



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

*Trabajo Experimental previo a la obtención del Título de Ingeniero
Mecánico*

TEMA:

**“ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LOS RAYOS UV EN LA
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEL COMPUESTO DE MATRIZ
POLIMÉRICA REFORZADA CON FIBRA DE GUADUA”**

AUTOR: Marisol Belén Guamani Saquina

TUTOR: Ing. Mg. Cristian Pérez

AMBATO-ECUADOR

2019

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema **“ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LOS RAYOS UV EN LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORZADA CON FIBRA DE GUADUA”**, elaborado por la Srta. Marisol Belén Guamani Saquina, portador de la cédula de ciudadanía: 1804755120, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica.

Certifico que:

- El presente Trabajo Experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, octubre de 2019



Ing. Mg. Cristian Pérez Salinas

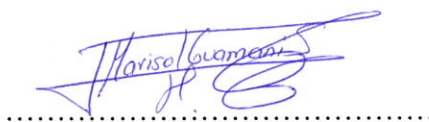
TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO

Yo, Marisol Belén Guamani Saquina, portador de la CI. 1804755120 declaro que las actividades, contenidos y criterios descritos en el presente trabajo experimental con el tema **“ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LOS RAYOS UV EN LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORZADA CON FIBRA DE GUADUA”**, son auténticos y de completa responsabilidad del autor, a excepción de las referencias bibliográficas que están citadas en el presente trabajo experimental.

Con respecto a los resultados, análisis estadístico, gráficos, conclusiones y recomendaciones desarrollados en el trabajo experimental, son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, octubre de 2019



Marisol Belén Guamani Saquina

1804755120

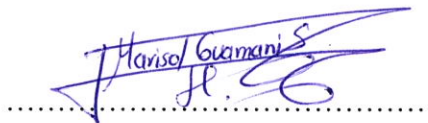
AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga uso del presente Trabajo Experimental o parte de él, como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación según las normas de la institución.

Cedo los derechos de mi Trabajo Experimental con fines de difusión pública, además, apruebo la reproducción del mismo dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no tenga ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, octubre de 2019



Marisol Belén Guamani Saquina

1804755120

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del tribunal de grado aprueban el informe del trabajo experimental realizado por el egresado Marisol Belén Guamani Saquina, de la Carrera de Ingeniería Mecánica, bajo el tema: **“ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LOS RAYOS UV EN LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORZADA CON FIBRA DE GUADUA”**.

Ambato, octubre de 2019

Para constancia firman:

.....
Ing. Mg. Henry Vaca



.....
Ing. Mg. Christian Castro

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

PÁGINAS PRELIMINARES

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	II
AUTORÍA DEL TRABAJO	III
DERECHOS DE AUTOR	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	V
DEDICATORIA	VI
AGRADECIMIENTO	VII
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XV
RESUMEN EJECUTIVO	XIX
ABSTRACT	XX
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO	1
1.1 Tema.....	1
1.2 Antecedentes investigativos	1
1.3 Fundamentación teórica	6
1.3.1 Introducción a los materiales compuestos	6
1.3.2 Nuevos materiales.....	6
1.3.3 Materiales compuestos.....	7
1.3.4 Clasificación de los composites.....	10
1.3.5 Polímeros termoplásticos.....	10
1.3.6 Polímeros termoestables	11
1.3.7 Propiedades mecánicas de los materiales avanzados.....	11
1.3.8 Componentes de un material compuesto	11
1.3.9 Procesos de fabricación de materiales compuestos	13
1.3.10 Refuerzo.....	16
1.3.11 Material compuesto reforzado con fibras	23
1.3.12 Fibra natural.....	25

1.3.13 Material compuesto frente a choque	29
1.3.14 Fibra de guadua como materia prima	29
1.3.15 Obtención de la materia prima de guadua	29
1.3.16 Radiación	31
1.3.17 Radiación UV	32
1.3.18 Ensayo de exposición UV	33
1.3.19 Ensayo a tracción	35
1.3.20 Análisis estadístico	37
1.4 Objetivos	42
1.4.1 Objetivo General:.....	42
1.4.2 Objetivos Específicos:	42
1.4.3 Diseñar el modelo experimental apropiado para el estudio propuesto del material compuesto.	43
1.4.4 Elaborar el material compuesto de matriz polimérica con resina epoxi reforzado con fibra de guadua y resina poliéster con fibra de guadua.	44
1.4.5 Realizar las pruebas experimentales bajo la normativa ISO 4892 y ASTM D3039.....	56
1.4.6 Evaluar los resultados obtenidos sobre la influencia en la propiedad mecánica del material compuesto, al ser expuesto al ensayo de rayos UV.....	60
CAPÍTULO II	63
METODOLOGÍA	63
2.1 Materiales	63
2.2 Métodos	69
2.2.1 Nivel o tipo de investigación	69
2.2.2 Diagrama de flujo de los procesos aplicados en trabajo experimental	70
2.3 Operacionalización de variables	75
2.3.1 Señalamiento de las variables de la hipótesis	75
2.4 Nomenclatura de las probetas	77
2.4.1 Material compuesto a base de matriz poliéster	77
2.4.2 Material compuesto a base de matriz epoxi	78
2.5 Procesamiento de la información	78
2.5.1 Análisis e interpretación de resultados	79
2.5.2 Elaboración de muestras	79
2.5.3 Valores de la cantidad en el material compuesto.....	86

2.6 Ensayo UV aplicado al material compuesto reforzado con fibra de Guadua	87
2.7 Elaboración del material compuesto	87
2.8 Resultados del ensayo UV bajo normativa.....	89
2.9 Ensayo a tracción aplicado al material compuesto reforzado con fibra de Guadua	90
2.10 Tipo de fallo posterior al ensayo de tracción	91
CAPÍTULO III.....	94
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	94
3.1 Recolección de Datos	94
3.2 Análisis de Resultados.....	97
3.2.1 Mejora del coeficiente de determinación de los datos.....	97
3.2.2 Análisis del esfuerzo máximo de tracción	98
3.2.3 Análisis del módulo de elasticidad	107
3.2.4 Análisis del porcentaje de elongación	116
3.3 Ensayos Mecánicos aplicados al material compuesto	124
3.3.1 Pérdida de peso del material compuesto.....	127
3.4 Verificación de la hipótesis	129
3.4.1 Tabla de ANOVA para la resistencia a tracción.....	129
3.4.2 Tabla de ANOVA para el módulo de elasticidad	130
3.4.3 Tabla de ANOVA para la elongación.....	131
CAPÍTULO IV	134
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	134
4.1 Conclusiones	134
4.2 Recomendaciones	136
4.3 Referencias bibliográficas	138

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1.1: Crecimiento mundial del consumo de materiales compuestos</i>	9
<i>Tabla 1.2: Propiedades generales de los termoplásticos</i>	10
<i>Tabla 1.3: Propiedades generales</i>	11
<i>Tabla 1.4: Comparación en las propiedades de la RE y RP</i>	11
<i>Tabla 1.5: Cuadro comparativo de las propiedades de los tejidos</i>	21
<i>Tabla 1.6: Comportamiento de laminados según % de fibra</i>	22
<i>Tabla 1.7: Dimensiones de fibras en algunas especies de bambú</i>	28
<i>Tabla 1.8: ANOVA para el diseño factorial de la forma “a x b”</i>	40
<i>Tabla 1.9: Diseño factorial</i>	43
<i>Tabla 1.10: Diseño factorial general completo</i>	43
<i>Tabla 1.11: Posibles combinaciones del material compuesto</i>	43
<i>Tabla 1.12: Parámetros del corte láser</i>	53
<i>Tabla 1.13: Probetas codificadas para resina poliéster</i>	54
<i>Tabla 1.14: Probetas codificadas para resina epoxi</i>	55
<i>Tabla 1.15: Condiciones del ensayo UV</i>	57
<i>Tabla 1.16: Características de la cámara con arco de xenón Q-SUN Xe-1-S</i>	59
<i>Tabla 2.1: Materiales y equipos utilizados</i>	63
<i>Tabla 2.2: Máquina utilizada</i>	65
<i>Tabla 2.3: Cortadora láser con CO2</i>	66
<i>Tabla 2.4: Cortadora láser con CO2</i>	67
<i>Tabla 2.5: Máquina de ensayos universal Metrotest</i>	68
<i>Tabla 2.6: Recursos utilizados</i>	69
<i>Tabla 2.7: Variable Independiente</i>	76
<i>Tabla 2.8: Variable Dependiente</i>	76
<i>Tabla 2.9: Peso inicial y final de probetas poliéster</i>	77
<i>Tabla 2.10: Peso inicial y final de probetas epoxi</i>	78
<i>Tabla 2.11: Densidad de las resinas</i>	79
<i>Tabla 2.12: Densidad del refuerzo de fibra de guadua</i>	79
<i>Tabla 2.13: Resumen de la cantidad para el material compuesto</i>	86
<i>Tabla 2.14: Proceso de estratificación del material compuesto reforzado con fibra</i> 87	

<i>Tabla 2.15: Muestras en cada grupo según la exposición de horas UV del material compuesto FG+RE Y FG+RP.....</i>	90
<i>Tabla 2.16: Resultados del ensayo a tracción de del material compuesto FG+RE Y FG+RP.....</i>	91
<i>Tabla 2.17: Valores obtenidos en material compuesto RE+FG a 0 horas.....</i>	92
<i>Tabla 2.18: Valores obtenidos en material compuesto RE+FG a 50 horas.....</i>	92
<i>Tabla 2.19: Valores obtenidos en material compuesto RE+FG a 250 horas.....</i>	92
<i>Tabla 2.20: Valores obtenidos en material compuesto RP+FG a 0 horas.....</i>	92
<i>Tabla 2.21: Valores obtenidos en material compuesto RP+FG a 50 horas.....</i>	92
<i>Tabla 2.22: : Valores obtenidos en material compuesto RP+FG a 250 horas</i>	93
<i>Tabla 3.1: División de probetas por grupo de exposición.....</i>	94
<i>Tabla 3.2: Identificación de probetas según división de grupo.....</i>	94
<i>Tabla 3.3: Valores obtenidos en material compuesto RE+FG a 0 horas.....</i>	95
<i>Tabla 3.4: Valores obtenidos en material compuesto RE+FG a 50 horas.....</i>	95
<i>Tabla 3.5: Valores obtenidos en material compuesto RE+FG a 250 horas.....</i>	95
<i>Tabla 3.6: Valores obtenidos en material compuesto RP+FG a 0 horas.....</i>	96
<i>Tabla 3.7: Valores obtenidos en material compuesto RP+FG a 50 horas.....</i>	96
<i>Tabla 3.8: Valores obtenidos en material compuesto RP+FG a 250 horas.....</i>	96
<i>Tabla 3.9: Coeficiente de determinación para el esfuerzo máximo a tracción</i>	97
<i>Tabla 3.10: Coeficiente de determinación para el módulo de elasticidad</i>	97
<i>Tabla 3.11: Coeficiente de determinación para la elongación.....</i>	98
<i>Tabla 3.12: Resumen de los valores -p de las propiedades del material compuesto</i>	98
<i>Tabla 3.13: Verificación del supuesto de normalidad para la resistencia a la tracción</i>	99
<i>Tabla 3 14: Verificación del supuesto de normalidad para la resistencia a la tracción</i>	100
<i>Tabla 3.15: Verificación del supuesto de independencia de residuos para la resistencia a la tracción</i>	101
<i>Tabla 3.16: Resumen de resultados obtenidos en los supuestos paramétricos</i>	102
<i>Tabla 3.17: ANOVA del Esfuerzo máximo de tracción.....</i>	103
<i>Tabla 3.18: Coeficiente de determinación para el esfuerzo máximo a tracción</i>	103
<i>Tabla 3.19: Respuestas predichas del esfuerzo máximo de tracción.....</i>	106

<i>Tabla 3.20: Máximos y mínimos de las respuestas en esfuerzo máximo</i>	106
<i>Tabla 3.21: Deseabilidad individual del esfuerzo máximo a tracción</i>	106
<i>Tabla 3.22: Deseabilidad óptima para el esfuerzo máximo a la tracción.....</i>	107
<i>Tabla 3.23: Verificación del supuesto de normalidad para el módulo de elasticidad</i>	108
<i>Tabla 3.24: Verificación del supuesto de normalidad para el módulo de elasticidad</i>	109
<i>Tabla 3.25: Verificación del supuesto de independencia de residuos para el módulo de elasticidad</i>	110
<i>Tabla 3.26: Resumen de resultados obtenidos en los supuestos paramétricos.....</i>	111
<i>Tabla 3.27: ANOVA del módulo de elasticidad.....</i>	111
<i>Tabla 3.28: Coeficiente de determinación para el módulo de elasticidad</i>	112
<i>Tabla 3.29: Respuestas predichas del módulo de elasticidad</i>	114
<i>Tabla 3.30: Máximos y mínimos de las respuestas en el módulo de elasticidad.....</i>	115
<i>Tabla 3.31: Deseabilidad individual del módulo de elasticidad</i>	115
<i>Tabla 3.32: Deseabilidad óptima para el módulo de elasticidad.....</i>	115
<i>Tabla 3.33: Verificación del supuesto de normalidad para la elongación.....</i>	116
<i>Tabla 3.34: Verificación del supuesto de normalidad para el módulo de elasticidad</i>	117
<i>Tabla 3.35: Verificación del supuesto de independencia de residuos para la elongación</i>	118
<i>Tabla 3.36: Resumen de resultados obtenidos en los supuestos paramétricos</i>	119
<i>Tabla 3.37: ANOVA del porcentaje de Elongación.....</i>	120
<i>Tabla 3.38: Coeficiente de determinación para la elongación.....</i>	120
<i>Tabla 3.39: Respuestas predichas de la elongación.....</i>	123
<i>Tabla 3.40: Máximos y mínimos de las respuestas en la elongación</i>	123
<i>Tabla 3.41: Deseabilidad individual de la elongación</i>	124
<i>Tabla 3.42: Deseabilidad óptima para la elongación</i>	124
<i>Tabla 3.43: Peso inicial y final de probetas poliéster</i>	127
<i>Tabla 3.44: Peso inicial y final de probetas poliéster</i>	128
<i>Tabla 3.45: Peso inicial y final de probetas poliéster</i>	128
<i>Tabla 3.46: Peso inicial y final de probetas poliéster</i>	128
<i>Tabla 3.47: ANOVA del Esfuerzo máximo de tracción.....</i>	129

<i>Tabla 3.48: ANOVA del Esfuerzo máximo de tracción con p</i>	130
<i>Tabla 3.49: ANOVA del módulo de elasticidad</i>	130
<i>Tabla 3.50: ANOVA del módulo de elasticidad con p</i>	131
<i>Tabla 3 51: ANOVA del porcentaje de Elongación</i>	131
<i>Tabla 3.52: ANOVA del porcentaje de Elongación con p</i>	132
<i>Tabla 3.53: Resumen de la influencia de los rayos UV en el material</i>	132

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.1: Clasificación de los materiales</i>	6
<i>Figura 1.2: Aplicaciones de los materiales compuestos</i>	7
<i>Figura 1.3: Red conceptual de los materiales compuestos</i>	8
<i>Figura 1.4: Consumo mundial de los materiales</i>	9
<i>Figura 1.5: Configuración básica de un material compuesto</i>	12
<i>Figura 1.6: Matriz en tracción y compresión</i>	12
<i>Figura 1.7: Método de contacto manual</i>	13
<i>Figura 1.8: Saco de presión y autoclave</i>	14
<i>Figura 1.9: Arrollamiento de filamentos</i>	14
<i>Figura 1.10: Molde por compresión en caliente</i>	15
<i>Figura 1.11: Pultrusión</i>	15
<i>Figura 1.12: Materiales compuestos</i>	16
<i>Figura 1.13: Refuerzo de alambres, fibras y whiskers</i>	17
<i>Figura 1.14: Estructura hexagonal de los átomos de carbono</i>	17
<i>Figura 1.15: Disposición de los hilos como refuerzo</i>	18
<i>Figura 1.16: Refuerzo de tipo continuo</i>	19
<i>Figura 1.17: Tipos de tejidos</i>	19
<i>Figura 1.18: Estructura del tejido plano</i>	20
<i>Figura 1.19: Estructura del tejido sarga</i>	20
<i>Figura 1.20: Estructura del tejido satén</i>	20
<i>Figura 1.21: Símbolo que indica la orientación de referencia</i>	21
<i>Figura 1.22: Tipos de materiales compuestos según su refuerzo</i>	22
<i>Figura 1.23: Clasificación de los materiales compuestos según Callister 2007</i>	23
<i>Figura 1.24: Resistencia a la tensión vs. Longitud de fibra</i>	23
<i>Figura 1.25: Estructura de un material compuesto laminado</i>	24
<i>Figura 1.26: Gráfica de la resistencia vs. Ángulo de fibras</i>	24
<i>Figura 1.27: Apilamiento de capas unidireccional y cruzadas</i>	25
<i>Figura 1.28: Fibras vegetales para materiales compuestos</i>	26
<i>Figura 1.29: Tallos de bambú</i>	26
<i>Figura 1.30: Valores medios de la longitud de la fibra intra e inter</i>	27

<i>Figura 1.31: Variación en la longitud de las fibras dentro del internodo</i>	<i>27</i>
<i>Figura 1.32: Corte de la caña en la mata.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 1.33: Perforación de los entrenudos del culmo</i>	<i>30</i>
<i>Figura 1.34: Blanqueamiento del Bambú.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 1.35: Secado por medio de un pulpo</i>	<i>30</i>
<i>Figura 1.36: Fuentes naturales de radiación</i>	<i>32</i>
<i>Figura 1.37: Dosis anual de radiación.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 1.38: Índice de radiación UV.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 1.39: Tipos de cámaras de arco de Xenón.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 1.40: Cámara de Xenón</i>	<i>35</i>
<i>Figura 1.41: Máquina universal de ensayos Tinuis Olsen</i>	<i>36</i>
<i>Figura 1.42: Curva esfuerzo- deformación típica del acero</i>	<i>36</i>
<i>Figura 1.43: Geometría de materiales compuestos unidireccionales</i>	<i>37</i>
<i>Figura 1.44: Significancias y su comparación</i>	<i>37</i>
<i>Figura 1.45: Representación de los efectos principales de los datos.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 1.46: Representación de los efectos de interacción en AB</i>	<i>41</i>
<i>Figura 1.47: Representación de los efectos de no interacción de AB.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 1.48: Tejido de Fibra de Guadua.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 1.49: Tejido para resina poliéster y epóxica sin exposición UV(Tracción)..</i>	<i>45</i>
<i>Figura 1.50: Tejido para resina poliéster y epóxica con exposición UV</i>	<i>45</i>
<i>Figura 1.51: Corte de la fibra de Guadua para las respectivas probetas.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 1.52: Balanza eléctrica con el peso del tejido</i>	<i>46</i>
<i>Figura 1.53: Plancha de cartón prensado para las probetas.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 1.54: Plancha de tol con cera desmoldante</i>	<i>46</i>
<i>Figura 1.55: Plancha de tol adherida a la superficie.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 1.56: Resina poliéster para elaboración de probetas.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 1.57: Colocar una capa de resina sobre la superficie de tol.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 1.58: Tejido de fibra de Guadua previamente cortado.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 1.59: Rodillo para fibra sobre la superficie del tejido</i>	<i>48</i>
<i>Figura 1.60: Añadir resina sobre el resto de la fibra.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 1.61: Arrodillar para genera presión en la superficie del tejido.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 1.62: Dos capas de tejido con resina Poliéster</i>	<i>49</i>
<i>Figura 1.63: Desmoldear la plancha de resina poliéster</i>	<i>49</i>

<i>Figura 1.64: Componente A y componente B</i>	50
<i>Figura 1.65: Peso de la resina en una balanza eléctrica</i>	50
<i>Figura 1.66: Peso del catalizador en una balanza eléctrica</i>	50
<i>Figura 1.67: Mezcla de los componentes A y B</i>	51
<i>Figura 1.68: Primera capa de resina sobre la superficie</i>	51
<i>Figura 1.69: Primera capa de tejido de fibra de Guadua</i>	51
<i>Figura 1.70: Esparcir la resina epoxi sobre el tejido</i>	52
<i>Figura 1.71: Deslizar el rodillo para fibra por el tejido</i>	52
<i>Figura 1.72: Estratificación manual de las probetas</i>	52
<i>Figura 1.73: Desmoldeo de la plancha con resina epoxi</i>	53
<i>Figura 1.74: Corte a láser de las probetas</i>	53
<i>Figura 1.75: Probetas para tracción y exposición UV</i>	54
<i>Figura 1.76: Q-SUN Xenon Test Chamber modelo Xe-1-S</i>	57
<i>Figura 1.77: Test Chamber</i>	57
<i>Figura 1.78: Modos de falla en materiales poliméricos</i>	60
<i>Figura 1.79: Software estadístico Minitab 18</i>	60
<i>Figura 1.80: Pantalla principal de Minitab®</i>	61
<i>Figura 1.81: Análisis del diseño factorial</i>	61
<i>Figura 1.82: Gráficas de efectos e interacción entre los factores</i>	62
<i>Figura 2.1: Codificación de probetas del material compuesto de matriz poliéster</i> ..	77
<i>Figura 2.2: Codificación de probetas del material compuesto de matriz epoxi</i>	78
<i>Figura 2.3: Plancha del material compuesto con resina poliéster</i>	80
<i>Figura 2.4: Plancha del material compuesto con resina poliéster-tracción</i>	82
<i>Figura 2.5: Plancha del material compuesto con resina epoxi-UV y tracción</i>	84
<i>Figura 2.6: Probetas ensayadas con matriz de resina poliéster</i>	89
<i>Figura 2.7: Probetas ensayadas con matriz de resina epoxi</i>	89
<i>Figura 3.1: Metodología del método factorial</i>	97
<i>Figura 3.2: Prueba de igualdad de varianzas para el esfuerzo máximo a la tracción</i>	101
<i>Figura 3.3: Diagrama de Pareto sobre los efectos para el esfuerzo máximo a tracción</i>	104
<i>Figura 3.4: Gráfica de efectos principales para el esfuerzo máximo de tracción</i> ..	105

<i>Figura 3.5: Gráfica de interacción para el esfuerzo máximo de tracción</i>	<i>105</i>
<i>Figura 3.6: Prueba de igualdad de varianzas para el módulo de elasticidad</i>	<i>109</i>
<i>Figura 3.7: Diagrama de Pareto sobre los efectos para el módulo de elasticidad.</i>	<i>113</i>
<i>Figura 3.8: Gráfica de efectos principales para el módulo de elasticidad</i>	<i>113</i>
<i>Figura 3.9: Gráfica de interacción para el módulo de elasticidad</i>	<i>114</i>
<i>Figura 3.10: Prueba de igualdad de varianzas para el módulo de elasticidad</i>	<i>118</i>
<i>Figura 3.11: Diagrama de Pareto sobre los efectos para la elongación</i>	<i>121</i>
<i>Figura 3.12: Gráfica de efectos principales para la elongación.....</i>	<i>122</i>
<i>Figura 3.13: Gráfica de interacción para la elongación</i>	<i>123</i>
<i>Figura 3.14: Comportamiento de RE+FG a exposición UV.....</i>	<i>125</i>
<i>Figura 3.15: Comportamiento de RP+FG a exposición UV.....</i>	<i>125</i>
<i>Figura 3.16: Comportamiento de RP+FG de la elongación.....</i>	<i>126</i>
<i>Figura 3.17: Comportamiento de RP+FG de la elongación.....</i>	<i>127</i>

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Tema: “ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LOS RAYOS UV EN LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORZADA CON FIBRA DE GUADUA”

Autor: Marisol Belén Guamani Saquina

Tutor: Ing. Mg. Cristian Pérez Salinas

RESUMEN EJECUTIVO

En el presente trabajo experimental se analizó la influencia de los rayos UV en la resistencia a la tracción del material compuesto de matriz polimérica, mediante un ensayo mecánico donde se determinó que la fibra de guadua posee buenas propiedades mecánicas que se asemejan al comportamiento de una fibra sintética, por lo cual esta fibra puede reemplazarla. Debido a la abundancia de esta, facilitó su obtención y procesamiento del material fibroso.

El material compuesto tiene como matriz la resina poliéster y epoxi mientras que como refuerzo se considera a la fibra de guadua, misma que deberá ser tejida con una orientación de 0 grados al momento de ser usada como refuerzo y con apilamiento de capas, puesto que de esta forma se mejora las propiedades mecánicas. Por lo tanto, el material compuesto de matriz polimérica reforzada con fibra de Guadua posee una fracción volumétrica de 70% matriz y 30% refuerzo con estratificación manual y curado al medio ambiente durante 720 horas a temperatura ambiente.

Se realizó el análisis del comportamiento de la resistencia a la tracción del material compuesto bajo normativa ASTM D3039 cuando es sometido a un ensayo de rayos UV bajo normativa ISO 4892 durante 50 horas y 250 horas de exposición en una cámara de envejecimiento artificial con arco de xenón. También, se realizó el ensayo a tracción con 30 probetas clasificadas por matriz resina y epoxi a 0,50 y 250 horas de exposición. Con los datos obtenidos se procede al análisis estadístico mediante el software Minitab que permite tener un análisis estadístico de los datos.

Luego se determinó que la resistencia a la tracción máxima alcanza un valor de 84,63 MPa, módulo de elasticidad de 1363,03 MPa y elongación de 6,21% con matriz de resina poliéster y una resistencia de 71,79 MPa, módulo de elasticidad de 1518,47 MPa y elongación de 4,73% con matriz de resina epoxi. Y con el uso de la función de deseabilidad se determinó que la mejor combinación se alcanza cuando el material tiene matriz poliéster expuesto a 250h de rayos UV, demostrando un mejor comportamiento con dichas características. Además de ser una resina económica le proporciona rigidez y resistencia al material compuesto y donde la exposición a los rayos UV mejoran la propiedad mecánica notablemente.

TECHNICAL UNIVERSITY OF AMBATO

FACULTY OF CIVIL AND MECHANICAL ENGINEERING

MECHANICAL ENGINEERING CAREER

Topic: “ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF UV RAYS IN THE RESISTANCE TO THE TRACTION OF THE POLYMERIC MATRIX COMPOSITE REINFORCED WITH GUADUA FIBER”

Author: Marisol Belén Guamani Saquina

Tutor: Ing. Mg. Cristian Pérez Salinas

ABSTRACT

In the present experimental work was analyzed the influence of UV rays on the tensile stress of the polymer matrix composite material, through a mechanical test where it was determined that guadua fiber has good mechanical properties. It is similar the behavior of a fiber synthetic, so this fiber can replace it. The great abundance, it was facilitated to obtain and process the fibrous material.

The composite material has as a matrix the polyester and epoxy resin while the reinforcement is considered guadua fiber, which It should be woven with an orientation of 0 degrees at the time of being used as reinforcement and stacking layers. As the way to improve the mechanical properties. Thense, the Guadua fiber reinforced polymer matrix composite material has a volumetric fraction of 70% as matrix and 30% as reinforcement by hand lay-up and cured to the environment for 720 hours at room temperature.

The analysis of the tensile strength behavior of the composite material by ASTM D3039 regulations was performed when subjected to a UV test by ISO 4892 for 50 hours and 250 hours of exposure in an artificial aging chamber with xenon arc. Also, the tensile test was performed with 30 specimens classified by resin and epoxy matrix at 0, 50 and 250 hours of exposure. When the data is obtained, the statistical analysis is carried out using the Minitab software allows an statistic analysis of the data.

Then it was determined that the maximum tensile stress of 84.63 MPa, modulus of elasticity of 1363.03 MPa and elongation of 6.21% with polyester resin matrix and a the maximun resistance of 71.79 MPa, modulus elasticity of 1518.47 MPa and elongation of 4.73% with epoxy resin matrix. And the use of the desirability function it was determined that the best combination when the material has a polyester matrix exposed to 250 hours of UV rays. It is demonstrating the better behavior with these characteristics. It is an economical resin to provide the rigidity and resistance to the composite material and where exposure to UV rays improves the mechanical property.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Tema

ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LOS RAYOS UV EN LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORZADA CON FIBRA DE GUADUA

1.2 Antecedentes investigativos

Los materiales compuestos a base de fibras naturales es objeto de estudio la fibra de guadua conocida científicamente como “Guadua angustifolia” que significa hoja angosta [1].

Es importante recordar que las propiedades mecánicas que poseen son importantes para determinar la aplicación que se puede dar en investigaciones posteriores, por su resistencia a la tracción, flexión e impacto. Entonces, las fibras soportan el esfuerzo mecánico al que está sometido el tallo, por esta razón es estudiada ya que puede reemplazar a otros materiales[2].

Dentro de las investigaciones realizadas se puede mencionar el estudio realizado por M. L. Sánchez, W. A. Aperador y G. Capote bajo el tema “INFLUENCE OF THE DELIGNIFICATION PROCESS ON THE PROPERTIES OF PANELS MADE WITH GUADUA FIBERS AND PLANT RESIN”, menciona que[3]:

La influencia del proceso de eliminación de lignina de la fibra de bambú se realizó por medio de un tratamiento alcalino con la variación de hidróxido de sodio. Y se logra remover o eliminar la lignina para incrementar la rugosidad de dicha fibra con un mejor rendimiento como refuerzo. Con el uso de un método físico basado en metano de plasma frío, este modifica la superficie de la fibra sin afectar a las propiedades químicas para modificar la rigidez y resistencia a una temperatura de 18-26°C [3].

Gracias a los ensayos de tracción, compresión y flexión en 3 puntos con normativa ASTM se incrementó la rugosidad, la superficie sufrió un notable cambio de color y se mejoró la adhesión entre matriz-fibra. Se obtiene los valores para tracción 8 MPa con 10% de NaOH y 1300 MPa, para el módulo de Young y con el método de plasma

de 13 MPa con 10% de NaOH y 2600Mpa para el módulo de Young como en estudios previos [3].

En el estudio realizado por María Lucena, Alejandro Suarez e Ivonne Zamudio, bajo el tema “DESARROLLO DE UN MATERIAL COMPUESTO A BASE DE FIBRAS DE BAMBU PARA APLICACIONES AERONÁUTICAS” se menciona que:

Se busca reemplazar las fibras que dañan al medio ambiente por las fibras naturales, donde por investigaciones previas cuando se somete a tracción esta fibra posee una tracción mayor que el acero. Por ello, la fabricación del material es por moldeo manual, se prepara la superficie fija con cera desmoldante y la capa de fibra a 0° grados simultáneamente para obtener un material anisotrópico[4].

La fracción volumétrica es 60% de fibra y 40% de resina, entonces se han colocado las capas de fibra y la resina debe ser arrodillada para eliminar la presencia de burbujas. Finalmente se deja que el material compuesto cumpla con el proceso de curado a una temperatura de 18°-35°C para finalmente ser desmoldado. Por lo tanto, es un material que aporta a la disminución de la contaminación del medio ambiente además de sus propiedades mecánicas[4].

El estudio realizado por el Ing. Pablo Daniel Mazón Ortiz, bajo el tema “CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL MATERIAL HÍBRIDO DE MATRIZ EPÓXICA REFORZADA CON FIBRA DE VIDRIO Y TEJIDO DE FIBRAS NATURALES DE CAÑA GUADUA Y ALGODÓN PARA LA DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS EN APLICACIONES INDUSTRIALES” donde concluye[5]:

La fibra de guadua tiene propiedades mecánicas como: tracción, flexión e impacto que podrían ser utilizadas en la industria. Donde las mejores propiedades mecánicas influyen el curado al ambiente o en horno, orientación de la fibra y la combinación. Por lo tanto, en este estudio se determinó un esfuerzo máximo de 54,656 MPa cuando las probetas han sido curadas al horno[5].

A tracción se obtiene un valor promedio de 76,11 MPa, en flexión un valor promedio de 127,02 MPa y de impacto se obtuvo un valor promedio de 4,72 J. También, se determinó que la mejor combinación fue aquella conformada por: una capa de fibra de vidrio, dos capas de tejido de fibra natural de caña guadua y algodón; con una

orientación de 0°C y a 80°C de temperatura en el horno con un valor de 131,654 MPa de esfuerzo máximo a la tracción[5].

El siguiente estudio realizado por Luis Edgar Moreno Montoya con la colaboración de Lina Rocío Osorio Serna y Efraín Eduardo Trujillo de los Ríos; bajo el tema de “ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE HACES DE FIBRA DE GUADÚA ANGUSTIFOLIA” concluye[6]:

Según NTC-959 se llevó a cabo el ensayo de tensión en el laboratorio donde se conoce que los haces intermedios tienen un mejor comportamiento que los haces internos y externos, tiene un porcentaje de elongación de 2,4% demostrando que es un material frágil [6].

Al haber estudiado dichas propiedades en base a tres factores como son: edad del culmo, altura y espesor de pared para determinar la utilidad de los haces como refuerzo para materiales compuestos, dando como resultado una tensión máxima de 642,58 MPa, módulo de elasticidad de 26,61GPa y elongación de 2,4%. Dichos valores corresponden a los haces de fibra intermedios de todas las edades que fueron estudiadas para la tensión máxima y de haces de fibras exteriores para el módulo de Young[6].

Otro estudio realizado por los Ingenieros Luis Edgar Moreno, Efraín Trujillo y Lina Rocío Osorio bajo el tema “ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE HACES DE FIBRA DE GUADUA ANGUSTOFOLIA”; se menciona:

Se lo realiza una micrografía de la sección transversal tiene una forma regular, se conoce que por medio de estudios previos acerca de materiales de refuerzo; es muy beneficioso para obtener una mejor adhesión con la matriz[7].

Para la determinación del contenido de humedad en el material se realiza mediante la diferencia de peso en una balanza Mono Bloc Metter Toledo son sumergidas en agua destilada por 24 horas para posteriormente ser pesados. Para la densidad aparente se llevó a cabo mediante el método de desplazamiento de volumen y variando el contenido de humedad en los haces de fibra, con humedad cero, humedad ambiente y con saturación de humedad [7].

Se usaron 30 muestras para la determinación de la textura superficial de la fibra con un microscopio de fuerza atómica de la Universidad de Colombia, sometido a un lavado químico de hidróxido de Sodio NaOH por 30 minutos con temperatura de 70 °C. Por lo tanto, se conoce que dicha fibra tiene un % C.H de 7,13 que ayuda a que sea un material de refuerzo y el % de absorción de agua de 45,88 y densidad de 1,40 g/cm³ al 7,13%H que es similar a la densidad de fibras sintéticas. La sección transversal es irregular por lo que aporta a la adhesión con la matriz[7].

Mientras que el estudio realizado por Juan Ortega, Manuel Blanco y Ángel Cuevas bajo el tema “ACCIÓN DE LAS RADIACIONES U.V SOBRE EL POLI (CLORURO DE VINILO) FLEXIBLE” se menciona que [8]:

Las radiaciones influyen en el poli cloruro de vinilo debido al proceso de envejecimiento por rayos UV, donde se presenta un alargamiento en rotura cuando las láminas estuvieron sometidas a esta exposición durante un periodo de 3000 horas, temperatura de 70°C y con inmersión en agua[8].

Al determinar que las láminas tenían una preparación adecuada para la intemperie, se observa el cambio antes y después del envejecimiento; dando como resultado la pérdida de plastificante de 6% en las láminas preparadas y un 26% en las láminas no preparadas para la intemperie. Todos estos cambios se los pudo observar después de las 1500 horas de envejecimiento [8].

Para el estudio realizado por I. Tena, M. Saarrionandia y J. Aurrekoetxea bajo el tema “MONITORIZADO DEL CURADO ULTRAVIOLETA (UV) DE UN COMPUESTO POLIESTER REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO” se menciona:

El proceso de curado UV de un compuesto poliéster que esta reforzado con fibra de vidrio y se lleva a cabo por un barrido de la resistencia eléctrica del compuesto, en el proceso de curado y se ha usado un sensor eléctrico y un durómetro[9].

Donde el sensor se encuentra en contacto con la cara que no se encuentra expuesta a la radiación UV, donde al final se puede obtener una curva de calibración donde se relaciona el nivel de curado con la resistencia eléctrica del material. Este proceso demuestra que se puede controlar en tiempo real el proceso[9].

El estudio realizado por el Ing. Luis David Cando Mullo bajo el tema “ANALISIS DEL PROCESO DE RANURADO DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA CON RESINA EPOXI Y POLIÉSTER REFORZADO CON CASCARILLA DE ARROZ” se menciona:

Se ha evaluado el proceso de ranurado por el método de superficie de respuesta evaluando: rugosidad, factor de delaminación y calidad superficial. Mediante el ANOVA se comprobó el modelo experimental de la investigación del compuesto RE+CA es eficiente y se usó una herramienta 103 S con velocidad de corte de 70 mm/ min y avance de 0,1 mm/rev [10].

También el material compuesto RP + CA fue expuesto a radiación UV y tracción con exposición de 0 a 150h se pudo obtener una mejora en la resistencia a la tracción; que por otro lado no sucedió con el compuesto RE + CA donde la resistencia a la tracción disminuyó[10].

En el libro “Green Tribology” del autor Michael Nosonovsky y Bharat Bhushan, menciona el comportamiento que tiene un material compuesto reforzado con fibra natural, para lo cual se redacta:

Los materiales compuestos poliméricos reforzados con fibra natural son considerados ecológicos y rentables, la fibra natural es eco amigable, renovable, biodegradable y de bajo costo. Es por esto que se estudia otras fibras como: fibra de yute, sisal, palma, bambú, algodón y caña de azúcar que son consideradas como refuerzo[11].

