

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**DEPARTAMENTO**  
**DE ESTRUCTURAS Y CIENCIAS DE LOS MATERIALES**



**“ESTUDIO Y ANÁLISIS DE PLACAS PREFABRICADAS DE  
YESO CON CELULOSA”**

**POR:**

**JAVIER HIGUERAS FARFAN**

**SEMESTRE II-2022**

**TARIJA-BOLIVIA**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**DEPARTAMENTO**  
**DE ESTRUCTURAS Y CIENCIAS DE LOS MATERIALES**

**“ESTUDIO Y ANÁLISIS DE PLACAS PREFABRICADAS DE  
YESO CON CELULOSA”**

**POR:**

**JAVIER HIGUERAS FARFAN**

**SEMESTRE II-2022**

**TARIJA-BOLIVIA**

**DEDICATORIA:**

A Dios por permitirme llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos trazados, además de su infinita bondad y amor.

Mi madre Juana Farfán Alfaro por darme la vida y estar a mi lado en cada uno de los momentos buenos y malos, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente en los momentos de dudas y preocupaciones.

Mi padre Eusebio Higuera Jerez por ser un padre ejemplar y compartir momentos a mi lado, aconsejándome y brindándome su apoyo en todo momento.

## ÍNDICE DEL CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPÍTULO I</b> .....	3
<b>ANTECEDENTES</b> .....	3
1.1. El problema .....	3
1.1.1. Planteamiento.....	3
1.1.2. Formulación .....	3
1.2. Objetivos .....	4
1.2.1. General .....	4
1.2.2. Específicos .....	4
1.3. Justificación.....	4
1.3.1. Técnica .....	4
1.3.2. Académica.....	5
1.3.3. Social.....	5
1.4. Alcance del proyecto.....	5
1.4.1. Hipótesis.....	6
1.4.2. Variables. ....	6
1.4.2.1. Variables Independiente.....	6
1.4.2.2. Variables dependientes.....	6
1.4.3. Resultados a lograr .....	6
1.5. Aspectos metodológicos.....	7
1.5.1. Tipo de Investigación.....	7
1.5.2. De acuerdo al fin que se persigue .....	7

1.5.2.1. De acuerdo a los datos analizados.....	7
1.5.2.2. De acuerdo a la metodología para demostrar la hipótesis.....	8
1.5.3. Método de Investigación.....	8
1.5.4 Muestra Poblacional.....	8
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>13</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>13</b>
2.1. Los Biocompuestos y materiales compuestos.....	13
2.1.1. Definición.....	13
2.1.2. Clasificación de materiales compuestos.....	14
2.1.3. Los criterios que debe cumplir para que un material sea compuesto.....	15
2.2. Fibras vegetales .....	15
2.2.1. Clasificación de las fibras naturales .....	15
2.2.2. Composición química y morfológica de las fibras vegetales.....	16
2.3. La celulosa .....	17
2.3.1. Definición.....	17
2.3.2. Clasificación de las fibras celulosas.....	18
2.3.3. Proceso de Obtención de la Celulosa .....	19
2.3.4. Ventajas de la Celulosa .....	20
2.3.5. Uso de la Celulosa en la Construcción.....	20
2.4. El papel.....	22
2.4.1. Definición.....	22
2.4.2. Tipos de papel para reciclar .....	23
2.5. Yeso .....	24
2.5.1. Definición.....	24

2.5.2. Características del yeso .....	25
2.5.3. Fabricación del yeso.....	27
2.5.4. Tipos de yeso .....	28
2.5.4.1. Tipos de yeso en Tarija .....	30
2.5.5. Propiedades del yeso .....	30
2.5.6. Aplicaciones del yeso.....	39
2.6. Normativas .....	40
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>41</b>
<b>DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>41</b>
3.1. ELABORACIÓN DE LOS MOLDES.....	41
3.1.1 Moldes para ensayo a flexión.....	41
3.1.2 Moldes para ensayo a compresión .....	44
3.2. Construcción de la prensa mecánica .....	45
3.3. Obtención de la celulosa de papel reciclado .....	47
3.3.1. Preparación del papel reciclado .....	47
3.3.2. Proceso de saturación del papel reciclado en agua .....	48
3.3.3. Desfibrado del papel reciclado.....	49
3.3.4. Secado de las fibras de celulosa .....	50
3.4. Dosificación de las muestras .....	51
3.4.1. Determinación de la relación agua yeso.....	51
3.4.2. Determinación de la capacidad de la absorción de la celulosa .....	52
3.4.5. Dosificación preliminar de la celulosa.....	54
3.4.5. Dosificación final para la elaboración de las muestras .....	56
3.6. ENSAYOS MECÁNICOS.....	57

