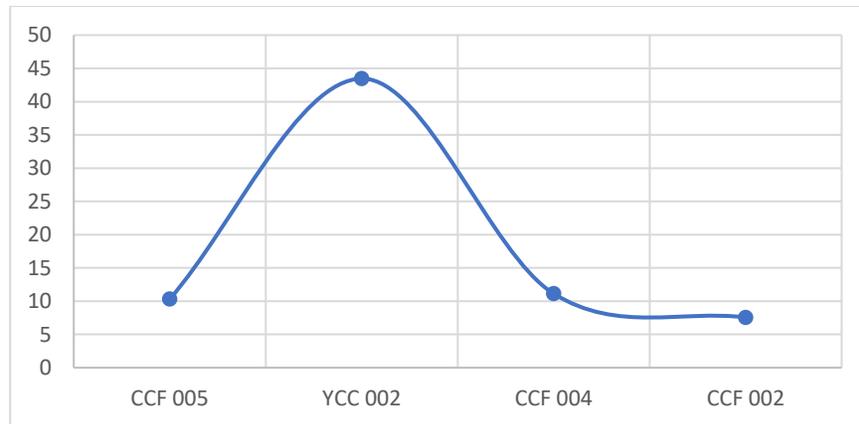
<b>PRUEBA DE POROSIDAD</b>					
Probeta: 25x15x2 (Norma ACTM 109)					
Norma: UNE-EN 520:2005+A1, 2010					
Muestra	Peso Seco (g)	Peso Saturado (g)	Aumento de Peso (g)	Espesor a 24 horas de inmersión (mm)	Porosidad (Psat-Ps/Ps)100%
CCF 005	823	908	317,00	2,12	10,33
YCC 002	777	1117	340,00	2,12	43,76
CCF 004	737	819	353,00	2,1	11,13
CCF 002	1045	1124	401,00	2,1	7,56

*Tabla 41 Prueba de Porosidad*

**Nota:** Pruebas de porosidad de las probetas



*Imagen 127 Ensayo de Porosidad*



*Imagen 128 Ensayo de porosidad*

### **3.15.1. Análisis de Resultados para los ensayos de porosidad**

Para analizar los resultados de los ensayos de porosidad, es importante tener en cuenta que no existe un límite específico establecido por la normativa. Por lo tanto, se utiliza como punto de referencia un material similar: la Escayola con fibra sintética, que presenta una porosidad del 44.9% según la norma UNE-EN 520:2005+A1 (2010).



*Imagen 129 Pesaje de probetas saturadas*  
**Nota:** Pruebas de pesaje de probetas saturadas

En las probetas fabricadas con cemento, se observa un bajo porcentaje de porosidad debido a que sus poros son más cerrados, lo que se debe a su mezcla más compacta. Por otro lado, la probeta de yeso muestra el porcentaje más alto de porosidad, aunque no supera la referencia establecida por la Escayola con fibra sintética.

El porcentaje de porosidad calculado en las probetas tiene un impacto significativo en sus propiedades. En particular, afecta la resistencia mecánica y a su durabilidad.

Los paneles ensayados con cemento y fibra, al tener menos poros, son adecuados incluso para uso en exteriores, ya que su baja porosidad evita la absorción excesiva de humedad. Por otro lado, las probetas de yeso ensayadas presentan características distintas debido a su naturaleza y composición. Estos paneles son más livianos, lo que los hace beneficiosos para construir muros interiores en viviendas. Además, su baja conductividad térmica contribuye

con el aislamiento, haciéndolo un elemento adecuado para zonas cálidas, en donde se busque mitigar los efectos del calor.

### 3.16. Ensayos de Conductividad Térmica

Para el ensayo de conductividad térmica se toma en cuenta la normativa chilena NCH 853 que establece:

Se construye una caja de 50 cm de largo por 30 cm de alto de MDF de 5 mm, separadas en el centro con un par de paneles, la intención es separar la caja en dos cámaras, selladas con poliestireno expandido o espuma Flex. En las uniones entre los paneles de espuma Flex, se colocó cinta aislante, de tal manera que la caja quede herméticamente cerrada, evitando que el calor se pierda. Cada cámara funcionará como una habitación, en las que circule el aire caliente por la acción de un foco de 100w y el aire a temperatura ambiente respectivamente.

Se procede a tomar la temperatura inicial, luego se sella la caja con la tapa de poliestireno, sellándola. Los datos deben ser tomados en intervalos de tiempo de 1 min, 30 min y 60 min, para esto se emplea el termómetro ambiental, que registre las temperaturas al interior y al exterior.

Para obtener los datos al terminar el ensayo se considera la ley de Fourier, que hace alusión a la transición de calor a través de una pared plana, aplicando la siguiente fórmula:

$$Q = KA = \frac{(t_2 - t_1)}{L}$$

Donde:

- K= Conductividad térmica
- A= Área del material
- L= Espesor del material
- Q= Índice de transferencia de calor
- T1= Temperatura final
- T2= Temperatura inicial
- ΔT= Variación de tiempo

ÍNDICE DE TRANSFERENCIA DE CALOR								
MUESTRAS QUE CUMPLEN CON LA RESISTENCIA MECÁNICA								
Norma: NCH 853								
Cálculo de índice de transferencia de calor 1 min (0,1 h)								
Muestra	Temperatura Final (°C)	Temperatura Inicial (°C)	Conductividad (W/m.°C)	Área del	Espesor (m)	Índice de Transferencia de Calor (w)	Índice de Transferencia	Índice Total de

				Material (m <sup>2</sup> )			de Calor (Kw)	Calor (Q.t)
CCF 005	25,6	21,7	0,25	0,038	0,02	1,85	0,00185	0,00019
YCC 002	20,2	20,0	0,25	0,038	0,02	0,29	0,00029	0,00003
CCF 004	21,1	20,6	0,25	0,038	0,02	0,24	0,00024	0,00002
CCF 002	21,4	20,9	0,25	0,038	0,02	0,24	0,00024	0,00002

*Tabla 42 Índice de transferencia de calor 1 min*

<b>ÍNDICE DE TRANSFERENCIA DE CALOR</b>								
MUESTRAS QUE CUMPLEN CON LA RESISTENCIA MECÁNICA								
Norma: NCH 853								
Cálculo de índice de transferencia de calor 30 min (0,5 h)								
Muestra	Temperatura Final (°C)	Temperatura Inicial (°C)	Conductividad (W/m.°C)	Área del Material (m <sup>2</sup> )	Espesor (m)	Índice de Transferencia de Calor (w)	Índice de Transferencia de Calor (Kw)	Índice Total de Calor (Q.t)
CCF 005	29,7	22,0	0,25	0,038	0,02	3,65	0,00365	0,00183
YCC 002	30,8	22,3	0,25	0,038	0,02	4,03	0,00403	0,00202
CCF 004	28,9	21,3	0,25	0,038	0,02	3,61	0,00361	0,00181
CCF 002	29,6	21,8	0,25	0,038	0,02	3,70	0,0037	0,00185

*Tabla 43 Índice de transferencia de calor 30 min*

<b>ÍNDICE DE TRANSFERENCIA DE CALOR</b>								
MUESTRAS QUE CUMPLEN CON LA RESISTENCIA MECÁNICA								
Norma: NCH 853								
Cálculo de índice de transferencia de calor 60 min (1 h)								
Muestra	Temperatura Final (°C)	Temperatura Inicial (°C)	Conductividad (W/m.°C)	Área del Material (m <sup>2</sup> )	Espesor (m)	Índice de Transferencia de Calor (w)	Índice de Transferencia de Calor (Kw)	Índice Total de Calor (Q.t)
CCF 005	32,4	22,6	0,25	0,038	0,02	4,65	0,00465	0,005
YCC 002	32,5	23,5	0,25	0,038	0,02	4,27	0,00427	0,004
CCF 004	32,0	22,7	0,25	0,038	0,02	4,41	0,00441	0,004
CCF 002	30,3	23,1	0,25	0,038	0,02	3,42	0,00342	0,003

*Tabla 44 Índice de transferencia de calor 60 min*

### **3.16.1. Análisis de Resultados para los ensayos de conductividad térmica**



*Imagen 130 Colocación de probetas dentro de la caja térmica*  
**Nota:** Pruebas de colocación de probetas dentro de la caja térmica

Para llevar a cabo los ensayos de conductividad térmica, solamente se tuvieron en cuenta a aquellas dosificaciones que hayan cumplido de manera efectiva con las pruebas mecánicas, siendo consideradas las muestras CCF 005, YCC 002, CCF 004 y CCF 002.

Concluido el proceso de experimentación de las probetas, ensayadas para determinar el índice de transferencia térmica, se registran resultados obtenidos en rangos de tiempo de 1 min, 30 min y 60 min, estableciendo que:

La muestra con mayor índice de transferencia de calor, a 1 min de ensayo le corresponde a la dosificación CCF 005, alcanzando un 0.00019 kw y la que menor paso de calor presentó fue la muestra CCF 002, registrando un índice total de 0.00002 kw.

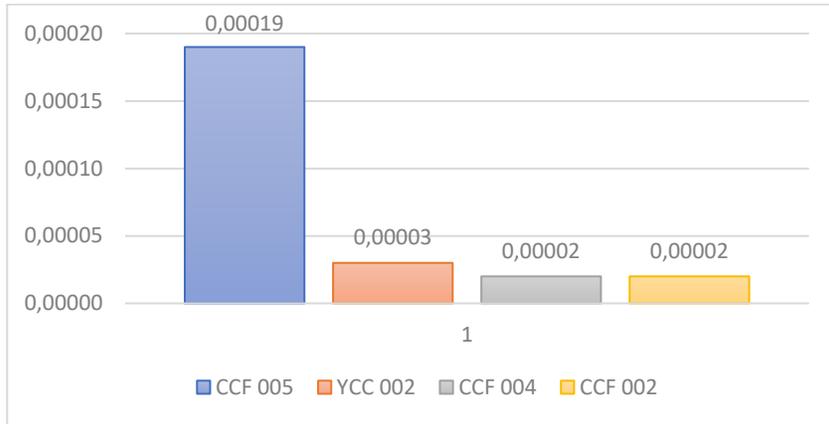
El siguiente control de temperatura, se hizo a los 30 minutos, registrando la probeta con mayor índice de transferencia de calor, en donde la muestra YYC resalta, con un total de 0.00202 kw. La dosificación que menor índice registra, a los 30 minutos corresponde a la muestra CCF 004 con 0.00181 kw.

Finalmente, al concluir los 60 minutos de prueba para las probetas, se registró un aumento de la temperatura al interior, similar en los cuatro casos. La probeta con el índice más alto de transferencia de calor, le corresponde a la dosificación CCF 005 con 0.005 kw.

