

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURAS Y CIENCIAS DE LOS  
MATERIALES**



**“ANÁLISIS VIGA DE MADERA CON REFUERZO DE  
FIBRA DE CARBONO SOMETIDA A FLEXIÓN”**

**POR:**

**CHOQUE VILLARREAL JAEL DELIA**

**SEMESTRE I - 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**

**“ANÁLISIS VIGA DE MADERA CON REFUERZO DE**  
**FIBRA DE CARBONO SOMETIDA A FLEXIÓN”**

**POR:**

**CHOQUE VILLARREAL JAEL DELIA**

Proyecto presentado a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”; como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Civil.

**SEMESTRE I - 2022**

**TARIJA – BOLIVIA**

## **DEDICATORIA**

Este proyecto va dedicado especialmente a todas las personas que más han influenciado en mi vida, dándome los mejores consejos, guiándome y apoyándome.

En especial a mis padres que me han dado la existencia y en ella la capacidad de superarme y desear lo mejor en cada paso por este camino arduo de la vida. Gracias por ser como son, porque su presencia y persona han ayudado a construir y forjar la persona que soy ahora.

## ÍNDICE

**RESUMEN**

**ETICA DE AUTORIA**

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTO**

## CAPÍTULO I

### ANTECEDENTES

<b>1.1 El problema. ....</b>	<b>1</b>
1.1.1 Planteamiento .....	1
1.1.2 Formulación.....	2
<b>1.2 Objetivos. ....</b>	<b>2</b>
1.2.1 General.....	2
1.2.2 Específicos .....	2
<b>1.3 Justificación del proyecto. ....</b>	<b>3</b>
1.3.1 Académica .....	3
1.3.2 Técnica.....	3
1.3.3 Social. ....	3
1.3.4 Económico .....	4
<b>1.4 Marco de referencia .....</b>	<b>4</b>
1.4.1 Marco conceptual. ....	4
1.4.2 Espacial.....	7
1.4.3 Temporal.....	8
<b>1.5 Alcance .....</b>	<b>8</b>

1.5.1 Hipótesis.....	8
----------------------	---

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

<b>1.6 Antecedentes.....</b>	<b>9</b>
1.6.1 La madera en edificios patrimoniales locales.....	10
1.6.2 La madera reforzada en edificios contemporáneos .....	11
<b>1.7 Elementos de madera reforzada con materiales compuestos.....</b>	<b>12</b>
2.2.1. Polímeros reforzados con fibras (PRF) .....	14
2.2.2. Sistemas de refuerzo de fibra de carbono .....	15
<b>2.3. Propiedades de los materiales .....</b>	<b>20</b>
2.3.1 Madera .....	20
2.3.2 Fibras .....	35
2.3.3. Matriz, adhesivo o resina epoxi: .....	41
<b>2.4. Modelo analítico .....</b>	<b>42</b>
2.4.1 Introducción.....	42
2.4.2. Análisis de la rigidez a la flexión de las probetas.....	43
2.4.3. Análisis teórico del momento flector último (sin refuerzo) .....	45
2.4.4 Análisis del momento flector ultimo (con refuerzo).....	46

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

<b>3.1 Introducción .....</b>	<b>53</b>
<b>3.2 Selección de materiales y equipos .....</b>	<b>53</b>
3.2.1. Madera y fibra .....	53

3.2.2. Equipo utilizado en la prueba .....	54
3.2.3. Instrumentación de probetas .....	54
3.2.4. Método de ensayo .....	55
<b>3.3 Elaboración de probetas .....</b>	<b>55</b>
3.3.1. Preparación de las probetas .....	55
<b>3.3 Determinación analítica.....</b>	<b>57</b>
<b>3.5 Determinación experimental.....</b>	<b>58</b>
<b>3.6 Análisis y discusión de resultados.....</b>	<b>59</b>
<b>3.7 Contrastación de hipótesis.....</b>	<b>60</b>

## CAPÍTULO IV

### DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

<b>4.2. Introducción .....</b>	<b>61</b>
<b>4.3. Recopilación de datos de los materiales .....</b>	<b>61</b>
4.3.1. Propiedades mecánicas y elásticas de la madera .....	61
4.2.3. Propiedades físicas de las probetas .....	63
<b>4.3. Preparación de las probetas .....</b>	<b>66</b>
4.3.1. Aplicación de la platina .....	67
<b>4.4. Determinación analítica.....</b>	<b>68</b>
4.4.1. Cálculo de la rigidez a la flexión .....	69
4.4.2. Cálculo del momento flector último (sin refuerzo) .....	70
4.4.3. Cálculo del momento flector último teórico (con refuerzo) .....	72
<b>4.5 Determinación experimental.....</b>	<b>77</b>
4.5.1. Determinación de las propiedades elásticas .....	77
<b>4.6. Análisis estadístico de los resultados .....</b>	<b>83</b>

<b>4.7. Costo del proyecto.....</b>	<b>87</b>
<b>4.8. Contrastación de hipótesis .....</b>	<b>88</b>
<b>4.9. Análisis y discusión de resultados.....</b>	<b>89</b>
4.9.1. Análisis de rigidez a flexión: Experimental y teórico.....	89
4.9.2. Análisis del módulo de elasticidad.....	92
4.9.3. Análisis del momento de ruptura: experimental y teórico .....	92
4.9.4. Análisis de deflexión .....	<b>94</b>
4.9.5 Análisis del comportamiento mecánico .....	95
4.9.6 Modos de fallo o de rotura .....	96
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>101</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>103</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>104</b>

## ANEXOS

<b>ANEXO 1. Fallas presentes en los ensayos a flexión PADT-REFORT .....</b>	<b>109</b>
<b>ANEXO 2. Dimensiones de las probetas ensayadas.....</b>	<b>110</b>
<b>ANEXO 3. Datos de los ensayos a flexión .....</b>	<b>111</b>
3.1. Probetas sin refuerzo.....	113
3.2. Probetas con refuerzo.....	131
3.3. Resumen de los ensayos a flexión estática.....	140
3.4. Análisis estadístico.....	141
<b>ANEXO 4. Precio unitario.....</b>	<b>147</b>
<b>ANEXO 5. Comisión Panamericana de Normas Técnicas COPANT 1973 .....</b>	<b>148</b>
<b>ANEXO 6. Ficha Técnica de placa de fibra de carbono (Sika Carbodur S) .....</b>	<b>150</b>
<b>ANEXO 7. Ficha Técnica del adhesivo (Sikadur 30) .....</b>	<b>153</b>
<b>ANEXO 8. Registro fotográfico... ..</b>	<b>155</b>

Fot N°1 Prensa Universal Amsler (Laboratorio de Tecnología de la Madera, UAJMS).....	155
Fot N°2 Probetas con refuerzo antes del ensayo.....	156
Fot N°3 Probetas con refuerzo antes del ensayo.....	156
Fot N°4 Zona de secado de las probetas (Laboratorio de Tecnología de la Madera, UAJMS).....	157
Fot N°5 Falla de la probeta con refuerzo .....	157