3.6.1. Ensayo de resistencia a flexión .....	57
3.6.2. Ensayo de compresión .....	61
3.7. ENSAYOS FÍSICOS .....	64
3.7.2. Ensayo de densidad.....	64
3.7.3. Ensayo de absorción y contenido de humedad .....	66
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	71
<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS</b> .....	71
4. Análisis de resultados.....	71
4.1. Medidas de tendencia central y dispersión .....	71
4.2. Análisis de resultados del ensayo a flexión.....	72
4.3. Análisis y resultados del ensayo a compresión .....	75
4.4. Análisis de resultados del ensayo de densidad.....	78
4.5. Análisis de resultados del ensayo de contenido de humedad y capacidad de absorción .....	81
4.6. Resumen de resultados .....	87
4.7. Contrastación de hipótesis .....	88
<b>CAPÍTULO V</b> .....	91
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	91
5.1. Conclusiones .....	91
5.2. Recomendaciones.....	95
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	97
<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE ANEXOS

**ANEXO A.** Tamaño de la muestra para estimar la media muestral de la capacidad de absorción de la celulosa.

**ANEXO B.** Experimentación para determinar la trabajabilidad de las muestras de yeso con celulosa.

**ANEXO C.** cantidades requeridas para la elaboración de las muestras.

**ANEXO D.** Elaboración de las muestras.

**ANEXO E.** Análisis de precios unitario.

**ANEXO F.** Resultados de los ensayos en laboratorio.

**ANEXO G.** Análisis estadístico de los resultados y cálculos de los ensayos en laboratorio.

**ANEXO H.** Resultados del análisis estadístico de los ensayos a flexión, compresión, densidad, contenido de humedad y capacidad de absorción.



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Generación de desechos a nivel regional.....	1
Figura 2.1. Estructura de la celulosa. ....	17
Figura: 2.2. Aislante térmico y acústico de celulosa proyectado.....	21
Figura: 2.3. Vista microscópica de las fibras de papel.....	22
Figura: 2.4. El yeso .....	25
Figura: 2.5. Proceso de fabricación del yeso.....	27
Figura: 2.6. Aparato de vicat.....	35
Figura: 2.7. Relación finura de molido-fraguado-agua-expansión .....	35
Figura 3.1. Prensa mecánica .....	45

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Elementos de la muestra .....	9
Tabla 1.2. Estimación del error .....	10
Tabla 1.3. Valores correspondiente a la probabilidad de no ocurrencia .....	10
Tabla 1.3. Número total de muestras a ensayar .....	12
Tabla 2.1. Tipos de yeso según la norma europea. ....	28
Tabla 2.2. Tipos de yeso según la norma española. ....	29
Tabla 2.3. Equivalencias de los tipos de yeso .....	29
Tabla 2.4. Densidad del yeso en función del agua de amasado. ....	30
Tabla 2.5. Absorción acústica en muros. ....	31
Tabla 2.6. Coeficiente de absorción. ....	32
Tabla 2.7. Coeficiente térmico. ....	33
Tabla 3.1. Espesor del panel y carga de rotura para el ensayo a flexión .....	41
Tabla 3.2. Dimensiones de las muestras .....	42
Tabla 3.3. Relación Agua Yeso vs. Trabajabilidad.....	51
Tabla 3.4. Capacidad de absorción de la celulosa.....	53
Tabla 3.5. Dosificaciones preliminares volumétricas. ....	54
Tabla 3.6. Dosificación experimental para determinar la trabajabilidad y consistencia de la mezcla.....	55
Tabla 3.7. Dosificaciones finales para elaboración de las muestras .....	56
Tabla 4.1. Análisis comparativo de los resultados obtenidos del ensayo a flexión de las muestras patrón de yeso y las muestras de yeso con celulosa .....	72

Tabla 4.2. Análisis comparativo de los resultados obtenidos de las muestras ensayadas de yeso y muestras de yeso con celulosa .....	75
Tabla 4.3. Análisis comparativo de los resultados obtenidos del ensayo de densidad de las muestras patrón de yeso y las muestras de yeso con celulosa. ....	78
Tabla: 4.5. Análisis comparativo de los resultados obtenidos del ensayo de capacidad de absorción de las muestras patrón de yeso y muestras de yeso con celulosa. ....	84