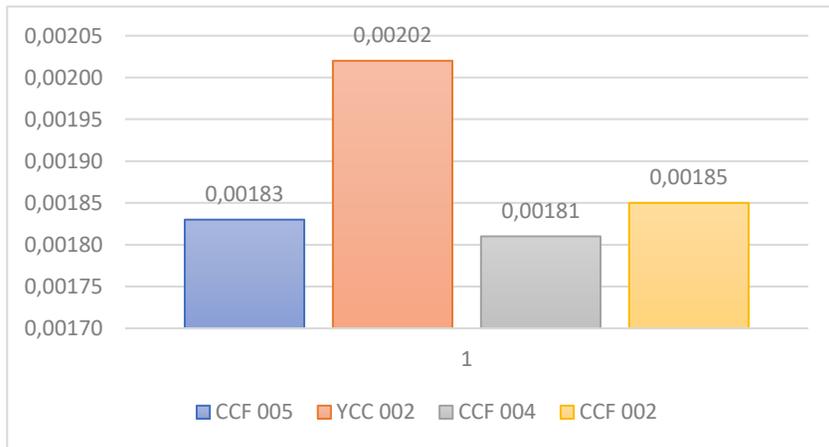


*Imagen 131 Sellado de la caja térmica con panel de poliestireno y tapa de mdf*  
**Nota:** Pruebas de sellado de la caja térmica con paneles de poliestireno y tapas de mdf

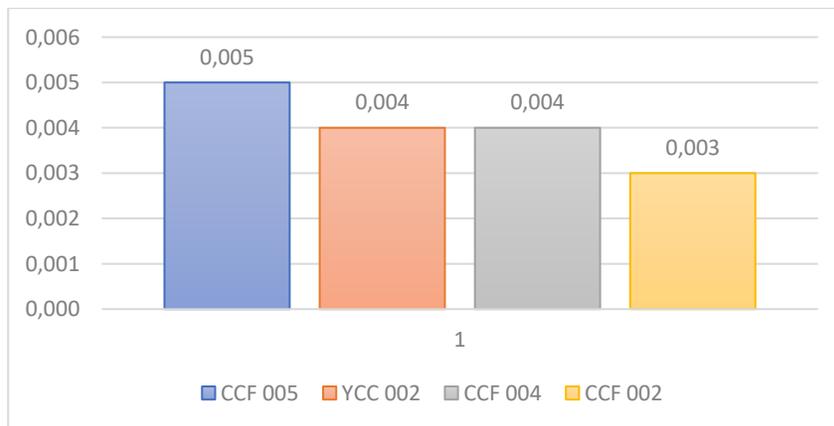
Es posible considerar a la muestra CCF 002 como aquella que mejores resultados obtuvo, debido a su bajo índice de transferencia de calor registrado al finalizar el ensayo, esto permite que el panel funcione mucho mejor como un aislante térmico, al momento de dividir espacios al interior de una construcción.



**Imagen 132** Ensayo de conductividad térmica, probetas CCF



**Imagen 133** Ensayo de conductividad térmica, probetas CCF



**Imagen 134** Ensayo de conductividad térmica, probetas YCC

### 3.17. Ensayos de Resistencia al Fuego



*Imagen 135 Ensayo de resistencia al fuego*

**Nota:** Pruebas de ensayo para resistencia al fuego

Para llevar a cabo el ensayo de resistencia al fuego, se tuvo en cuenta la norma NTE INEN 804, en donde se establece que las probetas a ser ensayadas deben ser sometidas al fuego de forma directa, registrando el lapso de tiempo en cual el panel empieza a fallar. El daño debe ser considerable en una de sus caras, el tiempo registrado permite clasificar la resistencia al fuego de cada una de las probetas.

Las probetas ensayadas corresponden a aquellas dosificaciones que anteriormente ya cumplieron con los ensayos realizados, siendo estas las pertenecientes a las muestras CCF 005, YCC 002, CCF 004 y CCF 002.

Se hizo uso de un soplete alimentado por gas licuado, su finalidad es generar el calor y la llama que se aplica de forma directa a la probeta. La prueba se llevó a cabo en un ambiente abierto y libre de elementos inflamables. Se debe tener en cuenta una correcta protección en las manos y en los ojos, para prevenir posibles accidentes.

Una vez determinado el tiempo de exposición de las probetas a fuego directo, pueden ser clasificadas según su duración. La norma NTE INEN 804, dependiendo del tiempo que las probetas hayan durado sin perder sus características, se las clasifican de la siguiente manera:

<b>RESISTENCIA AL FUEGO</b>	
<b>NORMA: NTE INEN 804</b>	
<b>Aplicación</b>	<b>Clasificación / Resistencia</b>
Residenciales	F 30 minutos
Edificios	F 60 minutos

*Tabla 45 Clasificación según resistencia al fuego*

**Nota:** Resultados y clasificación de resistencia al fuego

<b>DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL FUEGO</b>		
<b>Norma: NTE INEN 804</b>		
<b>Muestra</b>	<b>F30 Residenciales</b>	<b>F60 Edificios</b>
CCF 005		F 123 min

YCC 002		F 62 min
CCF 004		F 119 min
CCF 002		F 115 min

*Tabla 46 Determinación de la resistencia al Fuego*

**Nota:** Resultados a la determinación de la resistencia al fuego

### **3.17.1. Análisis de Resultados para los ensayos de resistencia al fuego**



*Imagen 136 Fallo de probetas en ensayo de resistencia al fuego*

**Nota:** Pruebas de fallo de las probetas en ensayo de resistencia al fuego

Al terminar con los ensayos de resistencia al fuego, bajo la norma ecuatoriana NTE INEN 804, se pueden obtener una serie de observaciones;

Como primera observación es importante recalcar la distinta reacción para las probetas que contenían cemento en su composición y la que estaba hecha con yeso. Las muestras CCF 005, CCF 004 y CCF 002, tuvieron un comportamiento muy parecido, resistiendo altas temperaturas, sin deformar su estructura ni presentar fisuras o grietas.

Por otro lado, aquella muestra correspondiente a la dosificación YCC 002, presentó un comportamiento distinto, debido a que, a los 30 minutos de estar expuesta al fuego, la probeta empezó a deformar su estructura, torciéndose, pero sin fisurarse. Esta probeta, fue la que menos tiempo resistió, sin embargo, sí cumple con la norma.

Finalmente se pudo observar que en ninguno de los cuatro casos el fuego se expandía totalmente en la cara expuesta y al resistir como mínimo los 62 minutos, todas se pueden considerar como aptas para la construcción en edificios.

### **3.18. Prueba de Perforación - Anclaje**



*Imagen 137 Ensayo de Perforación*

**Nota:** Pruebas de ensayo de perforación

Después de haber realizado los diversos ensayos previamente mencionados, es necesario someter la probeta a una prueba de anclaje. Esta prueba nos permite evaluar la facilidad con la que el elemento puede fijarse a una estructura.

Para llevar a cabo esta prueba, se utilizó un taladro para perforar la probeta. El objeto de fijación fue un tornillo de 1 ½ pulgadas. Las perforaciones se realizaron a 5 cm de los bordes, siguiendo las distancias recomendadas para la fijación y los anclajes en elementos prefabricados.

Las probetas que obtuvieron los mejores resultados en las pruebas mecánicas se sometieron a este ensayo, y todas demostraron una resistencia positiva, sin sufrir daños que afectaran su estructura.

Las probetas elaboradas con cemento demostraron una mayor resistencia al perforado debido a su composición, que las hace más duras. Al finalizar el ensayo, estas probetas no sufrieron ninguna afección.

En contraste, la probeta de yeso fue más fácil de perforar y no generó tanta resistencia como las anteriores. Esto se debe a su composición y su porosidad. Además, se pudo observar que la probeta respondió de manera favorable, sin presentar fisuras ni daños en su composición estructural.



*Imagen 138 Perforaciones limpias en probetas ensayadas*  
**Nota:** Pruebas de perforaciones limpias en las probetas ensayadas

La facilidad para ser anclados hace que los paneles puedan utilizarse tanto en interiores como en exteriores. En caso de dividir espacios, se puede optar por una construcción en seco con la ayuda de una estructura liviana. En este contexto, el uso del panel elaborado con yeso es el más adecuado, ya que, al ser un elemento liviano, no afecta la estructura.

### **3.19. Resumen de Ensayos Realizados**

Una vez terminados todos los ensayos propuestos, se procede a hacer una valoración con los resultados obtenidos. Para realizar esta tabla, se tuvo en cuenta las muestras que superaron en primera instancia las pruebas mecánicas de flexión y compresión.

<b>Resumen de Ensayos Realizados</b>							
Muestra	Resistencia a Flexión (N/mm <sup>2</sup> )	Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Hinchamiento a 2 horas de inmersión	% de Porosidad	Conductividad Térmica 60 min.	Resistencia al Fuego	Resistencia a la Perforación
CCF 005	1,22	89,78	0,98	10,33	0,005	F 123 min	Cumple
YCC 002	1,13	60,18	2,94	43,46	0,004	F 62 min	Cumple
CCF 004	1,11	91,13	1,52	11,13	0,004	F 119 min	Cumple
CCF 002	1,01	54,09	1,54	7,56	0,003	F 115 min	Cumple

*Tabla 47 Resumen de Ensayos realizados*

**Nota:** Resultados y resumen de ensayos realizados

En las pruebas mecánicas se puede observar que la mayoría de probetas, cumple de manera satisfactoria con los ensayos de compresión, siendo la fibra de paja toquilla un elemento fundamental para ello. Por otra parte, los ensayos de flexión no tuvieron los resultados esperados, lo que conllevó a desechar gran parte de las probetas.

<b>Resumen de Dosificación</b>						
Muestra	Cemento - Yeso (g)	Cal (g)	Cola Vinílica (g)	Fibra (g)	Comunidad	Agua (g)
CCF 005	5988,94	721,34	0,00	21,38	Santa Marianita	701,25
YCC 002	3778,4	607,58	87,44	9,54	San Isidro	1409,00
CCF 004	6260,63	646,72	0,00	24,75	Seipa	1387,5
CCF 002	5965,21	746,21	0,00	16,88	San Isidro	1462,5

*Tabla 48 Resumen de Dosificación*

**Nota:** Resultados y resumen de ensayos dosificados

Las muestras realizadas con tierra arcillosa, registraron los peores resultados, tanto en las pruebas mecánicas, como en la prueba de hinchamiento, esto puede estar ligado con la cantidad de sedimentos que tenía la tierra, debido a un mal proceso de tamizaje. Por este motivo, también fueron desechadas y no se realizaron el resto de ensayos.

Finalmente, se separaron las muestras correspondientes a las dosificaciones CCF 005, CCF 004 y CCF 002, siendo las que mejores resultados obtuvieron en comparación con el resto, que no consiguió el mínimo establecido según la normativa para cada ensayo. Estas probetas han demostrado funcionar de forma adecuada, siendo consideradas aptas para la construcción.

### **3.20. Conclusiones de los Resultados**

La fibra de paja toquilla ha sido poco estudiada en el ámbito de la construcción, pero su potencial en la fabricación de paneles prefabricados se compara con otros existentes.

A diferencia de los paneles de fibrocemento, que son resistentes al fuego y la humedad, los paneles propuestos, gracias a la fibra, son más ligeros y prácticos. Sin embargo, la incorporación de la fibra de paja toquilla afecta la resistencia mecánica.

Los mejores resultados que se obtuvieron luego de los distintos ensayos corresponden a las dosificaciones de cemento, yeso y un bajo porcentaje de paja toquilla, mismas que cumplieron con los ensayos establecidos bajo distintas normativas.