Entonces, la fibra de sisal es biodegradable, económica y con excelentes propiedades mecánicas ya que la temperatura de frenado podría llegar a 750°C. Un material como la fibra de yute es considerado idóneo para los rodamientos. Y la fibra de algodón unidireccional en el análisis de fricción y desgaste de la resina poliéster la hace útil para rodamientos, entre los ejemplos que se pueden mencionar de sus usos [11].

En conclusión, la fibra de Guadua Angustifolia es un material “Green composite” donde sus fibras están dispuestas de forma axial y longitudinalmente; que aportan a la disminución de materiales contaminantes. Podría reemplazar a las fibras sintéticas al ser un potente sustituto de los materiales comunes que suelen usarse. Contribuye a promover un desarrollo sustentable, notable reducción de CO2 y reciclabilidad.

1.3 Fundamentación teórica

1.3.1 Introducción a los materiales compuestos

Se ha desarrollado materiales compuestos que se basan en la materia prima renovable para la fabricación de componentes a base de materiales poliméricos con refuerzo de fibras naturales [12].

En Ecuador se cuenta con una gran cantidad de recursos renovables que pueden estar destinados a reemplazar los materiales que contaminan el medio ambiente. Es por ello que el país tiene la oportunidad de aprovechar dichos recursos de manera efectiva y producir productos con un valor agregado, de esta forma se aporta a la economía del país [12].

1.3.2 Nuevos materiales

A los materiales se los divide en 6 grupos que son: metales, elastómeros, polímeros, cerámicos, vidrios e híbridos. Con aplicaciones, manufactura y propiedades similares en muchos de los casos [13].

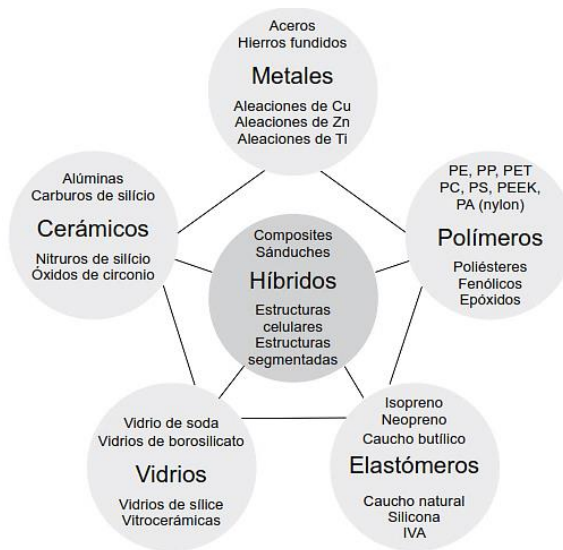


Figura 1.1: Clasificación de los materiales
Fuente: [13]

El crecimiento de la industria de materiales compuestos y polímeros se ha incrementado con el tiempo y el desarrollo de cerámicas avanzadas, materiales compuestos, biomateriales, polímeros especiales, materiales biodegradables y los nanomateriales que también son conocidos como nuevos materiales[13].

En Ecuador se ha enfocado en el estudio en materiales para construcción, minería, reciclaje de polímeros, compuestos reforzados con fibras naturales y muchos más. Entonces, los materiales compuestos se usan en la industria aeroespacial pero con la reducción del costo en la producción [13].

1.3.3 Materiales compuestos

El material compuesto es conocido como “composite” siendo este, aquel que está constituido por dos o más materiales. Donde se produce una reacción química entre ellos[14][15].



Figura 1.2: Aplicaciones de los materiales compuestos

Fuente: [13]

En todo material compuesto se puede distinguir dos componentes: matriz y refuerzo donde el primero actúa como fase continua y el segundo fase discontinua. Sabiendo que se combinan con la finalidad de mejorar las propiedades que poseen cuando actúan por separado, pueden ser naturales o elaborados por el hombre [16][15] [17].

Existe una relación de resistencia a la tracción del refuerzo con respecto a la matriz polimérica, donde el refuerzo es aquel que soporta toda la carga y por ende recae sobre ella la resistencia a la tracción. La matriz tiene como función principal el de transferir la tensión a las fibras, envolver y proteger a las mismas [14].

1.3.3.1 Fracción volumétrica

Por lo general suele ser de 60% o más y el 40% representa la cantidad de material polimérico. Pero debido a esta fracción volumétrica estos materiales compuestos deberían llamarse “fibras embebidas en polímero” en vez de “polímeros reforzados con fibras”[14].

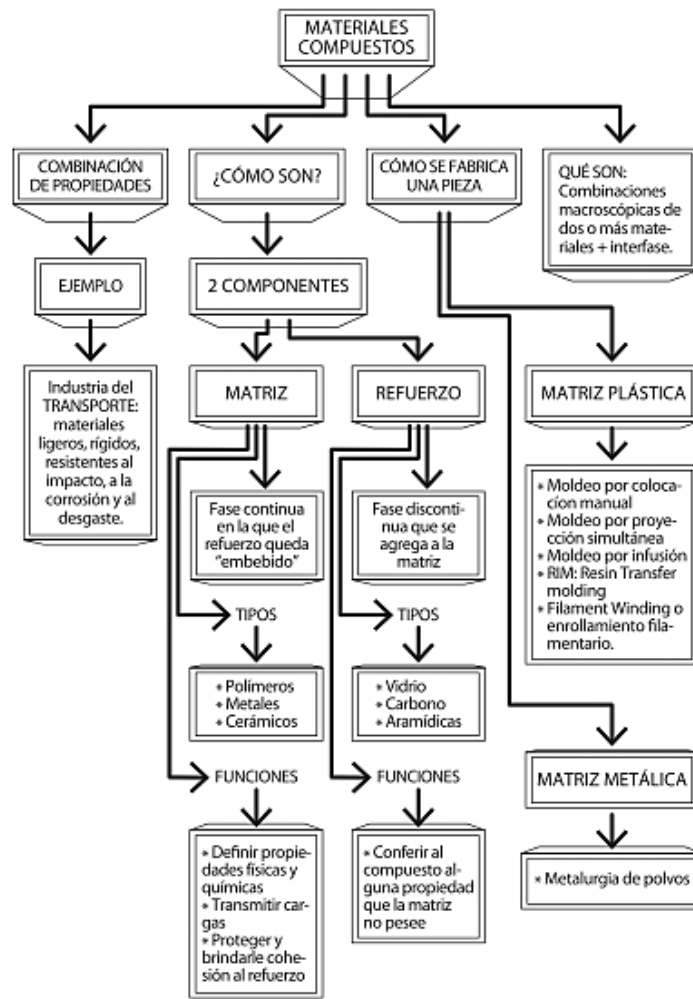


Figura 1.3: Red conceptual de los materiales compuestos

Fuente: [17]

La razón por la que se estudian estos materiales, es porque se obtiene propiedades que no se encuentran en cerámicos, plásticos o metales. Por ello, el interés en los compuestos lignocelulósicos están compuestos de matriz polimérica y fibras de origen vegetal y la fibra puede estar en 30-70% como proporción del compuesto[13] [17].

1.3.3.2 Importancia económica de los materiales compuestos

Los materiales compuestos de matriz polimérica con fibra se los emplean a gran escala para el interior y exterior de los autos, en la siguiente Tabla 1.1 se puede observar el crecimiento mundial de los mismos[13].

Tabla 1.1: Crecimiento mundial del consumo de materiales compuestos

Año	Compuestos	Plásticos	Aluminio	Acero
1985	100	100	100	100
1990	150	135	112	107
1995	160	179	118	104
2000	190	216	141	115

Fuente: [13]

1.3.3.3 Composites de fibras sintéticas

La relación resistencia/peso y rigidez/peso hacen que estos materiales son considerados beneficios a pesar de su costo, donde la idea de combinar los materiales es mejorar las propiedades típicas que se encuentran en los materiales en su estado natural y como se puede observar en la figura 1.4 como se ha incrementado el consumo de los materiales compuestos [14].

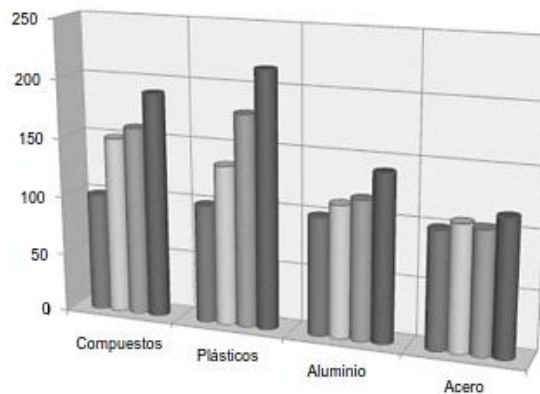


Figura 1.4: Consumo mundial de los materiales

Fuente: [13]

Entonces, se puede notar que para el caso de los materiales compuestos la primera barra corresponde al año 1985 donde el dato global del consumo es 100, la segunda corresponde al año 1990 con un consumo de 150, la tercera al año 1995 con un consumo de 160 y la última barra pertenece al año 2000 tiene mayor incremento llegando a 190. Por lo tanto, en base a la información se puede combinar propiedades que tengan alta resistencia mecánica, bajo peso y con alta resistencia a la temperatura. Los polímeros termoplásticos y termoestables empleados como refuerzo en forma de fibra representan el 9% y 3% respectivamente [13].

1.3.4 Clasificación de los composites

Para conocer la clasificación de los materiales compuestos existen subdivisiones según el tipo de fibra, matriz y la fabricación, como se muestra a continuación:

- Según el tipo de fibra

De acuerdo a la longitud $\left\{ \begin{array}{l} \text{fibras cortas} \\ \text{fibras largas} \end{array} \right.$

De acuerdo a la procedencia $\left\{ \begin{array}{l} \text{natural} \\ \text{sintética} \end{array} \right.$

- Según el tipo de matriz

Constituyentes $\left\{ \begin{array}{l} \text{metálica o MMC} \\ \text{cerámica o CMC} \\ \text{polimérica} \end{array} \right.$

- Según la fabricación

De acuerdo a la longitud $\left\{ \begin{array}{l} \text{unidireccional} \\ \text{lámina cruzada} \\ \text{Quasi - isotópico} \\ \text{lámina - girada} \\ \text{tejido} \end{array} \right.$

De acuerdo al tipo de matriz se puede mencionar que existe una subdivisión en la matriz polimérica como son: termoplásticos, termoestables y elastómeros [14].

1.3.5 Polímeros termoplásticos

Son aquellos que al calentarse parten del estado sólido al líquido y cuando se enfría regresa a su estado inicial sin sufrir el cambio químico, con propiedades como: dureza baja, menor rigidez, resistencia a la tensión baja, ductilidad y coeficiente de expansión térmica alta. Tienen aplicaciones en cascos de botes, carrocería, tubos, barnices, lacas y en la construcción [18].

Tabla 1.2: Propiedades generales de los termoplásticos

Material	Density (g/cm ³)	Tensile strength (× 1000 psi)*	Impact strength, Izod (ft · lb/in) [†]	Dielectric strength (V/mil) [‡]	Max-use temp. (no load)	
					°F	°C
Nylon 6,6	1.13-1.15	9-12	2.0	385	180-300	82-150
Polyacetal, homo.	1.42	10	1.4	320	195	90
Polycarbonate	1.2	9	12-16	380	250	120
Polyester:						
PET	1.37	10.4	0.8	...	175	80
PBT	1.31	8.0-8.2	1.2-1.3	590-700	250	120
Polyphenylene oxide	1.06-1.10	7.8-9.6	5.0	400-500	175-220	80-105
Polysulfone	1.24	10.2	1.2	425	300	150
Polyphenylene sulfide	1.34	10	0.3	595	500	260

Fuente: [18]

1.3.6 Polímeros termoestables

Tienen características como: más rígidos, modulo elásticos tres veces mayor a los termoplásticos, soportan temperaturas altas y son amorfos en su mayoría. Se conoce que el polímero epóxica están basados en el grupo óxido de etileno por lo que se necesita de curado para que forme las cadenas cruzadas[18].

Tabla 1.3: Propiedades generales

Material	Density (g/cm ³)	Tensile strength (× 1000 psi)*	Impact strength, Izod (ft · lb/in) [†]	Dielectric strength (V/mil) [‡]	Max-use temp. (no load)	
					°F	°C
Phenolic:						
Wood-flour-filled	1.34–1.45	5–9	0.2–0.6	260–400	300–350	150–177
Mica-filled	1.65–1.92	5.5–7	0.3–0.4	350–400	250–300	120–150
Glass-filled	1.69–1.95	5–18	0.3–18	140–400	350–550	177–288
Polyester:						
Glass-filled SMC	1.7–2.1	8–20	8–22	320–400	300–350	150–177
Glass-filled BMC	1.7–2.3	4–10	15–16	300–420	300–350	150–177
Melamine:						
Cellulose-filled	1.45–1.52	5–9	0.2–0.4	350–400	250	120
Flock-filled	1.50–1.55	7–9	0.4–0.5	300–330	250	120
Glass-filled	1.8–2.0	5–10	0.6–18	170–300	300–400	150–200
Urea, cellulose-filled	1.47–1.52	5.5–13	0.2–0.4	300–400	170	77
Alkyd:						
Glass-filled	2.12–2.15	4–9.5	0.6–10	350–450	450	230
Mineral-filled	1.60–2.30	3–9	0.3–0.5	350–450	300–450	150–230
Epoxy (bis A):						
No filler	1.06–1.40	4–13	0.2–10	400–650	250–500	120–260
Mineral-filled	1.6–2.0	5–15	0.3–0.4	300–400	300–500	150–260
Glass-filled	1.7–2.0	10–30	...	300–400	300–500	150–260

Fuente: [18]

1.3.7 Propiedades mecánicas de los materiales avanzados

Se va a usar resina poliéster y resina epoxi que sirven como matriz en el material compuesto y el refuerzo es la fibra de guadua en forma de tejido. La comparación entre resinas es importante conocer cómo se puede observar en la Figura 1.5.

Tabla 1.4: Comparación en las propiedades de la RE y RP

PROPIEDAD	POLIÉSTER	EPOXI
Tensión de rotura (MPa)	40 - 90	55 - 130
Módulo de elasticidad a tracción (GPa)	2,0 - 4,4	2,8 - 4,2
Límite elástico a flexión (MPa)	60 - 160	125
Resistencia al impacto (J/m) (ensayo de Izod de barra dentada)	10,6 - 21,2	5,3 - 53
Densidad (g/cm ³)	1,1 - 1,46	1,2 - 1,3

Fuente: [16]

1.3.8 Componentes de un material compuesto

Los componentes principales son matriz y refuerzo, donde la matriz es polimérica de resina poliéster y resina epoxi y el refuerzo se la fibra de Guadua.

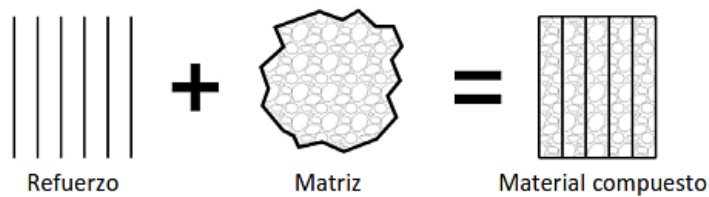


Figura 1.5: Configuración básica de un material compuesto

Fuente: [13]

1.3.8.1 Matriz

Este componente es considerado como la fase continua en la que el refuerzo queda “embebido” lo que significa que un material contiene al otro material. La matriz protege a la fibra, conduce las cargas a las mismas y soporta las tensiones. Aunque no es tan rígido ni resistente como el material de refuerzo, sabiendo que la matriz define las propiedades físicas-químicas y transmite las cargas al refuerzo[14][17].

Cuando el material es sometido a cargas mecánicas, la matriz en compresión soporta el esfuerzo y en tracción, la matriz es aquella que transfiere la carga aplicada sobre la pieza sobre las fibras o partículas[17].



Figura 1.6: Matriz en tracción y compresión

Fuente: [17]

1.3.8.1.1 Clasificación de la matriz

La matriz se clasifica en 3 grupos debido a la naturaleza de la matriz:

- *Matriz polimérica:* Es aquella matriz conocida como plásticos que se encuentran reforzados con fibras, son ampliamente usados en el transporte aéreo, terrestre, naval y aeroespacial. Tiene ventaja en las propiedades mecánicas y resistencia a la corrosión [17][19].
- *Matriz metálica:* El compuesto funciona en altas temperaturas, pero la producción de una pieza es más costosa que una pieza de matriz polimérica. Encontramos materiales como: aluminio, magnesio, cobre, níquel y aleaciones de compuestos reforzados con fibras cerámicas y metálicas con aplicaciones aeroespaciales y automotrices[17].

- *Matriz cerámica:* Para los materiales compuestos se puede utilizar como matriz a materiales cerámicos frágiles. Los compuestos de matriz cerámica tienen buenas propiedades a temperaturas elevadas y son considerados más livianos que los de matriz metálica cuando se encuentran en igual temperatura[17].

1.3.9 Procesos de fabricación de materiales compuestos

El proceso de fabricación desarrollado por Derek Hull, se pueden dividir en dos grandes grupos, los de molde abierto y los de molde cerrado, que a continuación se detallan [20]:

1.3.9.1 Procesos de molde abierto

Los métodos por los cuales pueden fabricarse materiales compuestos en molde abierto son los siguientes:

- *Método de contacto manual:* Este método es también conocido como “Hand lay-up” que es un moldeo manual donde se realiza la impregnación de los tejidos con la mezcla de resina conjuntamente con el acelerador[19][20]. Se coloca sobre el molde a los filtros de fibra enrollada, mechas trenzadas o tejidos a base de fibras que se impregnan con resina a brocha y pasando un rodillo. Se ponen capas hasta que se llegue al espesor de diseño[19][20].

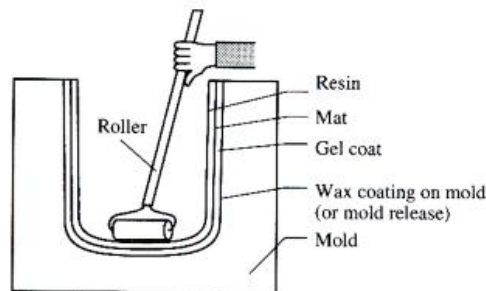


Figura 1.7: Método de contacto manual

Fuente: [20]

- *Proyección:* Es el moldeo por proyección simultánea o “Spray-up” que consiste en depositar sobre un molde la fibra con la resina. Para generar un tapiz homogéneo tanto en espesor como en distribución que al final se pasa el rodillo antes de que la resina cure [17] [20].

- *Bolsa de vacío, saco de presión, autoclave:* Sucede cuando se impregnan capas de fibras, hojas unidireccionales con resina y se curan parcialmente para formar un pre impregnado. Estas se colocan en la superficie del molde con una orientación determinada para consolidarse usando presión en autoclave a la temperatura de curado que se especifica [20].

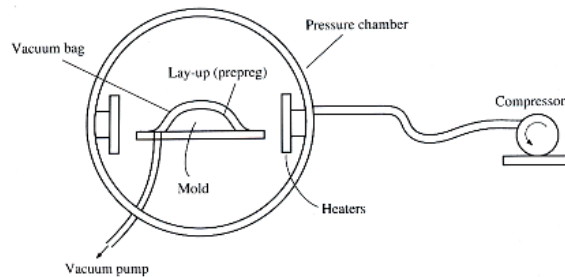


Figura 1.8: Saco de presión y autoclave

Fuente: [20]

- *Enrollamientos de filamento:* Se enrolla el hilo sobre un mandril con la forma de la pieza que se desea conseguir hasta alcanzar el espesor necesario. Consideradas como mechas o hilos continuos de fibra que pasan sobre los rodillos y guías. Hasta un baño de resina y son enrollados después sobre un mandril [17][20]

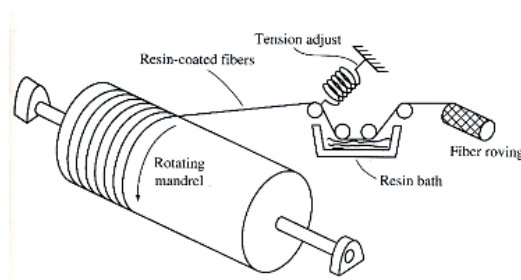


Figura 1.9: Arrollamiento de filamentos

Fuente: [20]

1.3.9.2 Proceso por molde cerrado

- *Moldeo por compresión en caliente:* Aquí la matriz se encuentra caliente y acoplada para proceder a cargar la materia prima que se comprime hasta adoptar la forma de la cavidad. Para llegar a un procesos de curado [20].

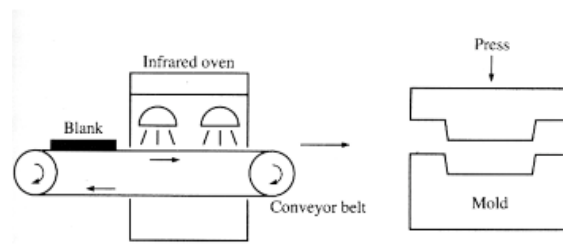


Figura 1.10: Molde por compresión en caliente

Fuente: [20]

- *Moldeo por inyección:* En este tipo de proceso se inyecta el polímero en estado fundido o plástico para ser mezclado con fibras cortas. Bajo gran presión para alojarse en el molde hasta dejar solidificar [20].
- *Pultrusión:* Una alimentación continua del material en forma de fibra con una orientación determinada e impregnada con resina. Este material es comprimido por medio de calentamiento para darle forma [20].

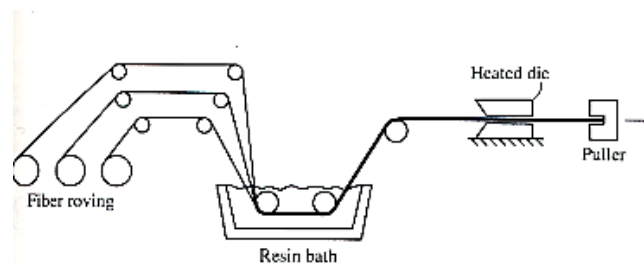


Figura 1.11: Pultrusión

Fuente: [20]

- *Moldeo por prensado en frío:* El material está sometido a presión y temperatura baja, por lo tanto, las fibras se impregnan en la resina para finalmente ser comprimida por ambas caras del molde [20].
- *Inyección de resina:* En el molde se coloca a la fibra en forma de tejido y luego se cierra. Se procede a la inyección de la resina con una presión baja hasta que se llene en molde y se mezcle con la fibra [20].
- *Moldeo por inyección con relación forzada:* Dos componentes son mezclados entre sí previa a la inyección, cuando el molde está cerrado se coloca la fibra y se añade resina, aunque se puede hacer a la inversa también [20].

1.3.10 Refuerzo

Es aquel que tiene como función principal absorber las tensiones presentes en el material compuesto para incrementa la rigidez y resistencia. El refuerzo puede ser continuo o discontinuo. Además es la fase discontinua del material compuesto que le da determinada propiedad a la matriz, en forma de partículas o fibras [16][17].

Los materiales compuestos se pueden dividir en función del refuerzo: materiales particulados, fibras continuas y discontinuas y materiales laminares o fibras largas[21].

- *Materiales particulados:* Es la adición de partículas a la matriz que están distribuidas de forma aleatoria con distintos tamaños e isotrópicos. Como ejemplo tenemos al hormigón, cemento, grava y arena[21].
- *Fibras continuas y discontinuas:* Las fibras pueden estar alineadas o discontinuas donde la primera es considerada ortotrópica y la segunda isotrópica. Como es el caso de la fibra de vidrio y carbono[21].
- *Fibras largas:* Son materiales laminares que tiene un refuerzo homogéneo a lo largo del material, aplicado en una o varias direcciones. Conformadas por láminas que son apiladas para conseguir una elevada resistencia del material en todas las direcciones [21].



Figura 1.12: Materiales compuestos

Fuente:[21]

1.3.10.1 Refuerzo continuo

Las fibras están agrupadas en: alambres, fibras y whiskers que son considerados monocristales delgados con relación longitud/diámetro muy grande y alta resistencia, las fibras son consideradas policristalinos o amorfos con diámetros pequeños y gran longitud; que pueden ser polímeros o cerámicos. Además, el uso de fibras naturales como abacá, coco o cabuya con refuerzo de matriz polimérica tiene ventaja en su bajo costo de manufactura e impacto ambiental menor [13].

Finalmente, los alambres poseen diámetros grandes como es el caso del acero, molibdeno y tungsteno que tienen las características de ser usados como refuerzos radiales en llantas de automóviles [13].

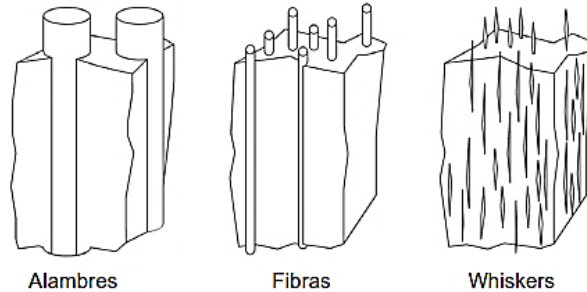


Figura 1.13: Refuerzo de alambres, fibras y whiskers

Fuente:[13]

Entonces, el refuerzo se puede encontrar en fibras, pueden ser sintéticas y naturales como se detallan más adelante.

- *Fibra de vidrio:* Tiene gran resistencia a la tracción, resistencia al ataque químico y posee gran flexibilidad[15].
 - ✓ VIDRIO E
 - ✓ VIDRIO S
 - ✓ VIDRIO C
 - ✓ VIDRIO M
 - ✓ VIDRIO D
- *Fibra de carbono:* Con estructura atómica similar al grafito de patrón hexagonal, esta fibra posee gran resistencia y rigidez debido a la estructura del grafito. Su forma en láminas largas y delgadas y su módulo que puede ser: módulo muy alto, alto, intermedio y de alta resistencia [15][17].

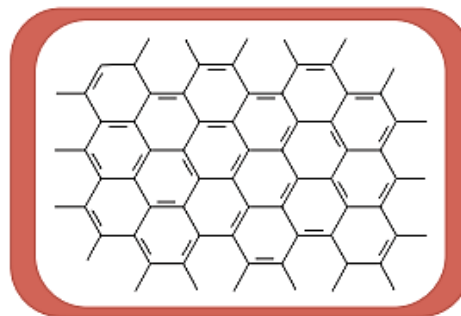


Figura 1.14: Estructura hexagonal de los átomos de carbono

Fuente: [17]

- *Fibra cerámica:* Tienen bajo alargamiento, flexibles, resistente al choque térmico y pueden estar constituidas de sílice [15].
- *Fibra orgánica:* Se obtiene a partir de polímeros como el kevlar [15].
- *Fibra metálica:* Costo elevado dentro de la industria y puede ser aluminio, acero o titanio que es el más costoso [15].
- *Fibra vegetal:* Consideradas fibras económicas con bajo impacto ambiental, estas fibras son provenientes del lino, coco, guadua. Por ello son conocidos como materiales compuestos ecológicos o verdes [17].

1.3.10.2 Presentación de la fibra

Existen varias formas en que se puede encontrar a las fibras y va depender de la aplicación en donde se requiera aplicar.

- *Hilos:* Es un conjunto de fibras que poseen un diámetro y longitud igual, se pueden retorcer entre sí para aumentar el diámetro. Donde: **a)**filamentos continuos, **b)**filamento no continuo o cortadas, **c)**filamento continuo unido por torción, **d)**hilos simples retorcidos y **e)** hilos doblados conjuntamente [15].

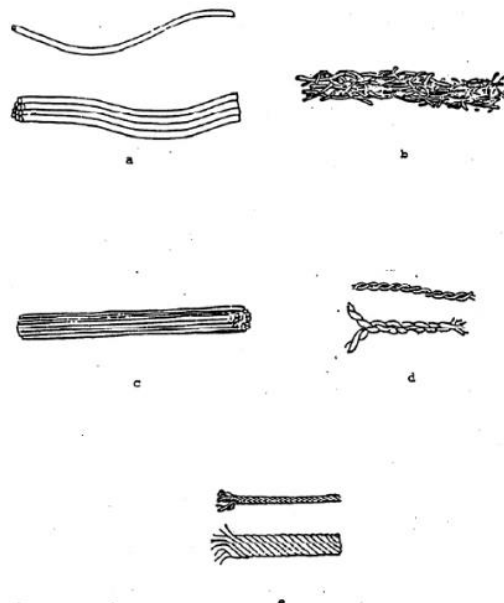


Figura 1.15: Disposición de los hilos como refuerzo

Fuente: [15]

- *Cintas o tapes:* Este tipo de fibra está dispuesto de forma unidireccional y paralelamente. Por ende, este refuerzo está impregnado en la resina [15].

- *Fielros*: Este tipo de refuerzo es en forma de hilos continuos o puede ser también cortados y multidireccional [15].
- *Tejidos*: Este tipo de refuerzo proporciona rigidez y resistencia a los esfuerzos de flexión presentes, y pueden ser de distintos tipos [16].

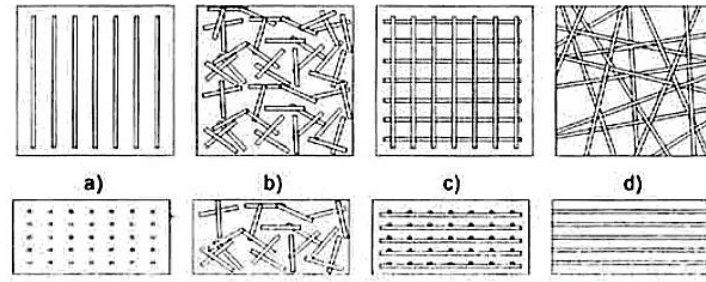


Figura 1.16: Refuerzo de tipo continuo

Fuente:[16]

O también los hilos se encuentran trenzados o entrelazados de forma perpendicular. Según la forma en cómo se trenza: **a)** tafetán, **b)** esterilla, **c)** semiesterilla, **d)** sarga, **e)** raso, **f)** satén de espiguilla [15].

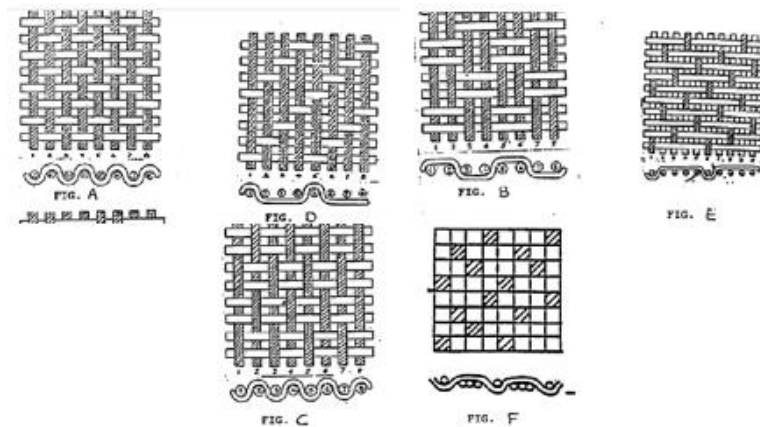


Figura 1.17: Tipos de tejidos

Fuente: [15]

1.3.10.3 Tipos de tejidos

Se puede encontrar variedad que depende del uso o aplicación para la cual se requiere.

1.3.10.3.1 Tejido plano

Está formado por filamentos intercalados ya que estas fibras pasan uniformemente por arriba y debajo de la urdiembre, tienen un mayor número de entrelazamientos por unidad de área entonces se va a reducir la rigidez y resistencia. Con 3 variaciones: basket, oxford y leno [13].

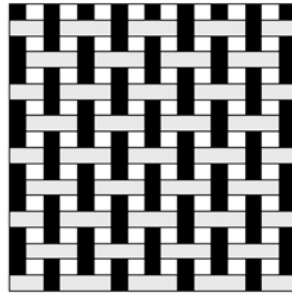


Figura 1.18: Estructura del tejido plano

Fuente: [13]

1.3.10.3.2 Tipo sarga

Este consiste en pasar el filamento de trama sobre dos de la urdiembre, después por debajo y una vez más por dos encima. Físicamente se observa como líneas diagonales en la superficie del tejido por ello también es conocido como tejido diagonal, con buena resistencia al desgaste y abrasión[13].

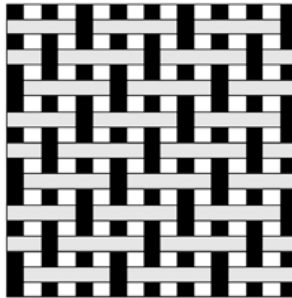


Figura 1.19: Estructura del tejido sarga

Fuente: [13]

1.3.10.3.3 Tejido satén

Es conocido también como raso donde los filamentos de la urdiembre están divididos en series de 5-8, cada uno cubre la trama a la primera pasada y en la siguiente pasando uno [13].

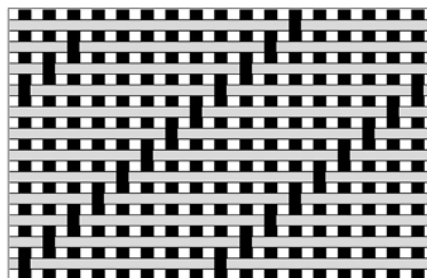


Figura 1.20: Estructura del tejido satén

Fuente: [13]

A continuación, se puede observar una tabla comparativa con las propiedades de todos los tejidos antes mencionados.

Tabla 1.5: Cuadro comparativo de las propiedades de los tejidos

Propiedad	T. Plano	T. Diagonal	T. Satén	T. Basket	T. Leno
Estabilidad	4	3	2	2	5
Conformado	2	4	5	3	1
Porosidad	3	4	5	2	1
Acabado	2	3	5	2	1
Equilibrio	4	4	2	4	2
Simetría	5	3	1	3	1
Ondulación baja	2	3	5	2	3
Total	22	24	25	18	14

Fuente: [13]

Se puede notar claramente que de acuerdo a las propiedades planteadas para cada tipo de tejido se determina que el tejido satén es el de mayor puntuación por lo que sería el más apropiado mientras que el tejido de leno el menos recomendado.

1.3.10.4 Representación gráfica del material compuesto

La orientación de la fibra, disposición y ubicación de cada capa es importante en un composite. Por ende, se debe indicar el “cero” que sirve como referencia con respecto a la orientación de las fibras en forma de tejido, como se observa a continuación [15]:

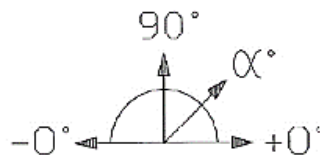


Figura 1.21: Símbolo que indica la orientación de referencia

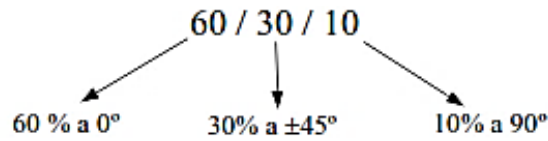
Fuente: [15]

1.3.10.4.1 Comportamiento de las láminas

Depende de la aplicación que se necesita, se realiza un apilamiento de capas con su orientación respectiva donde se gana tenacidad o rigidez según la necesidad [15].

El apilamiento de las fibras que actúan como refuerzo del material compuesto como se observa en la Tabla 1.6, propiedades y comportamiento que tiene un laminado. Esto lo determina el número y tipo de lámina con el porcentaje de fibra con una dirección determinada [19].

Tabla 1.6: Comportamiento de laminados según % de fibra



Configuración	Comportamiento frente a esfuerzo de		
	Flexión y axiales		Torsión y cortantes
	0°	90°	$\pm 45^\circ$
Isótropa	Bueno	Bueno	Bueno
0/100/0	Malo	Malo	Excelente
60/30/10	Bueno	Regular	Bueno
80/20/0	Muy Bueno	Malo	Regular
30/70/0	Bueno	Malo	Muy bueno
Unidireccional	Excelente	Malo	Malo

Fuente:[19]

1.3.10.5 Refuerzo discontinuo

Este tipo de refuerzo se lo puede encontrar en forma de partículas, plaqueta o fibras cortas. Se aplica en situaciones que no requieren de mayor resistencia estructural[16].

- *Partículas:* El comportamiento que posee este tipo de refuerzo es isotrópico con un bajo costo. Y su manufactura de las partículas es más sencilla [16].
- *Plaquetas:* Las propiedades no se elevan considerablemente, pero si tiene una gran compactación [16].
- *Fibras cortas:* Este tipo de refuerzo se ve influenciado por la longitud, de naturaleza anisotrópica por ende con buenas propiedades mecánicas en dirección de la fibra [16].

Entonces, se puede observar el material compuesto según el tipo de refuerzo que se utilice embebido en una resina, como se muestra en la Figura 1.22. Donde: a) particulado, b) fibroso y c) laminado.