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1.1.Composición media de los residuos sólidos .....	2
Gráfico: 2.1. Influencia del agua de amasado sobre la dureza Shore c.....	37
Gráfico 2.2. Relación entre las propiedades y el agua de amasado. ....	38
Gráfico: 2.3. Resistencia flexo-tracción vs. A/Y .....	38
Gráfico: 2.4. Resistencia flexo tracción vs. Días de curado.....	39
Gráfico 4.1. Comparación del esfuerzo a flexión de la muestra patrón de yeso y las muestras de yeso con celulosa.....	72
Gráfico: 4.2.Comportamiento del esfuerzo a flexión versus el % de celulosa .....	73
Gráfico: 4.3. Variación del esfuerzo a flexión en función a la muestra patrón.....	73
Gráfico: 4.4. Comparación del esfuerzo a compresión de las muestras de yeso patrón y las muestras de yeso con celulosa .....	75
Gráfico: 4.5. Comportamiento del esfuerzo a compresión versus el % de celulosa ..	76
Gráfico: 4.6. Variación del esfuerzo a compresión en función a la muestra patrón. ..	76
Gráfico: 4.7. Comparación de los resultados obtenido del ensayo de densidad. ....	78
Gráfico: 4.8. Comportamiento de la densidad con respecto al porcentaje de celulosa	79
Gráfico: 4.9. Variación de la densidad en función a la muestra patrón. ....	79
Tabla 4.4. Análisis comparativo de los resultados obtenidos del ensayo de contenido de humedad de las muestras patrón de yeso y muestras de yeso con celulosa. ....	81
Gráfico: 4.10. Comparación de los resultados obtenido del ensayo de contenido de humedad. ....	81
Gráfico: 4.11. Comportamiento del Contenido de humedad con respecto al porcentaje de celulosa.....	82

Gráfico: 4.12. Variación del contenido de humedad en % en función a la muestra patrón..... 82

Gráfico: 4.13. Comparación de los resultados obtenido del ensayo de capacidad de absorción. .... 84

Gráfico: 4.14. Comportamiento de la Capacidad de absorción vs el porcentaje de celulosa..... 85

Gráfico: 4.15. Variación de la capacidad de absorción en función a la muestra patrón de yeso..... 85

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía: 2.1. Yeso blanco en nuestro medio.....	30
Fotografía 3.1. Moldes para el vaciado de las muestras .....	42
Fotografía 3.2. Ensayo a flexión en laboratorio.....	43
Fotografía 3.3. Muestras ensayadas a flexión .....	43
Fotografía 3.4. Moldes con las dimensiones definitivas .....	44
Fotografía 3.5. Molde de madera para el ensayo de compresión.....	45
Fotografía 3.6. Armado de la prensa mecánica con los tubos galvanizados.....	46
Fotografía 3.7. Prensa mecánica armada y colocada en el sitio.....	46
Fotografía 3.8. Clasificación del papel reciclado.....	47
Fotografía 3.9. Recortes del papel reciclado introducido en un tanque .....	48
Fotografía 3.10. Proceso de saturación del papel reciclado .....	48
Fotografía 3.11. Proceso de desfibrado.....	49
Fotografía 3.12. Celulosa obtenida del papel reciclado .....	49
Fotografía 3.13. Esparcido de la celulosa .....	50
Fotografía 3.14. Proceso de secado de la celulosa .....	50
Fotografía 3.15. Peso saturado de la celulosa .....	52
Fotografía 3.17. Registro de las dimensiones de las muestras .....	58
Fotografía 3.18. Equipo para ensayo a flexión .....	59
Fotografía 3.19. Máquina controls y equipo para el ensayo a flexión .....	59
Fotografía 3.20. Rotura de una muestra de yeso con celulosa .....	60
Fotografía 3.21. Muestras para ensayo a compresión.....	62
Fotografía 3.22. Registro de las dimensiones de la muestra .....	62

Fotografía 3.23. Equipo para ensayo a compresión .....	63
Fotografía 3.24. Muestra de yeso con celulosa ensaya a compresión.....	63
Fotografía 3.25. Recorte de las muestras ensayadas a flexión.....	65
Fotografía 3.26. Registro de la masa de las muestras .....	65
Fotografía 3.27. Muestras sumergidas en bandejas de agua .....	67
Fotografía 3.28 Secado de las muestras saturadas con franelas.....	68
Fotografía 3.29. Registro del peso saturado de las muestras .....	68
Fotografía 3.30. Muestras saturadas introducidas en el horno para el secado .....	69
Fotografía 3.31. Registro del peso seco de las muestras.....	69

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1 Estructura de los materiales compuestos.....	13
Cuadro 2.2. Clasificación de materiales compuestos.....	14
Cuadro 2.3. Estructura y composición de materiales lignocelulosicos.....	16