En resumen, estos paneles pueden utilizarse como divisores de espacios, e inclusive en el caso de las probetas elaboradas con cemento, pueden ser utilizadas como elemento compositor de fachadas, dadas sus características y propiedades, contribuyendo con la eficiencia energética, siendo livianos, durables y resistente.

El proyecto al estar dirigido a la elaboración de un panel de tabiquería, se considera como mejor opción, la probeta elaborada a partir de yeso y fibras de paja toquilla, por los resultados que obtuvo en los ensayos realizados y al ser más liviana que las elaboradas con cemento, lo que beneficiará de forma directa en la construcción.

## CAPÍTULO IV. PROTOTIPO DE PANEL DE TABIQUERÍA DESARROLLADO CON PAJA TOQUILLA

### 4.3. Diseño y Elaboración del Panel



*Imagen 139* Moldes para Probetas

**Nota:** Diseño y elaboración de moldes para probetas

Se propone la elaboración de un panel de tabiquería, elaborado a base de paja toquilla para su uso dentro de la construcción, como elemento divisor de espacios al interior de una edificación. Para esto se toma en cuenta las dimensiones más utilizadas en la modulación de los paneles, así como el sistema de anclaje que sostendrá a todo el elemento.

Para determinar las dimensiones adecuadas en la fabricación del panel, se consideró la norma UNE-EN 12859. Esta norma establece medidas estándar para la creación de paneles desmontables de cielo raso con dimensiones de 60x60x15 mm y para paredes de 60x60x25 mm.

Siguiendo este parámetro, se produce un panel cuadrado de 60 x 60 x 2.5 cm que permite modular los muros no estructurales con una altura promedio de 2.40 m. Estas dimensiones brindan flexibilidad en la construcción y mejoran la resistencia del elemento vertical.



*Imagen 140* Elaboración de Panel

**Nota:** Elaboración de paneles de tabiquería con paja toquilla

Para el proceso de encofrado, se empleó un molde de acero recubierto con un material desmoldante de plástico. Este revestimiento facilita el desencofrado posterior.

La mezcla utilizada se determinó mediante los ensayos, explicados en el capítulo anterior, seleccionando la que mejor resultados presentó. Se aplican dos capas de yeso, junto con la incorporación de fibra de paja toquilla, con el objetivo de mejorar la resistencia del panel.

Después de 45 minutos, se retira el encofrado, y el panel se deja secar a la sombra durante un período de 3 a 5 días.



*Imagen 141 Paneles Prefabricados*

**Nota:** Paneles prefabricados secados a la sombra

#### **4.4. Sistema de Anclaje**

Dado que estos paneles están diseñados para dividir espacios dentro de una edificación, se sugiere emplear una técnica de paredes en seco. En este enfoque constructivo, se utiliza una estructura compuesta por perfiles de acero galvanizado, los cuales asegurarán los elementos prefabricados en su lugar.

Considerando los materiales disponibles en el mercado, se evalúa la utilización de perfiles tipo Track (también conocidos como rieles o soleras) en forma de U con dimensiones de 70 x 28 mm y una longitud de 2.60 metros. Estos se colocan en posición horizontal para fijarlos al piso mediante tarugos de expansión de nylon N° 8 y tornillos de 1 ½ pulgadas, con una separación de 60 centímetros entre ellos.

Luego, se instalan los perfiles tipo Stud (parantes o montantes) en forma de C, con dimensiones de 69 x 35 mm y una altura de 2.60 metros. Estos se colocan de manera vertical, también con una separación de 60 centímetros, y se fijan a los rieles mediante tornillos autoperforantes de 3/8 pulgadas. Finalmente, se procede a la instalación de los paneles prefabricados, utilizando tornillos de 1 ½ pulgadas.



*Imagen 142 Perforación de paneles Prefabricados*

**Nota:** Paneles prefabricados perforados

#### **4.5. Propuesta Arquitectónica**

Como parte final del proceso experimental, al elaborar un panel con paja toquilla, se desarrolla una propuesta arquitectónica, enfocada en una vivienda de carácter social unifamiliar, en donde se refleje el uso del panel como elemento divisor de espacios.

#### 4.5.1. Cuadro de Programación

Es importante tener en cuenta que el diseño y la distribución de una vivienda social unifamiliar pueden variar, pero generalmente incluyen los siguientes espacios arquitectónicos:

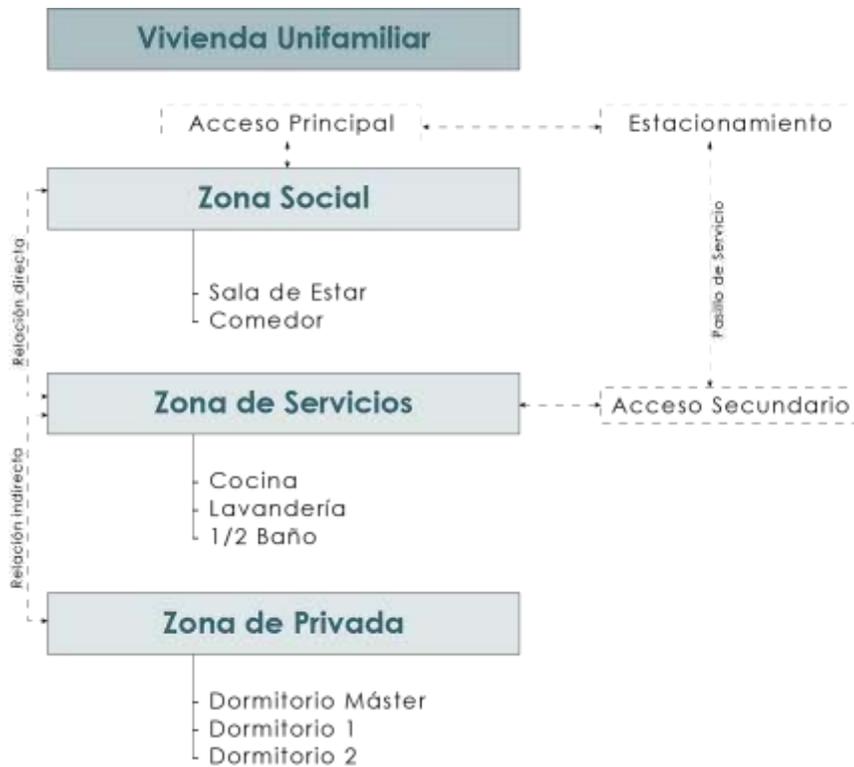
<b>Cuadro de Programación Vivienda Social Unifamiliar</b>	
<b>ZONA SOCIAL</b>	
Actividades	Espacio
Área compartida para actividades familiares como comer, ver televisión o conversar.	Sala de Estar
	Comedor
Un espacio destinado a la preparación de alimentos, que incluye una estufa, un fregadero y espacio para almacenar utensilios y provisiones.	Cocina
Un área compartida, ya sea pequeña o incluso un patio trasero, destinada a la ubicación de la lavadora y el secado de la ropa.	Lavandería
Un espacio para la higiene personal, que incluye inodoro, lavabo y ducha o bañera.	Baño
<b>ZONA PRIVADA</b>	
Habitaciones destinadas al descanso y privacidad de los habitantes. Puede haber uno o varios dormitorios, dependiendo del tamaño de la familia.	Dormitorios
<b>ZONAS COMPLEMENTARIAS</b>	
Si es posible, una vivienda social unifamiliar puede incluir un espacio para estacionar un vehículo.	Estacionamiento

*Imagen 143 Cuadro de Programación Vivienda Social Unifamiliar*

**Nota:** Resultados de programación de la vivienda social unifamiliar

#### 4.5.2. Esquema Funcional

Para identificar el correcto funcionamiento de la vivienda unifamiliar propuesta, es necesario establecer las relaciones entre los espacios al interior, cumpliendo con lo establecido en la programación.

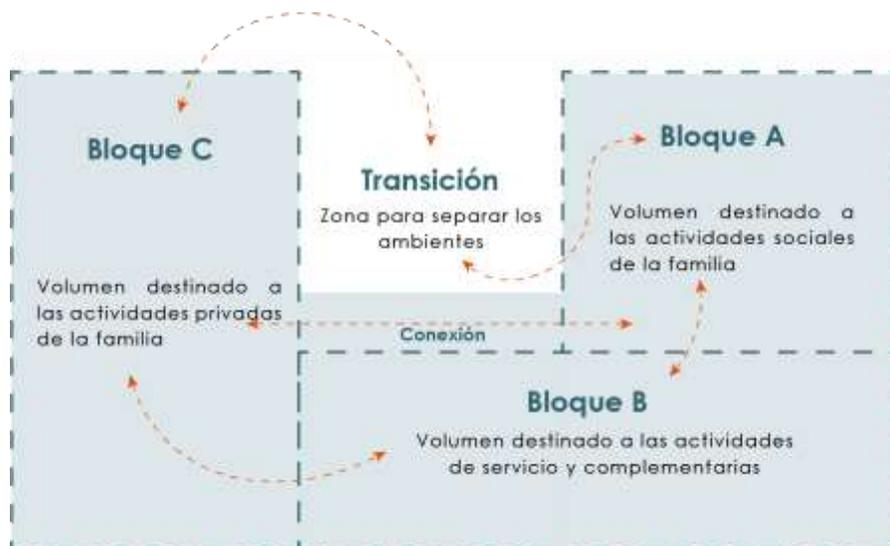


*Imagen 144 Esquema Funcional*

**Nota:** Esquema funcional para la propuesta de la vivienda unifamiliar

#### 4.5.3. Organización Espacial

Los volúmenes que se proponen, se rigen bajo la premisa de generar ambientes diferenciados al interior de la vivienda, conectados entre sí, de tal manera que facilite la distribución de los espacios.