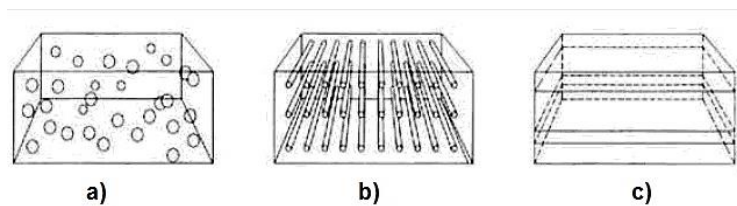


Figura 1.22: Tipos de materiales compuestos según su refuerzo

Fuente:[16]

1.3.11 Material compuesto reforzado con fibras

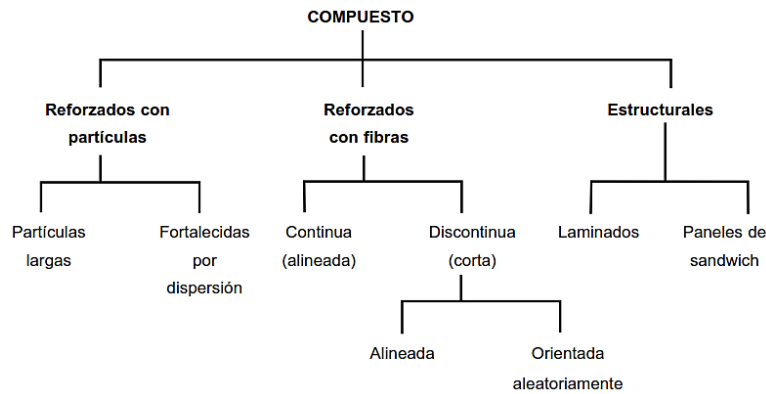


Figura 1.23: Clasificación de los materiales compuestos según Callister 2007

Fuente: [13]

Cuando se combina las resinas poliéster y epoxi con las fibras se logran propiedades excelentes donde la matriz cumple con la función de distribuir la carga al material sobre cada una de las fibras. Por lo tanto, los beneficios que estos materiales ofrecen superan a los metales en determinadas aplicaciones[17].

Estas fibras pueden ser cortas, largas o continuas, se caracterizan mediante la relación de forma l/d longitud y diámetro de las fibras. A mayor relación mejor resistencia del material compuesto, pero se fractura por defectos en la superficie y se tiende a reducir esta área con un diámetro menor y fibras largas. A menos extremos mayor capacidad de soportar las cargas[17].

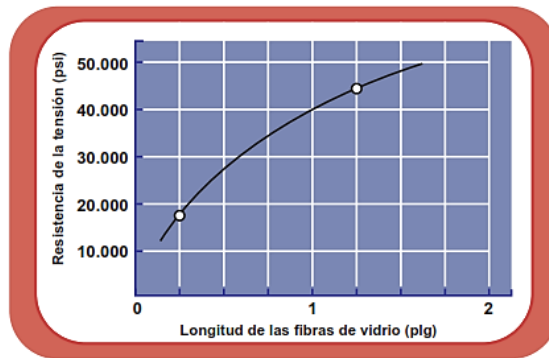


Figura 1.24: Resistencia a la tensión vs. Longitud de fibra

Fuente: [17]

1.3.11.1 Cantidad de fibras

Se tiene mayor fracción de fibras se aumenta la resistencia y rigidez sabiendo que se considera mayor fracción en un 80% [17].

La cantidad de fibras de los compuestos laminares y paneles tipo sánduche están formados por varias láminas con una dirección, estas láminas son apiladas y consolidadas. Pero también estas láminas tienen distintas direcciones de lámina a lámina[13].

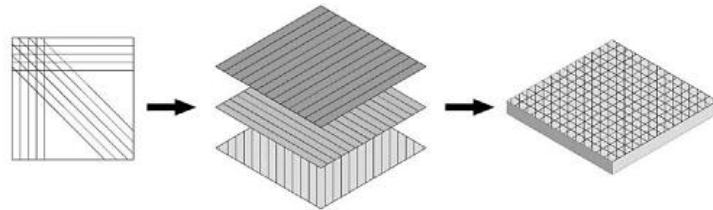


Figura 1.25: Estructura de un material compuesto laminado

Fuente: [13]

1.3.11.2 Orientación de las fibras

Para las fibras cortas la orientación puede ser aleatoria y hay arreglos unidireccionales con fibras largas o continuas tienen a generar propiedades anisotrópicas, resistencia y rigidez paralelas a las fibras con capas a 0° al estar alineadas al esfuerzo aplicado[17].

Se puede mezclar fibras largas y continuas en varias direcciones con arreglos ortogonales tipo $0^\circ/90^\circ$ buena resistencia en dos direcciones y con $0^\circ/45^\circ/90^\circ$ en varias direcciones[17].

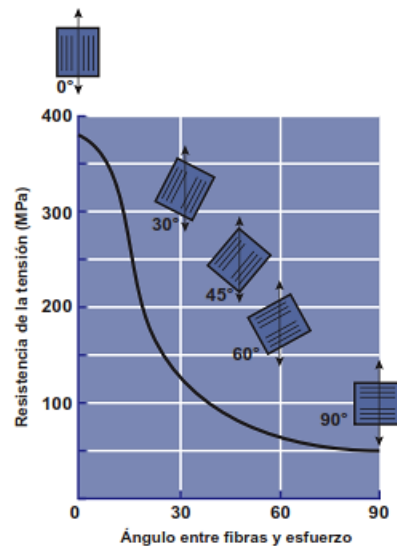


Figura 1.26: Gráfica de la resistencia vs. Ángulo de fibras

Fuente: [17]

Para el primer caso se unen cintas con las fibras alineadas de forma que se conforme una estructura compuesta unidireccionalmente con varias capas. En el segundo caso estas cintas tienen distintas direcciones para formar un compuesto casi isotrópico[17].

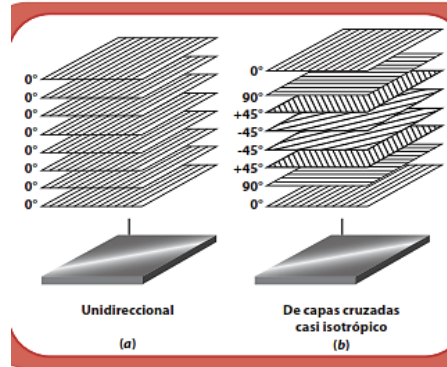


Figura 1.27: Apilamiento de capas unidireccional y cruzadas

Fuente: [17]

1.3.12 Fibra natural

Este tipo de fibras pueden ser de origen vegetal, animal o mineral donde cada una de ellas tiene sus propias características, morfología, partes, sección artificial y resistencia. Dependerá de la utilidad que se requiere para el diámetro, orientación y longitud de la fibra [22].

1.3.12.1 Fibras de origen vegetal

En la actualidad existe una gran demanda de las fibras naturales debido a la conciencia medio ambiental que genera el uso de las fibras sintéticas. Ecuador tiene una gran ventaja el poseer 25000 especies registradas de plantas vasculares, solo 25 son usadas comercialmente: abacá, cabuya, algodón, bambú, seda, toquilla y paja por mencionar algunos que son destinados a la manufactura de materiales compuestos [13].

Se considera fibras de origen vegetal aquellas que son extraídas del reino vegetal, tienen una sub clasificación donde encontramos fibras en semilla, tallo, hoja y fruto. Entonces, las fibras de tallo son: yute, banana, lino y bambú como es el caso de la presente investigación. Para el caso de las fibras de hoja están consideradas: abacá, pita, esparto y cabuya y en las fibras de fruto; esta la del coco [22].

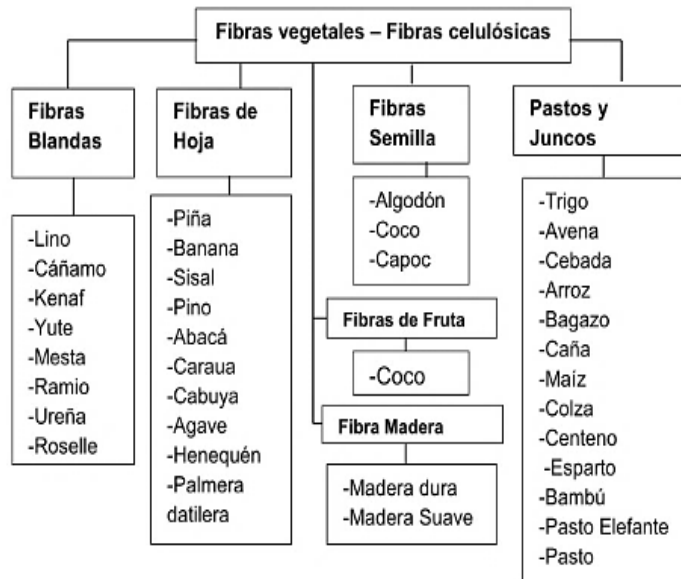


Figura 1.28: Fibras vegetales para materiales compuestos

Fuente: [12]

1.3.12.2 Fibra de guadua

La fibra de guadua angustifolia kunt o también conocida como GaK, es conocida mundialmente como bambú ya que posee buenas propiedades físicas y mecánicas, es una de las 1200 especies identificadas en el mundo y consideradas endémica de Sur América por ende nativas de Ecuador, Perú y Colombia [12][23].

La guadua es considerada como el bambú del nuevo continente con su nombre científico, guadua angustifolia que existe en abundancia en América Latina y utilizada debido a su versatilidad y propiedades físicas[24].



Figura 1.29: Tallos de bambú

Fuente: [24]

La guadua en comparación con la palma es más flexible, ondulosa y esbelta y tiene gran cantidad de lignina. El tejido de la caña guadua está compuesta de parénquima y haces vasculares donde se alojan los vasos, tubos cribosos y las fibras [24].

Dentro de la composición el 50% representa la perénquima, 49% fibra y el 10% son los tejidos conductivos[24].

1.3.12.2.1 Guadua en el Ecuador

La guadua tiene gran valor económico, social y ambiental debido a su versatilidad de aplicaciones, su crecimiento depende de las condiciones climáticas que mediante un estudio realizado por la empresa Acero Vegetal – Tandilsa se determinó que dicha planta crece 13,5 cm diarios [12].

1.3.12.2.2 Fibra que posee la Guadua

Está constituido por el tejido esclerenquimatoso que se forman en los internodos en forma de capas de haces vasculares. Aporta un 50% del total del tejido de la caña guadua y representa el 70% del peso de la misma sabiendo que estás fibras son largas en comparación con la madera dura [24].

Bambusa Tulda = 3 mm	Bambusa Vulgaris = 2,3 mm
Guadua angustifolia = 1,6 mm	Guadua amplexifolia = 2,3 mm
Dendrocalamus Giganteus = 3,2 mm	Phyllostachys edulis = 1,5 mm

Figura 1.30: Valores medios de la longitud de la fibra intra e inter

Fuente: [24]

La longitud de la fibra depende del diámetro de la fibra, grosor de la pared y el diámetro del internodo. El diámetro de la fibra varia de entre 11 a 19 micrómetros y el grosor de la pared celular entre 4-6 micrómetros[24].

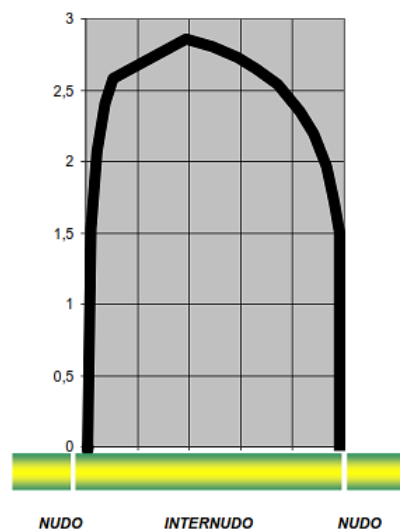


Figura 1.31: Variación en la longitud de las fibras dentro del internodo

Fuente: [24]

Existe una variación en las dimensiones de la caña guadua ya que depende de la especie como se muestra a continuación:

Tabla 1.7: Dimensiones de fibras en algunas especies de bambú

ESPECIES	Largo (mm)	Ancho -Diámetro- (micra)	Lumen (micra)	Espesor de las paredes (micra)
Bambusa vulgaris	3,43	15,41	3,73	5,84
Guadua amplexifolia	1,69	14,47	3,28	5,55
Guadua superba	1,94	14,22	2,14	6,04
Guadua spinosa	1,65	14,57	3,10	5,74
Guadua angustifolia	1,93	16,04	2,12	6,96

Fuente: [24]

Tiene cualidades como la renovabilidad, corto periodo de crecimiento y cosecha que es menor a 1 año, variedad de especies, abundancia, estructura de refuerzo en los internodos por todo esto es que es considerada un material versátil y noble [24].

1.3.12.3 Longitud y diámetro de la fibra de Guadua

Estas pueden ser largas, cortas o continuas y que analizan la relación L/d donde cuando una relación grande significa que mejora la resistencia del compuesto, cuando el diámetro es pequeño existe menos área superficial y de esta forma elimina los defectos durante su manufactura. En presencia de fibras largas se conoce que a menos extremo hay mayor capacidad de las fibras para soportar cargas[24].

1.3.12.3.1 Orientación de la fibra

Debido a un mayor volumen de fibra se aumenta la rigidez y resistencia de un material compuesto, pero cuando se excede el 80% no existe una adherencia adecuada de la matriz con respecto al refuerzo (guadua). Para alcanzar una rigidez buena en sentido de la tensión es recomendable ordenamientos unidireccionales a 0° con fibras largas o continuas. Para fibras continuas orientadas en paralelo, el porcentaje de refuerzo se considera de 70-80% [24].

Cuando el refuerzo está orientado de forma perpendicular en el caso de fibras continuas en dos direcciones el porcentaje oscila entre 45-65% y cuando las fibras se orientan en cualquier dirección considerándolas multidireccional, este porcentaje tiende a disminuir 20-40% [24].

1.3.13 Material compuesto frente a choque

Los materiales compuestos tienen gran capacidad de absorción de energía por lo que la hace ideal para el diseño de elementos que estén expuestos a la absorción de energía cinética durante un choque [19].

Esto debido a los modos de fallo que este material compuesto exhibe simultáneamente, a diferencia de los metales la absorben mediante deformación plástica. Por ende, el aplastamiento axial absorbe esta energía donde el fallo del material no debe ser catastrófica sino más bien progresiva [19].

1.3.14 Fibra de guadua como materia prima

La fibra es extraída de la especie de bambú: *Guadua angustifolia* que se obtiene de las cañas por medio de un proceso de transformación mecánica a manual (artesanal) donde se hace uso integral del material aproximadamente del 100% [24].

1.3.15 Obtención de la materia prima de guadua

El corte de la materia prima debe ser cuando alcanza su madurez, alrededor de 4-6 años porque posee menor humedad y el tejido duro. El corte se realiza con machete sobre el segundo nudo desde el suelo, con un corte a ras que evita la formación de un vaso. Para evitar el almacenamiento de agua que pudriría el rizoma [25].

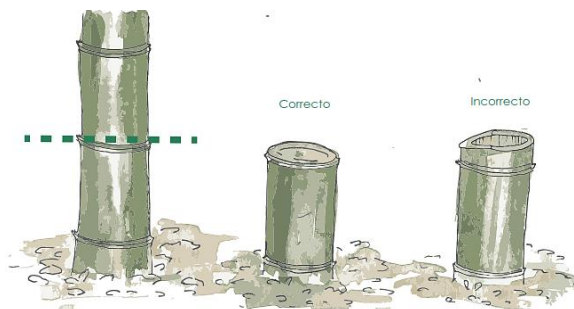


Figura 1.32: Corte de la caña en la mata

Fuente: [25]

Al someterlo a un tratamiento de preservación para mejorar su durabilidad, existen métodos de curados naturales (sol y agua) y procesos químicos. Con inmersión de las cañas sumergidas en penta-borato de bórax. Se debe inmunizar por la presencia de humedad con una perforación longitudinal de las cañas pasando por todos los nudos y entrenudos [25].

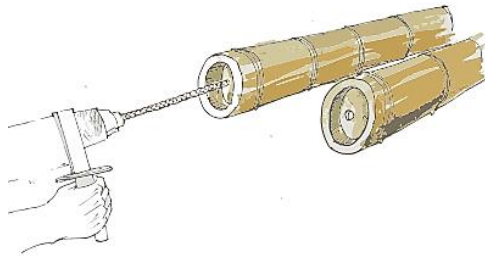


Figura 1.33: Perforación de los entrenudos del culmo

Fuente: [25]

Otro proceso importante es el blanqueamiento con la exposición al sol, por medio de un trípode de forma que las cañas están inclinadas en las dos direcciones para poder moverlas durante el día evitando la generación de rajaduras[25].



Figura 1.34: Blanqueamiento del Bambú

Fuente: [25]

Al ser un material higroscópico que absorbe el agua hace que las propiedades mecánicas bajen por ende el proceso de secado, los culmos son apilados durante 2 meses o más. O también se puede utilizar un “pulpo” que es un soplador eléctrico con mangueras que inyectan aire caliente; reduciendo al 50% el tiempo de secado[25].

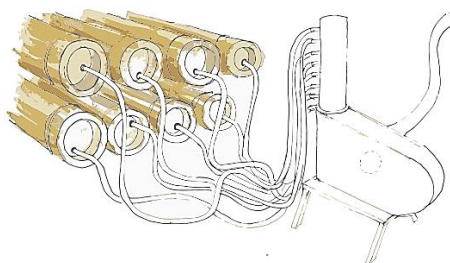


Figura 1.35: Secado por medio de un pulpo

Fuente: [25]

1.3.16 Radiación

Es considerada a la emisión de energía por el cambio en la configuración de los átomos o moléculas, propagación de energía en forma de partículas por medio de la radiación electromagnética y considerada la transferencia de calor más rápida [26][27].

1.3.16.1 Radiaciones ionizantes

- *Radiación alfa*: Esto sucede cuando un núcleo inestable emite a un núcleo de helio [26].
- *Radiación beta*: Existe beta positiva y beta negativa, la primera emite un positrón y en la segunda emite un electrón [26].
- *Radiación gamma*: Estos fotones tiene alta energía que son emitidos por núcleos inestables, por lo tanto, el núcleo pierde su energía [26].
- *Radiación neutrónica*: Esto sucede cuando hay una emisión de los neutrones en los procesos nucleares [26].
- *Rayos X*: Considerado al cambio de órbita de los electrones atómicos al producir fotones de alta energía o los electrones actúan sobre un material [26].

1.3.16.1.1 Radiaciones no ionizantes

Este tipo de radiación tiene la siguiente clasificación[26]:

- Radiación infrarroja
- Rango ultravioleta UV
- Luz visible
- Ondas de radio

Se conoce que todas estas formas de radiación no generan la suficiente energía como para ser considerados ionizantes por lo que no generen algún efecto negativo en la salud ya que se encuentran en la naturaleza, en forma de artefactos que se usan en la vida diaria [26].

Por lo tanto, este tipo de radiación está presente en celulares, microondas, radios, GPS y muchos más [26].

Fuentes naturales	Porcentaje de la radiación anual
Radiación cósmica	14%
Radiación terrestre	18%
Radiación interna	11%
Radón	43%
Total	86%

Figura 1.36: Fuentes naturales de radiación

Fuente: [26]

1.3.16.2 Radiación Artificial

Sucede cuando la emisión de energía es provocada por el hombre y es empleada en áreas como: medicina, minería, generación de energía y armas nucleares. Se conoce que una persona anualmente está expuesta un 86% de radiación natural y 14% de artificial[26].

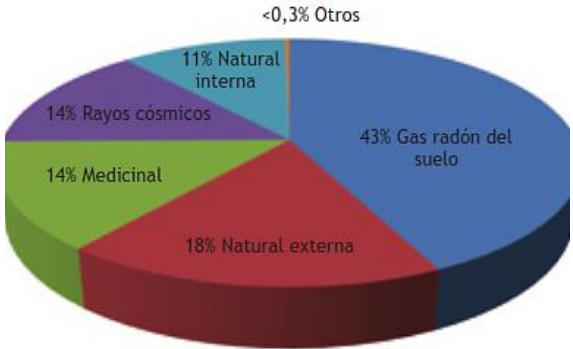


Figura 1.37: Dosis anual de radiación

Fuente: [26]

1.3.16.2.1 Interacción de la radiación y la materia

Cuando existe el encuentro entre estos factores se produce una transmisión de energía al atravesar la materia, se produce la ionización y excitación en este momento. Si las radiaciones ionizantes encuentran su camino, los átomos y moléculas provenientes de la materia rompen sus enlaces de átomos y liberan electrones esto es la ionización. El proceso de excitación se produce cuando la radiación transfiere cierta cantidad de energía a los átomos o moléculas [26].

1.3.17 Radiación UV

Este factor es considerado negativo para la vida en nuestro planeta puesto que esta radiación influye en el funcionamiento de los ecosistemas por medio de la fotosíntesis, humedad y temperatura se irradia con mayor intensidad [28].

Se identifica con colores como: violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo, de 0-2 considerado de bajo peligro, 3-5 es un riesgo moderado, 6-7 es un riesgo alto y 8-10 el riesgo es muy alto [28].



Figura 1.38: Índice de radiación UV

Fuente: [28]

1.3.17.1 Radiación solar y su efecto en los polímeros

Es radiación solar de tipo UV porque está presente en 4,6% de toda la radiación solar y causa daño al material polimérico oscilando en el rango de 280-400 nanómetros [29].

1.3.17.2 Ensayos para el efecto de radiación solar

Se pueden aplicar distintos ensayos de radiación solar sobre los materiales, se puede envejecer de forma natural y artificial: estaciones de envejecimiento natural y cámaras de envejecimiento artificial acelerado y se clasifica de acuerdo a la fuente [29]:

- Fuente de luz fluorescente
- Lámparas de Xenón
- Lámparas de Carbono
- Lámparas de vapor de Mercurio

Estos métodos se basan en la observación regular por intervalos de tiempo de las características físicas: agrietamiento, blanqueamiento, color y brillo y las propiedades mecánicas: resistencia a la tensión, elongación e impacto. Para ensayos donde se requiere lograr una mejor simulación de la luz solar las lámparas de Xenón son la mejor opción[29].

1.3.18 Ensayo de exposición UV

Este ensayo se lleva mediante normativa ISO 4892 donde se puede degradar a los polímeros para afectar la composición del material compuesto en estado inicial sobre sus propiedades mecánicas iniciales, se puede evidenciar mediante cuando de color y roturas en los enlaces[10].

- **Degradación mediante exposición a intemperie:** Se lleva a cabo cuando los materiales compuesto están expuestos al medio ambiente con agente como: sol, lluvia, polvo o calor, pero conlleva mucho tiempo para tener resultados notorios [10].
- **Degradación mediante exposición a radiación UV:** Se realiza un envejecimiento artificial a los materiales compuestos mediante una cámara de luz con arco de Xenón, que trabaja con un rango de radiación de 300-400 nm. Para lo cual se puede regir a la normativa UNE-EN-ISO-4892-1:2007 [10].
- **Degradación mediante degradación térmica:** Este envejecimiento se lleva a cabo con una estufa programable con temperatura a 63°C, con la normativa ASTM D6954 [10].

1.3.18.1 Cámara de arco de Xenón

Es un equipo que tiene la finalidad de simular el efecto que tiene la radiación solar y la humedad a la intemperie mediante el uso de lámparas que usan gas de xenón ionizado al producir un luz brillante del día [30].

Para la simulación de la humedad se realiza por medio de un sistema de pulverización de agua. Es importante mencionar que existen dos tipos de cámaras: rotativas y estáticas. Las primeras constan de un tambor giratorio, donde se montan las muestras y giran alrededor de una lámpara central fija y las cámaras estáticas, las muestras están fijas pero sobre un panel inclinado [30].

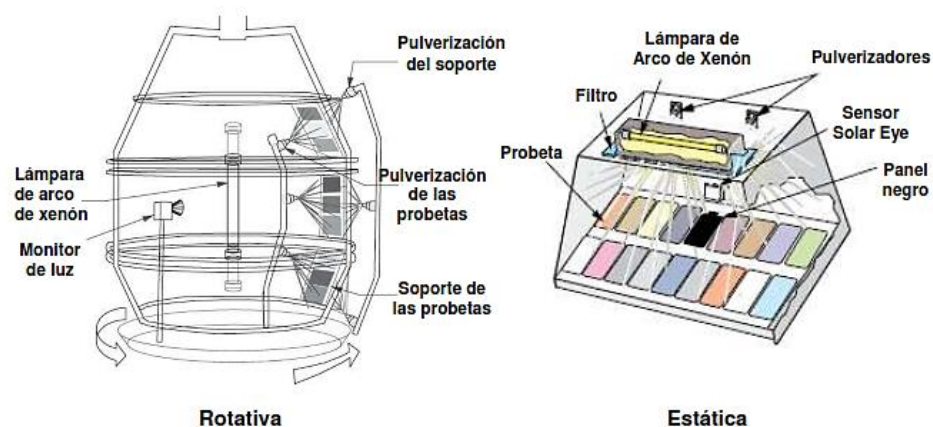


Figura 1.39: Tipos de cámaras de arco de Xenón

Fuente: [30]

1.3.18.2 Cámaras de ensayo Q-SUN

Cámara de Xenón: Esta cámara es la encargada de reproducir el efecto y daños que causa la radiación solar de espectro completo y el efecto causado por la lluvia. Con varios días o semanas hasta meses, según sea la necesidad de exposición solar[31].



Figura 1.40: Cámara de Xenón

Fuente:[31]

1.3.19 Ensayo a tracción

Este ensayo es para materiales compuestos de tipo destructivo sobre donde la probeta esta previamente preparada es sometida a una carga o fuerza de tipo axial y que aumenta gradualmente, hasta alcanzar el punto de rotura de dichas probetas bajo normativa D3039 [13][29].

La resistencia a la tensión se determina con el uso de una muestra del material en una máquina de ensayo de tensión, con la ayuda de mordazas en la parte superior e inferior; con la sujeción en ambos extremos de las probetas con dirección paralela a la fuerza y para conocer las características del material como [29][32]:

- *Módulo de elasticidad:* Conocido como módulo de Young siendo la rigidez del material analizado[29].
- *Coefficiente de Poisson:* Cuantifica la razón que existe entre el alargamiento longitudinal y acortamiento de la longitud transversal [29].
- *Límite de fluencia:* Es aquel valor que soporta la probeta cuando hay cedencia o fluencia. Y está situado entre la deformación elástica y plástica[29].
- *Límite elástico:* Es la tensión donde se produce el alargamiento en función del extensómetro[29].

- *Carga de rotura*: Es la resistencia a la tracción siendo la carga que resiste la probeta [29].
- *Alargamiento de rotura*: Es el incremento de la longitud por la cual atraviesa la probeta y es expresado en porcentaje[29].

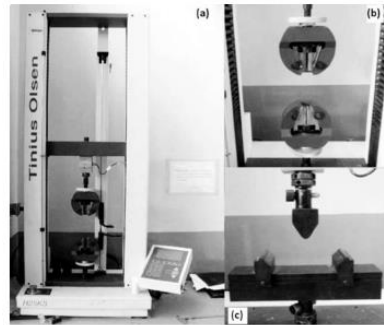


Figura 1.41: Máquina universal de ensayos Timius Olsen

Fuente: [13]

1.3.19.1 Curva esfuerzo - deformación

Es la representación del comportamiento de un material sometido a una carga. Durante la primera fase la línea es recta, por ende, el esfuerzo es directamente proporcional a la deformación. El punto A se produce una curva conocida como límite proporcional, conforme se incrementa la carga llegamos al punto B conocido como límite elástico. Si tenemos esfuerzos menores al punto B, el material regresa a su forma original al quitar la carga y cuando son mayores se deforma permanentemente. Entonces, el punto de cedencia conocido también como límite elástico se considera al esfuerzo con el que se produce el alargamiento de la muestra denotado con C [32].

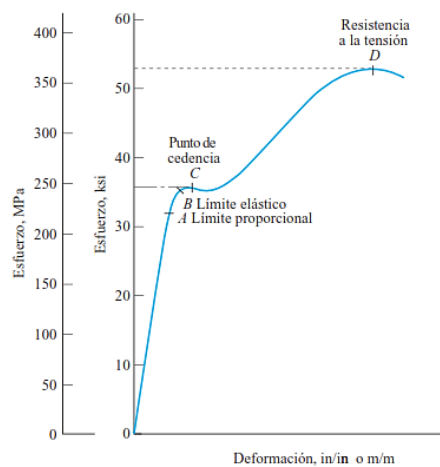


Figura 1.42: Curva esfuerzo- deformación típica del acero

Fuente: [32]

Aplicando cargas mayores luego del punto de cedencia, la curva tiende a subir hasta alcanzar un pico cuando se rompe la probeta. Este esfuerzo aparente se llama resistencia a la tensión denotado como D [32].

El módulo elástico a lo largo de las fibras es distinto al módulo elástico transversal y la dirección de la fibra con la dirección a la fuerza aplicada debe ser la misma.[33].

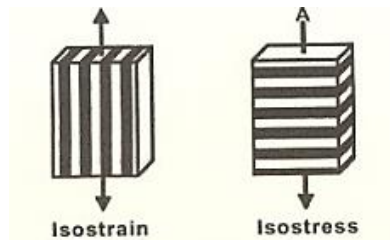


Figura 1.43: Geometría de materiales compuestos unidireccionales

Fuente: [33]

1.3.20 Análisis estadístico

El análisis que se requiere aplicar a los datos depende de la distribución de la población para proyectar la población con las conclusiones al estudiar la muestra. Existe la inferencia paramétrica con enfoque clásico o enfoque bayesiano. Donde la inferencia no paramétrica se basa netamente en la hipótesis de forma muy general [34].

1.3.20.1 Enfoque clásico

El enfoque clásico tiene como objetivo dar una respuesta a determinadas preguntas y tomar una decisión, ya que se desea comprobar una hipótesis por medio de evidencia que aporten de manera positiva. Esta hipótesis es una afirmación de los valores de los parámetros existentes de donde se plantea la hipótesis nula y alternativa. Esta última es la teoría que se probará H_1 y la hipótesis nula está denotada como H_0 [34].

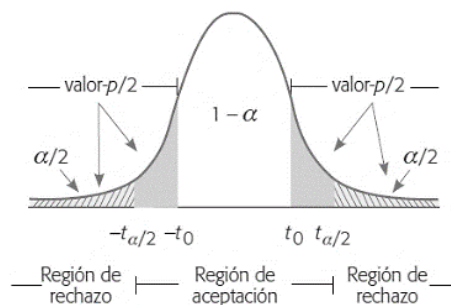


Figura 1.44: Significancias y su comparación

Fuente: [34]

Para que una hipótesis nula se acepte o se rechace debe depender del valor p , donde para rechazar H_0 la significancia debe ser menor a la predefinida, por lo tanto, el valor de $-p < \alpha$. Entonces, cuando existe evidencia suficiente en los datos se rechaza H_0 y por ausencia de evidencia insuficiente no se rechaza H_0 [34].

1.3.20.2 Diseño de experimentos para los datos

Por medio del diseño de experimentos se pretende conocer la forma efectiva de hacer pruebas donde se tenga información que permita analizar estadísticamente [34].

También por medio del diseño de experimentos se puede comparar las configuraciones del diseño, evaluar materiales alternativos o determinar los parámetros a los cuales un producto tiene mejor rendimiento o funcionamiento[34].

1.3.20.3 Diseño factorial

Este tipo de diseños se los aplica cuando se desea estudiar el efecto de varios factores sobre una o más respuestas, por medio de ellos se puede conocer la mejor combinación de factores. Pero es importante partir de los supuestos paramétricos para continuar con el desarrollo del diseño [34].

1.3.20.4 Supuestos paramétricos

Los supuestos paramétricos que deben cumplir los datos para poder aplicar un diseño experimental a los mismos son: Normalidad, igualdad de varianzas e independencia de residuos [34].

1.3.20.4.1 Prueba de Normalidad

Se realiza por medio de un histograma aplicado a los datos o la gráfica de probabilidad de los residuos, pero para lograr una correcta interpretación de los datos mediante Anderson Darling[34][35].

Una muestra es considerada grande de 30-200 experimentos y para que se cumpla el supuesto de normalidad, el valor de $-p$ debe ser mayor a 0.05 y así se puede aceptar el H_0 [34][35].

Por lo tanto, si el valor $-p < \alpha$ se rechaza H_0 [35].

Donde: $H_0 = \text{Hipótesis nula}$

$H_1 = \text{Hipótesis alternativa}$

El estadístico de Anderson Darling es utilizado para conocer la distribución que tienen los datos donde el estadístico AD es menor cuando tiene buen ajuste, por medio de este se puede calcular el valor p. Con este último valor se determina el modelo de distribución que debe ser aplicado para el análisis de fiabilidad de los datos que fueron utilizados [36].

Por otro lado, el estadístico AD tiene como finalidad de comprobar que determinada muestra de datos posee normalidad para cumplir con el supuesto respectivo y la diferencia que tiene con la prueba de Kolmogorov-Smirnov es cuando se da mayor importancia en la distribución a los valores de los extremos que al rango medio [36].

1.3.20.4.2 Prueba de igualdad de varianzas

Mediante el gráfico de predichos vs residuos donde en el eje horizontal están los predichos y en el eje vertical los residuos, los puntos se deben distribuir de forma aleatoria sobre una banda horizontal. También se puede usar la prueba de Levene donde se hace uso de la desviación absoluta de las observaciones que se evalúa la media de estas desviaciones es igual o no para todos los tratamientos del experimento [34] [35].

Entonces, si el valor $-p < \alpha$ se rechaza H_0 [35].

Donde se cumple que:

$$H_0 = \sigma_1^2 = \sigma_2^2 \dots \sigma_k^2 = \sigma^2 \text{ [35]}$$

$$H_1 = \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2 \text{ para algún } i \neq j \text{ [35]}$$

1.3.20.4.3 Prueba de Independencia de residuos

Mediante la gráfica residuos vs. orden, donde se sitúa en el eje horizontal mientras que en el eje vertical se encuentra el residuo. Para la interpretación de la gráfica se debe identificar la existencia de un patrón no aleatorio, de lo contrario se llega a la conclusión que existe un comportamiento aleatorio en los puntos sobre la banda horizontal [34].

1.3.20.5 Transformación de los datos

Después de haber concluido con los supuestos paramétricos en el caso cuando no se cumple con uno de estos supuestos se necesita realizar una transformación de los datos

y volver analizarlos. En su mayoría es muy empleada la transformación de Box-Cox ya que los datos Y_i van a ser transformados en W_i [35].

1.3.20.6 Diseño experimental

En un diseño factorial se requiere estudiar los factores sobre una o varias respuestas, teniendo en cuenta el interés sobre todos los factores. Se determina la combinación de factores sabiendo que estos pueden ser cualitativos o cuantitativos [34][35].

La hipótesis se puede aprobar con el análisis de la varianza, en el caso de que se trata de un diseño factorial $a \times b$ con “n” réplicas donde se necesita al menos 2 réplicas por cada combinación del experimento. Y la tabla de ANOVA para este diseño se muestra a continuación [34][35].

Tabla 1.8: ANOVA para el diseño factorial de la forma “a x b”

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F_0	Valor-p
Efecto A	SC_A	$a - 1$	CM_A	$\frac{CM_A}{CM_E}$	$P(F > F_0^A)$
Efecto B	SC_B	$b - 1$	CM_B	$\frac{CM_B}{CM_E}$	$P(F > F_0^B)$
Efecto AB	SC_{AB}	$(a - 1)(b - 1)$	CM_{AB}	$\frac{CM_{AB}}{CM_E}$	$P(F > F_0^{AB})$
Error	SC_E	$a \cdot b(n - 1)$	CM_E		
Total	SC_T	$a \cdot b \cdot n - 1$			

Fuente:[34]

1.3.20.6.1 Efectos principales y la interacción

Por medio de una gráfica se puede representar el efecto principal de un factor, en el eje horizontal se encuentran los niveles del factor y en el eje vertical la media de la respuesta de cada uno de los niveles. Con las diferencia de las pendientes en las líneas se puede notar cual efecto es el que tiene mayor influencia en la respuesta [34].

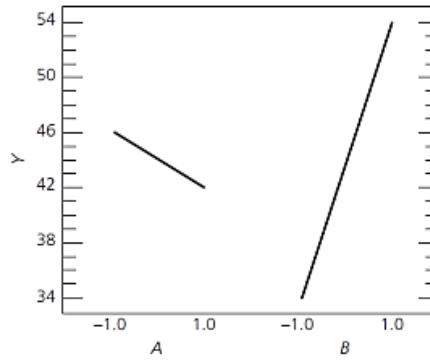


Figura 1.45: Representación de los efectos principales de los datos

Fuente:[34]

Para los efectos de interacción entre dos factores se lo lleva a cabo por medio de una gráfica, en el eje horizontal están los niveles los factores y en el eje vertical cada uno de los niveles situados por un punto; mismo que representa la respuesta promedio de cada nivel del otro factor [35].

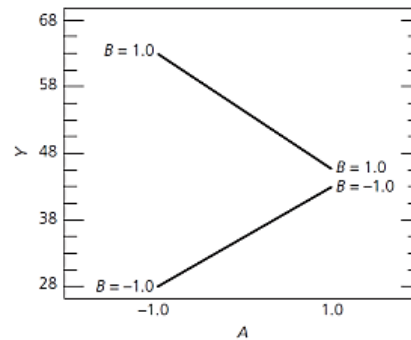


Figura 1.46: Representación de los efectos de interacción en AB

Fuente:[34]

Existe una interacción entre las líneas cuando las pendientes son diferentes, de lo contrario si las pendientes son similares no existe interacción entre ellas[34].

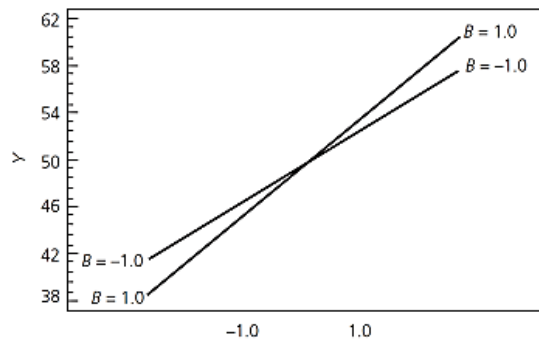


Figura 1.47: Representación de los efectos de no interacción de AB

Fuente: [34]

1.3.20.6.2 Coeficiente de determinación

Cuando se requiere medir la calidad global de un modelo se hace uso de dos estadísticos como son: coeficiente de determinación R^2 y el coeficiente de determinación R^2_{aj} y que se obtienen a partir del análisis de la varianza [34].

1.3.20.6.3 Optimización de respuestas múltiples

La optimización mejora la resistencia de un determinado material, aumenta la pureza, disminuir el costo o el mismo desgaste que sufre un material. Con la finalidad que todas las variables tengan un nivel satisfactorio y así obtener una solución buena de forma simultánea [34].

1.3.20.6.4 Método de la función de deseabilidad

El primer inconveniente que tenemos es que las respuestas que se pretenden optimizar se encuentren en distintas unidades: magnitudes físicas, porcentajes o dinero. Entonces, es necesario transformar las respuestas predichas para el modelo a valores normalizados con los valores adimensionales de (0,1) son la deseabilidad individual. La respuesta predicha en este modelo se calcula por medio de la ecuación de regresión del modelo [34].

Se conoce que $y_{máx}$ es la especificación mayor de la respuesta, y_{min} es la especificación menor y r es la constante que define la forma de la función de deseabilidad de cada una de las respuestas. Por ello, se convierte el problema de optimización de respuestas múltiples en un problema de única respuesta que se puede interpretar de forma objetiva [34].

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General:

Analizar la influencia que tiene la exposición de rayos UV en el comportamiento del material compuesto reforzado con fibra de guadua.

1.4.2 Objetivos Específicos:

- Diseñar el modelo experimental apropiado para el estudio propuesto del material compuesto.
- Elaborar el material compuesto de matriz polimérica con resina epoxi reforzado con fibra de guadua y resina poliéster con fibra de guadua.

- Realizar las pruebas experimentales bajo la normativa ISO 4892 y ASTM D3039.
- Evaluar los resultados obtenidos sobre la influencia en la propiedad mecánica del material compuesto, al ser expuesto al ensayo de rayos UV.

1.4.3 Diseñar el modelo experimental apropiado para el estudio propuesto del material compuesto.

El modelo experimental es el “Diseño factorial general completo”. Mismo que corresponde a un diseño factorial 2x3 con 6 combinaciones entre estos factores.

Tabla 1.9: Diseño factorial

DOE		→	ANOVA
Factores de Entrada (Parámetros)		Respuestas Experimentales (Mediciones)	
“X”		“Y”	
Resina	Tiempo		
2 niveles	3 niveles		

Fuente: Autor

Los factores de entrada son: resina y tiempo, las variables: tipo de resina (Epoxi y Poliéster) y tiempo de exposición rayos UV a 0h, 50h y 250h.

Tabla 1.10: Diseño factorial general completo

Diseño factorial			
Factores	Variables		
Resina	Epoxi	Poliéster	
Tiempo	0	50	250

Fuente: Autor

Las posibles combinaciones del material compuesto reforzado con fibra de guadua son:

Tabla 1.11: Posibles combinaciones del material compuesto

Combinaciones (6)				SUT
1	Epoxi	0	T	X1
2	Epoxi	50	UV	X2
3	Epoxi	250	UV	X3
4	Poliéster	0	T	X4
5	Poliéster	50	UV	X5
6	Poliéster	250	UV	X6

Fuente: Autor

Para cada medición que se debe realizar del material compuesto, según la normativa ISO 4892 de exposición UV también en la normativa ASTM D3039 menciona que

mínimo deben ser 3 probetas, para lo cual se ha determinado que en la presente investigación corresponda para cada medición 5 probetas por cada combinación.

$$\begin{array}{r} (6*5) = 30 \text{ Probetas} \\ + 2 \text{ de Epoxi} \\ + 2 \text{ de Poliéster} \\ \hline 34 \text{ probetas} \end{array}$$

Se toma en cuenta también que 2 probetas con resina poliéster y 2 probetas resina epoxi sirven de referencia para la posterior comparación, para cada uno de los ensayos que se va a realizar al material compuesto.

1.4.4 Elaborar el material compuesto de matriz polimérica con resina epoxi reforzado con fibra de guadua y resina poliéster con fibra de guadua.

Según la normativa ASTM D3039 para las propiedades de tracción de los materiales compuestos de matriz polimérica, las dimensiones de las probetas quedan establecidas de 250x25x5mm por medio de estratificación manual.

Obtención de la materia prima: Se parte del tejido de fibra de guadua previamente elaborada de forma tradicional.



Figura 1.48: Tejido de Fibra de Guadua

Fuente: Autor

Distribución del tejido en un software CAD: Determinar la cantidad de tejido y resina que se necesita para la elaboración de las probetas, que se someterán a tracción a 0 horas de exposición UV.

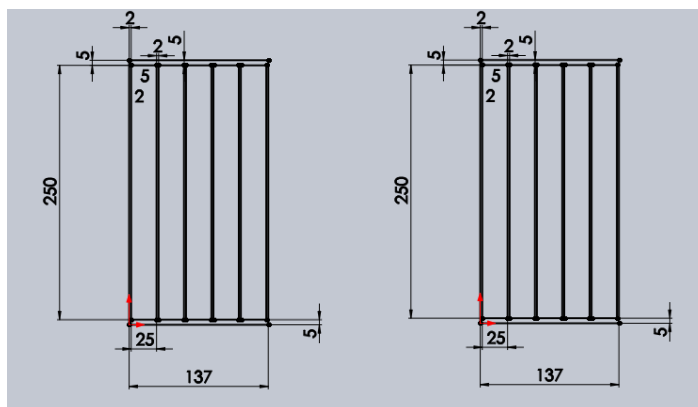


Figura 1.49: Tejido para resina poliéster y epóxica sin exposición UV (TRACCIÓN)

Fuente: Autor

Distribución del tejido en CAD para exposición UV: Se determina la cantidad de tejido y resina para la elaboración de las probetas que se someterán a exposición UV en 2 periodos de 50 horas y 250 horas de exposición UV.

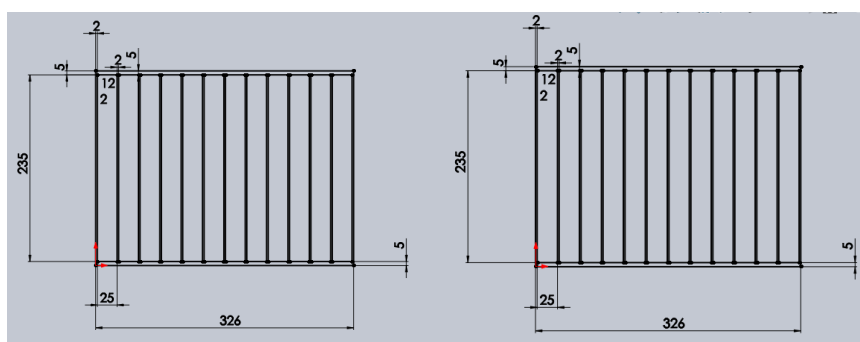


Figura 1.50: Tejido para resina poliéster y epóxica con exposición UV

Fuente: Autor

NOTA: Se considera 2 mm de exceso por pérdida de material al momento del corte en láser. Y se requiere reducir 15 mm con dimensión de 235x25x5 mm en cada probeta.

Cortar el tejido de fibra de guadua: Se puede utilizar una tijera de cortar papel bond ya que el espesor del tejido es bastante similar con las dimensiones especificadas.



Figura 1.51: Corte de la fibra de Guadua para las respectivas probetas

Fuente: Autor

Peso del tejido de fibra de guadua: Todos los cortes del tejido deben ser pesado para cálculos posteriores.



Figura 1.52: Balanza eléctrica con el peso del tejido

Fuente: Autor

Dimensiones del cartón: Cartón prensado de 6 mm de espesor con las dimensiones necesarias.



Figura 1.53: Plancha de cartón prensado para las probetas

Fuente: Autor

Preparación de la base rígida: La plancha de tol sirve como adhesión de la resina y tejido de dimensiones 60x60x0.7 mm, se aplica cera desmoldante para lograr desprender con facilidad la plancha del tejido de Guadua de la base rígida.

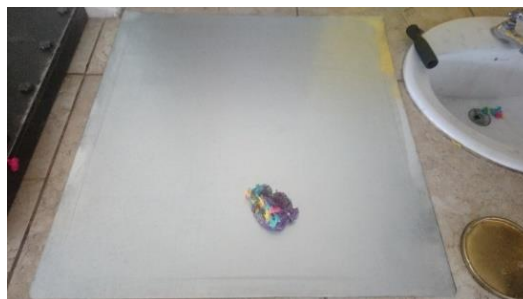


Figura 1.54: Plancha de tol con cera desmoldante

Fuente: Autor

Adhesión de cinta doble faz: Se coloca cinta doble faz en las esquinas de la plancha de tol para una mayor adherencia a la superficie y evitar un desprendimiento.



Figura 1.55: Plancha de tol adherida a la superficie

Fuente: Autor

Cálculo de la cantidad de resina poliéster: Determinar la cantidad de resina que se requiere para la elaboración manual de las probetas. Se añade el catalizador con una jeringa y se mezcla de forma circular con la ayuda de una paleta.



Figura 1.56: Resina poliéster para elaboración de probetas

Fuente: Autor

Adición de la primera capa de resina: Con una brocha mediana se coloca la primera capa de resina poliéster uniformemente para evitar que se generen burbujas de aire.



Figura 1.57: Colocar una capa de resina sobre la superficie de tol

Fuente: Autor

Orientación del tejido de fibra de Guadua: La fibra tiene orientación de 0° ya que constituye la mejor opción para el posterior ensayo a tracción, que se va a realizar al material compuesto, Colocación de la primera capa de tejido de fibra de Guadua.



Figura 1.58: Tejido de fibra de Guadua previamente cortado

Fuente: Autor

Adición de la primera capa de tejido y arrodillar: Deslizar un rodillo entre capa y capa de la fibra con poca presión sobre la superficie de del tejido. Y presionar los bordes para evitar que se desprende durante el curado.



Figura 1.59: Rodillo para fibra sobre la superficie del tejido

Fuente: Autor

Adición de la segunda capa de fibra: Usar la brocha para dar una segunda capa de resina poliéster sobre el tejido de forma inmediata.

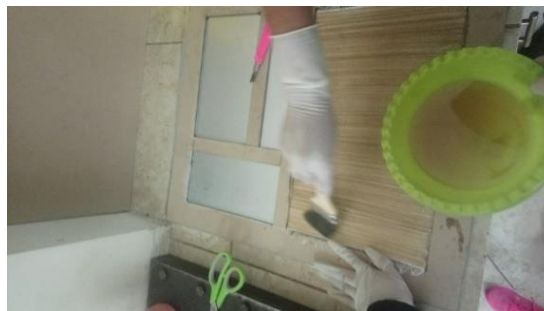


Figura 1.60: Añadir resina sobre el resto de la fibra

Fuente: Autor

Arrodillar en dirección opuesta: Con un rodillo pasar sobre la fibra en dirección opuesta a la orientación de la fibra que mejora la superficie de las probetas.



Figura 1.61: Arrodillar para genera presión en la superficie del tejido

Fuente: Autor

Adición de la segunda capa de fibra: Se coloca la segunda capa de tejido de fibra de Guadua, presionando los bordes y cubrir con el resto de resina poliéster.



Figura 1.62: Dos capas de tejido con resina Poliéster

Fuente: Autor

Curado de las probetas: Se lleva a cabo al menos 24 horas de curado al ambiente para proceder a desmoldar mediante el uso de una espátula y no dañar la superficie de las probetas.



Figura 1.63: Desmoldear la plancha de resina poliéster

Fuente: Autor

Probetas con resina epoxi: Se realiza el mismo procedimiento antes descrito, pero para preparar la resina se usa el componente A y B.



Figura 1.64: Componente A y componente B

Fuente: Autor

Cantidad de resina epoxi: Conocido como componente A y se necesita 800g para las probetas se realiza el cálculo correspondiente al valor de resina.



Figura 1.65: Peso de la resina en una balanza eléctrica

Fuente: Autor

Cantidad de endurecedor: Es conocido como componente B y mediante cálculos se conoce que se necesita 200 g medido en un vaso de precipitación.

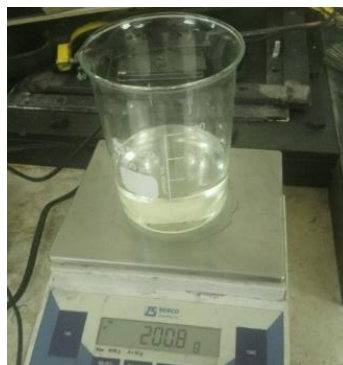


Figura 1.66: Peso del catalizador en una balanza eléctrica

Fuente: Autor

Mezcla para obtener la resina epoxi: Los componentes A y B se mezclan con un palo de helado de forma circular por 20 minutos hasta que tenga una consistencia uniforme.



Figura 1.67: Mezcla de los componentes A y B

Fuente: Autor

Adición de la primera capa de resina: Sobre la superficie de tol encerada se usa una brocha para aplicar la capa de resina.



Figura 1.68: Primera capa de resina sobre la superficie

Fuente: Autor

Adición de la primera capa de fibra: Colorar la primera capa de tejido de fibra de Guadua, pero se debe eliminar los bordes del tejido que sobresalen.



Figura 1.69: Primera capa de tejido de fibra de Guadua

Fuente: Autor

Cubrir con resina la capa de tejido: Se debe esparcir la resina epóxica sobre toda la superficie del tejido al instante de ser colocada.



Figura 1.70: *Esparcir la resina epoxi sobre el tejido*

Fuente: *Autor*

Arrodillar entre capa y capa: Presionar sobre toda la superficie con un rodillo para fibra, logrando así que la resina se distribuya uniformemente.



Figura 1.71: *Deslizar el rodillo para fibra por el tejido*

Fuente: *Autor*

Adición de la segunda capa de fibra: Se procede a colocar la segunda capa y arrodillar.



Figura 1.72: *Estratificación manual de las probetas*

Fuente: *Autor*

Curado de las probetas: Al transcurrir al menos 24 horas para el curado y poder desmoldar con una temperatura entre 18° a 35°C para lograr un curado de mejor calidad.



Figura 1.73: Desmoldeo de la plancha con resina epoxi

Fuente: Autor

Corte de las probetas: Para el corte de las probetas tanto para resina poliéster como para epoxi, se lleva a cabo en una máquina de corte láser.

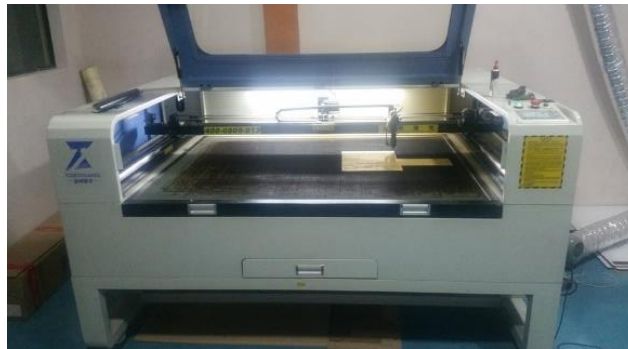


Figura 1.74: Corte a láser de las probetas

Fuente: Autor

Potencia y velocidad de la máquina: Con pruebas previas se encuentra las condiciones ideales para realizar el corte apropiado sin afectar tanto al material compuesto.

Tabla 1.12: Parámetros del corte láser

Parámetros de funcionamiento	
Potencia máx.	24%
Potencia min.	24%
Velocidad	15 mm/s

Fuente: Autor

Probetas finalizadas: Al cumplir con todo el proceso para la elaboración de las mismas se cortan y agrupan de acuerdo al tiempo exposición UV.


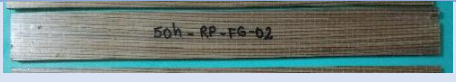
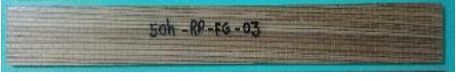
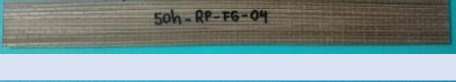
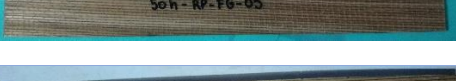

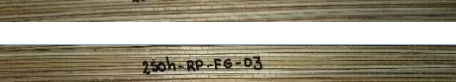
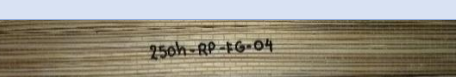
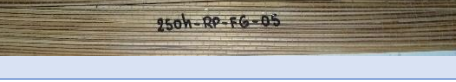



Figura 1.75: Probetas para tracción y exposición UV

Fuente: Autor

Codificación de las probetas: Se realiza la codificación de las probetas de acuerdo a cada grupo para poder ser expuestas a rayos UV según el número de horas en un laboratorio.


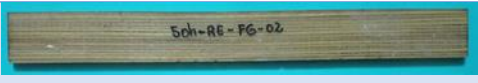
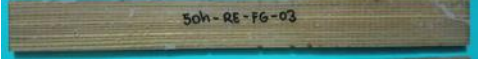

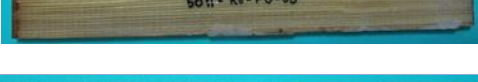
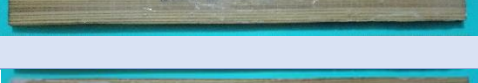
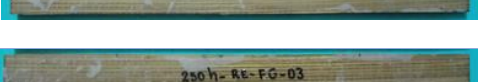
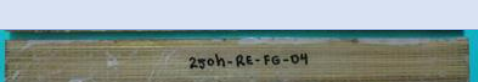
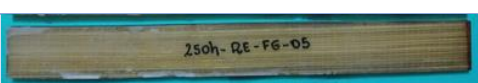
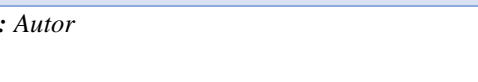
Tabla 1.13: Probetas codificadas para resina poliéster

Resina poliéster con fibra de guadua		
N° de Probeta	Codificación	Fotografía
1	50h-RP-FG-01	
2	50h-RP-FG-02	
3	50h-RP-FG-03	
4	50h-RP-FG-04	
5	50h-RP-FG-05	
6	250h-RP-FG-01	
7	250h-RP-FG-02	
8	250h-RP-FG-03	
9	250h-RP-FG-04	
10	250h-RP-FG-05	

Fuente: Autor

La siguiente Tabla 1.13 muestra la codificación para las probetas a base de resina epoxi y fibra de guadua.

Tabla 1.14: *Probetas codificadas para resina epoxi*

Resina epóxica con fibra de guadua		
N° de Probeta	Codificación	Fotografía
1	50h-RE-FG-01	
2	50h-RE-FG-02	
3	50h-RE-FG-03	
4	50h-RE-FG-04	
5	50h-RE-FG-05	
6	250h-RE-FG-01	
7	250h-RE-FG-02	
8	250h-RE-FG-03	
9	250h-RE-FG-04	
10	250h-RE-FG-05	

Fuente: Autor

NOTA: El curado de las probetas con 0 horas de exposición UV, se mantienen a temperatura ambiente y en un lugar seco durante dos meses. Mientras las demás probetas cumplen el tiempo de exposición UV en la cámara de Xenón.

1.4.5 Realizar las pruebas experimentales bajo la normativa ISO 4892 y ASTM D3039.

1.4.5.1 Exposición UV según normativa UNE EN ISO 4892

En esta norma se describe la forma de cómo se lleva a cabo el ensayo de envejecimiento acelerado de los materiales compuestos. Por medio de esta norma se puede elegir el método de exposición y la forma en cómo se debe interpretar los datos ya sea por irradiación acelerada o por envejecimiento acelerado artificial.

Cuando un material es sometido a un ensayo acelerado con fuentes luminosas dentro de un laboratorio, se especifica en la norma que se necesita al menos 3 réplicas. Ya que cuando se requiere que conocer las propiedades mecánicas del material, las probetas deben ser el doble de los que se especifica en la norma internacional que corresponda. Y los requisitos que se utilizan para este ensayo se especifican como la irradiancia, temperatura, humedad y pureza del agua.

En cuanto a los periodos de exposición y la evaluación de los resultados que se obtengan se lo realiza periódicamente, donde se evalúa por medio de un análisis estadístico con un nivel de confianza del 90% como base. Cuando se recibe el informe del ensayo se debe especificar: descripción de las probetas, temperatura y el tiempo de curado empleado.

1.4.5.2 Condiciones de funcionamiento de la cámara

El ensayo que se realiza a los materiales compuestos pueden ser a corto y largo plazo donde las más resaltantes son las pruebas de envejecimiento, En este tipo de pruebas el material es sometido a condiciones de intemperie, laboratorio y obra; tomando en cuenta propiedades mecánicas y el estudio microscópico[8].

El envejecimiento artificial es considerada de corto plazo, se lleva a cabo por medio de arco de carbón, arco de xenón, radiaciones UV y ozono; de los ensayos clásicos[8].

Las probetas deben estar sometidas a exposición UV durante dos periodos de tiempo, el primero de 50h y el segundo de 250h. Para lo cual se usa la máquina Q-SUN Xenon Test Chamber modelo Xe-1-S. Por ende, en la siguiente tabla se puede observar las condiciones a las que se va a realizar la exposición UV del material compuesto.

Tabla 1.15: Condiciones del ensayo UV

Cámara con arco de Xenón	
Radiación	0.35 W/m ²
Energía de exposición	~ 2.0 kJ/m ² . h
Longitud de onda	340 nm
Temperatura	60 ± 5 °C

Fuente: Autor

NOTA: El ensayo se realiza con exposición húmeda y de envejecimiento artificial



Figura 1.76: Q-SUN Xenon Test Chamber modelo Xe-1-S

Fuente: Autor

1.4.5.3 Cámara de ensayos Q-sun Xe-1

Es la encargada de reproducir los daños causados por la luz solar de espectro completo y por la lluvia. Y a los pocos días o semanas se podría reproducir o conocer el daño por el cual atravesaría durante meses o años a la intemperie[37].

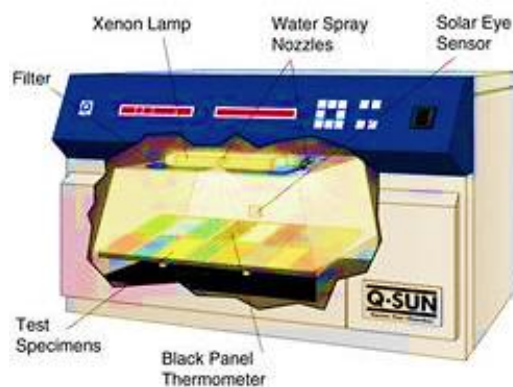


Figura 1.77: Test Chamber

Fuente: [37]

Es apropiada para ensayos de foto resistencia, estabilidad del color y luz solar. Esta cámara tiene una sola lámpara de arco de xenón y se pulveriza por medio de agua, las muestras pueden montarse de forma horizontal en su bandeja [37].

1.4.5.3.1 Descripción general de la cámara

El funcionamiento de la cámara de ensayos con luz de arco de xenón se considera que es simple y confiable, además se considera que la luz de arco de xenón proporciona una radiación realista con respecto a la luz solar [37].

Las muestras se colocan de forma casi horizontal y con la ayuda de la pulverización se logra simular la humedad, tiene una funcionalidad amplia ya que trabaja los 7 días de la semana durante las 24 horas [37].

1.4.5.3.2 Características de la cámara

Lámparas de xenón: Produce un espectro de la luz solar natural y tiene una vida útil de 1500 horas [37].

Filtros ópticos: Genera una simulación bastante real de la luz solar directa y la luz solar a través del vidrio de una ventana [37].

Monitorización y control de la temperatura: Influye en la velocidad de degradación que se controla por medio de un sensor de temperatura de 35°C a 103°C [37].

Pulverización de agua: Es la simulación del ataque de humedad en exteriores y esta pulverización se puede programar para que funcione en ciclo oscuro e iluminado [37].

1.4.5.3.3 Lámparas

Estas lámparas permiten simular la luz solar lo más realista que se puede mediante radiaciones ultravioletas, luz visible e infrarroja. Se considera que estas lámparas tienen larga duración de aproximadamente 1500 horas [37].

1.4.5.3.4 Filtros ópticos

La luz de arco de xenón debe filtrar de forma correcta para obtener un espectro adecuado dependiendo de la aplicación que se requiere. Ya que el espectro influye en la velocidad y tipo de degradación. Se puede utilizar los filtros de luz de día, filtro vidrio de ventana, filtro de UV y aquellos filtros de larga vida [37].

1.4.5.4 Características de la cámara con arco de xenón

Esta máquina interviene en los ensayos cuando se pretende simular las condiciones del medio ambiente y la misma forma simular el envejecimiento por medio de intervalos de horas, esto se realiza en un espacio determinado es decir en el interior de la cámara [38].

Tabla 1.16: Características de la cámara con arco de xenón Q-SUN Xe-1-S

Marca	Q-LAB
Modelo	Q-SUN Xe-1-S
Características	230 V, 11 ^º , 50/60 Hz, monofásica 1 lámpara de arco de xenón 1 800 W 1 filtro UV: Daylight Q 1 sensor UV: 340 nm Control de temperatura: panel negro (no aislado) Tablero portamuestras 450x240 mm 8 portamuestras Capacidad del portamuestras: 2 probetas c/u Tamaño probetas 100x50 mm
Dimensiones externas	(775 x 521 x 648) mm (ancho, alto, largo)
Funciones	Luz Spray de agua desionizada Oscuridad

Fuente:[38]

1.4.5.5 Ensayo de tracción bajo normativa ASTM D3039

Esta norma está destinada para materiales de matriz polimérica por medio del cual se puede determinar la propiedad de tracción de los materiales compuestos y que están reforzados con fibras, donde estas fibras continuas o discontinuas con un laminado equilibrado [39].

Donde este ensayo consiste en montar las probetas sobre una máquina universal para materiales poliméricos donde se somete a carga, por lo tanto, la resistencia máxima del material se lo determina mediante el registro de fallo del material que es la carga máxima antes de dicho fallo. Y como es de conocimiento influye en la respuesta como son: método de preparación, material, apilamiento y la preparación previa de las muestras [39].

Se utilizan equipos y dispositivos en este ensayo como: máquina de prueba, micrómetros, indicador de carga, empuñaduras y extensómetros. Además, se requiere una buena alineación del sistema, donde por medio de este ensayo se puede conocer el modo de fallo que sufre cada probeta [39].

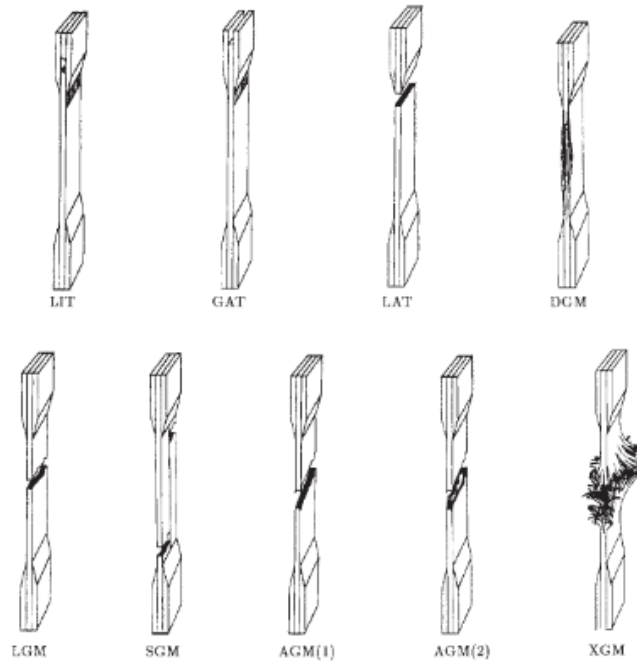


Figura 1.78: Modos de falla en materiales poliméricos

Fuente: [39]

1.4.6 Evaluar los resultados obtenidos sobre la influencia en la propiedad mecánica del material compuesto, al ser expuesto al ensayo de rayos UV.

Cuando ya se ha obtenido los resultados del ensayo UV y el ensayo a tracción, dichos resultados son analizados en el software Minitab® por medio de un diseño factorial.

1.4.6.1 Software estadístico Minitab®



Figura 1.79: Software estadístico Minitab 18

Fuente: [40]

Es considerado como una herramienta estadística donde se puede análisis datos para aplicaciones estadísticas generales, también como una forma de hacer un control de calidad si se trata a nivel industrial. Por medio de este software se puede tener mejor visión de los datos por medio de metodologías, procesos de análisis e interpretación de dichos datos, además, el ahorro de tiempo y la exactitud en los resultados[40].

1.4.6.2 Métodos estadísticos

Dentro de estos métodos podemos encontrar: estadística básica, estadística avanzada, ANOVA, DOE, SPC, análisis de fiabilidad, series y predicción, entre otras[40].

Para el análisis de los datos obtenidos se parte por crear el diseño experimental en la interfaz del software Minitab como se puede observar en la Figura 1.80 a continuación:

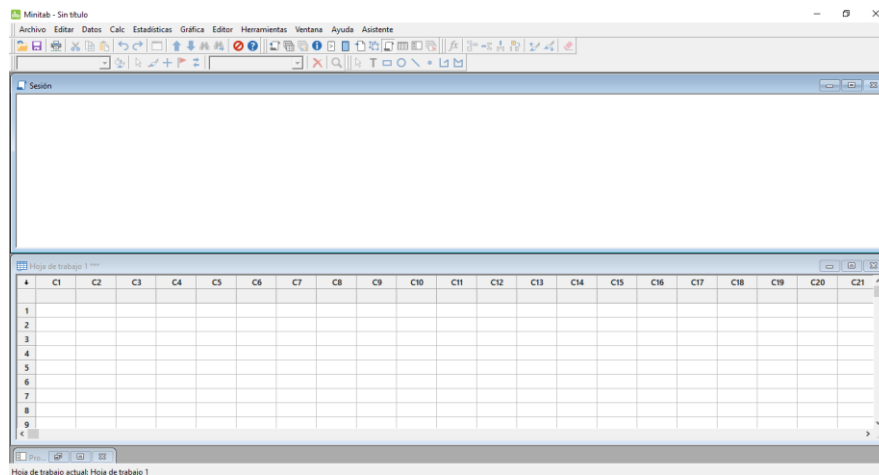


Figura 1.80: Pantalla principal de Minitab®

Fuente: Autor

Una vez que se han ingresado los datos obtenidos mediante el ensayo de tracción deben ser ordenados previamente y se procede analizar de acuerdo al método factorial.

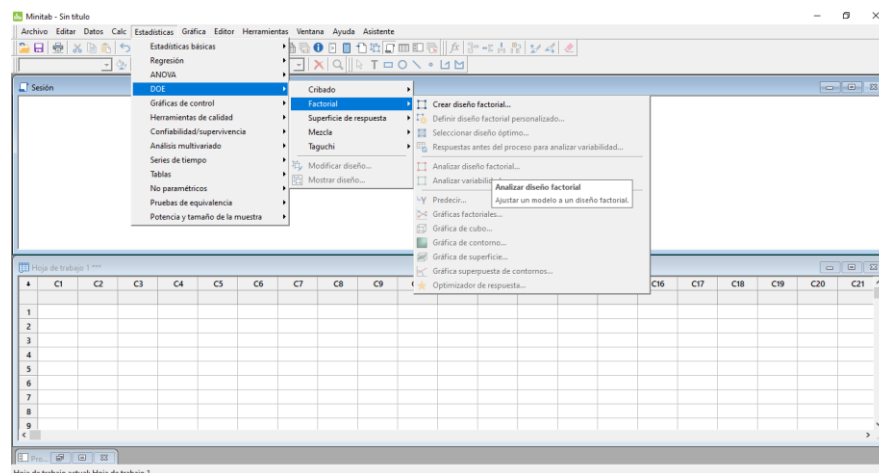


Figura 1.81: Análisis del diseño factorial

Fuente: Autor

Obtener las gráficas de efectos principales e interacción entre los factores, ya que de esta forma se puede analizar el efecto que tuvo la radiación UV sobre el material compuesto.

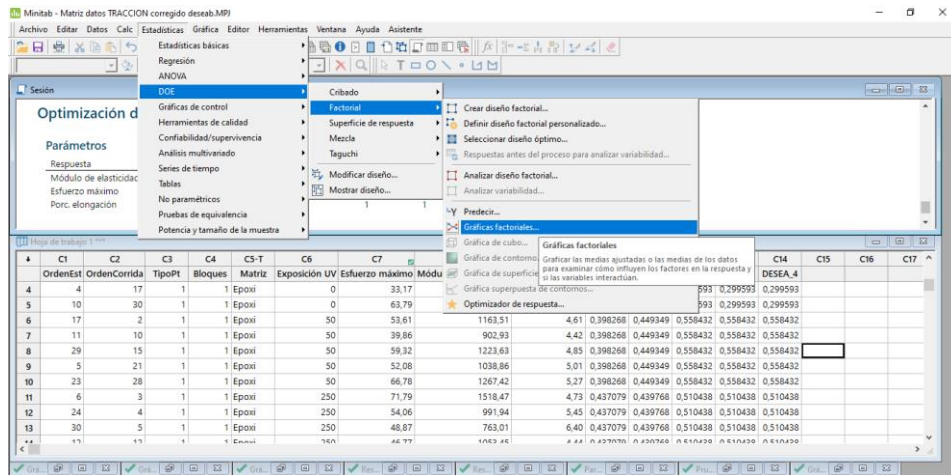


Figura 1.82: Gráficas de efectos e interacción entre los factores

Fuente: Autor

Finalmente se puede conocer la combinación óptima a la que el material compuesto se comporta de mejor manera cuando fue sometido a los dos ensayos.





CAPÍTULO II METODOLOGÍA








2.1 Materiales




- Materiales, equipos, herramientas y recursos utilizados

En cuanto a los materiales utilizados para la elaboración del material compuesto con resina poliéster y con resina epoxi por separado, se ha aplicado estratificación manual que se especifica en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1: Materiales y equipos utilizados




Listado de equipos, materiales			
Número	Designación	Descripción	Fotografía
1	Balanza eléctrica	Este es un instrumento que tiene la función de medir la masa de los objetos	
2	Rodillo para fibra	Ideal para realizar acabados finos sobre un material compuesto	
3	Guaípe	Es aquella tela desmenuzada en fibras usada como absorbente	
4	Guantes quirúrgicos	Guantes desechables para procedimientos médicos o para actividades que implica contaminación	
5	Plancha de tol	Lámina utiliza para trabajos o actividades donde se requiere rigidez	
6	Cartón prensado	Material formado por varias capas de papel superpuestas de manera uniforme y espesor específico	

7	Resina Poliéster	Es una resina formada por la reacción de ácidos orgánicos y alcoholes para formar nuevos materiales	
8	Catalizador	Cumple con la función de acelerar el proceso de unión con la resina	
9	Resina Epóxica	Es un polímero termoestable que tiende a endurecerse al mezclarlo con un agente catalizador	
10	Endurecedor	Cumple la función de acelerar al proceso de unión con la resina para conformar un nuevo material	
11	Cera desmoldante	Es una película aislante entre el molde y la resina que sirve para evitar la adherencia total en una superficie.	
12	Palos de helado	Usados para mezclar la resina de forma circular y uniforme	
13	Plastilina	Esta compuesta de arcilla plástica y cera con la característica de ser moldeable	

14	Vaso de precipitación	Es un recipiente cilíndrico de vidrio que se usa para preparar o calentar sustancias y también medir líquidos	
15	Jeringa	Se usa para introducir líquidos en conductos o cavidades y a su vez extraer determinada cantidad de una sustancia	
16	Espátula	Es un instrumento que consiste en una paleta pequeña que puede extraer excesos de material	

Fuente: Autor

Tabla 2.2: Máquina utilizada

Listado de herramientas			
Número	Designación	Descripción	Fotografía
1	Máquina de corte láser	Realiza cortes con dimensiones especificadas	
2	Cámara con arco de Xenón	Generación de rayos UV para recrear un envejecimiento artificial en materiales compuestos	
3	Máquina de ensayos universal METROTEST 50KN	Realiza ensayos a tracción de materiales compuestos y todo tipo de acero.	

Fuente: Autor

- Ficha técnica 01

Tabla 2.3: Cortadora láser con CO2

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA: 01	MÁQUINA	X EQUIPO	SISTEMA
		 	
		CÓDIGO:	
		MCL 01	
MÁQUINA CORTADORA LÁSER			
CARACTERÍSTICAS GENERALES			
MODELO:	Y1390-100W	FABRICANTE	JINAN YIZHOU LASER TECHNOLOGY (CHINA)
MARCA:	LASER TECHNOLOGY	VEL. MAX DE GRABADO	64000 mm/min
PESO:	400 Kg	VEL. MAX DE CORTE	36000 mm/min
COLOR MÁQUINA	Azul- blanco	VOLTAJE	220V/50Hz
REFRIGERANTE	CW-5000	ÁREA DE TRABAJO	1300*900 mm
COMPONENTES			
Sistema de control		Carcasa	
Panel de control		Tubo láser	
Parada de emergencia		Compresor	
Cabeza del láser		Motor	
Tabla de trabajo		Refrigeración	
Función: Esta máquina es la encargada de realizar cortes por medio de un láser en materiales como MDF, acrílico y materiales compuestos con gran exactitud y rapidez.			