*Imagen 145 Organización Espacial*

**Nota:** Organización espacial para la propuesta de vivienda unifamiliar

#### 4.5.4. Zonificación

##### Leyenda

- Zona Privada
- Zona de Servicios
- Zona Social
- Estacionamiento
- Área Verde
- Pasillos de Servicio y conexiones

##### Espacios

1. Garaje
2. Patio
3. Acceso Principal
4. Sala
5. Comedor
6. Baño Social
7. Bodega
8. Lavandería
9. Cocina
10. Dormitorio 2
11. Dormitorio Principal
12. Dormitorio 1
13. Baño Compartido
14. Zona de Transición
15. Pasillo de Servicio



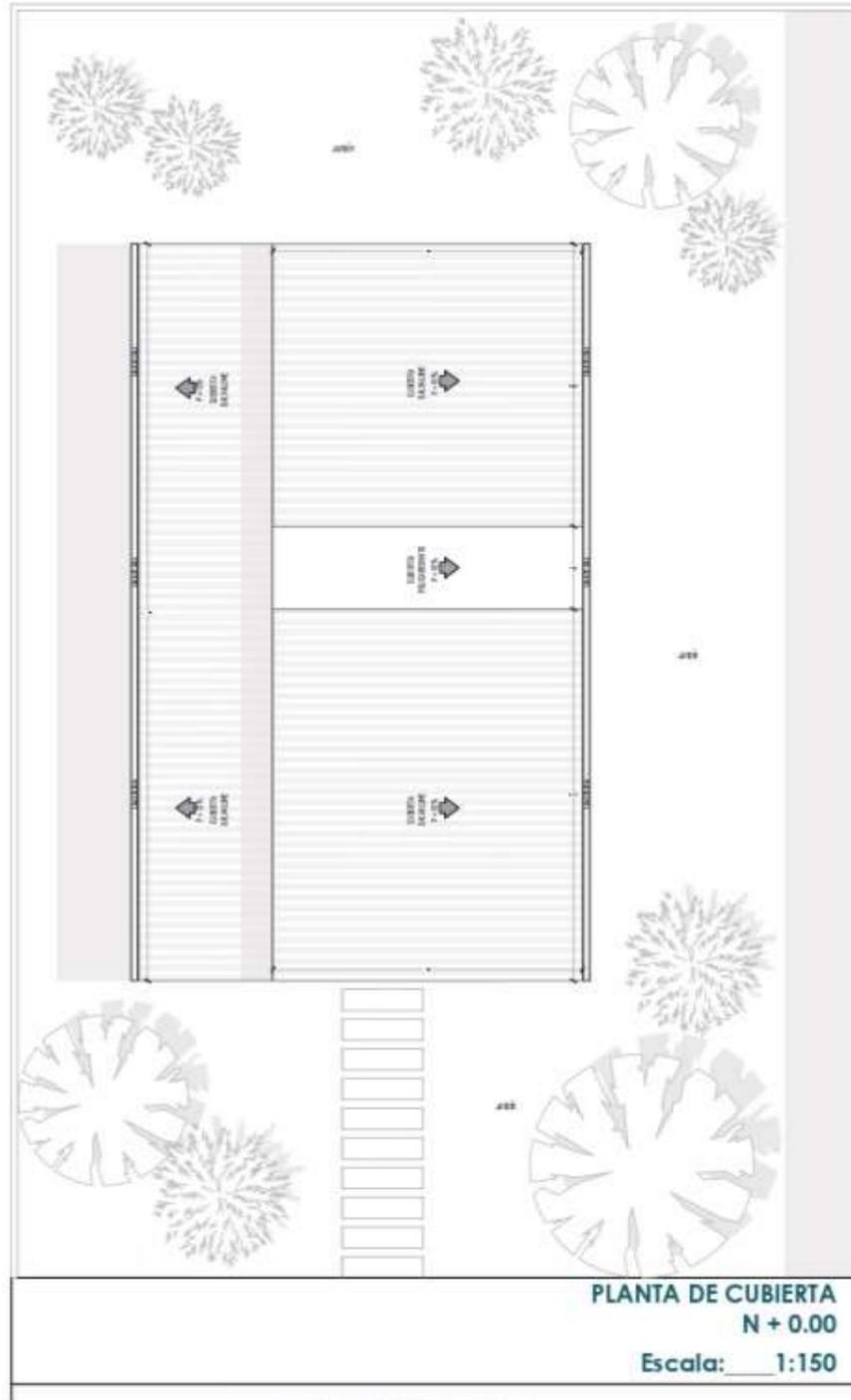
*Imagen 146 Zonificación*

**Nota:** Zonificación de la propuesta de la vivienda unifamiliar

#### 4.5.5. Diseño Arquitectónico (Ver en anexos)



4.3.5. Diseño Arquitectónico



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE ARQUITECTURA

ROBAMBA - ECUADOR



RENDER EXTERIOR  
Escala: S/N

**NOMBRE DEL PROYECTO**

Propuesta de un prototipo de panel de tabiquería desarrollado con paja toquilla como alternativa en la construcción

- PLANTA BAJA GENERAL  
- PLANTA BAJA

**ESCALA:**  
INDICADAS  
**ESTUDIANTE:**  
GILSSON L. ARTEAGA ALCVAR  
**TUTOR:**  
ARQ. INDIRA SALAZAR  
**FECHA:**  
MARZO 2024

**CUADRO DE ÁREAS**

PISO	ÁREA BRUTA	ÁREA NO COMPUTABLE		
		CIRCULACIÓN	PARKING	OTROS
P. BAJA	174.23 m <sup>2</sup>	42.65 m <sup>2</sup>	33.60 m <sup>2</sup>	00.00 m <sup>2</sup>
TOTAL	174.23 m <sup>2</sup>	42.65 m <sup>2</sup>	33.60 m <sup>2</sup>	
	TOTAL A. NO COMPUTABLE		76.25 m <sup>2</sup>	97.98 m <sup>2</sup>
	TOTAL A. COMPUTABLE		97.98 m <sup>2</sup>	

**ESPECIALIDAD:**  
ARQUITECTURA

**LÁMINA:**

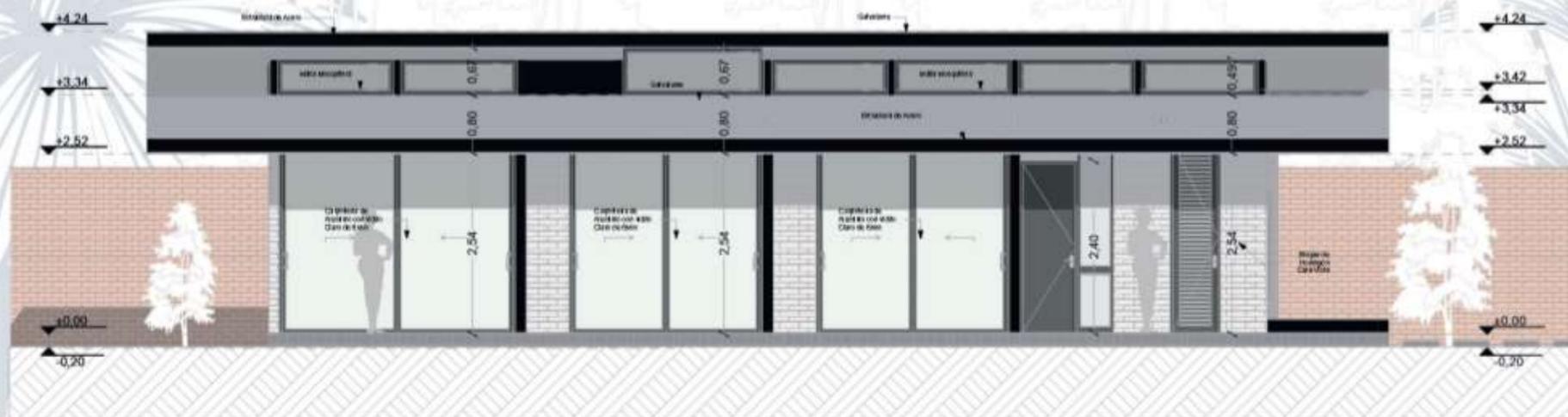
**ARQ 001**



4.3.5. Diseño Arquitectónico



ELEVACIÓN FRONTAL VIVIENDA UNIFAMILIAR  
Escala: 1:75



ELEVACIÓN L. IZQUIERDA VIVIENDA UNIFAMILIAR  
Escala: 1:75

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE ARQUITECTURA

BOBAUSA - ECUADOR



RENDER EXTERIOR  
Escala: 5/1N

NOMBRE DEL PROYECTO

Propuesta de un prototipo de panel de fabricación desarrollado con paja toquilla como alternativa en la construcción

- ELEVACIÓN FRONTAL  
- ELEVACIÓN LATERAL IZQUIERDA

ESCALA:  
INDICADAS  
ESTUDIANTE:  
GILSSON L. ARTEAGA ALCIVAR  
TUTOR:  
ARQ. INDIRA SALAZAR  
FECHA:  
MARZO 2024

CUADRO DE ÁREAS

PISO	ÁREA BRUTA	ÁREA NO COMPUTABLE		
		CIRCULACIÓN	PAREING	OTROS
P. BAJA	174.23 m <sup>2</sup>	42.65 m <sup>2</sup>	33.60 m <sup>2</sup>	00.00 m <sup>2</sup>
TOTAL	174.23 m <sup>2</sup>	42.65 m <sup>2</sup>	33.60 m <sup>2</sup>	97.98 m <sup>2</sup>
	TOTAL A. NO COMPUTABLE	76.25 m <sup>2</sup>		
	TOTAL A. COMPUTABLE	97.98 m <sup>2</sup>		

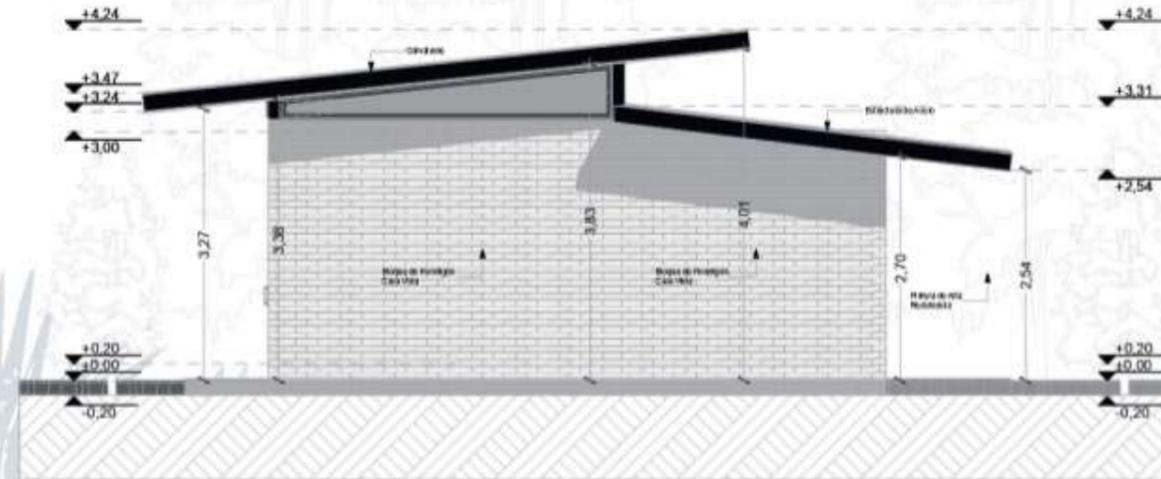
ESPECIALIDAD:  
ARQUITECTURA

LÁMINA:

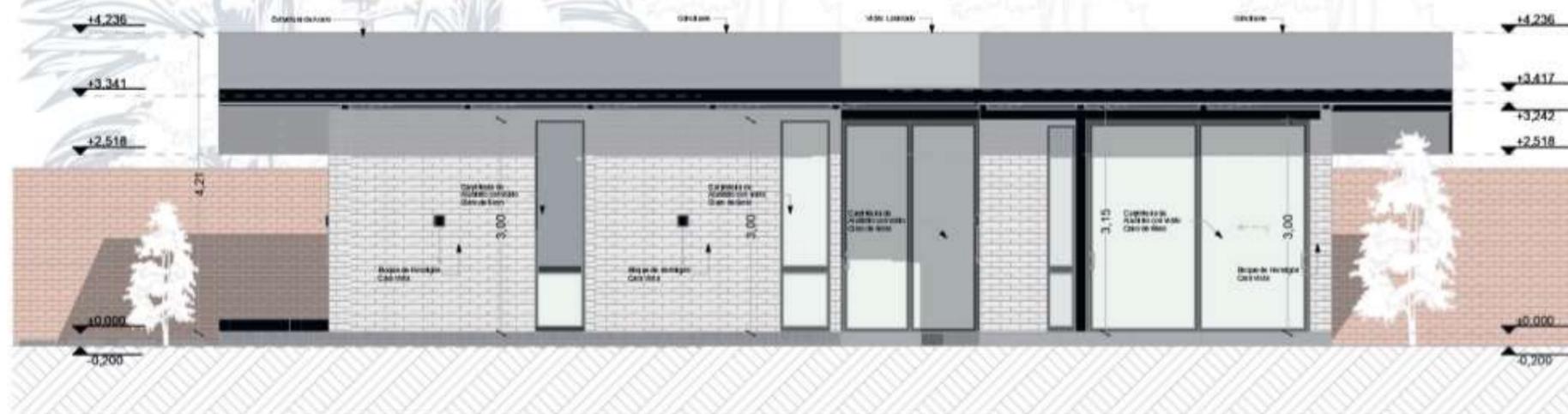
ARQ 002



4.3.5. Diseño Arquitectónico



ELEVACIÓN POSTERIOR VIVIENDA UNIFAMILIAR  
Escala: 1:75



ELEVACIÓN L. DERECHA VIVIENDA UNIFAMILIAR  
Escala: 1:75

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE ARQUITECTURA

ROSA/IBA - ECUADOR



RENDER INTERIOR  
Escala: S/N

NOMBRE DEL PROYECTO

Propuesta de un prototipo de panel de tabiquería desarrollado con paja toquilla como alternativa en la construcción.

- ELEVACIÓN POSTERIOR  
- ELEVACIÓN LATERAL DERECHA

ESCALA:  
INDICADAS  
ESTUDIANTE:  
GILSSON L. ARTEAGA ALCIVAR  
TUTOR:  
ARQ. INDIRA SALAZAR  
FECHA:  
MARZO 2024

CUADRO DE ÁREAS

PISO	ÁREA BRUTA	ÁREA NO COMPUTABLE		
		CIRCULACIÓN	PARKING	OTROS
P. BAJA	174.23 m <sup>2</sup>	42.65 m <sup>2</sup>	33.60 m <sup>2</sup>	00.00 m <sup>2</sup>
TOTAL	174.23 m <sup>2</sup>	42.65 m <sup>2</sup>	33.60 m <sup>2</sup>	00.00 m <sup>2</sup>
	TOTAL A. NO COMPUTABLE	76.25 m <sup>2</sup>		
	TOTAL A. COMPUTABLE	97.98 m <sup>2</sup>		

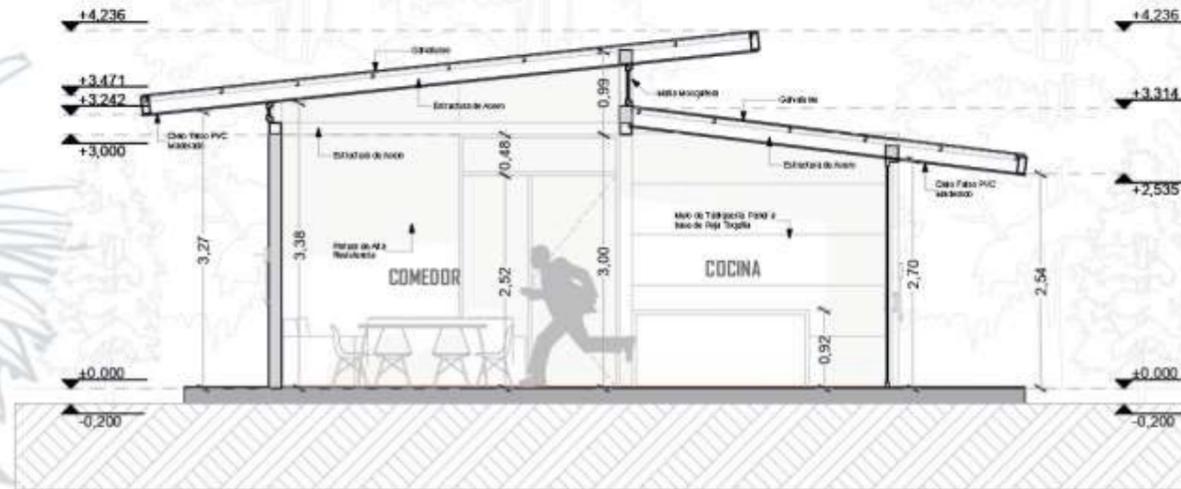
ESPECIALIDAD:  
ARQUITECTURA

LÁMINA:

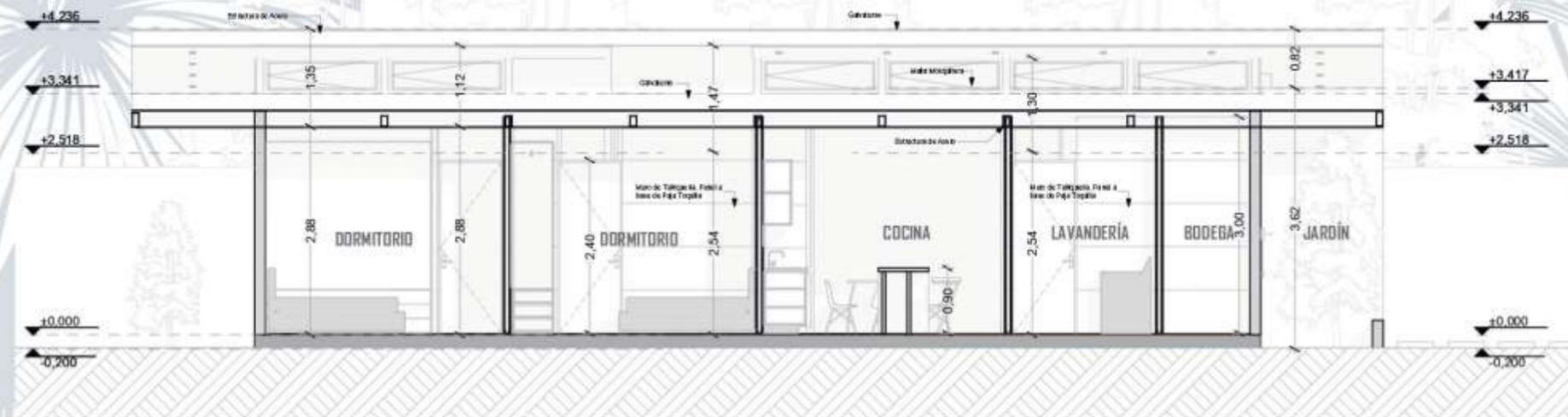
ARQ 003



4.3.5. Diseño Arquitectónico



SECCIÓN TRANSVERSAL B-B VIVIENDA UNIFAMILIAR  
Escala: 1:75



SECCIÓN LONGITUDINAL A-A VIVIENDA UNIFAMILIAR  
Escala: 1:75

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE ARQUITECTURA  
ROBAINA - ECUADOR



RENDER INTERIOR  
Escala: S/N

NOMBRE DEL PROYECTO

Propuesta de un prototipo de panel de tabiquería desarrollado con paja toquilla como alternativa en la construcción

- SECCIÓN TRANSVERSAL B-B
- SECCIÓN LONGITUDINAL A-A

ESCALA:  
INDICADAS  
ESTUDIANTE:  
GILSSON L. ARTEAGA ALCIVAR  
TUTOR:  
ARQ. INDIRA SALAZAR  
FECHA:  
MARZO 2024

CUADRO DE ÁREAS

PISO	ÁREA BRUTA	ÁREA NO COMPUTABLE		
		CIRCULACIÓN	PARKING	OTROS
P. BAJA	174.23 m <sup>2</sup>	42.65 m <sup>2</sup>	33.60 m <sup>2</sup>	00.00 m <sup>2</sup>
TOTAL	174.23 m <sup>2</sup>	42.65 m <sup>2</sup>	33.60 m <sup>2</sup>	00.00 m <sup>2</sup>
	TOTAL A. NO COMPUTABLE	76.25 m <sup>2</sup>		
	TOTAL A. COMPUTABLE	97.98 m <sup>2</sup>		

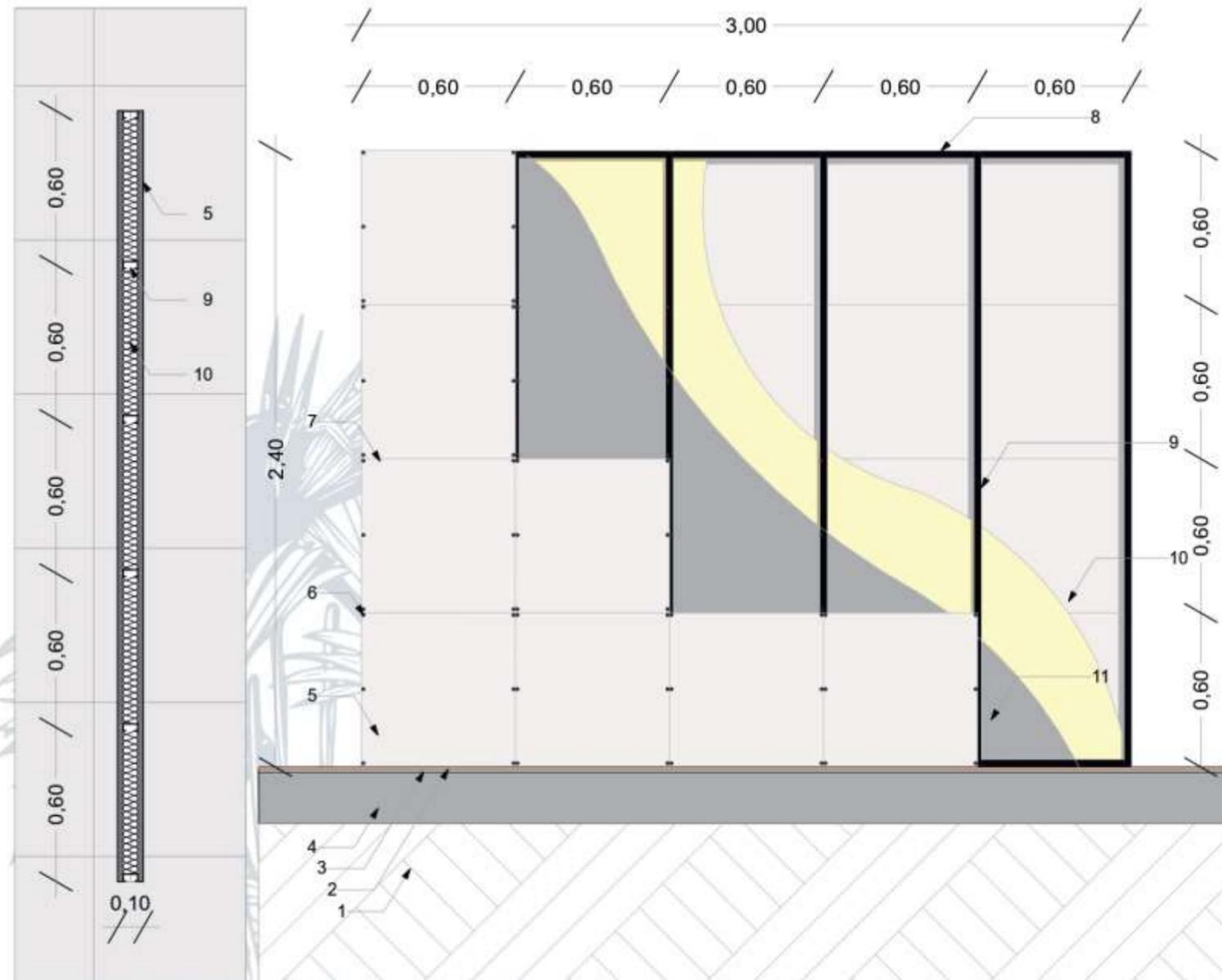
ESPECIALIDAD:  
ARQUITECTURA

LÁMINA:

ARQ 004



4.3.6. Detalles Constructivos



DETALLE DE MURO  
Escala: 1:20

DETALLE DE ARMADO DE PARED Y PANELES PREFABRICADOS  
Escala: 1:20

Especificaciones Técnicas.