Fuente: Autor

- Ficha técnica 02



Tabla 2.4: Cortadora láser con CO2

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA: 02	MÁQUINA	X	EQUIPO
			
		CÓDIGO:	MCL 01
		CÁMARA DE ARCO DE XENÓN	
CARACTERÍSTICAS GENERALES			
SERIE:	01	FABRICANTE	Q-SUN
MARCA:	Q-LAB	VOLTAJE	230 V
DIMENSIONES	775*521*648 mm	CAPACIDAD DE PORTAMUESTRAS	2 probetas c/u
MODELO:	Q-SUN Xe-1 S	TAMAÑO DE PROBETAS	100*50 mm
COMPONENTES			
Lámpara de arco de Xenón		Panel negro	
Filtro UV		Tablero porta-muestras	
Sensor UV		Carcasa	
Control de temperatura		Panel de control	
Función: Esta máquina es la encargada de realizar cortes por medio de un láser en materiales como MDF, acrílico y materiales compuestos con gran exactitud y rapidez.			

Fuente: Autor


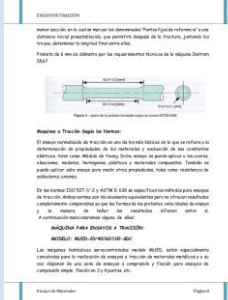
- Ficha técnica 03

Tabla 2.5: Máquina de ensayos universal Metrotest

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA: 03	MÁQUINA	X EQUIPO	SISTEMA
			
		CÓDIGO:	MEU 01
		MÁQUINA DE ENSAYOS UNIVERSAL METROTEST 50 KN	
CARACTERÍSTICAS GENERALES			
SERIE:	8210M002	PESO:	195 kg
MARCA:	METROTEST	CAPACIDAD:	50KN
TEMPERATURA DE TRABAJO:	10°C – 35°C	CORRIENTE ELÉCTRICA:	220 V/ 50Hz
MODELO:	MTE-50	POTENCIA:	1 kW
VELOCIDAD DE ENSAYO:	10 mm/min	PRECARGA DE ENSAYO:	0,01 N
COMPONENTES			
Mordazas		Cabinas de seguridad	
Palanca de ajuste		Computador	
Botón de inicio		Mando remoto	
Parada de emergencia		Extensómetro	
<p>Función: Esta máquina es la encargada de realizar ensayos a materiales poliméricos con la finalidad de conocer el esfuerzo máximo que soportan estos materiales acompañado de graficas que muestran el comportamiento.</p>			

Fuente: Autor

Tabla 2.6: Recursos utilizados

Listado de recursos			
Número	Designación	Descripción	Fotografía
1	EPP	Protege la integridad de la persona que manipula objetos	
2	Normas de tracción y UV	Guía para el desarrollo del trabajo experimental	

Fuente: Autor

2.2 Métodos

Para el presente estudio se pretende aplicar el método bibliográfico y experimental. Donde se recopila información de fuentes fidedignas y con estudios anteriores ya realizados como son: Libros, artículos científicos, trabajos de titulación, revistas y páginas web.

Con la finalidad de poder aplicar ensayos experimentales sobre el material compuesto y obtener valores que permitan determinar el comportamiento del mismo bajo exposición de rayos UV.

2.2.1 Nivel o tipo de investigación

El tipo de investigación se entiende como el alcance que llega a tener el presente trabajo experimental con el respectivo propósito. Por ende, es necesario mencionar que para el presente trabajo experimental se requiere hacer uso de los siguientes tipos de investigación:

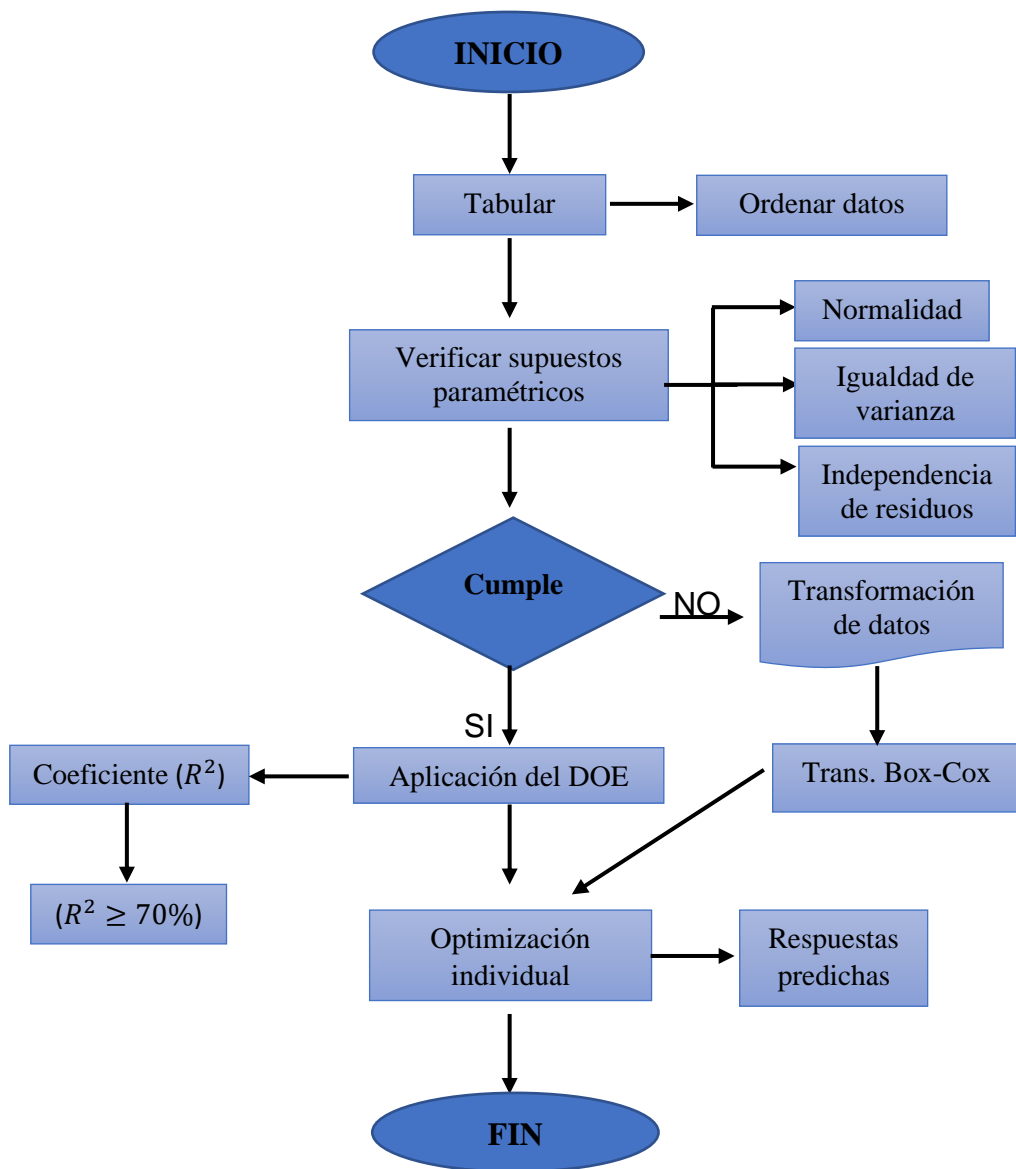
- *Investigación Descriptiva:* Se puede determinar propiedades importantes del grupo de que pretende analizar, por ejemplo: personas, comunidades y objetos. Para el caso pueden ser valores cuantitativos y cualitativos, color de probetas

expuestas a rayos UV, número de probetas, tiempo de exposición UV y propiedades mecánicas como la resistencia a la tracción.

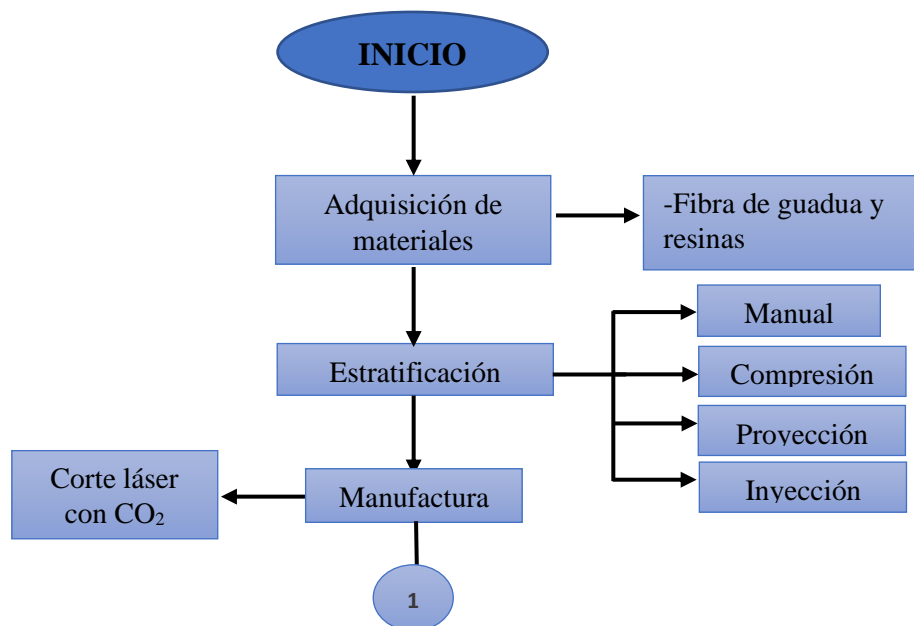
- *Investigación Correlacional:* Cuando existe una relación entre las variables que se van analizar. Entonces, es de suma importancia la relación que tiene el tiempo de exposición UV en la resistencia a la tracción del material compuesto reforzado con fibra de guadua.
- *Investigación Exploratoria:* Este tipo de investigación sobre la información de la problemática actual que existe. Ya sea en forma de estudios previos abundantes o poco abundantes, con respecto a la influencia de los rayos UV sobre la resistencia a la tracción del material compuesto.
- *Investigación Bibliográfica:* Es aquella donde se hace uso de libros, tesis, revistas científicas, investigaciones previas y artículos científicos, que sirven como base para el trabajo experimental. Y donde se pueda evidenciar cómo se comportan los materiales compuestos cuando son sometidos a procesos de envejecimiento.
- *Investigación Teórica:* Es aquella que tiene la finalidad de abarcar la suficiente información acerca del tema de investigación, para llegar a construirla de manera sistemática y ordenada. Se recopila, fundamenta, integra y desarrolla la teoría. Basados en libros, tesis, artículos científicos, revistas y páginas web.
- *Investigación Cuantitativa:* Para este tipo de investigación se requiere conocer las situaciones, interacciones y comportamientos que puede tener el material compuesto. Por medio de la herramienta de manejo de la información matemática o estadística, por ende, el uso del software Minitab es necesario para el análisis de los datos para llegar a una conclusión.
- *Investigación Experimental:* Para este tipo de investigación se hace énfasis en conocer que efecto que se produce cuando se manipula o controla una o más variables independientes y observa la variable dependiente en busca de la alteración que se ha provocado.

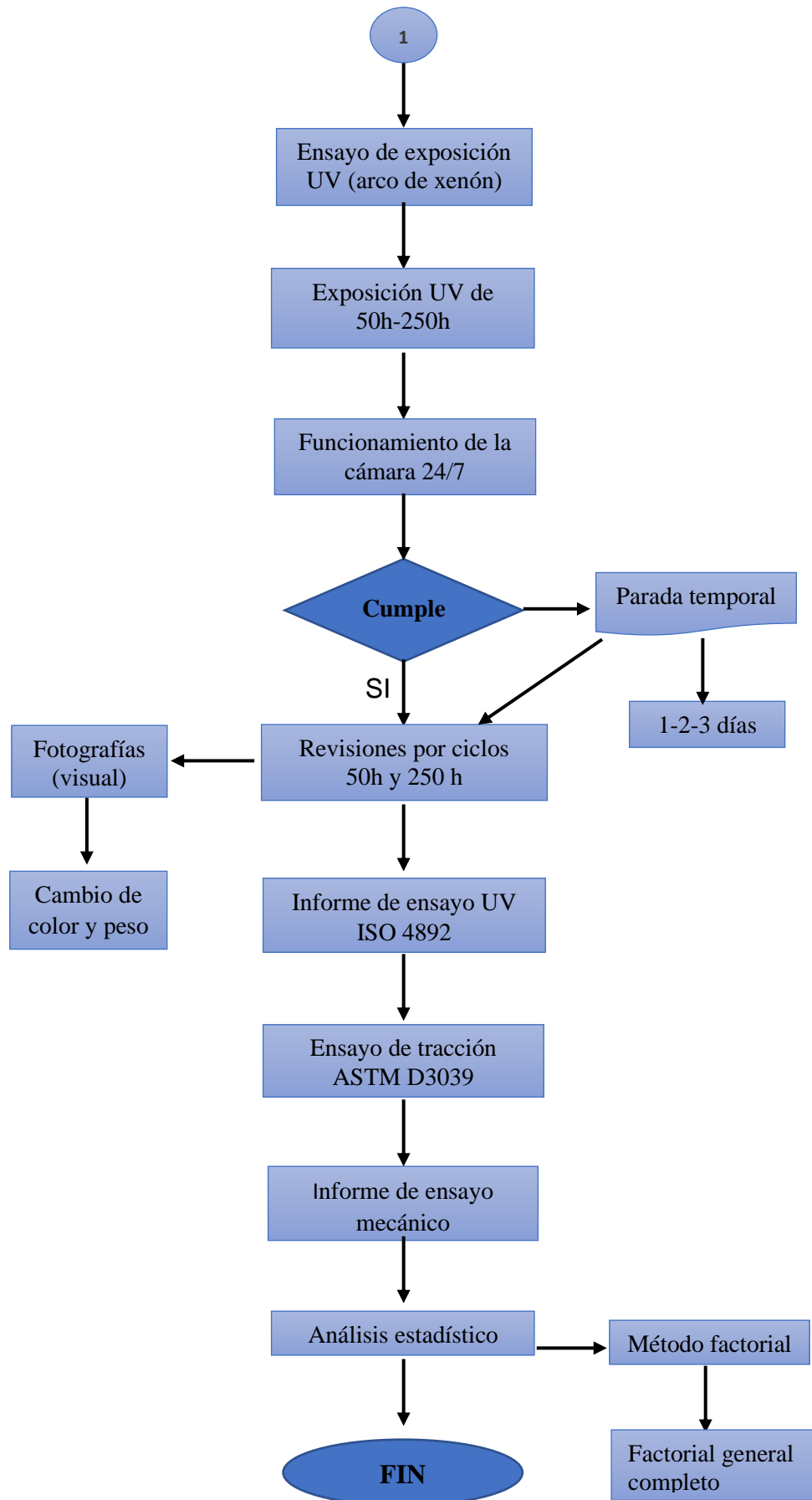
2.2.2 Diagrama de flujo de los procesos aplicados en trabajo experimental

- Metodología para el diseño experimental

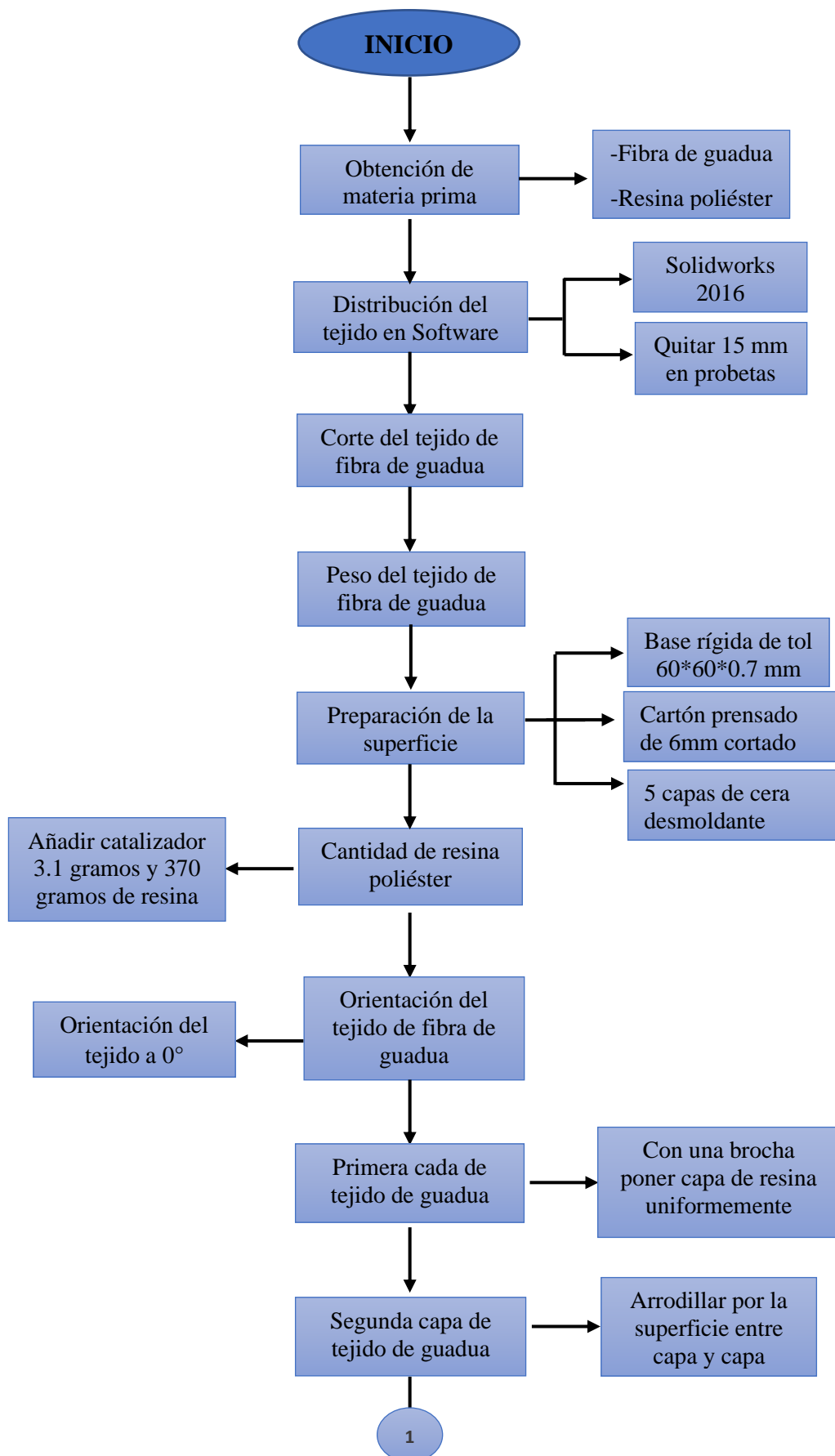


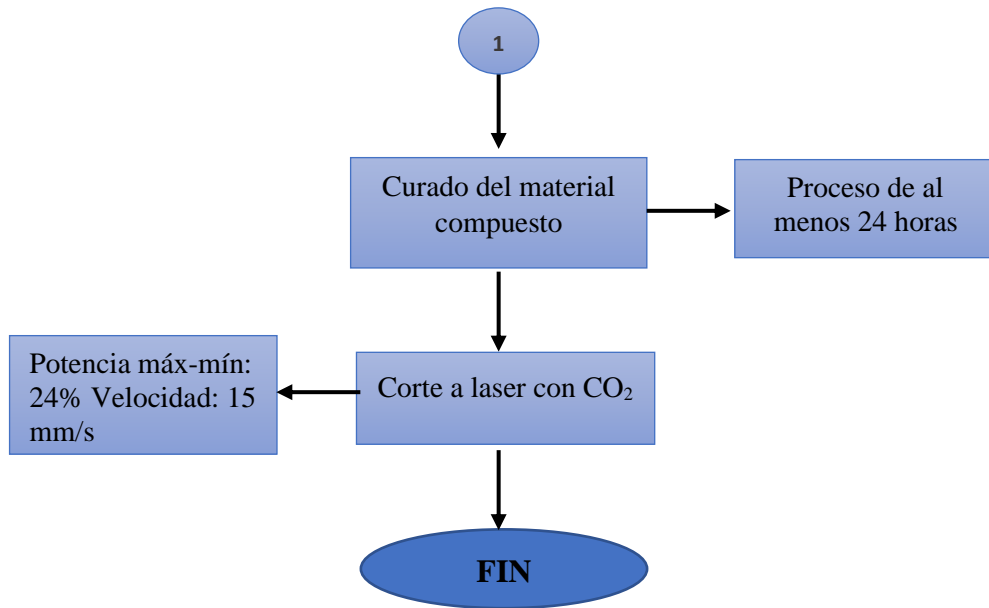
- Metodología para el desarrollo del trabajo experimental



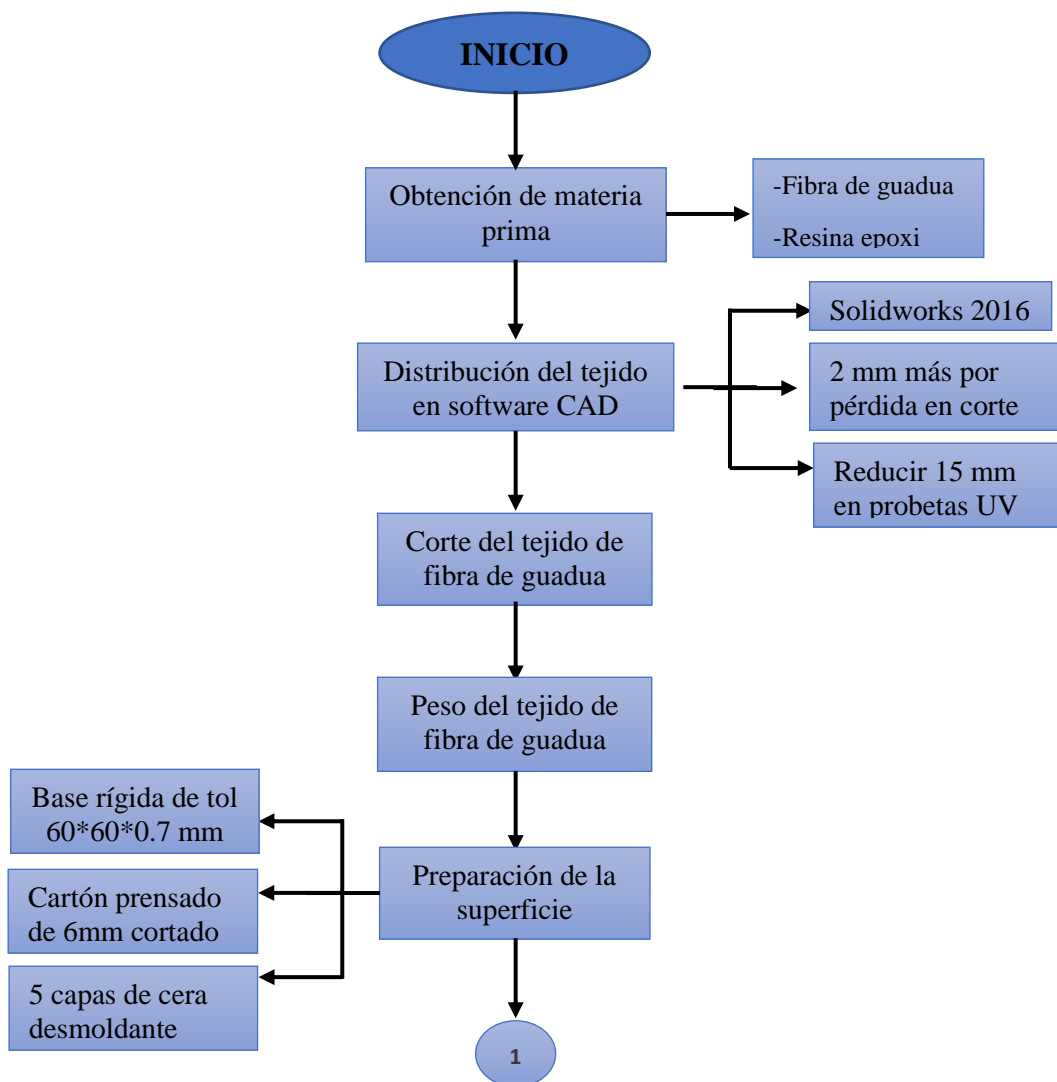


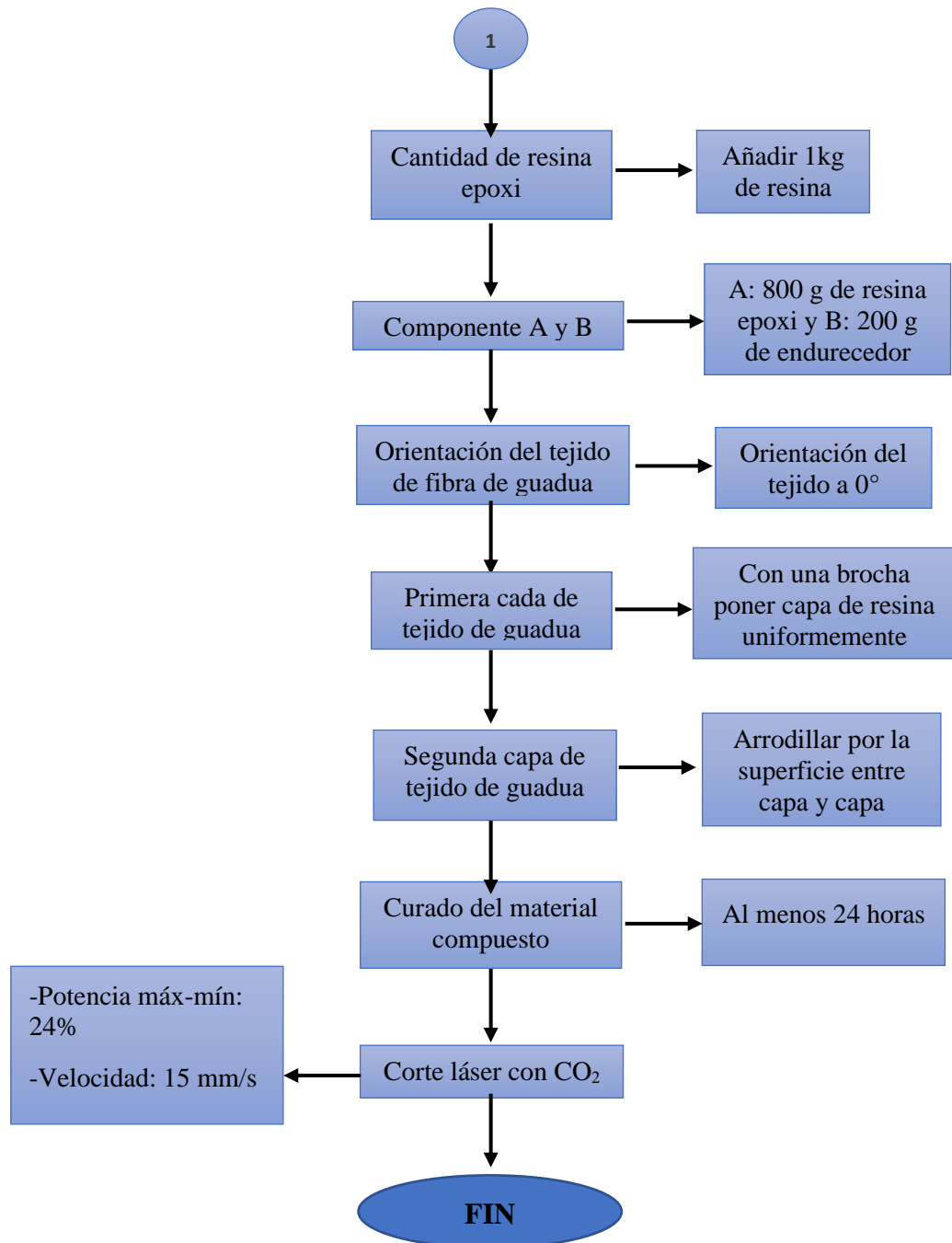
- Metodología para la elaboración de probetas con resina poliéster





- Metodología para la elaboración de probetas con resina epoxi.





2.3 Operacionalización de variables

Hipótesis

Los rayos UV tienen influencia en la resistencia a la tracción del material compuesto de matriz polimérica reforzada con fibra de guadua.

2.3.1 Señalamiento de las variables de la hipótesis

2.3.1.1 Variable Independiente: Horas de exposición UV en el material compuesto de matriz polimérica reforzado con fibra de guadua.

Tabla 2.7: Variable Independiente

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Herramienta
Requisitos para los dispositivos de exposición UV dentro de un laboratorio. Mismos que permiten que en el ensayo se realice bajo condiciones adecuadas para no afectar el color de las probetas ni los resultados que se pretenden obtener.	Parámetros de exposición	Tiempo	<ul style="list-style-type: none"> • 50-200 horas 	-Ensayos de laboratorio
		Temperatura cámara	<ul style="list-style-type: none"> • $\leq 70^{\circ}\text{C}$ • $>70^{\circ}\text{C}$ 	-Observación directa y bibliográfica
		Irradiancia	<ul style="list-style-type: none"> • 70%-90% irradiancia máxima 	-Norma ISO 4892
	Material compuesto	Tipo de resina	<ul style="list-style-type: none"> • Epóxica • Poliéster 	-Ensayos de laboratorio
	Agua	Pureza	<ul style="list-style-type: none"> • 0-1 $\mu\text{g}/\text{g}$ de sólidos • 0-0,2 $\mu\text{g}/\text{g}$ de sílice 	-Observación directa y bibliográfica
		Conductividad	<ul style="list-style-type: none"> • $< 5 \mu\text{S}/\text{cm}$ 	-Norma ISO 4892

Fuente: Autor

2.3.1.2 Variable Dependiente: Comportamiento del material compuesto reforzado con fibra de Guadua.

Tabla 2.8: Variable Dependiente

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítems	Herramientas
Parámetros que detallan la eficacia del ensayo previamente realizado.	Parámetro mecánico	Resistencia a la tracción	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de resistencia • Ganancia de resistencia 	-Máquina universal de tracción para materiales compuestos, cerámicos o polímeros
	Parámetro probeta	Temperatura probeta	<ul style="list-style-type: none"> • $\leq 70^{\circ}\text{C}$ • $>70^{\circ}\text{C}$ 	-Norma de tracción ASTM D3039
		Peso	<ul style="list-style-type: none"> • Peso inicial • Peso final 	-Ensayos de laboratorio
				-Observación directa y bibliográfica
				-Norma ISO 4892

Fuente: Autor

2.4 Nomenclatura de las probetas

Es importante detallar la nomenclatura de la codificación de las probetas del material compuesto reforzado con fibra de guadua.

2.4.1 Material compuesto a base de matriz poliéster

Las probetas han sido identificadas mediante un código para poder agruparlas de acuerdo al tiempo de exposición y el tipo de resina.

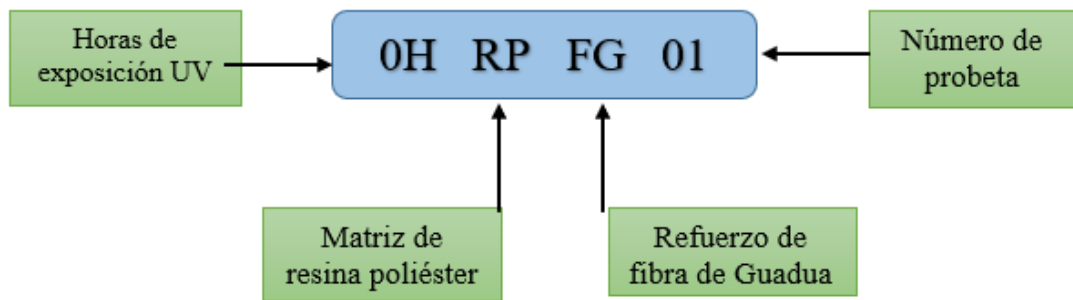


Figura 2.1: Codificación de probetas del material compuesto de matriz poliéster
Fuente: Autor

Tabla 2.9: Peso inicial y final de probetas poliéster

Resina poliéster			
NÚMERO	CÓDIGO	PESO INICIAL (g)	PESO FINAL (g)
Referencia	0h-RP-FG-00	25,2	24,7
1	50h-RP-FG-01	22,4	21,9
2	50h-RP-FG-02	26,9	26,4
3	50h-RP-FG-03	24,1	23,6
4	50h-RP-FG-04	24,2	23,7
5	50h-RP-FG-05	25,0	24,4
6	250h-RP-FG-06	26,8	26,4
7	250h-RP-FG-07	24,2	23,8
8	250h-RP-FG-08	24,8	24,4
9	250h-RP-FG-09	24,6	24,1
10	250h-RP-FG-10	26,0	25,5

Fuente: Autor

2.4.2 Material compuesto a base de matriz epoxi

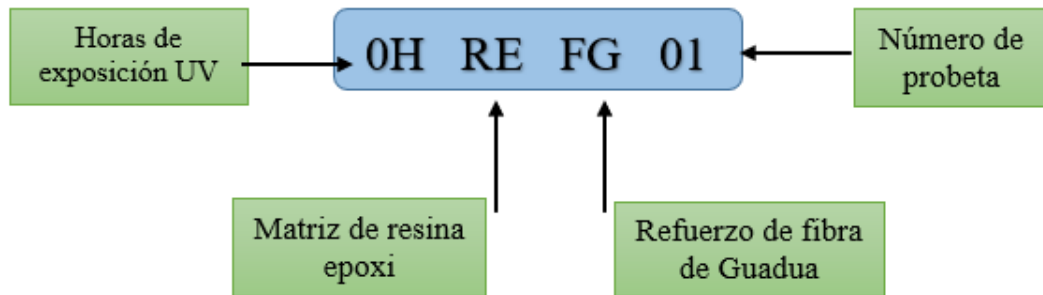


Figura 2.2: Codificación de probetas del material compuesto de matriz epoxi

Fuente: Autor

Tabla 2.10: Peso inicial y final de probetas epoxi

Resina epoxi			
NÚMERO	CÓDIGO	PESO INICIAL (g)	PESO FINAL (g)
Referencia	0h-RE-FG-00	29,2	28,6
1	50h-RE-FG-01	27,7	27,2
2	50h-RE-FG-02	27,7	27,1
3	50h-RE-FG-03	28,6	28,0
4	50h-RE-FG-04	21,5	21,0
5	50h-RE-FG-05	23,2	22,8
6	250h-RE-FG-06	21,3	21,0
7	250h-RE-FG-07	28,8	28,4
8	250h-RE-FG-08	27,8	27,5
9	250h-RE-FG-09	30,9	30,4
10	250h-RE-FG-10	24,2	23,9

Fuente: Autor

2.5 Procesamiento de la información

Para desarrollar una mejor comprensión de la información recolectada, proceso de estratificación y ensayos realizados en las probetas del material compuesto, se hace uso de tablas, fichas técnicas, diagramas de flujo y fotos.

2.5.1 Análisis e interpretación de resultados

Los valores obtenidos de la resistencia a la tracción, están realizados en función de las horas de exposición UV previamente realizado, en una cámara con arco de Xenón 1-S como son: 0h, 50h y 250 h. Todo bajo la normativa de tracción y de exposición UV.

2.5.2 Elaboración de muestras

Para la realización del material compuesto de matriz polimérica con refuerzo de guadua, se ha tomado como referencia varias investigaciones previas sobre la fracción volumétrica, que está compuesta de 70% de matriz polimérica (resina epoxi y resina poliéster) y 30% de refuerzo (fibra de guadua) [5][14][17][24].

Debido que mejora las propiedades mecánicas del material compuesto como la resistencia a la tracción. Con un porcentaje de aceptación del 100% ya que se aprovecha casi en su totalidad el material fibroso de la guadua. Además, se debe considerar aspectos como:

- Dimensiones de la plancha del material compuesto para la distribución de las probetas designadas para 0h, 50h y 250h.
- Pérdida del 10% en la cantidad de resina durante el proceso de preparación del material compuesto para tracción y para exposición
- Espacio considerado entre probeta y probeta de 2mm, está perdida se considera por el corte láser.

Tabla 2.11: Densidad de las resinas

Densidad	g/cm ³
Poliéster	1,27
Epoxi	1,3

Fuente:[10]

Tabla 2.12: Densidad del refuerzo de fibra de guadua

Densidad de caña guadua					
Muestra	Masa (g)	Volumen (cm ³)			Densidad (g/cm ³)
		Inicial	Final	Promedio	
1	1.5	90	92	2	0.75
2	1.1	90	91.5	1.5	0.73
3	2.7	80	83.5	3.5	0.77
Densidad promedio					0.75

Fuente:[5]

2.5.2.1 Material para exposición UV

2.5.2.1.1 Cálculo volumétrico para la plancha de UV en resina poliéster

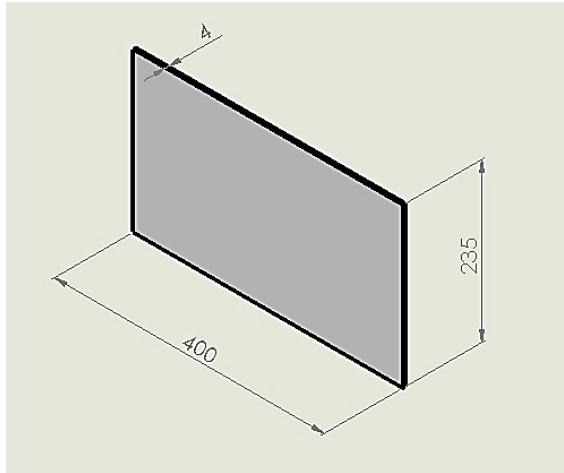


Figura 2.3: Plancha del material compuesto con resina poliéster

Fuente: Autor

El volumen requerido para la fabricación de la plancha del material compuesto reforzado con fibra de guadua es de 376 cm^3 , mismo que está destinado para el corte de las probetas destinadas a exposición UV a 50h y 250h.

$$V_{\text{plancha1}} = \text{largo} * \text{ancho} * \text{espesor}$$

$$V_{\text{plancha1}} = (235 * 400 * 4) \text{mm}^3$$

$$V_{\text{plancha1}} = (376000 \text{mm}^3) * (1 \text{cm}^3)$$

$$V_{\text{plancha1}} = 376 \text{ cm}^3$$

Cálculo del volumen de la matriz

$$V_{\text{resina}} = V_{\text{plancha1}} * \%_{\text{Frac. vol 1}}$$

$$V_{\text{resina}} = 376 \text{ cm}^3 * 70\%$$

$$V_{\text{resina}} = 263,20 \text{ cm}^3$$

Cálculo de la masa de la matriz

$$m_{\text{resina}} = \rho_{\text{resina}} * V_{\text{resina}}$$

$$m_{\text{resina}} = 1,27 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 263,20 \text{ cm}^3$$

$$m_{\text{resina}} = 334,26 \text{ g}$$

Se realiza una regla de tres para determinar el valor que corresponde al 10% de pérdida.
 Por lo tanto, el valor de pérdida corresponde a $m_{p\acute{e}rdida} = 33,43 \text{ g}$.

$$\begin{aligned} 334,26 \text{ g} &\rightarrow 100\% \\ x &\rightarrow 10\% \end{aligned}$$

Cálculo de la masa total

$$\begin{aligned} m_T &= m_{resina} + m_{p\acute{e}rdida} \\ m_T &= 334,26 \text{ g} + 33,43 \text{ g} \\ m_T &= 367,69 \text{ g} \\ m_T &= \approx 370 \text{ g} \end{aligned}$$

Cálculo del volumen del MEK (1%-2%)

$$\begin{aligned} V_{MEK} &= V_{resina} * \% \\ V_{MEK} &= 263,20 \text{ cm}^3 * 1\% \\ V_{MEK} &= 2,632 \text{ cm}^3 \\ V_{MEK} &= 2,632 \text{ ml} \end{aligned}$$

2.5.2.1.2 Cálculo volumétrico para la plancha de UV del refuerzo

Es importante recordar que las dos capas de tejido de fibra de guadua representan el 30% de la fracción volumétrica del material compuesto.

Cálculo del volumen del refuerzo

$$\begin{aligned} V_{refuerzo} &= V_{plancha1} * \%Frac. vol 2 \\ V_{refuerzo} &= 376 \text{ cm}^3 * 30\% \\ V_{refuerzo} &= 112,80 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Cálculo de la masa del refuerzo

$$\begin{aligned} m_{refuerzo} &= \rho_{refuerzo} * V_{refuerzo} \\ m_{refuerzo} &= 0,75 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 112,80 \text{ cm}^3 \\ m_{refuerzo} &= 84,60 \text{ g (2capas)} \end{aligned}$$

2.5.2.1.3 Cálculo volumétrico para la plancha de tracción en resina poliéster

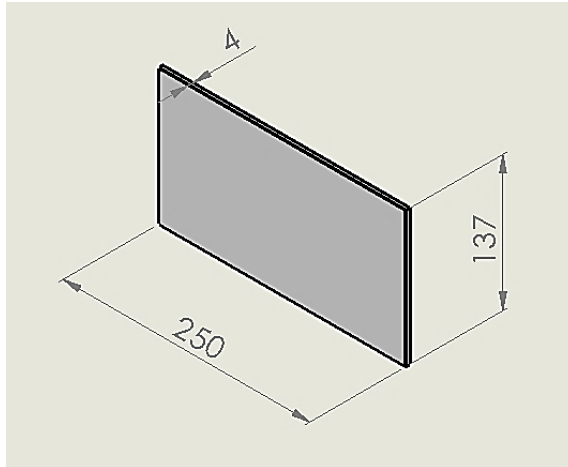


Figura 2.4: Plancha del material compuesto con resina poliéster-tracción

Fuente: Autor

$$V_{plancha2} = \text{largo} * \text{ancho} * \text{espesor}$$

$$V_{plancha2} = (250 * 137 * 4) \text{mm}^3$$

$$V_{plancha2} = (137000 \text{mm}^3) * (1 \text{cm}^3)$$

$$V_{plancha2} = 137 \text{cm}^3$$

$$V_{pTotal} = V_{plancha1} + V_{plancha2}$$

$$V_{pTotal} = (376 \text{cm}^3 + 137 \text{cm}^3)$$

$$V_{pTotal} = 513 \text{cm}^3$$

Cálculo del volumen de la matriz

$$V_{resina} = V_{plancha2} * \% \text{Frac. vol1}$$

$$V_{resina} = 137 \text{cm}^3 * 70\%$$

$$V_{resina} = 95,90 \text{cm}^3$$

Cálculo de la masa de la matriz

$$m_{resina} = \rho_{resina} * V_{resina}$$

$$m_{resina} = 1,27 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 95,9 \text{cm}^3$$

$$m_{resina} = 121,79 \text{g}$$

Se realiza una regla de tres para determinar el valor que corresponde al 10% de pérdida. Por lo tanto, el valor de pérdida corresponde a $m_{p\acute{e}rdida} = 12,18 \text{ g}$.

$$\begin{aligned} 121,7 \text{ g} &\rightarrow 100\% \\ x &\rightarrow 10\% \end{aligned}$$

Cálculo de la masa total

$$\begin{aligned} m_T &= m_{resina} + m_{p\acute{e}rdida} \\ m_T &= 121,79 \text{ g} + 12,18 \text{ g} \\ m_T &= 133,97 \text{ g} \\ m_T &= \approx 135 \text{ g} \end{aligned}$$

Cálculo del volumen del MEK (1%-2%)

$$\begin{aligned} V_{MEK} &= V_{resina} * \% \\ V_{MEK} &= 95,90 \text{ cm}^3 * 1\% \\ V_{MEK} &= 0,959 \text{ cm}^3 \\ V_{MEK} &= 0,96 \text{ ml} \end{aligned}$$

2.5.2.1.4 Cálculo volumétrico para la plancha de Tracción del refuerzo

Es importante recordar que las dos capas de tejido de fibra de guadua representan el 30% de la fracción volumétrica del material compuesto.

Cálculo del volumen del refuerzo

$$\begin{aligned} V_{refuerzo} &= V_{plancha2} * \%Frac. vol 2 \\ V_{refuerzo} &= 137 \text{ cm}^3 * 30\% \\ V_{refuerzo} &= 41,10 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Cálculo de la masa del refuerzo

$$\begin{aligned} m_{refuerzo} &= \rho_{refuerzo} * V_{refuerzo} \\ m_{refuerzo} &= 0,75 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 41,10 \text{ cm}^3 \\ m_{refuerzo} &= 30,83 \text{ g (2 capas)} \end{aligned}$$

El volumen total que se necesita para la elaboración de la plancha del material compuesto de matriz polimérica reforzada con fibra de guadua es de 513 cm^3 .

2.5.2.2 Material para tracción y exposición UV

2.5.2.2.1 Cálculo volumétrico para la plancha de exposición UV y tracción en resina epoxi

Para el caso de las probetas con resina epoxi con catalizador, se usa la fracción volumétrica donde se considera el 80% de la masa (matriz) para el componente A y para el caso del componente B de la matriz (catalizador) se considera el 20%.

Cálculo del volumen de la plancha del material compuesto

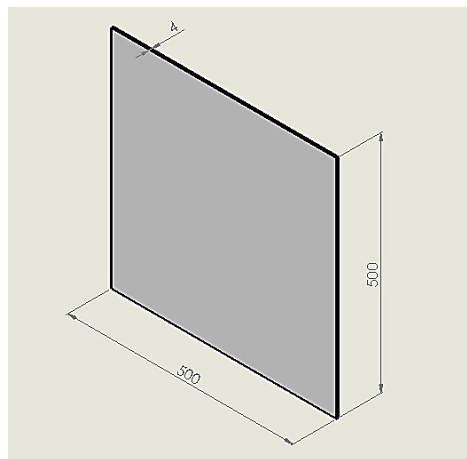


Figura 83: Plancha del material compuesto con resina epoxi-UV y tracción

Fuente: Autor

$$V_{plancha3} = \text{largo} * \text{ancho} * \text{espesor}$$

$$V_{plancha3} = (500 * 500 * 4) \text{mm}^3$$

$$V_{plancha3} = 1000000 \text{mm}^3$$

$$V_{plancha3} = 1000 \text{ cm}^3$$

Cálculo del volumen de la matriz

$$V_{resina} = V_{plancha3} * \% \text{Frac. vol 1}$$

$$V_{resina} = 1000 \text{ cm}^3 * 70\%$$

$$V_{resina} = 700 \text{ cm}^3$$

Cálculo de la masa de la matriz

$$\delta = \frac{m_E}{v}$$
$$m_E = 1,3 \frac{g}{cm^3} * 700 cm^3$$
$$m_E = 910 g$$

Se realiza una regla de tres para determinar el valor que corresponde al 10% de pérdida.
Por lo tanto, el valor de pérdida corresponde a $m_{pérdida} = 91 g$.

$$910 g \rightarrow 100\%$$
$$x \rightarrow 10\%$$

Cálculo de la masa total

$$m_T = m_{resina} + m_{pérdida}$$
$$m_T = 910 g + 91 g$$
$$m_T = 1001 g$$
$$m_T \approx 1000 g$$

Cálculo para el componente A y B.

- Componente A

$$m_{CA} = m_T * \%_{Frac.vol 3}$$
$$m_{CA} = 1000g * 0,8$$
$$m_{CA} = 800 g \rightarrow 0,8 kg$$

- Componente B

$$m_{CB} = m_T * \%_{Frac.vol 4}$$
$$m_{CB} = 1000 g * 0,2$$
$$m_{CB} = 200 g \rightarrow 0,2 kg$$

2.5.2.2.2 Cálculo volumétrico para la plancha de Tracción y UV del refuerzo

Es importante recordar que las dos capas de tejido de fibra de guadua representan el 30% de la fracción volumétrica del material compuesto.

Cálculo del volumen del refuerzo

$$V_{\text{refuerzo}} = V_{\text{plancha3}} * \%_{\text{Frac. vol 2}}$$

$$V_{\text{refuerzo}} = 1000 \text{ cm}^3 * 30\%$$

$$V_{\text{refuerzo}} = 300 \text{ cm}^3$$

Cálculo de la masa del refuerzo

$$m_{\text{refuerzo}} = \rho_{\text{refuerzo}} * V_{\text{refuerzo}}$$

$$m_{\text{refuerzo}} = 0,75 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 300 \text{ cm}^3$$

$$m_{\text{refuerzo}} = 225 \text{ g (2 capas)}$$

2.5.3 Valores de la cantidad en el material compuesto

En la siguiente Tabla 2.13 se registra la cantidad de matriz y refuerzo que se requiere para conformar el material compuesto.

Tabla 2.13: Resumen de la cantidad para el material compuesto

Cantidad de fibra y resina					
Descripción	Fibra de Guadua "FG"	Resina Poliéster	MEK	Resina Epoxi	
				Componente A	Componente B
Material compuesto (FG+RP)	376 cm ³	263,20 cm ³	2,6320 ml		
Material compuesto (FG+RE)	100 cm ³			0,8 kg	0,2 kg
Total	476 cm ³	263,20 cm ³	2,63 ml	0,8 kg	0,2 kg

Fuente: Autor

2.6 Ensayo UV aplicado al material compuesto reforzado con fibra de Guadua




Para este ensayo se hace uso de la normativa ISO 4892 mediante envejecimiento acelerado artificial con rayos UV en una cámara fija con arco de Xenón, se debe realizar como base 3 probetas para cada medición, pero para el caso se determinó que sean 5 probetas estándar. Mismas que están destinadas para el ensayo de exposición UV, donde 10 probetas estándar son a base de resina epoxi y las otras 10 probetas estándar son a base de resina poliéster.







El espesor que se considera para el material compuesto es de 4 mm, debido a estudios previos y con las dimensiones que se establecen en la normativa de 250x25x4 mm.

2.7 Elaboración del material compuesto

Para la elaboración del material compuesto reforzado con fibra de guadua se utiliza el método por estratificación manual y con curado al medio ambiente. Y con el uso de marcos de cartón prensado con el espesor necesario.

Tabla 2.14: Proceso de estratificación del material compuesto reforzado con fibra

Estratificación de Probetas		
Pasos	Desarrollo	Imagen
Preparación del molde o superficie de moldeo	Depende si es un laminado plano o posee una forma irregular	
Preparación del refuerzo de fibra de Guadua	Está sujeto a la conformación estructural que se pretende utilizar	
Aplicación del desmoldante	Se da la primera capa para obtener el brillo exterior y a la vez que permite el desmoldeo de la pieza	

Preparación de la resina	Las resinas que se usan son: resina poliéster y resina epoxi reforzado con fibra de guadua	
Aplicación de la primera capa de resina	Se da la primera capa de resina poliéster o resina epoxi sobre la superficie preparada.	
Realización del laminado u estratificado	Adición de la primera y segunda capa de tejido con la cantidad suficiente de la resina.	
Endurecimiento del material compuesto	Se produce cuando transcurre al menos 24 horas de exposición al ambiente.	
Desmoldeo del material compuesto	Se retira con cuidado a la plancha de material compuesto con la ayuda de una espátula.	
Desbarbado y control de calidad	Eliminar los excesos de resina y fibra de guadua. Rellenar los agujeros con resina para uniformidad del material.	

Fuente: Autor

2.8 Resultados del ensayo UV bajo normativa

Por lo tanto, el ensayo que ha realizado tiene como resultado el cambio en el peso de las probetas y su notable cambio de color, como consecuencia de la exposición UV.

Muestra 1: Fibra de Guadua con resina poliéster

MUESTRA DE FIBRA DE GUADUA CON RESINA POLIESTER										
PATRÓN	50 horas de exposición					250 horas de exposición				
	50h-RP-FG-01	50h-RP-FG-02	50h-RP-FG-03	50h-RP-FG-04	50h-RP-FG-05	250h-RP-FG-01	250h-RP-FG-02	250h-RP-FG-03	250h-RP-FG-04	250h-RP-FG-05
										
	COLOR: Decoloración del amarillo tenue TEXTURA: No hay cambio apreciable ASPECTO: No hay cambio apreciable					COLOR: Decoloración del amarillo tenue TEXTURA: No hay cambio apreciable ASPECTO: No hay cambio apreciable				

Figura 84: Probetas ensayadas con matriz de resina poliéster

Fuente:[41]

Como se puede observar las probetas que fueron sometidas al ensayo de exposición UV ha cambiado el color de la superficie de las mismas sin sufrir un desprendimiento aparente de la resina.

Muestra 2: Fibra de Guadua con resina epoxi












MUESTRA DE FIBRA DE GUADUA CON RESINA EPOXI										
PATRÓN	50 horas de exposición					250 horas de exposición				
	50h-RE-FG-01	50h-RE-FG-02	50h-RE-FG-03	50h-RE-FG-04	50h-RE-FG-05	250h-RE-FG-01	250h-RE-FG-02	250h-RE-FG-03	250h-RE-FG-04	250h-RE-FG-05
										
	COLOR: Decoloración del amarillo tenue TEXTURA: Rugosidad leve al tacto leve ASPECTO: Desprendimiento de la capa superior de la resina leve					COLOR: Decoloración del amarillo tenue TEXTURA: Rugosidad leve al tacto ASPECTO: Desprendimiento de la capa superior de la resina				

Figura 85: Probetas ensayadas con matriz de resina epoxi







Fuente:[41]

Como se puede observar las probetas que fueron sometidas al ensayo de exposición UV ha cambiado el color de la superficie de las mismas, pero tiene un desprendimiento aparente de la resina epoxi. Es decir, perdió adherencia de dicho material.

2.9 Ensayo a tracción aplicado al material compuesto reforzado con fibra de Guadua







Al material compuesto reforzado con fibra de guadua se le realiza un ensayo de tracción para conocer una propiedad mecánica importante como es la resistencia a la tracción, de esta forma se puede analizar el comportamiento del material compuesto. Durante la realización de este ensayo las probetas han tenido un modo de fallo distinto para cada uno.

Tabla 2.15: Muestras en cada grupo según la exposición de horas UV del material compuesto FG+RE Y FG+RP

Material compuesto de matriz polimérica reforzado con fibra de guadua	
Resina Epoxi	Resina Poliéster
FG+RE (0 horas)	FG+RP (0 horas)
	
FG+RE (50 horas)	FG+RP (50 horas)
	
FG+RE (250 horas)	FG+RP (250 horas)
	

Fuente: Autor

Tabla 2.16: Resultados del ensayo a tracción de del material compuesto FG+RE Y FG+RP

Material compuesto de matriz polimérica reforzado con fibra de guadua	
Resina Epoxi	Resina Poliéster
FG+RE (0 horas)	FG+RP (0 horas)
	
FG+RE (50 horas)	FG+RP (50 horas)
	
FG+RE (250 horas)	FG+RP (250 horas)
	

Fuente: Autor

2.10 Tipo de fallo posterior al ensayo de tracción

A continuación, se puede ver qué modo de fallo se ha presentado en cada probeta posterior al ensayo de tracción realizado al material compuesto.

Tabla 2.17: Valores obtenidos en material compuesto RE+FG a 0 horas

GRUPO 1		
Probeta	Identificación de la probeta	Tipo de falla
1	180475512020190711-ETC 01-1	LAB
2	180475512020190711-ETC 01-2	LAB
3	180475512020190711-ETC 01-3	LGM
4	180475512020190711-ETC 01-4	LAB
5	180475512020190711-ETC 01-5	LAT

Fuente: Autor

Tabla 2.18: Valores obtenidos en material compuesto RE+FG a 50 horas

GRUPO 2		
Probeta	Identificación de la probeta	Tipo de falla
1	180475512020190711-ETC 02-1	LAB
2	180475512020190711-ETC 02-2	LAT
3	180475512020190711-ETC 02-3	LGM
4	180475512020190711-ETC 02-4	AAT
5	180475512020190711-ETC 02-5	LAB

Fuente: Autor

Tabla 2.19: Valores obtenidos en material compuesto RE+FG a 250 horas

GRUPO 3		
Probeta	Identificación de la probeta	Tipo de falla
1	180475512020190711-ETC 03-1	LGM
2	180475512020190711-ETC 03-2	LAB
3	180475512020190711-ETC 03-3	LAB
4	180475512020190711-ETC 03-4	LGT
5	180475512020190711-ETC 03-5	LAB

Fuente: Autor

Tabla 2.20: Valores obtenidos en material compuesto RP+FG a 0 horas

GRUPO 4		
Probeta	Identificación de la probeta	Tipo de falla
1	180475512020190711-ETC 04-1	LAB
2	180475512020190711-ETC 04-2	LAB
3	180475512020190711-ETC 04-3	AGM
4	180475512020190711-ETC 04-4	LAB
5	180475512020190711-ETC 04-5	LAB

Fuente: Autor

Tabla 2.21: Valores obtenidos en material compuesto RP+FG a 50 horas

GRUPO 5		
Probeta	Identificación de la probeta	Tipo de falla
1	180475512020190711-ETC 05-1	SGT
2	180475512020190711-ETC 05-2	LGT
3	180475512020190711-ETC 05-3	SGB
4	180475512020190711-ETC 05-4	SGT
5	180475512020190711-ETC 05-5	SGB

Fuente: Autor

Tabla 2.22: : Valores obtenidos en material compuesto RP+FG a 250 horas

GRUPO 6		
Probeta	Identificación de la probeta	Tipo de falla
1	180475512020190711-ETC 06-1	AAB
2	180475512020190711-ETC 06-2	LAB
3	180475512020190711-ETC 06-3	LAB
4	180475512020190711-ETC 06-4	LAB
5	180475512020190711-ETC 06-5	AGT

Fuente: Autor

Se analiza el primer carácter si el tipo de falla es: angular, lateral, delaminación, agarre o largo. Para el segundo carácter se considera el área de falla que puede ser: agarre, zona calibrada, en varias áreas o simplemente varios.

Además, se toma en cuenta la localización de la falla mismo que puede ser: fondo, superior, izquierda o derecha. Por lo que cada probeta ha tenido distinto comportamiento en cuanto al tipo de fallo.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Recolección de Datos

Los datos obtenidos del ensayo de exposición UV del material compuesto reforzado con fibra de guadua, donde se ha envejecido artificialmente en el Anexo A. Entonces, realizado el ensayo de tracción de los 6 grupos de probetas y se conoce los valores de la resistencia a la tracción. Y se ha ensayado de acuerdo a la Tabla 3.1.

Tabla 3.1: División de probetas por grupo de exposición

N° de Grupo	Designación de probetas
1	FG+RE a 0h de exposición UV
2	FG+RE a 50h de exposición UV
3	FG+RE a 250h de exposición UV
4	FG+RP a 0h de exposición UV
5	FG+RP a 50h de exposición UV
6	FG+RP a 250h de exposición UV

Fuente: Autor

Tabla 3.2: Identificación de probetas según división de grupo

N°	Identificación del grupo	Matriz	Refuerzo	Exposición UV	Probetas a ensayar
1	180475512020190711-ETC 01	Resina Epóxica 70%	Fibra de guadua 30%	0 Horas	5
2	180475512020190711-ETC 02	Resina Epóxica 70%	Fibra de guadua 30%	50 Horas	5
3	180475512020190711-ETC 03	Resina Epóxica 70%	Fibra de guadua 30%	250 Horas	5
4	180475512020190711-ETC 04	Resina Poliéster 70%	Fibra de guadua 30%	0 Horas	5
5	180475512020190711-ETC 05	Resina Poliéster 70%	Fibra de guadua 30%	50 Horas	5
6	180475512020190711-ETC 06	Resina Poliéster 70%	Fibra de guadua 30%	250 Horas	5
Total					30

Fuente: CFPMC

Los valores obtenidos en cada grupo de probetas ensayas a tracción según la normativa ASTM D3039 son las siguientes:

Tabla 3.3: Valores obtenidos en material compuesto RE+FG a 0 horas

GRUPO 1				
Probeta	Identificación de la probeta	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación
1	180475512020190711-ETC 01-1	41,23	626,5	6,58
2	180475512020190711-ETC 01-2	33,69	625,49	5,39
3	180475512020190711-ETC 01-3	47,2	905,25	5,21
4	180475512020190711-ETC 01-4	33,17	754,91	4,39
5	180475512020190711-ETC 01-5	63,79	1148,54	5,55

Fuente: Autor

Tabla 3.4: Valores obtenidos en material compuesto RE+FG a 50 horas

GRUPO 2				
Probeta	Identificación de la probeta	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación
1	180475512020190711-ETC 02-1	53,61	1163,51	4,61
2	180475512020190711-ETC 02-2	39,86	902,93	4,42
3	180475512020190711-ETC 02-3	59,32	1223,63	4,85
4	180475512020190711-ETC 02-4	52,08	1038,86	5,01
5	180475512020190711-ETC 02-5	66,78	1267,42	5,27

Fuente: Autor

Tabla 3.5: Valores obtenidos en material compuesto RE+FG a 250 horas

GRUPO 3				
Probeta	Identificación de la probeta	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación
1	180475512020190711-ETC 03-1	71,79	1518,47	4,73
2	180475512020190711-ETC 03-2	54,06	991,94	5,45
3	180475512020190711-ETC 03-3	48,87	763,01	6,4
4	180475512020190711-ETC 03-4	46,77	1053,45	4,44
5	180475512020190711-ETC 03-5	60,47	955,34	6,33

Fuente: Autor

Tabla 3.6: Valores obtenidos en material compuesto RP+FG a 0 horas

GRUPO 4				
Probeta	Identificación de la probeta	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación
1	180475512020190711-ETC 04-1	68,44	1364,34	5,02
2	180475512020190711-ETC 04-2	45,08	1041,36	4,33
3	180475512020190711-ETC 04-3	62,23	1184,29	5,26
4	180475512020190711-ETC 04-4	61,9	1247,46	4,96
5	180475512020190711-ETC 04-5	68,68	1388,6	4,95

Fuente: Autor

Tabla 3.7: Valores obtenidos en material compuesto RP+FG a 50 horas

GRUPO 5				
Probeta	Identificación de la probeta	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación
1	180475512020190711-ETC 05-1	72,63	1262,4	5,75
2	180475512020190711-ETC 05-2	85,3	1069,46	7,98
3	180475512020190711-ETC 05-3	86,3	1372,31	6,29
4	180475512020190711-ETC 05-4	77,71	1254,4	6,2
5	180475512020190711-ETC 05-5	74,64	1029,98	7,25

Fuente: Autor

Tabla 3.8: Valores obtenidos en material compuesto RP+FG a 250 horas

GRUPO 6				
Probeta	Identificación de la probeta	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación
1	180475512020190711-ETC 06-1	81,28	1371,72	5,93
2	180475512020190711-ETC 06-2	84,63	1363,03	6,21
3	180475512020190711-ETC 06-3	82,89	1599,45	5,18
4	180475512020190711-ETC 06-4	68,37	1267,94	5,39
5	180475512020190711-ETC 06-5	83,46	1344,75	6,21

Fuente: Autor

NOTA: No se ha tomado en cuenta los datos dispersos que presenta cada combinación, ya que se pretende mejorar la tendencia de cada factor del trabajo experimental.

3.2 Análisis de Resultados

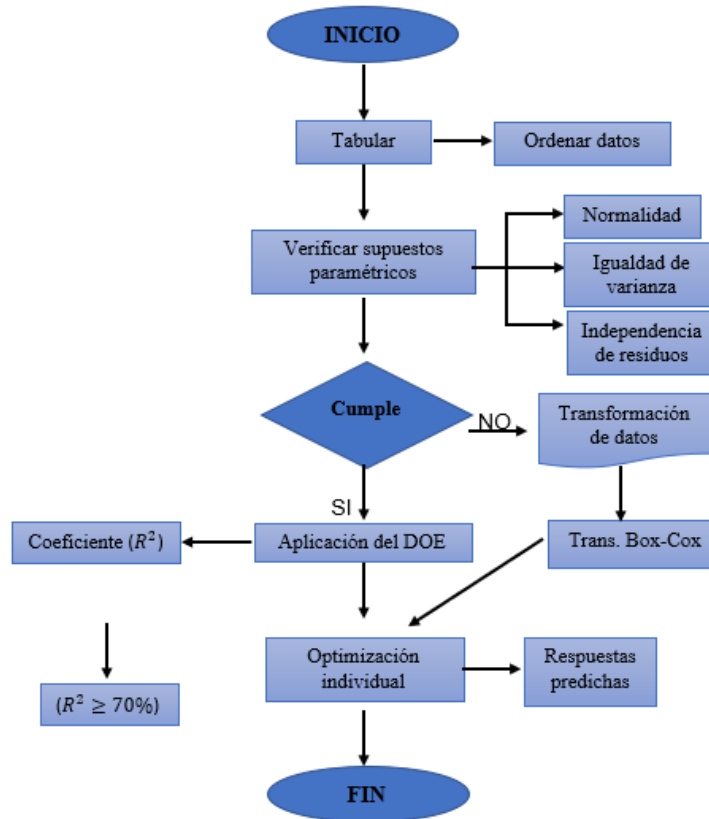


Figura 3.1: Metodología del método factorial

Fuente: Autor

3.2.1 Mejora del coeficiente de determinación de los datos

Realizado un análisis previo con los datos obtenidos mediante el ensayo de tracción, el coeficiente de determinación no supera el 70% para el módulo de elasticidad y elongación. Solo el esfuerzo máximo a tracción supera dicho coeficiente.

Tabla 3.9: Coeficiente de determinación para el esfuerzo máximo a tracción

Coeficiente de determinación (R^2)	Coeficiente de determinación ajustado (R^2_{aj})
71,02%	64,98%

Fuente: Autor

Tabla 3.10: Coeficiente de determinación para el módulo de elasticidad

Coeficiente de determinación	Coeficiente de determinación ajustado
53,83%	44,22%

Fuente: Autor

Tabla 3.11: Coeficiente de determinación para la elongación

Coeficiente de determinación	Coeficiente de determinación ajustado
51,79%	41,74%

Fuente: Autor

Para lo cual se ha tomado en consideración, eliminar los datos dispersos y se procede a trabajar con 4 réplicas por cada combinación con la finalidad de mejorar el coeficiente de determinación. Sin embargo, los datos iniciales cumplen con los supuestos paramétricos, pero se debe mejorar el ajuste de los mismos.

Tabla 3.12: Resumen de los valores $-p$ de las propiedades del material compuesto

Verificación de supuestos	
Supuestos paramétricos	Valor de $-p$
Esfuerzo máximo de tracción	
Normalidad	$-p = 0,520$
Igualdad de varianza	$-p = 0,844$
Independencia de residuos	No existe patrón o tendencia
Módulo de Elasticidad	
Normalidad	$-p = 0,366$
Igualdad de varianza	$-p = 0,840$
Independencia de residuos	No existe patrón o tendencia
Porcentaje de Elongación	
Normalidad	$-p = 0,142$
Igualdad de varianza	$-p = 0,349$
Independencia de residuos	No existe patrón o tendencia

Fuente: Autor

3.2.2 Análisis del esfuerzo máximo de tracción

3.2.2.1 Verificación de supuestos

En un trabajo experimental se debe comprobar que los datos cumplan con los supuestos paramétricos: normalidad, igualdad de varianza e independencia de residuos

Prueba de Normalidad

Para la normalidad de los datos se usa la prueba de Anderson Darling, donde la finalidad es conocer si existe o no normalidad en dichos datos con una significancia

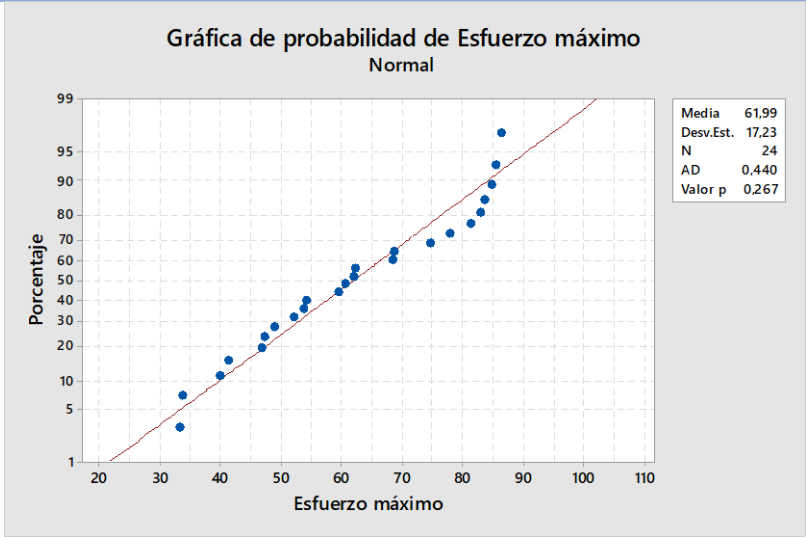
del 5%, por lo tanto, para que se puede aceptar la hipótesis nula, el valor de $-p$ debe ser mayor a 0.05. Prueba de Normalidad con Anderson Darling: Se considera que esta prueba da mejores resultados si se trata de un análisis estadístico para el presente trabajo experimental.

Donde:

H_0 es la hipótesis nula

H_1 es la hipótesis alternativa

Tabla 3.13: Verificación del supuesto de normalidad para la resistencia a la tracción

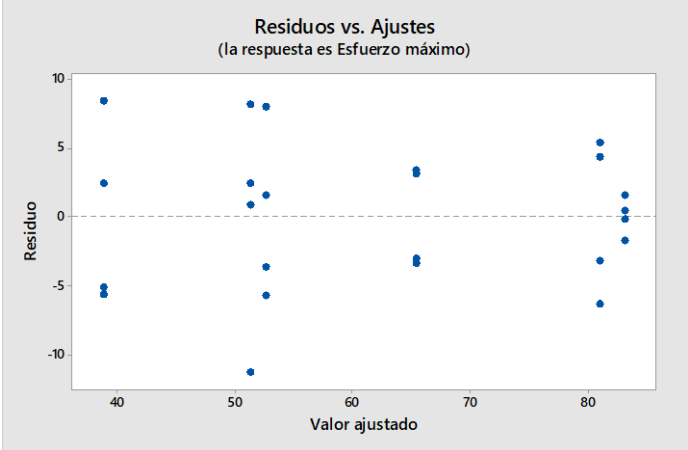
Normalidad			
Hipótesis	H_0 = “Los datos de la resistencia a la tracción del material compuesto reforzado con fibra de guadua posee una distribución normal”		
	H_1 = “Los datos de la resistencia a la tracción del material compuesto reforzado con fibra de guadua no posee una distribución normal”		
Significancia	$\alpha = 0,05$	N° de experimentos	30
			
Estadístico de prueba	Anderson-Darling = 0,440		Valor $-p = 0,267$
Descripción	De acuerdo al valor de $-p = 0,267$ se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa.		
Conclusión	Con la significancia del 5% los datos de la resistencia a la tracción del material compuesto reforzado con fibra de guadua tienen una distribución normal en los datos del experimento.		

Fuente: Autor

Prueba de igualdad de varianza

Para la realización de la prueba de igualdad de varianza en los datos obtenidos en la resistencia a la tracción del material compuesto mediante un ensayo mecánico previo, lo más aconsejables es hacer uso del gráfico de predichos vs residuos. Por otro lado, también se puede aplicar la prueba de Levene para determinar la igualdad de varianza en los datos. Con una significancia del 5%, donde el valor de $-p$ debe ser mayor a 0.05 para que se pueda aceptar H_0 .

Tabla 3 14: Verificación del supuesto de normalidad para la resistencia a la tracción

Igualdad de varianza			
Hipótesis	$H_0 =$ “Los datos de la resistencia a la tracción del material compuesto reforzado con fibra de guadua poseen igual varianza”		
	$H_1 =$ “Los datos de la resistencia a la tracción del material compuesto reforzado con fibra de guadua no poseen igual varianza”		
Significancia	$\alpha = 0,05$	N° de experimentos	30
<div style="border: 1px solid gray; padding: 10px; background-color: #f0f0f0;"> <p style="text-align: center;">Residuos vs. Ajustes (la respuesta es Esfuerzo máximo)</p>  </div>			
Estadístico de prueba	Prueba de Levene: 1,27		Valor -p: 0,320
Descripción	De acuerdo al valor de $-p = 0,320$ de la Prueba de Levene se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa.		
Conclusión	Con la significancia del 5% los datos de la resistencia a la tracción del material compuesto reforzado con fibra de guadua tienen una igualdad en la varianza en los datos del experimento.		

Fuente: Autor

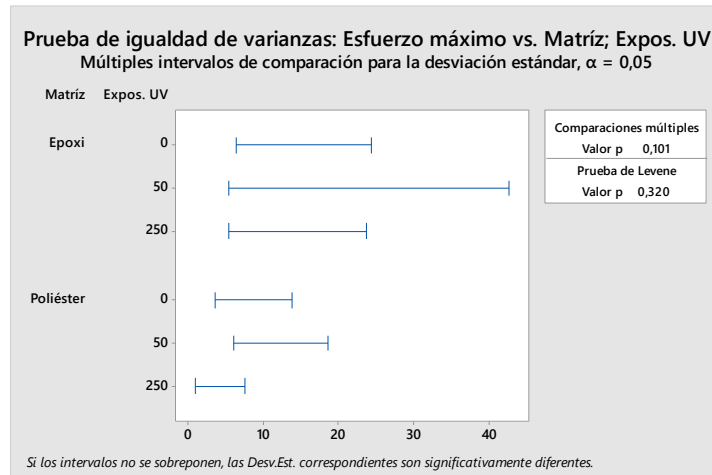


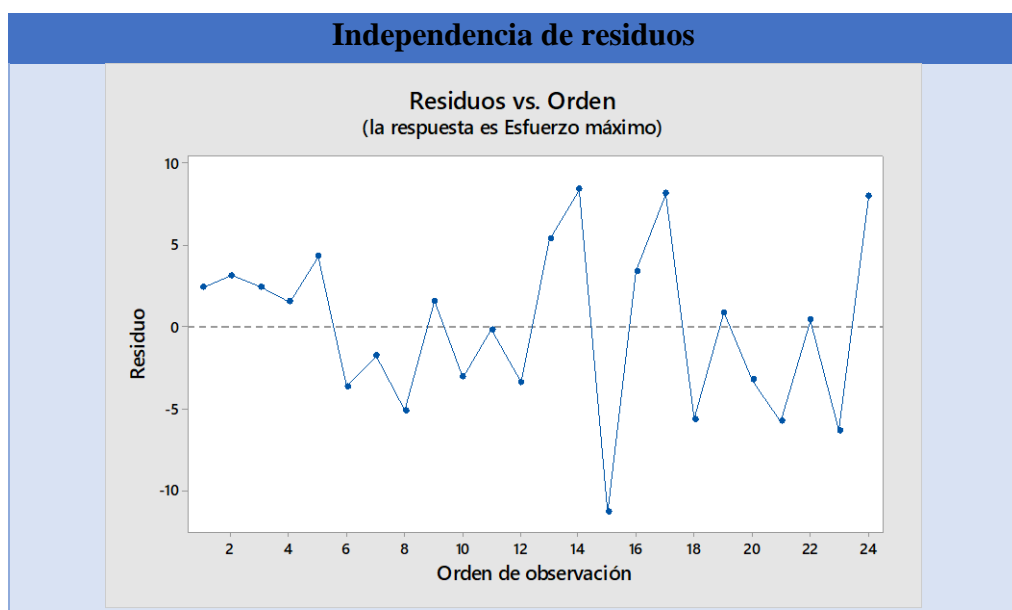
Figura 3.2: Prueba de igualdad de varianzas para el esfuerzo máximo a la tracción
Fuente: Minitab® Statistical Software

Como se puede observar en la Figura 3.2 con una significancia de $\alpha = 0,05$ se analiza la igualdad de varianza del tipo de matriz y la exposición UV por medio de la prueba de Levene, donde se obtiene el valor de donde $p=0,32$ para el esfuerzo máximo a la tracción.