1. Suelo Compactado
2. Cerámica de piso
3. Mortero 1:3
4. Replanteo de piedra de 20cm
5. Panel reforzado con fibra de paja toquilla 60x60 cm e= 25mm
6. Tornillos de fijación de 1-1/2" cada 25 a 30 cm
7. Tratamiento de junta con masilla
8. Perfil riel o solera de acero galvanizado de 70x28 mm x 3m
9. Perfil montante de acero galvanizado de 69x35 mm x 3m
10. Lana de Roca
11. Film plástico
12. Perfil estructural de acero 150x150x2
13. Perfil estructural de acero 150x100x2
14. Lana de Roca Volcán e= 40 mm
15. Galvalume pre pintado 0.60 mm
16. Correas de acero 60mm
17. Tarugos de expansión Nylon No 8
18. Tornillo de fijación 3/8"

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE ARQUITECTURA

ROSAVBA - ECUADOR



RENDER EXTERIOR  
Escala: S/N

NOMBRE DEL PROYECTO

Propuesta de un prototipo de panel de tabiquería desarrollado con paja toquilla como alternativa en la construcción

- DETALLES CONSTRUCTIVOS

ESCALA:  
INDICADAS  
ESTUDIANTE:  
GILSSON L. ARTEAGA ALCIVAR  
TUTOR:  
ARQ. INDIRA SALAZAR  
FECHA:  
MARZO 2024

CUADRO DE ÁREAS

PISO	ÁREA BRUTA	ÁREA NO COMPUTABLE		
		CIRCULACIÓN	PARKING	OTROS
P. BAJA	174.23 m <sup>2</sup>	42.65 m <sup>2</sup>	33.60 m <sup>2</sup>	00.00 m <sup>2</sup>
TOTAL	174.23 m <sup>2</sup>	42.65 m <sup>2</sup>	33.60 m <sup>2</sup>	
	TOTAL A. NO COMPUTABLE		76.25 m <sup>2</sup>	97.98 m <sup>2</sup>
	TOTAL A. COMPUTABLE		97.98 m <sup>2</sup>	

ESPECIALIDAD:  
ARQUITECTURA

LÁMINA:

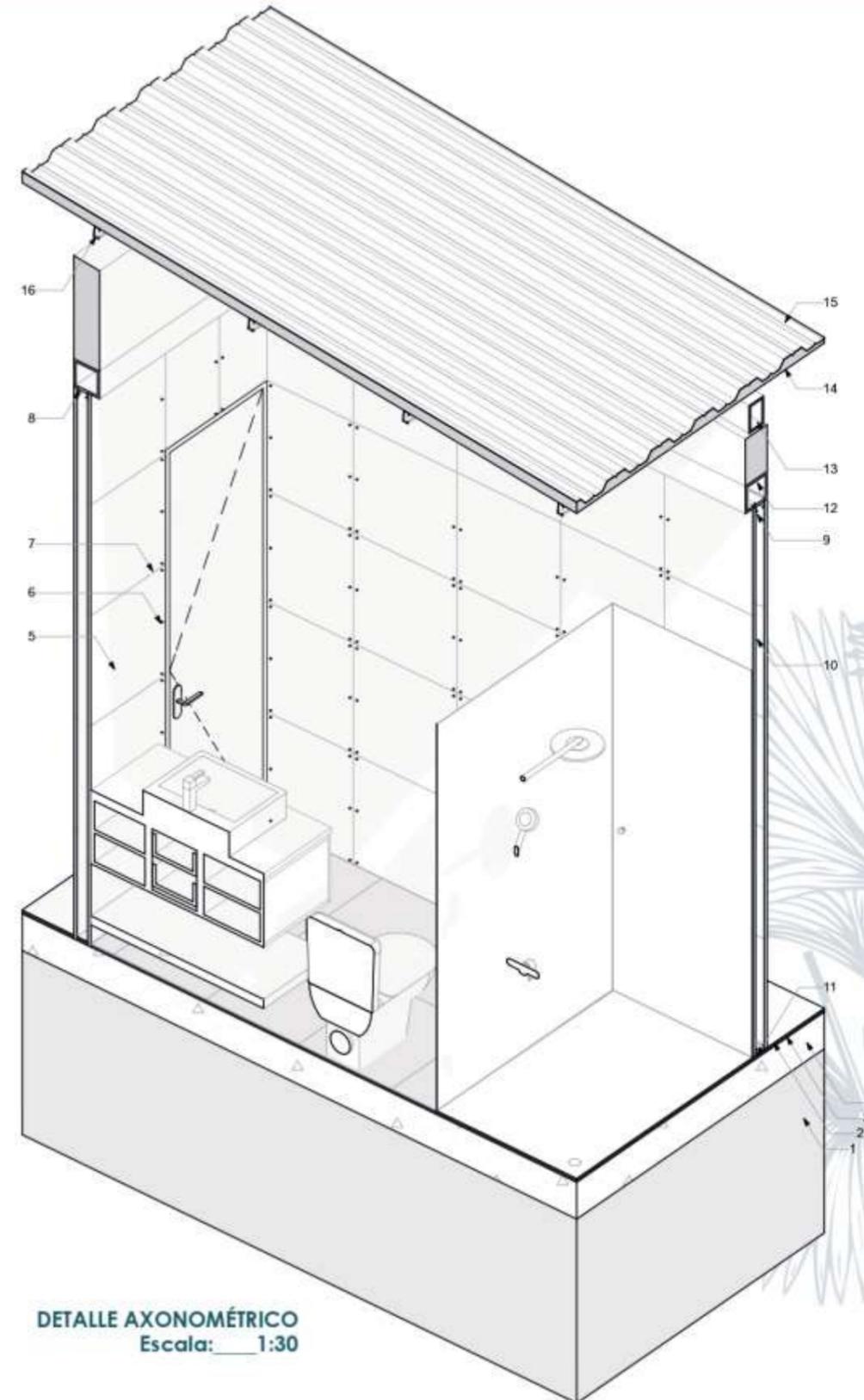
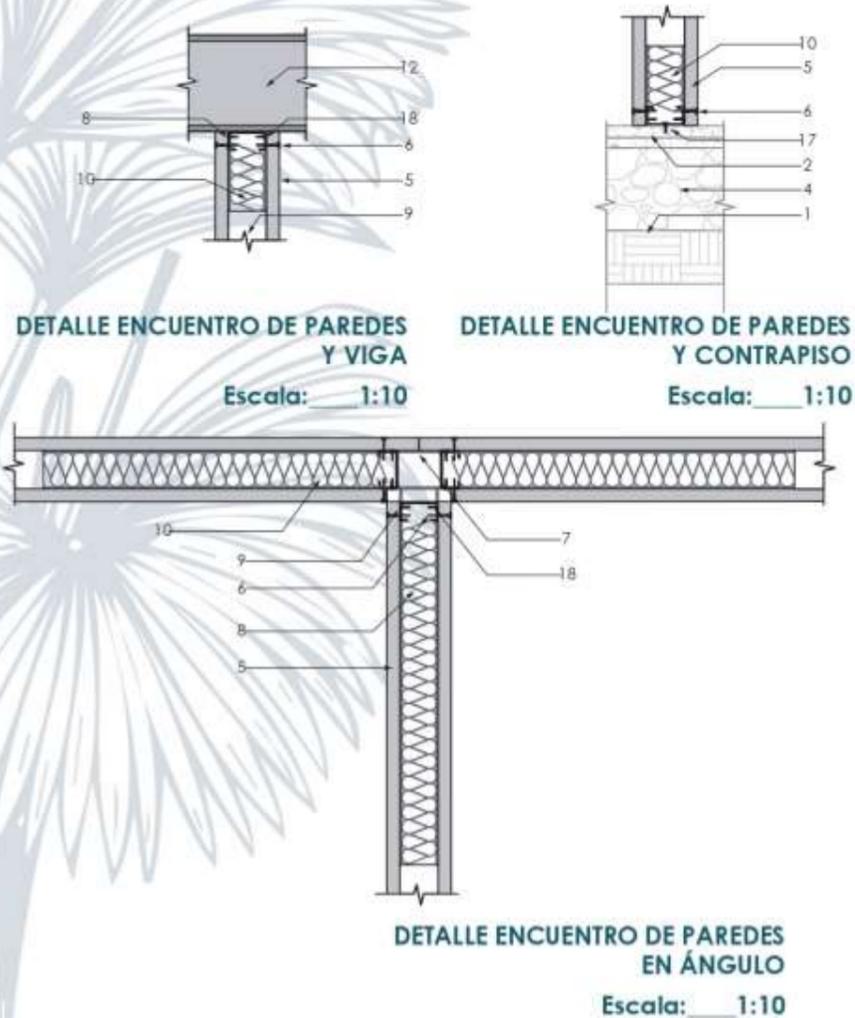
ARQ 005



4.3.6. Detalles Constructivos

Especificaciones Técnicas:

- 1. Suelo Compactado
- 2. Cerámica de piso
- 3. Mortero 1:3
- 4. Replantillo de piedra de 20cm
- 5. Panel reforzado con fibra de paja toquilla 60x60 cm e= 25mm
- 6. Tornillos de fijación de 1-1/2" cada 25 a 30 cm
- 7. Tratamiento de junta con masilla
- 8. Perfil riel o solera de acero galvanizado de 70x28 mm x 3m
- 9. Perfil montante de acero galvanizado de 69x35 mm x 3m
- 10. Lana de Roca
- 11. Film plástico
- 12. Perfil estructural de acero 150x150x2
- 13. Perfil estructural de acero 150x100x2
- 14. Lana de Roca Volcán e= 40 mm
- 15. Galvalume pre pintado 0.60 mm
- 16. Correas de acero 60mm
- 17. Tarugos de expansión Nylon No 8
- 18. Tornillo de fijación 3/8"



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE ARQUITECTURA

ROBAMBA - ECUADOR



RENDER INTERIOR  
Escala: S/N

NOMBRE DEL PROYECTO

Propuesta de un prototipo de panel de tabiquería desarrollada con paja toquilla como alternativa en la construcción

- DETALLES AXONOMÉTRICOS

ESCALA:  
INDICADAS  
ESTUDIANTE:  
GILSSON L. ARTEAGA ALCIVAR  
TUTOR:  
ARQ. INDIRA SALAZAR  
FECHA:  
MARZO 2024

CUADRO DE ÁREAS

PISO	ÁREA BRUTA	ÁREA NO COMPUTABLE		
		CIRCULACIÓN	PARKING	OTROS
P. BAJA	174.23 m <sup>2</sup>	42.65 m <sup>2</sup>	33.60 m <sup>2</sup>	00.00 m <sup>2</sup>
TOTAL	174.23 m <sup>2</sup>	42.65 m <sup>2</sup>	33.60 m <sup>2</sup>	
	TOTAL A. NO COMPUTABLE	76.25 m <sup>2</sup>		97.98 m <sup>2</sup>
	TOTAL A. COMPUTABLE		97.98 m <sup>2</sup>	

ESPECIALIDAD:  
ARQUITECTURA

LÁMINA:

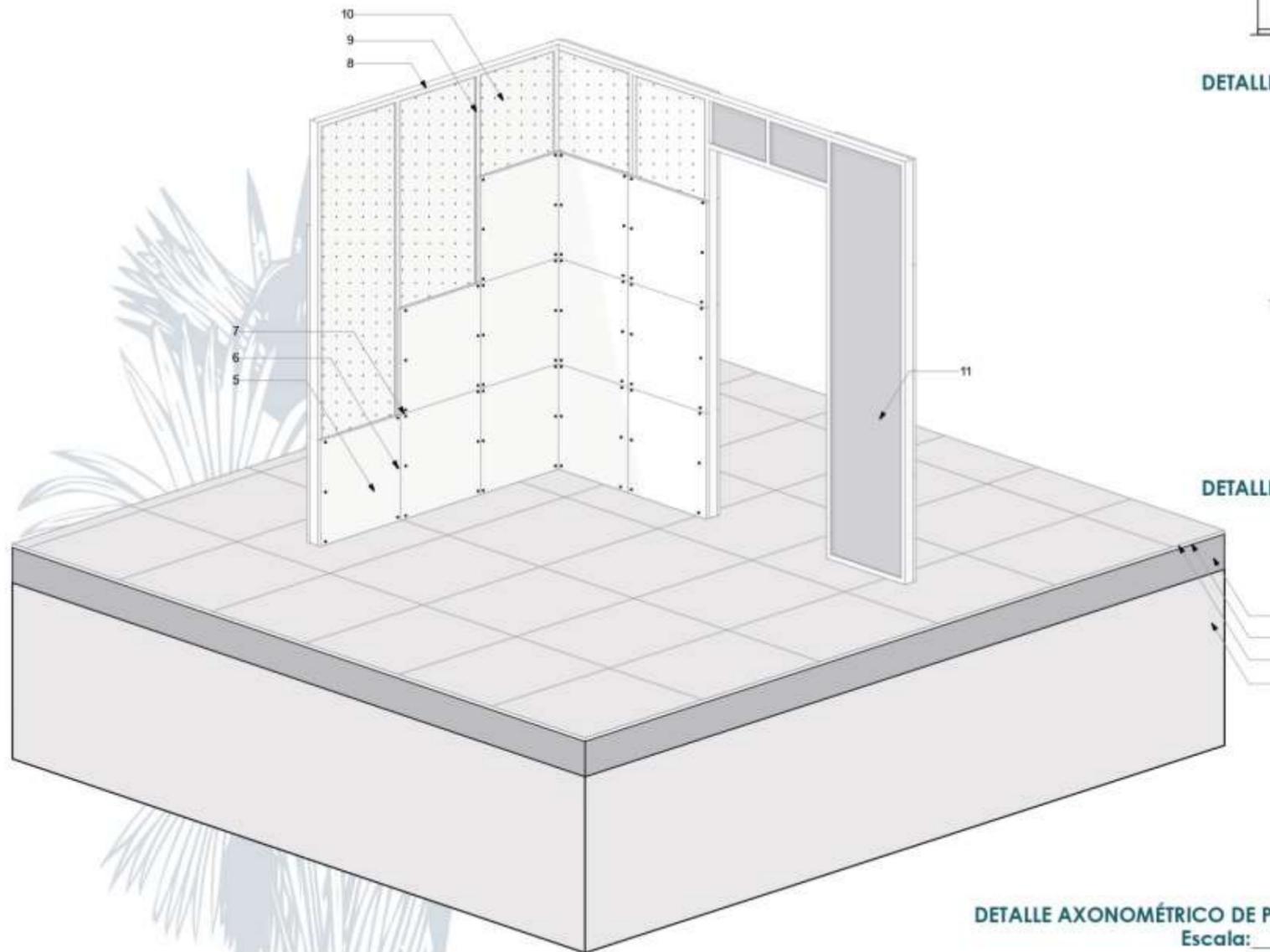
ARQ 006



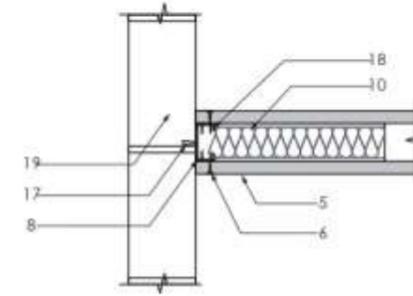
### 4.3.6. Detalles Constructivos

#### Especificaciones Técnicas.

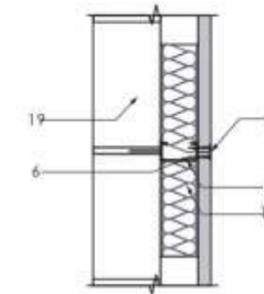
1. Suelo Compactado
2. Cerámica de piso
3. Mortero 1:3
4. Replanteo de piedra de 20cm
5. Panel reforzado con fibra de paja toquilla 60x60 cm e= 25mm
6. Tornillos de fijación de 1-1/2" cada 25 a 30 cm
7. Tratamiento de junta con masilla
8. Perfil riel o solera de acero galvanizado de 70x28 mm x 3m
9. Perfil montante de acero galvanizado de 69x35 mm x 3m
10. Lana de Roca
11. Film plástico
12. Perfil estructural de acero 150x150x2
13. Perfil estructural de acero 150x100x2
14. Lana de Roca Volcán e= 40 mm
15. Galvalume pre pintado 0.60 mm
16. Correas de acero 60mm
17. Tarugos de expansión Nylon No 8
18. Tarugos de expansión Nylon No B
19. Tornillo de fijación 3/8"
20. Mampostería de ladrillo



DETALLE AXONOMÉTRICO DE PUERTA  
Escala: 1:30



DETALLE UNIÓN DE PANELES Y MAMPOSTERÍA  
Escala: 1:10



DETALLE ANCLAJE DE PANELES A MAMPOSTERÍA  
Escala: 1:10

### UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE ARQUITECTURA  
ROBAYIBA - ECUADOR



RENDER EXTERIOR  
Escala: S/N

#### NOMBRE DEL PROYECTO

Propuesta de un prototipo de panel de labiería desarrollado con paja toquilla como alternativa en la construcción

#### DETALLES AXONOMÉTRICOS

ESCALA:  
INDICADAS  
ESTUDIANTE:  
GILSSON L. ARTEAGA ALCIVAR  
TUTOR:  
ARQ. INDIRA SALAZAR  
FECHA:  
MARZO 2024

#### CUADRO DE ÁREAS

PISO	ÁREA BRUTA	ÁREA NO COMPUTABLE		
		CIRCULACIÓN	PARKING	OTROS
P. BAJA	174.23 m <sup>2</sup>	42.65 m <sup>2</sup>	33.60 m <sup>2</sup>	00.00 m <sup>2</sup>
TOTAL	174.23 m <sup>2</sup>	42.65 m <sup>2</sup>	33.60 m <sup>2</sup>	00.00 m <sup>2</sup>
	TOTAL A. NO COMPUTABLE	76.25 m <sup>2</sup>		97.98 m <sup>2</sup>
	TOTAL A. COMPUTABLE	97.98 m <sup>2</sup>		

ESPECIALIDAD:  
ARQUITECTURA

LÁMINA:

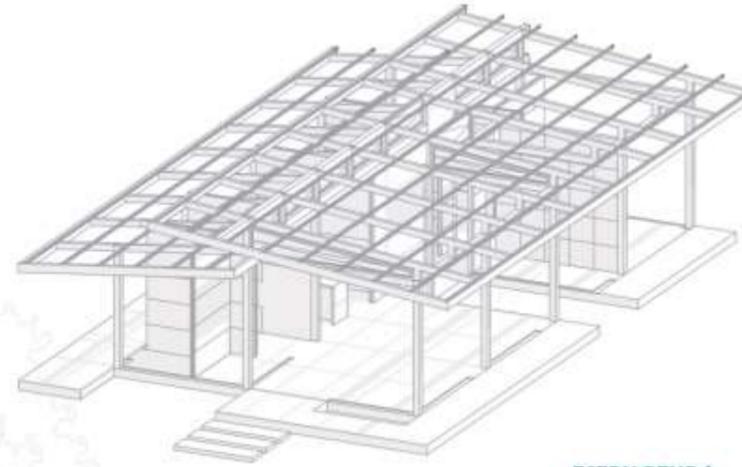
ARQ 006



4.3.6. Detalles Constructivos



**CORTE AXONOMÉTRICO**  
Escala: 1:30



**ESTRUCTURA**  
Escala: 1:30



**AXONOMETRÍA VIVIENDA UNIFAMILIAR**  
Escala: 1:30

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**

FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE ARQUITECTURA

RIOBAJIBA - ECUADOR



RENDER EXTERIOR  
Escala: S/N

**NOMBRE DEL PROYECTO**

Propuesta de un prototipo de panel de tabiquería desarrollado con paja toquilla como alternativa en la construcción

- AXONOMETRÍAS
- MAQUETA 3D

**ESCALA:**

INDICADAS

**ESTUDIANTE:**

GILSSON L. ARTEAGA ALCIVAR

**TUTOR:**

ARQ. INDIRA SALAZAR

**FECHA:**

MARZO 2024

**CUADRO DE ÁREAS**

PISO	ÁREA BRUTA	ÁREA NO COMPUTABLE		
		CIRCULACIÓN	PARKING	OTROS
P. BAJA	174.23 m <sup>2</sup>	42.65 m <sup>2</sup>	33.60 m <sup>2</sup>	00.00 m <sup>2</sup>
TOTAL	174.23 m <sup>2</sup>	42.65 m <sup>2</sup>	33.60 m <sup>2</sup>	97.98 m <sup>2</sup>
	TOTAL A. NO COMPUTABLE	76.25 m <sup>2</sup>		
	TOTAL A. COMPUTABLE	97.98 m <sup>2</sup>		

**ESPECIALIDAD:**

ARQUITECTURA

**LÁMINA:**

**ARQ 007**

## REFERENCIAS

Aguirre, M. J. (2018). *UASB-DIGITAL*. Obtenido de Las tejedoras de paja toquilla de la provincia del Azuay y los dilemas de la declaratoria del tejido como patrimonio inmaterial: <http://hdl.handle.net/10644/6044>