Prueba de Independencia de residuos

Para llevar a cabo la prueba de independencia de residuos se hace uso de la gráfica Residuos vs. Orden en cual se debe observar la existencia de un patrón, tendencia o determinado comportamiento de los datos.

Tabla 3.15: Verificación del supuesto de independencia de residuos para la resistencia a la tracción



Descripción	Se debe identificar la existencia de un patrón de comportamiento de los datos.
Conclusión	La independencia en los residuos de la resistencia a la tracción del material compuesto reforzado con fibra de guadua no sigue un patrón o tendencia en los datos del experimento.

Fuente: Autor

3.2.2.2 Transformación de los datos

En el caso de que uno de los supuestos paramétricos no se cumpla se debe realizar una transformación a los datos, esta transformación se conoce con el nombre de transformación por Box-Cox. A continuación, se muestra se muestra una tabla resumen de los valores de $-p$.

Tabla 3.16: Resumen de resultados obtenidos en los supuestos paramétricos

Supuesto Paramétrico	Valor de -p
Prueba de Normalidad	0,267
Prueba de Igualdad de varianza	0,320
Independencia de Residuos	No existe patrón o tendencia

Fuente: Autor

3.2.2.3 Verificación de supuestos con los datos transformados

En este caso no se hace uso de la transformación por Box-Cox ya que los datos del ensayo a tracción para el material compuesto reforzado con fibra de Guadua cumplen con los 3 supuestos paramétricos como son: normalidad, igualdad de varianza e independencia de residuos.

3.2.2.4 Aplicación del diseño experimental

El diseño experimental que se pretende aplicar a los datos es conocido como “Diseño factorial general completo”. Sabiendo que se está aplicando un diseño factorial de la forma $a \times b$ con “n” réplicas. Para lo cual en este caso se aplicó 5 réplicas por cada combinación que se requiere en el trabajo experimental.

3.2.2.5 Diseño experimental general completo

De acuerdo al cumplimiento de los supuestos paramétricos se procede a la aplicación del modelo experimental, donde se puede observar la tabla de ANOVA para el diseño factorial general completo, donde para este modelo experimental se incluye factores y la interacción entre ellos.

Tabla 3.17: ANOVA del Esfuerzo máximo de tracción

Fuente de variabilidad	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Fo	Valor - p
Modelo	5	6232,54	1246,51	3782	0,000
Matriz	1	5020,80	5020,80	152,33	0,000
Exposición UV	2	1193,35	596,67	18,10	0,000
Matriz*Exposición UV	2	18,39	9,20	0,28	0,760
Error	18	593,28	32,96		
Total	23				

Fuente: Autor

Para el análisis de la varianza en la Tabla 3.17 se puede observar la existencia de diferencias significativas en los factores o la ausencia. Por medio del valor $-p$ se llega a la conclusión que existen diferencias significativas entre los factores y cabe recalcar que para este análisis el factor más significativo es “matriz” seguido de la exposición UV y el menos significativo es la interacción entre “matriz*exposición UV”.

3.2.2.6 Coeficiente de determinación

Tabla 3.18: Coeficiente de determinación para el esfuerzo máximo a tracción

Coeficiente de determinación (R^2)	Coeficiente de determinación ajustado (R^2_{aj})
91,31%	88,89%

Fuente: Autor

Es necesario conocer el valor porcentual del coeficiente de determinación y así determinar si cumple con $R^2 \geq 70$ como se había establecido en la metodología del diseño experimental. Por lo tanto, en la Tabla 3.18 el valor del coeficiente de determinación es 91,31% siendo mayor al 70% que se requiere para este diseño factorial.

3.2.2.7 Análisis final del diseño factorial

El diseño experimental general completo tiene un coeficiente de determinación del 91,31% que supera el parámetro establecido en la metodología del diseño experimental. Por lo que satisface a este diseño y los valores obtenidos en los ensayos previos. Se analiza en la Tabla 3.17 como influencia los factores A, B y su interacción

con respecto a la resistencia máxima de tracción, donde A corresponde a la matriz y B es la exposición UV y la interacción A*B que es matriz*exposición UV.

Entonces, el factor A es más significativo seguido por el factor B y la interacción entre A*B no es significativa para la propiedad. Ya que si este valor de $-p$ se acerca al 0 es más significativa que las demás.

Con el diagrama de Pareto se puede verificar que la información obtenida sobre la varianza en la Tabla 3.17 de ANOVA se puede rechazar H_0 por la evidencia suficiente en los datos del experimento. Claramente se puede notar en el diagrama de Pareto que el factor que tiene mayor influencia en el material compuesto es el Factor A que corresponde a la matriz y por ende afecta significativamente al esfuerzo máximo.

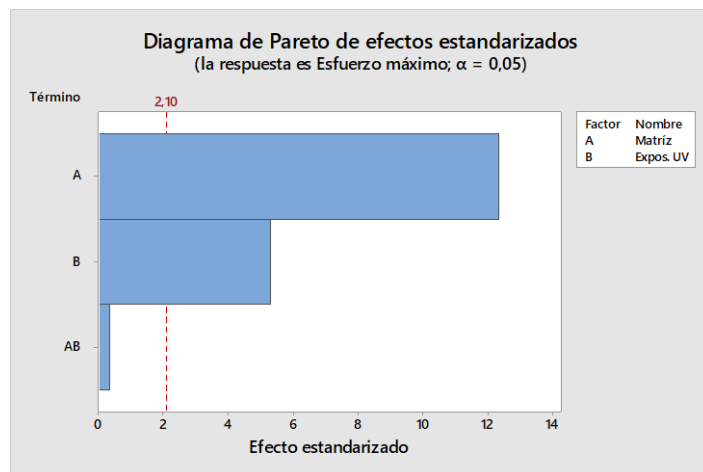


Figura 3.3: Diagrama de Pareto sobre los efectos para el esfuerzo máximo a tracción

Fuente: Minitab® Statistical Software

3.2.2.8 Efectos principales y la interacción

Cuando se requiere analizar el efecto principal de un factor se procede a analizar el comportamiento de la pendiente puesto que, si existe diferencia de las pendientes en las líneas se conoce que el factor tiene influencia en la respuesta. Y para la interacción que hay entre los factores se analiza la gráfica donde las pendientes de las líneas son diferentes o pronunciadas ya que existe una similitud no hay interacción alguna.

Ahora se procede al análisis de los efectos principales para el esfuerzo máximo a la tracción, donde se puede observar que para el caso de la matriz existe un cambio abrupto en la media del esfuerzo máximo a tracción, entre la resina poliéster y la resina epoxi, lo que significa que el tipo de matriz tiene influencia en la resistencia a la

tracción. Para el caso de la exposición UV en el intervalo de 0 a 50 horas existe un cambio brusco en la media del esfuerzo máximo entonces, tiene influencia en la resistencia a la tracción, de 50 a 250 el cambio no es brusco en la media del esfuerzo máximo por lo que la influencia es menor en la resistencia a la tracción.

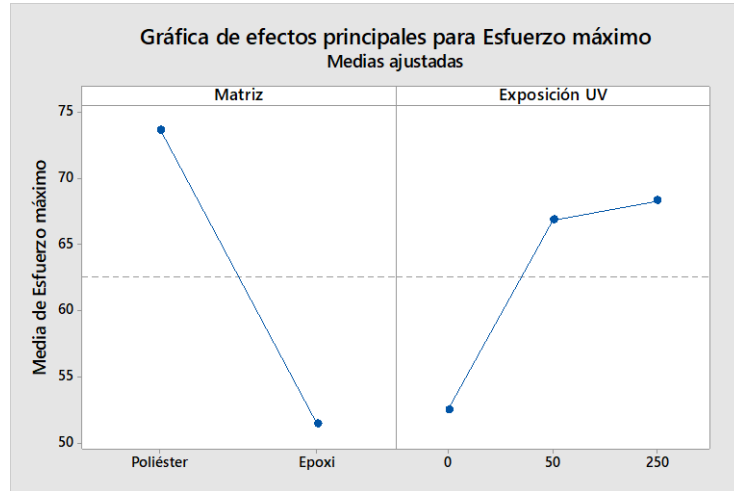


Figura 3.4: Gráfica de efectos principales para el esfuerzo máximo de tracción

Fuente: Minitab® Statistical Software

Para el caso de la interacción de los efectos entre la Matriz*Exposición UV como se muestra en la Figura 3.4 se puede visualizar que existe una similitud entre las pendientes de las horas de exposición UV con relación al tipo de matriz. Por lo tanto, no existe una interacción entre ellos. Para el caso de la exposición UV a 0 horas el esfuerzo máximo a tracción tiende a disminuir al cambiar de resina poliéster a resina epoxi, para una exposición de 50 horas y 250 horas tiene un comportamiento similar.

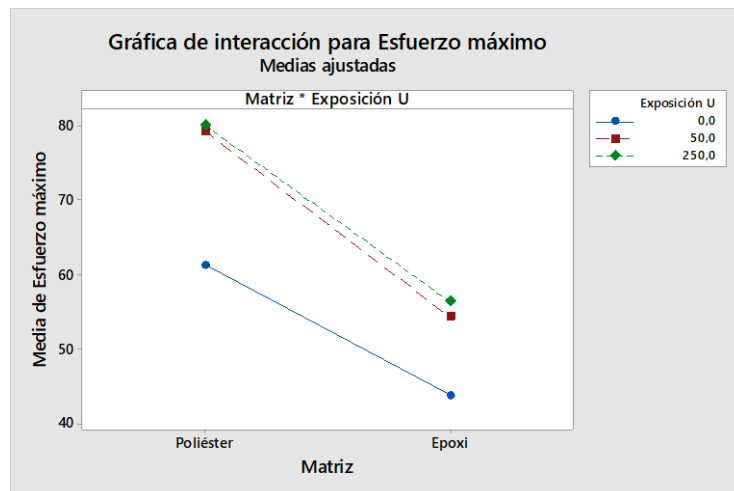


Figura 3.5: Gráfica de interacción para el esfuerzo máximo de tracción

Fuente: Minitab® Statistical Software

3.2.2.9 Respuestas predichas

Con el uso del diseño factorial general completo se tiene respuestas predichas del esfuerzo máximo a tracción que sirven para la aplicar la función deseabilidad como se muestra a continuación. Sabiendo que para tener el valor de las respuestas predichas se hace uso de la ecuación de regresión del modelo.

Tabla 3.19: Respuestas predichas del esfuerzo máximo de tracción

FACTORES		RESPUESTAS PREDICHAS
Matriz	Exposición UV (horas)	
Epoxi	0	38,82
Epoxi	50	51,22
Epoxi	250	52,54
Poliéster	0	65,31
Poliéster	50	80,99
Poliéster	250	83,07

Fuente: Autor

3.2.2.9.1 Deseabilidad individual

Se necesita especificar el valor superior $y_{m\acute{a}x}$ y el valor inferior $y_{m\acute{i}n}$ que corresponden a los valores máximos y mínimos de las respuestas observadas y predichas.

Tabla 3.20: Máximos y mínimos de las respuestas en esfuerzo máximo

Respuestas observadas		Respuestas predichas	
Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
84,63	33,17	83,07	38,82

Fuente: Autor

Con estos valores se asigna a la constante r que forma parte de la función de la deseabilidad siendo este el valor 1, para lo cual en el caso de la resistencia a tracción se requiere “maximizar” con el uso de la ecuación de deseabilidad para maximizar y así obtener la deseabilidad individual.

Tabla 3.21: Deseabilidad individual del esfuerzo máximo a tracción

FACTORES		DESEABILIDAD d_1
Matriz	Exposición UV (horas)	
Epoxi	0	0,106390
Epoxi	50	0,339686
Epoxi	250	0,364625

Poliéster	0	0,604978
Poliéster	50	0,900009
Poliéster	250	0,939112

Fuente: Autor

Para los valores de deseabilidad aquellos que indican estar cerca del 1 son los que alcanzan resultados favorables para el análisis.

Entonces, como se puede observar en la Tabla 3.22 mediante la deseabilidad individual se puede determinar la combinación óptima para la propiedad mecánica que en este caso es la combinación **Poliéster a 250 horas**, como se muestra a continuación:

Tabla 3.22: Deseabilidad óptima para el esfuerzo máximo a la tracción

Solución	Matriz	Exposición UV (horas)	Esfuerzo máximo Ajuste	Deseabilidad compuesta
1	Poliéster	250	83,0650	0,939112

Fuente: Autor

3.2.3 Análisis del módulo de elasticidad

3.2.3.1 Verificación de supuestos

El módulo de elasticidad del material compuesto debe cumplir con los supuestos paramétricos como ya se realizó con anterioridad y estos son: normalidad de los datos, igualdad de varianza de los datos y la independencia de residuos.

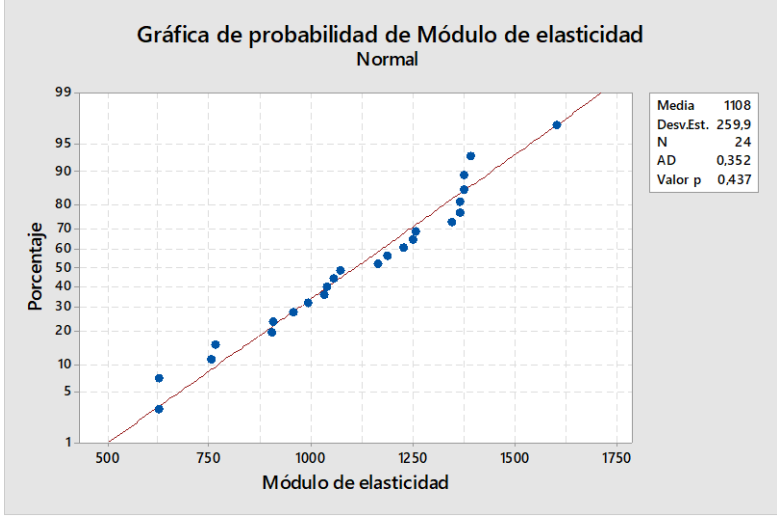
Entonces, con la aplicación de las pruebas paramétricas podemos verificar la validez de los resultados. Por ello, la necesidad de empezar con las pruebas y análisis respectivo al módulo de elasticidad del material compuesto.

Prueba de Normalidad

El primer supuesto paramétrico que deben cumplir los datos en la prueba de normalidad mediante Anderson Darling y el correspondiente valor de $-p$, donde el objetivo es conocer si existe o no normalidad en los datos con una significancia del 5%.

Por lo tanto, para que se puede aceptar la hipótesis nula denominada H_0 , el valor de $-p$ debe ser mayor a 0.05. Por lo tanto, la prueba de normalidad con Anderson Darling es considerada mas eficiente para este tipo de análisis estadístico.

Tabla 3.23: Verificación del supuesto de normalidad para el módulo de elasticidad

Normalidad			
Hipótesis	$H_0 =$ “Los datos del módulo de elasticidad del material compuesto reforzado con fibra de guadua posee una distribución normal”		
	$H_1 =$ “Los datos del módulo de elasticidad del material compuesto reforzado con fibra de guadua no posee una distribución normal”		
Significancia	$\alpha = 0.05$	N° de experimentos	30
			
Estadístico de prueba	Anderson-Darling = 0,352		Valor -p =0,437
Descripción	De acuerdo al valor de $-p = 0,437$ se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa.		
Conclusión	Con la significancia del 5% los datos del módulo de elasticidad del material compuesto reforzado con fibra de guadua tienen una distribución normal en los datos del experimento.		

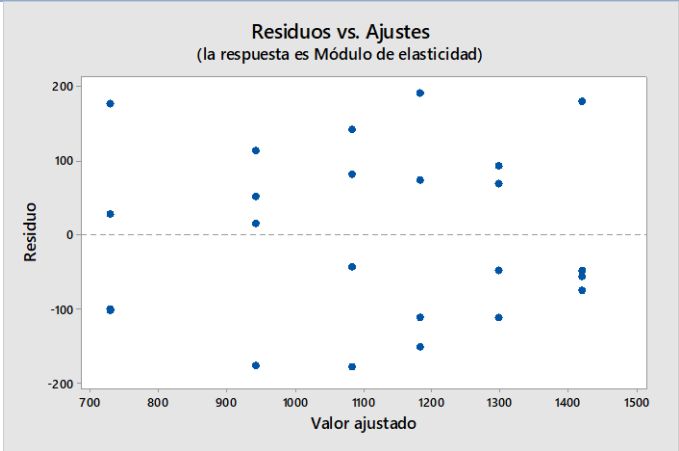
Fuente: Autor

Prueba de igualdad de varianza

Para el análisis de la igualdad de varianza de los datos obtenidos del módulo de elasticidad del material compuesto mediante un ensayo de tracción, se hace uso del gráfico de predichos vs residuos. Aunque también se puede realizar la prueba de Levene para determinar la igualdad de varianza en los datos y conocer el valor de $-p$.

Por ende, la prueba se realiza con una significancia del 5%, donde el valor de $-p$ debe ser mayor a 0.05 para que se pueda aceptar H_0 .

Tabla 3.24: Verificación del supuesto de normalidad para el módulo de elasticidad

Igualdad de varianza			
Hipótesis	H_0 = “Los datos del módulo de elasticidad del material compuesto reforzado con fibra de guadua poseen igual varianza”		
	H_1 = “Los datos del módulo de elasticidad del material compuesto reforzado con fibra de guadua no poseen igual varianza”		
Significancia	$\alpha = 0.05$	N° de experimentos	30
			
Estadístico de prueba	Prueba de Levene: 0,41		Valor -p: 0,838
Descripción	De acuerdo al valor de $-p = 0,838$ de la Prueba de Levene se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa.		
Conclusión	Con la significancia del 5% los datos del módulo de elasticidad del material compuesto reforzado con fibra de guadua tienen una igualdad en la varianza en los datos del experimento.		

Fuente: Autor

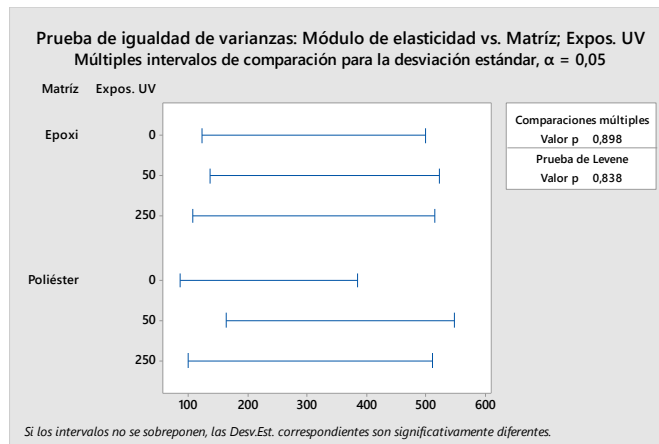


Figura 3.6: Prueba de igualdad de varianzas para el módulo de elasticidad

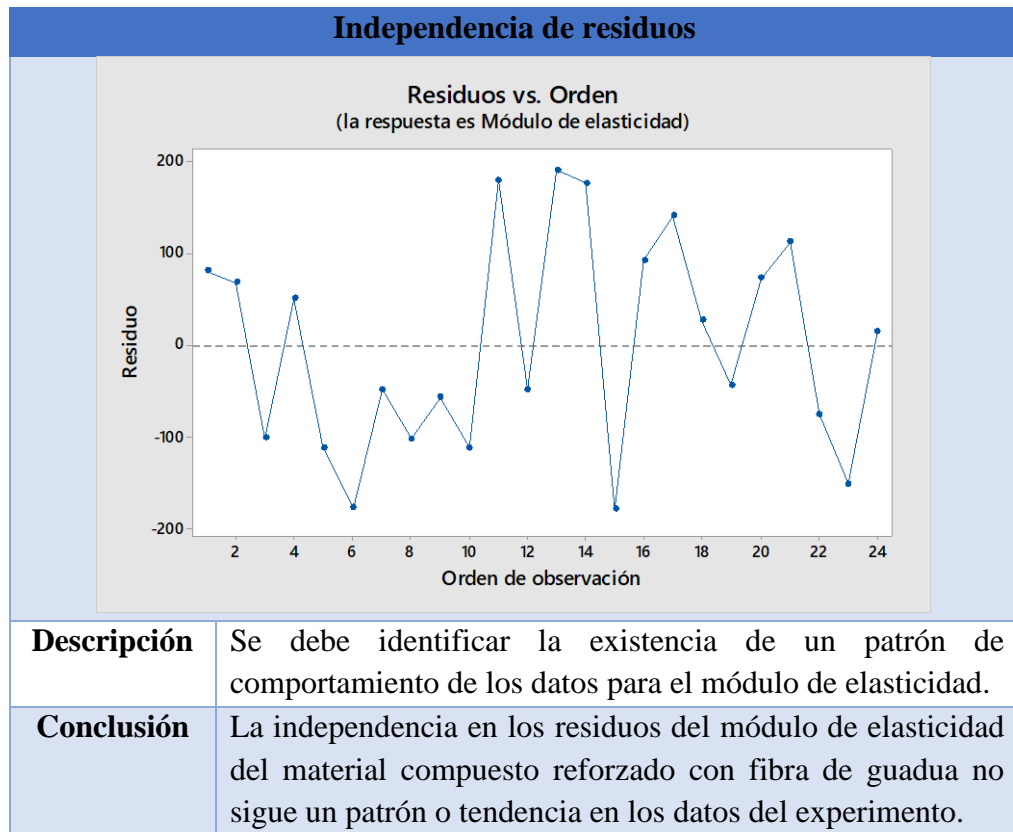
Fuente: Minitab® Statistical Software

Como se puede observar en la Figura 3.6 con una significancia de $\alpha = 0.05$ y por ende con un nivel de confianza del 95%, la igualdad de varianza para el módulo de elasticidad del material compuesto por medio de la prueba de Levene, se obtiene el valor de $-p=0,838$. Entonces, cumple así el supuesto paramétrico.

Prueba de Independencia de residuos

En el análisis de la independencia de residuos se necesita obtener la gráfica Residuos vs. Orden de los datos que están siendo analizados, en la cual se debe observar la existencia de un patrón, tendencia o comportamiento de los datos.

Tabla 3.25: Verificación del supuesto de independencia de residuos para el módulo de elasticidad



Fuente: Autor

3.2.3.2 Transformación de los datos

En el caso de que uno de los supuestos paramétricos no se cumpla se debe realizar una transformación a los datos, que se conoce con el nombre de transformación de Box-Cox. A continuación, se muestra se muestra una tabla resumen de los valores de $-p$.

Tabla 3.26: Resumen de resultados obtenidos en los supuestos paramétricos

Supuesto Paramétrico	Valor de -p
Prueba de Normalidad	0,437
Prueba de Igualdad de varianza	0,838
Independencia de Residuos	No existe patrón o tendencia

Fuente: Autor

3.2.3.3 Verificación de supuestos con los datos transformados

Para el análisis del módulo de elasticidad del material compuesto y la aplicación de los supuestos paramétricos se concluye que no se necesita realizar la transformación de Box-Cox a los datos, debido a que posee normalidad, igualdad de varianza e independencia de residuos.

3.2.3.4 Aplicación del diseño experimental

Para el módulo de elasticidad el diseño experimental que se aplica a los datos se llama “Diseño factorial general completo” considerada de la forma $a \times b$ con “n” réplicas por cada combinación y para lo cual en este caso se aplicó 5 réplicas por cada combinación.

3.2.3.5 Diseño experimental general completo

Con el cumplimiento de los 3 supuestos paramétricos se aplica el modelo experimental, que se requiere la tabla de ANOVA del diseño factorial, donde se incluye los factores y la interacción entre ellos.

Tabla 3.27: ANOVA del módulo de elasticidad

Fuente de variabilidad	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Fo	Valor -p
Modelo	5	1243772	248754	14,47	0,000
Matriz	1	875915	875915	50,95	0,000
Exposición UV	2	119991	59995	3,49	0,052
Matriz*Exposición UV	2	247867	123933	7,21	0,005
Error	18	309464	17192		
Total	23				

Fuente: Autor

Para el análisis de la varianza en la Tabla 3.27 se puede determinar la existencia de diferencias significativas en los factores o la ausencia de dichas diferencias. Con el valor $-p$ se llega a la conclusión que existe una diferencia significativa en el factor

conocido como “matriz” ya que su valor se acerca al 0, siendo así el factor mayormente significativo. Además, el factor de la exposición UV y la interacción entre “matriz*exposición UV” son menos significativos al alejarse del valor 0.

3.2.3.6 Coeficiente de determinación

Tabla 3.28: Coeficiente de determinación para el módulo de elasticidad

Coeficiente de determinación	Coeficiente de determinación ajustado
80,08%	74,54%

Fuente: Autor

El valor coeficiente de determinación debe cumplir con $R^2 \geq 70$ tal cual se ha establecido en la metodología del diseño experimental. Por lo tanto, en la Tabla 3.28 se observa que el coeficiente de determinación que es mayor al 70%, con un valor porcentual de 80,08%.

3.2.3.7 Análisis final del diseño factorial

El diseño experimental general completo tiene un coeficiente de determinación del 80,08%. Por lo tanto, se procede al análisis con este valor porcentual del coeficiente de determinación. En la Tabla 3.27 se observa cómo influyen los factores A, B y su interacción entre ellos, con respecto al módulo de elasticidad donde A (matriz) tiene mayor influencia en esta propiedad mecánica y B (exposición UV) y la interacción A*B (matriz*exposición UV) tienen menor efecto.

Entonces, el factor A se considera que es más significativo que los demás factores, el factor B y la interacción A*B no es significativa para la propiedad mecánica. Conociendo que si este valor de $-p$ se acerca al 0 es más significativa que las demás.

Con el diagrama de Pareto se puede verificar que la información obtenida sobre la varianza en la Tabla 3.27 de ANOVA se puede rechazar H_0 por la evidencia suficiente en los datos del experimento.

Como se puede observar en el diagrama de Pareto, el Factor A que corresponde a la matriz, es aquella que influye mayormente al módulo de elasticidad del material compuesto.

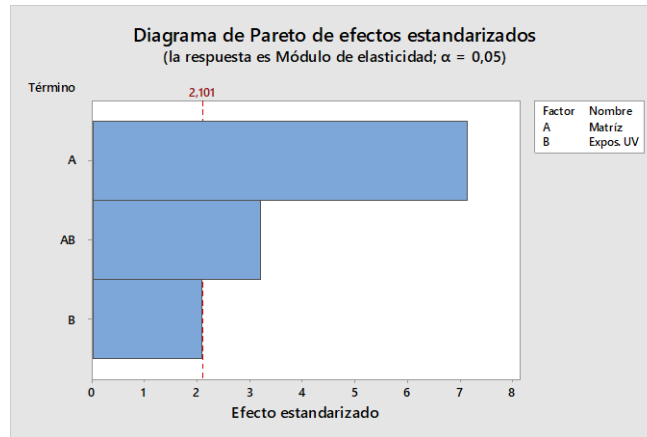


Figura 3.7: Diagrama de Pareto sobre los efectos para el módulo de elasticidad

Fuente: Minitab® Statistical Software

3.2.3.8 Efectos principales y la interacción

En el caso de los efectos principales del módulo de elasticidad se puede observar que para el caso de la matriz existe un cambio abrupto en la media del módulo de elasticidad, es decir, que tiene gran influencia en el cambio de nivel de resina poliéster a epoxi. Según la exposición el intervalo de 0 a 50 horas existe un cambio abrupto en la media del módulo de elasticidad entonces, es decir que tiene gran influencia sobre la propiedad mecánica, de 50 a 250 el cambio no es considerado abrupto en la media del módulo de elasticidad por lo que la influencia es menor sobre la propiedad mecánica. Por lo que la propiedad del módulo de elasticidad tiende a mejorar con las horas de exposición UV.

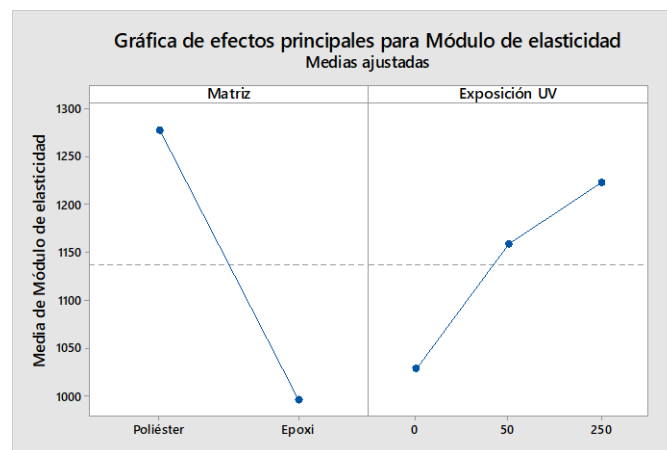


Figura 3.8: Gráfica de efectos principales para el módulo de elasticidad

Fuente: Minitab® Statistical Software

Para el caso de la interacción entre efectos entre la Matriz*Exposición UV como se muestra en la Figura 3.8 se determina que existe una similitud entre las pendientes de las horas de exposición UV con relación al tipo de matriz. Por lo tanto, no existe una interacción entre ellos.

Para el caso de la exposición UV a 0 horas la media del módulo de elasticidad disminuye abruptamente al cambiar de resina poliéster a epoxi, en la exposición de 50 horas tiende a bajar la media del módulo de elasticidad de forma leve y a 250 tiene un comportamiento similar a la exposición de 0 horas.

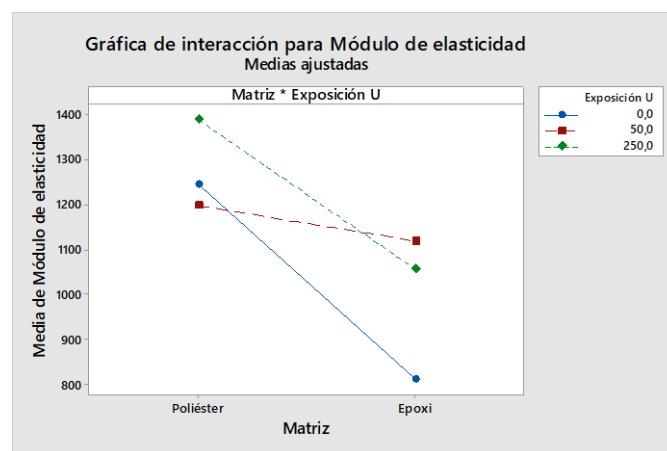


Figura 3.9: Gráfica de interacción para el módulo de elasticidad

Fuente: Minitab® Statistical Software

3.2.3.9 Respuestas predichas

Con el uso del diseño factorial general completo se tiene respuestas predichas del esfuerzo máximo a tracción que sirven para la aplicar la función deseabilidad como se muestra a continuación. Sabiendo que para tener el valor de las respuestas predichas se hace uso de la ecuación de regresión del modelo.

Tabla 3.29: Respuestas predichas del módulo de elasticidad

FACTORES		RESPUESTAS PREDICHAS
Matriz	Exposición UV (horas)	
Epoxi	0	728,0
Epoxi	50	1082,2
Epoxi	250	940,9
Poliéster	0	1296,2
Poliéster	50	1181,5
Poliéster	250	1419,7

Fuente: Autor

3.2.3.9.1 Deseabilidad individual

Se necesita especificar el valor superior $y_{m\acute{a}x}$ y el valor inferior $y_{m\acute{i}n}$ que corresponden a los valores máximos y mínimos de las respuestas observadas y predichas.

Tabla 3.30: Máximos y mínimos de las respuestas en el módulo de elasticidad

Respuestas observadas		Respuestas predichas	
Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
1599,45	625,49	1419,7	728,0

Fuente: Autor

Con estos valores se asigna a la constante r que forma parte de la función de la deseabilidad siendo este el valor 1, para lo cual en el caso del módulo de elasticidad se requiere “maximizar” con el uso de la ecuación de deseabilidad para maximizar y así obtener la deseabilidad individual.

Tabla 3.31: Deseabilidad individual del módulo de elasticidad

FACTORES		DESEABILIDAD
Matriz	Exposición UV (horas)	d_2
Epoxi	0	0,105289
Epoxi	50	0,468954
Epoxi	250	0,323879
Poliéster	0	0,688614
Poliéster	50	0,570914
Poliéster	250	0,815483

Fuente: Autor

Para los valores de deseabilidad aquellos que se acercan al valor de 1 son los que alcanzan resultados favorables para el análisis. Entonces, como se puede observar en la Tabla 3.32 mediante la deseabilidad individual d_2 se puede determinar la combinación óptima y que para este caso es la combinación **Poliéster a 250 horas**, como se muestra a continuación:

Tabla 3.32: Deseabilidad óptima para el módulo de elasticidad

Solución	Matriz	Exposición UV (horas)	Módulo Elasticidad Ajuste	Deseabilidad compuesta
1	Poliéster	250	1419,74	0,815483

Fuente: Autor

3.2.4 Análisis del porcentaje de elongación

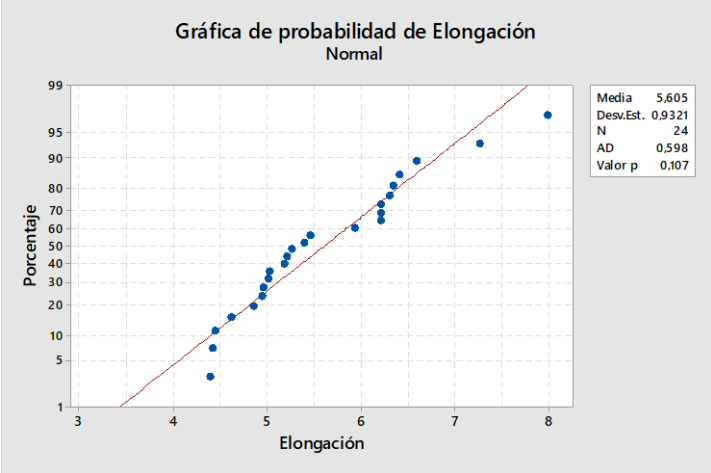
3.2.4.1 Verificación de supuestos

El porcentaje de elongación del material compuesto debe cumplir de igual forma con los supuestos paramétricos antes mencionados como son: normalidad, igualdad de varianza y la independencia de residuos.

Prueba de Normalidad

Los datos de la elongación deben cumplir con el primer supuesto paramétrico de la normalidad según Anderson Darling, con un valor de $-p$ para que se pueda aceptar o rechazar la hipótesis H_0 y con una significancia del 5%.

Tabla 3.33: Verificación del supuesto de normalidad para la elongación

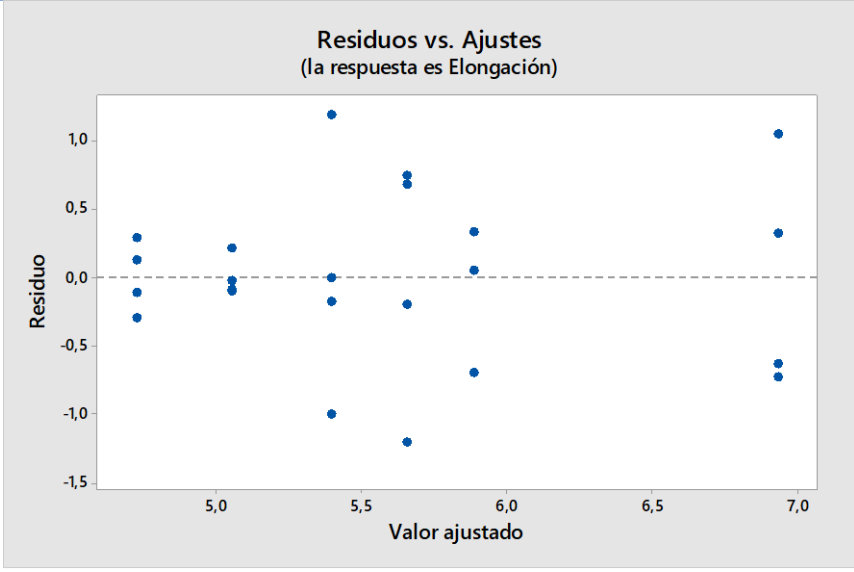
Normalidad			
Hipótesis	H_0 = “Los datos de la elongación del material compuesto reforzado con fibra de guadua posee una distribución normal”		
	H_1 = “Los datos de la elongación del material compuesto reforzado con fibra de guadua no posee una distribución normal”		
Significancia	$\alpha = 0.05$	N° de experimentos	30
<div style="border: 1px solid #ccc; padding: 10px; background-color: #f0f0f0;"> <p style="text-align: center;">Gráfica de probabilidad de Elongación Normal</p>  </div>			
Estadístico de prueba	Anderson-Darling = 0,598		Valor -p =0,107
Descripción	De acuerdo al valor de $-p = 0,107$ se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa.		
Conclusión	Con la significancia del 5% los datos de la elongación del material compuesto reforzado con fibra de guadua tienen una distribución normal en los datos del experimento.		

Fuente: Autor

Prueba de igualdad de varianza

Para los datos obtenidos en la elongación del material compuesto mediante un ensayo de tracción, se pretende analizar la prueba de igualdad de varianza mediante la gráfica de predichos vs residuos. Pero también nos podemos ayudar de la prueba de Levene para llevar a cabo este supuesto paramétrico; donde la finalidad es conocer el valor de $-p$. Esta prueba se realiza con una significancia del 5%, entonces el valor de $-p$ debe ser mayor a 0.05 para aceptar H_0 .