Alarcón, R., & Burbano, M. (2004). *Use of Paja Toquilla (Carludovica palmata Ruiz & Pavon) for the Production of Panama Hats*. Obtenido de <http://www.jstor.com/stable/resrep02086.28>

Alpha Hardin. (20 de Mayo de 2022). *Uso de paneles prefabricados en la construcción de interiores*. Obtenido de Alpha Hardin: <https://www.alpha-hardin.com/uso-de-paneles-prefabricados-en-la-construccion-de-interiores/>

Arquitectura Pura. (2023). *Yeso | Qué es, características, yacimientos, usos*. Obtenido de Arquitectura Pura: <https://www.arquitecturapura.com/construccion/yeso-8628/>

BASTIDAS, E., & VERDEZOTO, J. (2021). *UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO*. Obtenido de “EFECTO DE FIBRAS NATURALES DE CARLUDOVICA PALMATA (PAJA TOQUILLA) EN RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y FLEXIÓN EN HORMIGONES SIMPLES DE 21 MPA: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/20267/1/UPS%20-%20TTS359.pdf>

Bearcat. (7 de Octubre de 2020). *Clases de uniones mecánicas*. Obtenido de Bearcat: <https://bearcat.es/2020/10/07/clases-de-uniones-mecanicas/>

Bennett, B., Cerón, C., & Alarcon, R. (Julio de 1992). *The ethnobotany of Carludovica palmata Ruiz & Pavón (Cyclanthaceae) in Amazonian Ecuador*. Obtenido de Economic Botany : <https://www.researchgate.net/publication/225880747>

Buildtecs. (23 de Octubre de 2020). *Qué son las placas de fibrocemento: tipos y características*. Obtenido de Buildtecs: <https://buildtecs.com/placas-fibrocemento/>

Chalén, M. (2018). *Repositorio Digital ULVR*. Obtenido de <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/2644>

Chan, M., Araujo, O., Azueta, M., & Solís, L. (2004). *Tableros de madera de partículas. Ingeniería 8-3*, 39-46.

Cidark. (21 de Diciembre de 2021). *Paneles Modulares para viviendas prefabricadas*. Obtenido de CIDARK: <https://www.cidark.com/casa-modular-paneles/>

Construmatica. (2012). *Mortero de Yeso*. Obtenido de Construmatica: [https://www.construmatica.com/construpedia/Mortero\\_de\\_Yeso](https://www.construmatica.com/construpedia/Mortero_de_Yeso)

Construmática. (7 de Junio de 2021). *Clasificación de Elementos Prefabricados*. Obtenido de Construmática: <https://www.construmatica.com/blog/clasificacion-de-elementos-prefabricados/>

Decarpinteria. (05 de Octubre de 2018). *Clavos y Tornillos más usados en la Carpintería*. Obtenido de Decarpinteria.net: <https://decarpinteria.net/clavos-y-tornillos/>

del Río Merino, M. (2004). *Aplicaciones del yeso y la escayola en la edificación. Nuevas aplicaciones*. Obtenido de Informes de la Construcción: <https://doi.org/10.3989/ic.2004.v56.i493.440>

Domínguez Grullón, C. (17 de Mayo de 2023). *Construcción en tapial: hacia una arquitectura del pasado*. Obtenido de UPCommons : <http://hdl.handle.net/2117/387984>

Ecodome. (17 de Marzo de 2017). *La construcción de casas con balas de paja*. Obtenido de Ecodome: <https://www.ecodome.es/balas-de-paja/>

Granda Sivisapa, S., & Torres Torres, P. (2005). *Estudio y diseño de una vivienda económica utilizanco Bahareque encementado*. Obtenido de Repositorio Institucional UTPL: <http://dspace.utpl.edu.ec/jspui/handle/123456789/17605>

Guamán, J. (2019). *Elaboración de un panel a base de arcilla reforzado con fibra natural, para división de espacios interiores*. Obtenido de Repositorio Instirucional UTPL: <http://dspace.utpl.edu.ec/jspui/handle/20.500.11962/24919>

Guerrero, B. (2016). *Arquitectura vernácula Paja Toquilla y otros materiales de la selva*. Obtenido de Revista Clave!: <https://www.clave.com.ec/arquitectura-vernacula-paja-toquilla-y-otros-materiales-de-la-selva/>

Hispalyt. (19 de Septiembre de 2017). *Tipos de tablero cerámico*. Obtenido de Hispalyt: <https://www.hispalyt.es/es/productos-ceramicos/tableros/tablero>

Infomadera. (2011). *Tableros Estructurales Derivados de la Madera*. Obtenido de Infomadera: [https://infomadera.net/uploads/productos/informacion\\_general\\_495\\_Tableros%20Estructurales\\_18.07.2011.pdf](https://infomadera.net/uploads/productos/informacion_general_495_Tableros%20Estructurales_18.07.2011.pdf)

INPC Instituto Nacional de Patrimonio Cultural. (09 de Abril de 2012). *Tejido del sombrero de paja toquilla Patrimonio Cultural Inmaterial de la Humanidad*. Obtenido de AME Virtual: <https://amevirtual.gob.ec/tejido-del-sombrero-de-paja-toquilla-patrimonio-cultural-inmaterial-de-la-humanidad/>

Laterlite. (2023). *Arcilla Expandida Laterlite: árido ligero y aislante*. Obtenido de Laterlite: <https://www.laterlite.es/productos/aridos-ligeros/arcilla-expandida-laterlite/>

Linares, J., Huertas, F., & Capel, J. (1983). *LA ARCILLA COMO MATERIAL CERAMICO. CARACTERISTICAS Y COMPORTAMIENTO*. Obtenido de Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada. N° 8: <https://revistaseug.ugr.es/index.php/cpag/article/view/1224>

Mapfre. (31 de Mayo de 2021). *Drywall: qué es y cómo se utiliza*. Obtenido de Hogar Mapfre: <https://www.hogar.mapfre.es/bricolaje/reformas/drywall/>

Mayanquer, A. (12 de Julio de 2011). *Tintura de la fibra luffa con colorantes para elaborar productos artesanales*. Obtenido de Repositorio UTN: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/1054>

Mederos, M., Balmaseda, E., Suárez, D., & Paula, M. (2020). La producción agrícola de la paja toquilla en Ecuador, el flujo productivo artesanal y la formación de precios. *Killkana Técnica*, 29-34.

Ministerio de Turismo. (05 de Mayo de 2019). *Ministerio de Turismo*. Obtenido de Tejido del sombrero de paja toquilla un Patrimonio Cultural Inmaterial de la Humanidad: <https://www.turismo.gob.ec/tejido-del-sombrero-de-paja-toquilla-un-patrimonio-cultural-inmaterial-de-la-humanidad/>

Molina Contreras, D., & Becerra Becerra, J. (16 de Octubre de 2020). *La tierra como material de construcción, propiedades y estabilizantes*. Obtenido de Repositorio USTA: <http://hdl.handle.net/11634/30482>

MonteHats. (27 de Enero de 2020). *MONTEHATS*. Obtenido de Verdadero Origen de la Paja Toquilla Ecuador: <https://montecuadorhats.com/es/verdadero-origen-paja-toquilla-ecuador/>

Moo, V., Pérez, E., Ríos, C., Bello, L., Cervantes, J., Dzul, M., & Estrada, R. (2019). *Extraction and Characterization of Natural Cellulosic Fiber From Jipijapa (Carludovica palmata)*. Obtenido de <https://www.thaiscience.info/Journals/Article/CMJS/10990597.pdf>.

Ordóñez Crespo, C. (2020). *Elaboración de un panel prefabricado de yeso con fibras naturales, como alternativa para acabado de la construcción de cielo raso y paredes*. Obtenido de Universidad Católica de Cuenca: <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/10325>

Palacios, W., Pinzón, A., Suárez, E., & Suárez, S. (2016). Manejo de la paja toquilla *Carludovica palmata* Ruiz & Pav. en comunidades de Santa Elena, Costa de Ecuador. *Cinchonia*, 137-150.

Palma, J., García, M., Pilquinao, B., Chung, P., & Molina, E. (2021). *Productos Forestales Vinculados a Pueblos Indígenas. Fibras Vegetales de Uso Artesanal*. . Obtenido de Instituto Forestal, Chile. Documento de Divulgación N° 57. 60 p.: <https://www.researchgate.net/publication/356705177>

Perú Construye. (16 de Noviembre de 2018). *Elementos prefabricados: Piezas tecnológicas que optimizan la construcción*. Obtenido de Perú Construye: <https://peruconstruye.net/2018/11/16/elementos-prefabricados-piezas-tecnologicas-que-optimizan-la-construccion/>

Rojas, M., & Sisalema, L. (2 de Marzo de 2009). *Proyecto de producción, comercialización y exportación de artesanías de paja toquilla en la península de Santa Elena*. Obtenido de DSpace ESPOL: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/1533>

Rueda, A. (2017). *Paneles de yeso con fibra de banano y su uso en la construcción*. Obtenido de Repositorio Institucional UTPL: <http://dspace.utpl.edu.ec/jspui/handle/123456789/17514>

Taller Con Co - Construcción con Paja y Barro. (22 de Mayo de 2018). Paja Encofrada [Video]. YouTube. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=B7b2RtMopEQ>

Tormetal. (21 de Junio de 2022). *Los tornillos autorroscantes y sus características*. Obtenido de tormetal: <https://www.tormetal.com/blog/los-tornillos-autorroscantes-y-sus-caracteristicas/>

Tudela, J. (1982). *Aislamiento térmico. Barcelona: Gustavo Gili*. Barcelona: Gustavo Gili.

UNESCO. (2012). *UNESCO*. Obtenido de Tejido tradicional del sombrero ecuatoriano de paja toquilla: <https://ich.unesco.org/es/RL/traditional-weaving-of-the-ecuadorian-toquilla-straw-hat-00729>

USG. (2014). *Ficha técnica: Panel de yeso marca Tablaroca núcleo regular*. Obtenido de USG: [https://www.usg.com/content/dam/USG\\_Marketing\\_Communications/mexico/product\\_promotional\\_materials/finished\\_assets/ficha-tecnica-panel-de-yeso-marca-tablaroca-nucleo-regular-es.pdf](https://www.usg.com/content/dam/USG_Marketing_Communications/mexico/product_promotional_materials/finished_assets/ficha-tecnica-panel-de-yeso-marca-tablaroca-nucleo-regular-es.pdf)

Villanueva, L. (2004). *EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA CONSTRUCCIÓN CON YESO*. Obtenido de Informes de la Construcción: <https://doi.org/10.3989/ic.2004.v56.i493.434>

Yepez Tambaco, D. (2012). *Análisis de la arquitectura vernácula del Ecuador: Propuestas de una arquitectura contemporánea sustentable*. Obtenido de Study Lib: <https://studylib.es/doc/6214713/an%C3%A1lisis-de-la-arquitectura-vern%C3%A1cula-del-ecuador--propue...>

Zuleta Roa, G. (Diciembre de 2011). *La arquitectura en tierra: Una alternativa para la construcción sostenible*. Obtenido de Hábitat Sustentable: <https://revistas.ubiobio.cl/index.php/RHS/article/view/406>