Tabla 3.34: Verificación del supuesto de normalidad para el módulo de elasticidad

Igualdad de varianza			
Hipótesis	$H_0 =$ “Los datos de la elongación del material compuesto reforzado con fibra de guadua poseen igual varianza”		
	$H_1 =$ “Los datos de la elongación del material compuesto reforzado con fibra de guadua no poseen igual varianza”		
Significancia	$\alpha = 0.05$	Nº de experimentos	30
			
Estadístico de prueba	Prueba de Levene: 1,85		Valor -p: 0,154
Descripción	De acuerdo al valor de $-p = 0,154$, de la <i>Prueba de Levene</i> se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa.		
Conclusión	Con la significancia del 5% los datos de la elongación del material compuesto reforzado con fibra de guadua tienen una igualdad en la varianza en los datos del experimento.		

Fuente: Autor

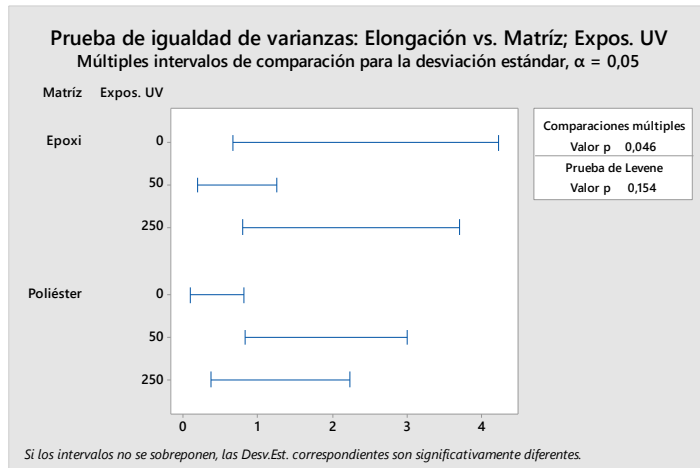


Figura 3.10: Prueba de igualdad de varianzas para el módulo de elasticidad

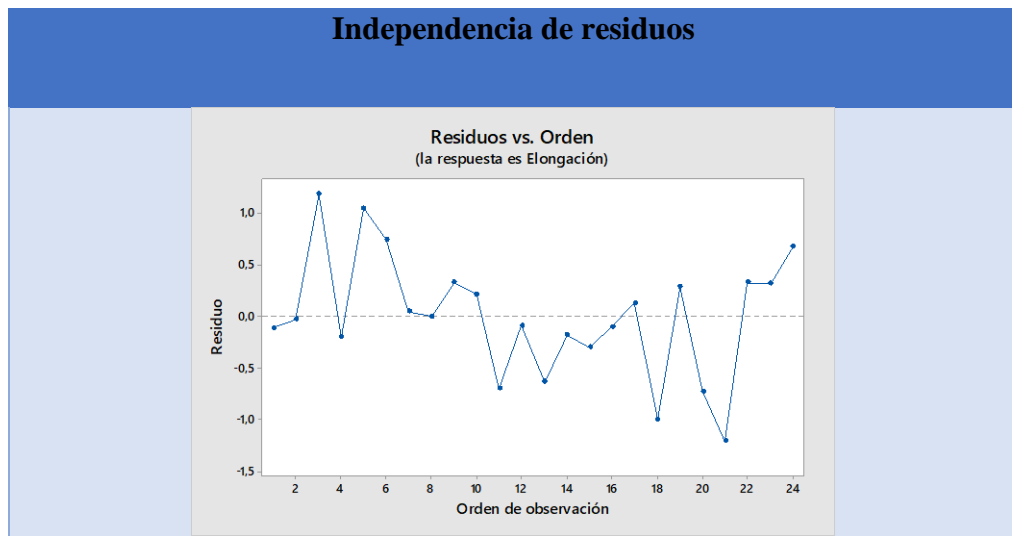
Fuente: Minitab® Statistical Software

Como se puede observar en la Figura 3.10 para el análisis de la elongación con respecto a la igualdad de varianza con una significancia de $\alpha = 0.05$, se determina que existe igualdad de varianza en los datos mediante la prueba de Levene, con valor de $p=0,154$. Entonces, la elongación cumple con el supuesto paramétrico asignado.

Prueba de Independencia de residuos

La elongación debe cumplir con el ultimo supuesto paramétrico y que se puede determinar con la gráfica Residuos vs. Orden de los datos que están siendo analizados, en la cual se debe observar la existencia de un patrón, tendencia o comportamiento de los datos de la elongación.

Tabla 3.35: Verificación del supuesto de independencia de residuos para la elongación



Descripción	Se debe identificar la existencia de un patrón de comportamiento de los datos para la elongación.
Conclusión	La independencia en los residuos de la elongación en el material compuesto reforzado con fibra de guadua no sigue un patrón o tendencia en los datos del experimento.

Fuente: Autor

3.2.4.2 Transformación de los datos

Cuando los datos no cumplen con alguno de los supuestos paramétricos se debe realizar una transformación a los datos, llamada transformación de Box-Cox. A continuación, se muestra una tabla resumen de los valores de $-p$ para la elongación.

Tabla 3.36: Resumen de resultados obtenidos en los supuestos paramétricos

Supuesto Paramétrico	Valor de -p
Prueba de Normalidad	0,107
Prueba de Igualdad de varianza	0,154
Independencia de Residuos	No existe patrón o tendencia

Fuente: Autor

3.2.4.3 Verificación de supuestos con los datos transformados

Para el análisis de la elongación en porcentaje del material compuesto con la aplicación de los supuestos paramétricos en los datos correspondientes, se concluye que no se necesita realizar la transformación de Box-Cox a los datos debido a que posee normalidad, igualdad de varianza e independencia de residuos.

3.2.4.4 Aplicación del diseño experimental

En el análisis de la elongación se determina el cumplimiento de los supuestos paramétricos, por ende, se aplica el diseño experimental conocido como “Diseño factorial general completo” de la forma $a \times b$ con “n” réplicas por cada combinación; con 5 réplicas por cada combinación.

3.2.4.5 Diseño experimental general completo

Primero se necesita conocer la tabla de ANOVA del correspondiente diseño factorial, donde se incluye los factores, la interacción entre ellos y los valores de $-p$ para cada factor.

Tabla 3.37: ANOVA del porcentaje de Elongación

Fuente de variabilidad	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Fo	Valor - p
Modelo	5	11,880	2,3759	5,28	0,004
Matriz	1	2,912	2,9121	6,47	0,020
Exposición UV	2	1,792	0,8960	1,99	0,166
Matriz*Exposición UV	2	7,176	3,5878	7,97	0,003
Error	18	8,101	0,4501		
Total	23				

Fuente: Autor

Los datos de la elongación de la Tabla 3.37 arrojan valores de $-p$ que permite determinar la existencia de diferencias significativas en los factores. Se llega a la conclusión que existe una diferencia significativa en la interacción entre los factores, entre “matriz*exposición UV ya que su valor se acerca al 0, siendo así el factor mayormente significativo. Por otro lado, el factor de matriz y exposición UV son considerados menos significativos al alejarse del valor 0.

3.2.4.6 Coeficiente de determinación

Tabla 3 38: Coeficiente de determinación para la elongación

Coeficiente de determinación	Coeficiente de determinación ajustado
59,46%	48,19%

Fuente: Autor

El valor coeficiente de determinación de la elongación del material compuesto debe cumplir con $R^2 \geq 70$ tal cual se está en la metodología del diseño experimental. Por lo tanto, en la Tabla 3.38 se observa que el coeficiente de determinación que es menor al 70%, con un valor porcentual de 59,46%.

3.2.4.7 Análisis final del diseño factorial

El diseño experimental general completo tiene un coeficiente de determinación del 59,46% que no supera el parámetro establecido en la metodología del diseño experimental. Por lo tanto, se procede al análisis con este valor porcentual del coeficiente de determinación.

En la Tabla 3.37 se observa cómo influyen los factores A, B y la interacción entre los factores, con respecto a la elongación donde A*B (matriz*exposición UV) tiene mayor

influencia ya que su valor de $-p$ se acerca más al 0 y B (exposición UV) y la matriz A (matriz) tienen menor efecto o influencia en dicha propiedad.

Entonces, el factor A se considera que es más significativo que los demás factores, el factor B y la interacción A*B no es significativa para la propiedad mecánica. Conociendo que si este valor de $-p$ se acerca al 0 es más significativa que las demás.

Ahora, por medio del diagrama de Pareto se puede verificar que la información obtenida con anterioridad sobre la elongación como lo muestra la Tabla 3.25 de ANOVA, se puede rechazar H_0 por la evidencia suficiente en los datos del experimento; entonces el factor de la interacción entre A*B que corresponde a la matriz*exposición UV, es aquella que influye mayormente a la elongación del material compuesto a diferencia de los otros factores.

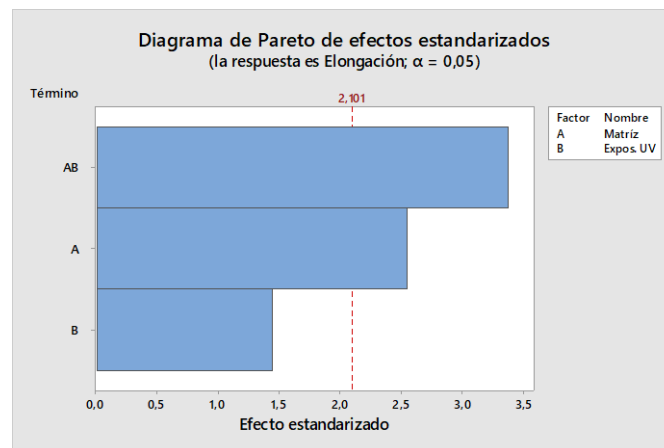


Figura 3.11: Diagrama de Pareto sobre los efectos para la elongación

Fuente: Minitab® Statistical Software

3.2.4.8 Efectos principales y la interacción

Para el análisis del efecto principal de un factor se identifica el comportamiento de la pendiente, ya que si existe diferencia notoria entre pendientes en las líneas se conoce que el factor tiene influencia en la respuesta. Y para la interacción entre ellos estas pendientes deben ser diferentes, pero si existe una similitud se considera que no hay interacción alguna.

En el caso de los efectos principales de la elongación, la pendiente de la matriz tiene un cambio abrupto en la media de la elongación, es decir, que tiene gran influencia en el cambio de nivel de resina poliéster a epoxi.

Con respecto a la exposición UV, para el intervalo de 0 a 50 horas existe un cambio abrupto en la media de la elongación, se evidencia que tiene gran influencia haciendo que el valor de la elongación suba, mientras que de 50 a 250 la pendiente de la media de la elongación tiende a disminuir abruptamente, por lo que influye menos haciendo que la elongación del material compuesto baje.

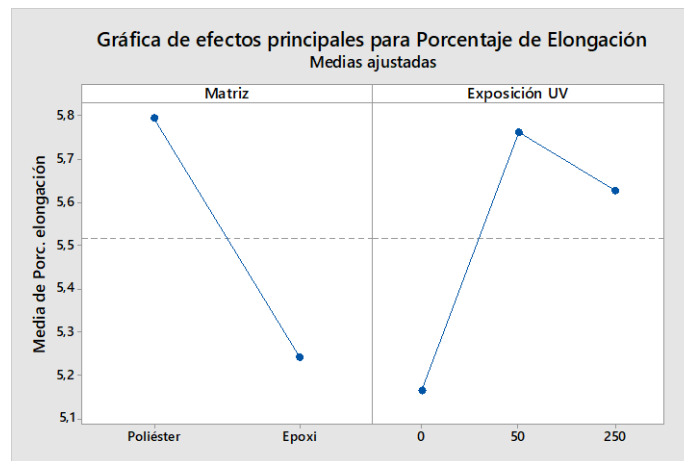


Figura 3.12: Gráfica de efectos principales para la elongación

Fuente: Minitab® Statistical Software

La interacción entre los efectos Matriz*Exposición UV se determina que existe diferencia entre las pendientes de las horas de exposición UV con relación al tipo de matriz. Por lo tanto, existe una interacción entre ellos.

El efecto del tipo de matriz tiene efecto positivo o negativo sobre la respuesta de manera que depende del nivel de exposición UV. Cuando el tipo de matriz cambia de poliéster a epoxi el valor de la media de la elongación, para 0 horas de exposición sube mientras que para 250 horas de exposición disminuye.

Pero para la exposición de 50 horas la media de elongación cambia abruptamente de forma que disminuye en el cambio de matriz poliéster a epoxi.

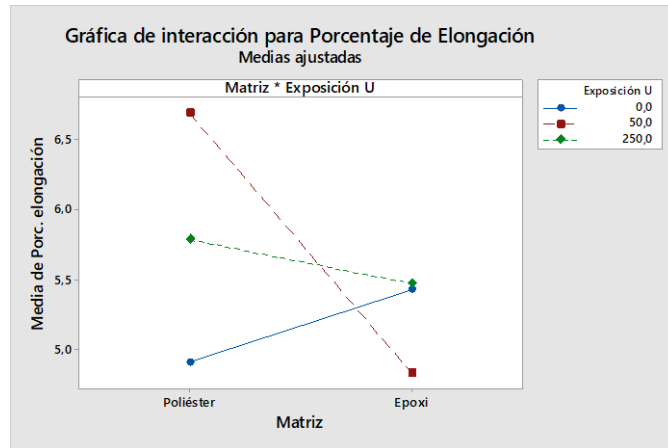


Figura 3.13: Gráfica de interacción para la elongación

Fuente: Minitab® Statistical Software

3.2.4.9 Respuestas predichas

Con el uso del diseño factorial general completo se tiene respuestas predichas de la elongación que sirven para la aplicar la función deseabilidad como se muestra a continuación. Sabiendo que para tener el valor de las respuestas predichas se hace uso de la ecuación de regresión del modelo.

Tabla 3.39: Respuestas predichas de la elongación

FACTORES		RESPUESTAS PREDICHAS
Matriz	Exposición UV (horas)	
Epoxi	0	5,393
Epoxi	50	4,723
Epoxi	250	5,655
Poliéster	0	5,048
Poliéster	50	6,930
Poliéster	250	5,883

Fuente: Autor

3.2.4.9.1 Deseabilidad individual

Se necesita especificar el valor superior $y_{m\acute{a}x}$ y el valor inferior $y_{m\acute{i}n}$ que corresponden a los valores máximos y mínimos de las respuestas observadas y predichas.

Tabla 3.40: Máximos y mínimos de las respuestas en la elongación

Respuestas observadas		Respuestas predichas	
Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
7,98	4,42	6,930	4,723

Fuente: Autor

Con estos valores se asigna a la constante r que forma parte de la función de la deseabilidad siendo este el valor 1, para lo cual en el caso de la elongación se requiere “minimizar” con el uso de la ecuación de deseabilidad para minimizar y así obtener la deseabilidad individual.

Tabla 3.41: Deseabilidad individual de la elongación

FACTORES		DESEABILIDAD
Matriz	Exposición UV (horas)	d_3
Epoxi	0	0,720752
Epoxi	50	0,907382
Epoxi	250	0,647632
Poliéster	0	0,816852
Poliéster	50	0,584262
Poliéster	250	0,584262

Fuente: Autor

Para los valores de deseabilidad aquellos que indican estar cerca del 1 son los que alcanzan resultados favorables para el análisis. Entonces, como se puede observar en la Tabla 3.41 mediante la deseabilidad individual se puede determinar la combinación óptima para la elongación, dando como resultado la combinación **Epoxi a 50 horas**, como se muestra a continuación:

Tabla 3.42: Deseabilidad óptima para la elongación

Solución	Matriz	Exposición UV (horas)	Porcentaje Elongación Ajuste	Deseabilidad compuesta
1	Epoxi	50	4,7225	0,907382

Fuente: Autor

3.3 Ensayos Mecánicos aplicados al material compuesto

Mediante en ensayo de envejecimiento artificial y posterior el ensayo a tracción se puede observar el comportamiento que tiene la resistencia a la tracción, cuando este está estratificado manualmente con resina poliéster y resina epoxi.

Para el primer caso donde el material compuesto RE+FG tiene como matriz epoxi, tiene un comportamiento poco ascendente donde los valores fluctúan de un periodo de tiempo a otro. Para el caso de 0 a 50 horas de exposición UV la resistencia a la tracción oscila entre 30-60 MPa y a 250 horas llega a un valor pico de 71,79 MPa y vuelve a bajar notablemente. Perdiendo progresivamente la resistencia del material compuesto.

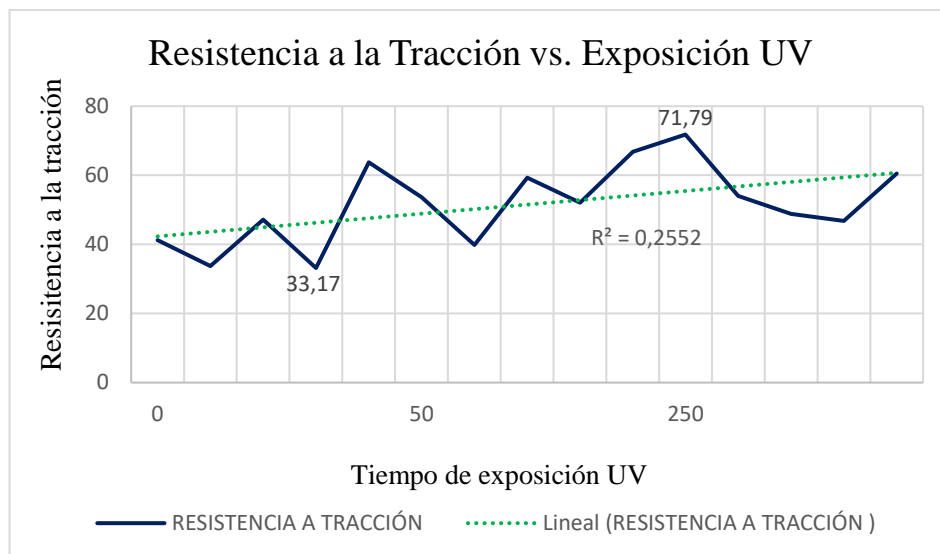


Figura 3.14: Comportamiento de RE+FG a exposición UV
Fuente: Autor

Para el caso donde el material compuesto RP+FG tiene como matriz poliéster, tiene un comportamiento ascendente donde los valores tienen a subir paulatinamente de un periodo de tiempo a otro. De 0 a 50 horas de exposición UV la resistencia a la tracción oscila entre 45-75 MPa y a 50 horas llega a un valor pico de 86,30 MPa y a 250 horas un valor pico de 84,63 MPa por lo que se observa en la gráfica que el material compuesto tiene mejor comportamiento con resina poliéster.

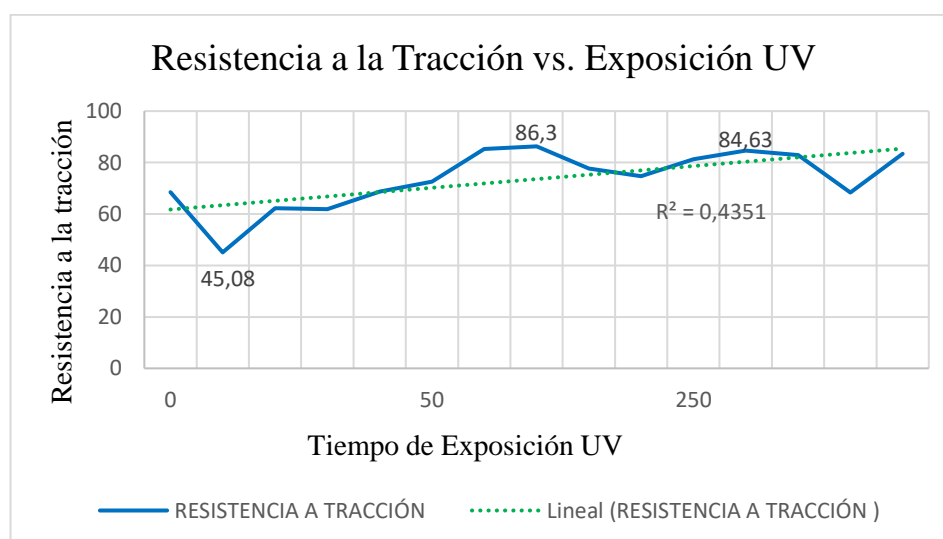


Figura 3.15: Comportamiento de RP+FG a exposición UV
Fuente: Autor

Mediante la gráfica Elongación vs. Resistencia a la tracción se puede apreciar el comportamiento del material compuesto, para el caso de RE+FG la elongación tiene un comportamiento descendente donde los valores fluctúan de un periodo de tiempo a otro. Para el caso de 0 a 50 horas de exposición UV la elongación parte de 6,58% hasta 4,42%, mientras que de 50 a 250 horas tiende a subir hasta llega a un valor de 6,33%. Por lo tanto, para este caso la elongación se mantiene en un rango estable en función de las horas de exposición UV.

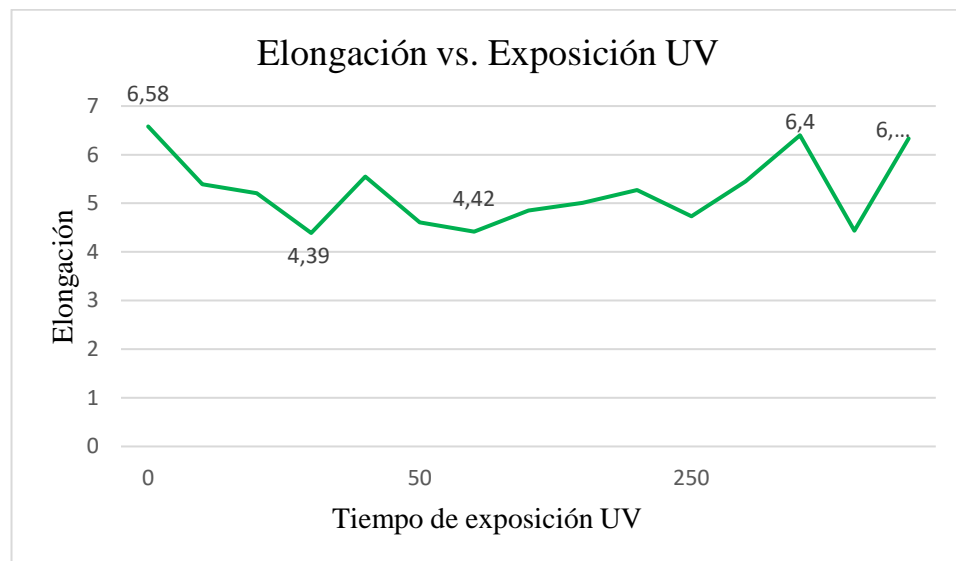


Figura 3.16: Comportamiento de RE+FG de la elongación
Fuente: Autor

Por medio de la gráfica Elongación vs. Resistencia a la tracción para el caso de RP+FG sometido a exposición UV, la elongación tiene un comportamiento ascendente donde los valores varían de un periodo de tiempo a otro. De 0 a 50 horas de exposición UV la elongación parte de 5,02 hasta 5,75%, mientras que de 50 a 250 horas tiende a subir hasta llega a un valor pico de 7,98% y baja hasta 6,21%.

Por lo tanto, la diferencia entre una resina y otra en cuanto al comportamiento de la elongación es notoria, ya que la elongación tiene tendencia a subir con las horas de exposición UV.

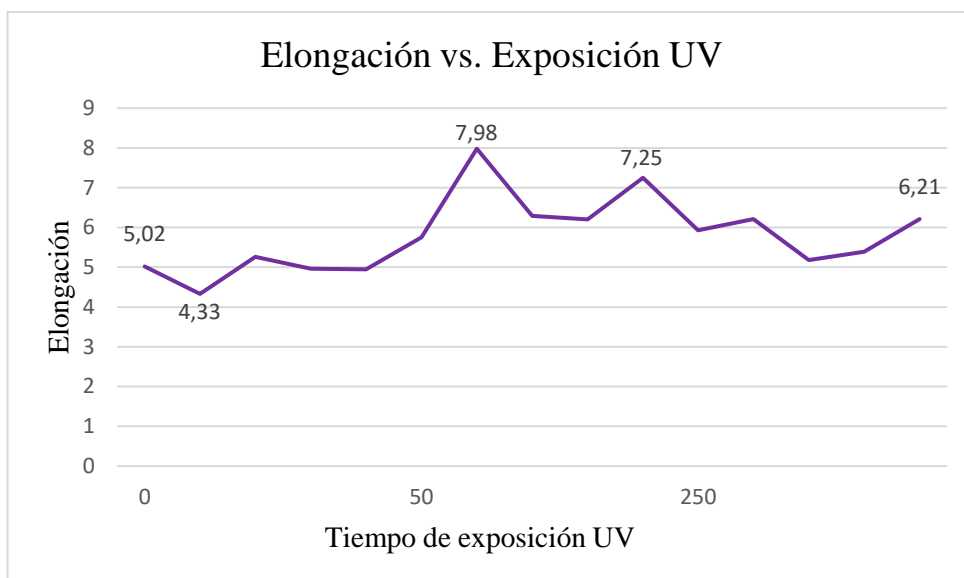


Figura 3.17: Comportamiento de RP+FG de la elongación
Fuente: Autor

3.3.1 Pérdida de peso del material compuesto

Al realizarse el ensayo UV el material compuesto pierde peso durante el envejecimiento artificial como se muestra a continuación:

Tabla 3.43: Peso inicial y final de probetas poliéster

Resina poliéster			
Número	Código	Peso inicial (g)	Peso final (g)
Referencia	0h-RP-FG-00	25,2	24,7
1	50h-RP-FG-01	22,4	21,9
2	50h-RP-FG-02	26,9	26,4
3	50h-RP-FG-03	24,1	23,6
4	50h-RP-FG-04	24,2	23,7
5	50h-RP-FG-05	25,0	24,4
6	250h-RP-FG-06	26,8	26,4
7	250h-RP-FG-07	24,2	23,8
8	250h-RP-FG-08	24,8	24,4
9	250h-RP-FG-09	24,6	24,1
10	250h-RP-FG-10	26,0	25,5

Fuente: Autor

Como se puede observar el material pierde entre 0.4, 0.5 y 0.6 gramos en cada probeta lo que representa aproximadamente el 2% de material compuesto. Lo que significa que existe pérdida de material, pero mínimo.

Tabla 3.44: Peso inicial y final de probetas poliéster

Resina poliéster		
Número	Código	Δ PesoRP
1	50h-RP-FG-01	0,5
2	50h-RP-FG-02	0,5
3	50h-RP-FG-03	0,5
4	50h-RP-FG-04	0,5
5	50h-RP-FG-05	0,6
6	250h-RP-FG-06	0,4
7	250h-RP-FG-07	0,4
8	250h-RP-FG-08	0,4
9	250h-RP-FG-09	0,5
10	250h-RP-FG-10	0,5

Fuente: Autor

Tabla 3.45: Peso inicial y final de probetas poliéster

Resina epoxi			
Número	Código	Peso inicial (g)	Peso final (g)
Referencia	0h-RE-FG-00	29,2	28,6
1	50h-RE-FG-01	27,7	27,2
2	50h-RE-FG-02	27,7	27,1
3	50h-RE-FG-03	28,6	28,0
4	50h-RE-FG-04	21,5	21,0
5	50h-RE-FG-05	23,2	22,8
6	250h-RE-FG-06	21,3	21,0
7	250h-RE-FG-07	28,8	28,4
8	250h-RE-FG-08	27,8	27,5
9	250h-RE-FG-09	30,9	30,4
10	250h-RE-FG-10	24,2	23,9

Fuente: Autor

Como se puede observar el material pierde entre 0.3, 0.4, 0.5 y 0.6 gramos en cada probeta lo que representa aproximadamente el 1% - 2% de material compuesto. Entonces, la pérdida pérdida de material es muy baja.

Tabla 3.46: Peso inicial y final de probetas poliéster

Resina epoxi		
Número	Código	Δ PesoRE
1	50h-RE-FG-01	0,5

2	50h-RE-FG-02	0,6
3	50h-RE-FG-03	0,6
4	50h-RE-FG-04	0,5
5	50h-RE-FG-05	0,4
6	250h-RE-FG-06	0,3
7	250h-RE-FG-07	0,4
8	250h-RE-FG-08	0,3
9	250h-RE-FG-09	0,5
10	250h-RE-FG-10	0,3

Fuente: Autor

3.4 Verificación de la hipótesis

Una vez finalizado el análisis de las propiedades mecánicas del material compuesto, se procede a la verificación de la hipótesis “Los rayos UV tienen a influir en la resistencia a la tracción del compuesto de matriz polimérica reforzada con fibra de guadua”.

Por lo que se procede al análisis del valor p de la Tabla de ANOVA de la resistencia a la tracción, módulo de elasticidad y elongación del material compuesto, con la finalidad de hacer un contraste entre la significancia calculada y la predefinida. Y poder verificar la hipótesis.

3.4.1 Tabla de ANOVA para la resistencia a tracción

El ANOVA de la resistencia a la tracción del material compuesto se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 3.47: ANOVA del Esfuerzo máximo de tracción

Fuente de variabilidad	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Fo	Valor - p
Modelo	5	6232,54	1246,51	3782	0,000
Matriz	1	5020,80	5020,80	152,33	0,000
Exposición UV	2	1193,35	596,67	18,10	0,000
Matriz*Exposición UV	2	18,39	9,20	0,28	0,760
Error	18	593,28	32,96		
Total	23				

Fuente: Autor

3.4.1.1 Análisis de la tabla de ANOVA de la resistencia a la tracción

Para la verificación de la hipótesis de la resistencia a la tracción se toma en cuenta el valor p del modelo. Por ende, se pretende probar la siguiente hipótesis.

H_0 = “Los rayos UV no influyen en la resistencia a la tracción del material compuesto de matriz polimérica reforzada con fibra de guadua”

H_1 = “Los rayos UV influyen en la resistencia a la tracción del material compuesto de matriz polimérica reforzada con fibra de guadua”

Tabla 3.48: ANOVA del Esfuerzo máximo de tracción con p

Fuente de variabilidad	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Fo	Valor - p
Modelo	5	6232,54	1246,51	3782	0,000
Matriz	1	5020,80	5020,80	152,33	0,000
Exposición UV	2	1193,35	596,67	18,10	0,000
Matriz*Exposición UV	2	18,39	9,20	0,28	0,760
Error	18	593,28	32,96		
Total	23				

Fuente: Autor

Como se puede ver en la tabla anterior, de acuerdo al valor de p del modelo se rechaza H_0 , donde el valor de $-p$ corresponde a 0,00 lo que significa que es menor a 0,05. Entonces, los rayos UV influyen significativamente en la resistencia a la tracción.

3.4.2 Tabla de ANOVA para el módulo de elasticidad

El ANOVA del módulo de elasticidad del material compuesto se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 3.49: ANOVA del módulo de elasticidad

Fuente de variabilidad	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Fo	Valor - p
Modelo	5	1243772	248754	14,47	0,000
Matriz	1	875915	875915	50,95	0,000
Exposición UV	2	119991	59995	3,49	0,052
Matriz*Exposición UV	2	247867	123933	7,21	0,005
Error	18	309464	17192		
Total	23				

Fuente: Autor

3.4.2.1 Análisis de la tabla de ANOVA del módulo de elasticidad

Para la verificación de la hipótesis del módulo de elasticidad se toma en cuenta el valor p del modelo. Por ende, se pretende probar la siguiente hipótesis.

H_0 = “Los rayos UV no influyen en el módulo de elasticidad del material compuesto de matriz polimérica reforzada con fibra de guadua”

H_1 = “Los rayos UV influyen en el módulo de elasticidad del material compuesto de matriz polimérica reforzada con fibra de guadua”

Tabla 3.50: ANOVA del módulo de elasticidad con p

Fuente de variabilidad	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Fo	Valor - p
Modelo	5	1243772	248754	14,47	0,000
Matriz	1	875915	875915	50,95	0,000
Exposición UV	2	119991	59995	3,49	0,052
Matriz*Exposición UV	2	247867	123933	7,21	0,005
Error	18	309464	17192		
Total	23				

Fuente: Autor

Como se puede ver en la tabla anterior, de acuerdo al valor de p del modelo se rechaza H_0 , donde el valor de $-p$ corresponde a 0,000 lo que significa que es menor a 0,05. Entonces, se concluye que los rayos UV influyen significativamente en el módulo de elasticidad del material.

3.4.3 Tabla de ANOVA para la elongación

El ANOVA de la elongación del material compuesto se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 3 51: ANOVA del porcentaje de Elongación

Fuente de variabilidad	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Fo	Valor - p
Modelo	5	11,880	2,3759	5,28	0,004
Matriz	1	2,912	2,9121	6,47	0,020
Exposición UV	2	1,792	0,8960	1,99	0,166
Matriz*Exposición UV	2	7,176	3,5878	7,97	0,003
Error	18	8,101	0,4501		
Total	23				

Fuente: Autor

3.4.3.1 Análisis de la tabla de ANOVA de la elongación

Para la verificación de la hipótesis de la resistencia a la tracción se toma en cuenta el valor p del modelo. Por ende, se pretende probar la siguiente hipótesis.

H_0 = “Los rayos UV no influyen en la resistencia a la tracción del material compuesto de matriz polimérica reforzada con fibra de guadua”

H_1 = “Los rayos UV influyen en la resistencia a la tracción del material compuesto de matriz polimérica reforzada con fibra de guadua”

Tabla 3.52: ANOVA del porcentaje de Elongación con p

Fuente de variabilidad	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Fo	Valor - p
Modelo	5	11,880	2,3759	5,28	0,004
Matriz	1	2,912	2,9121	6,47	0,020
Exposición UV	2	1,792	0,8960	1,99	0,166
Matriz*Exposición UV	2	7,176	3,5878	7,97	0,003
Error	18	8,101	0,4501		
Total	23				

Fuente: Autor

Como se puede ver en la tabla anterior, de acuerdo al valor de p del modelo se rechaza H_0 , donde el valor de $-p$ corresponde a 0,004 lo que significa que es menor a 0,05. Entonces, se concluye que los rayos UV influyen en la elongación del material compuesto reforzado con fibra de guadua.

Tabla 3.53: Resumen de la influencia de los rayos UV en el material

Comportamiento del material compuesto			
Propiedades mecánicas	Valor de $-p$	Conclusión	Comportamiento
Resistencia a la tracción	0,000	Los rayos UV tienen gran influencia sobre la resistencia	Al ser expuesto a rayos UV, la resistencia a la tracción mejora al aumentar las horas de exposición.

Módulo de elasticidad	0,000	Los rayos UV tienen gran influencia sobre el módulo de elasticidad	Esta propiedad se ve beneficiada por la exposición a rayos UV ya que los valores suben notablemente.
Elongación	0,004	Los rayos UV influyen sobre la elongación del material compuesto	El envejecimiento artificial hace que la elongación tienda a ser inestable y tomar valores entre 4 -7% de deformación.

Fuente: Autor

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Los materiales compuestos o conocidos también como composites están formados por matriz polimérica como en este caso con refuerzo de fibra de Guadua, poseen un comportamiento anisotrópico que influye directamente en la rigidez de la matriz-fibra a una dirección determinada. Por ende, los compites poseen mayor resistencia mecánica cuando está en la misma dirección de las fibras.
- El modelo experimental DOE que se ha aplicado al análisis de la influencia de los rayos UV en la resistencia a la tracción del material compuesto reforzado con fibra de guadua corresponde al “Diseño factorial general completo 2x3” que satisface la necesidad de los datos. Con 5 réplicas por cada combinación con un total de 30 probetas que se van a ensayar
- Para la elaboración de las probetas se debe tomar en cuenta que la mejor orientación es a 0° y la dirección de la fibra debe ser paralela a la dirección que se va aplicar la fuerza, en el ensayo de tracción según normativo ASTM D3039.
- En un composite la utilidad de la fibra de Guadua interviene directamente en las buenas propiedades mecánicas, ventaja en el embebido, moldeo y extracción de ser necesario. Por ende, se toma en cuenta algunos factores como: diámetro, orientación, longitud, masa y cantidad de fibra. Que la hace ideal para aplicaciones donde se requiere rigidez y resistencia.
- El material compuesto de matriz polimérica reforzada con fibra de Guadua posee una fracción volumétrica de 70% matriz y 30% refuerzo para el compuesto en base resina poliéster y resina epoxi, basada en investigaciones previas. Con estratificación manual donde se logra una buena compactación entre la matriz y refuerzo con buena apariencia en la superficie.
- La fibra de Guadua posterior a la manufactura se obtiene fibras largas que necesitan ser tejidas, ya que ayudan a que los esfuerzos se distribuyan de mejor manera o uniformemente. Por lo tanto, el tipo de tejido que se aplica a esta fibra natural es conocido como tafetán.
- La fabricación o estratificación de las probetas influyen directamente en los valores de la resistencia a la tracción del material compuesto, para obtener

valores que oscilan entre 30-80 MPa ya que fueron curadas al ambiente. Por otro lado, cuando las probetas son curadas al horno estos valores tienden a ser más elevados.

- El coeficiente de determinación debe ser mayor al 70% en un análisis estadístico, ya que asegura que la exactitud de los datos es mejor, caso contrario al ser menor este valor también se lo considera dentro del análisis; debido a que el diseño factorial general completo brinda un ajuste alto en comparación con otros modelos de análisis.
- Dentro del análisis estadístico la utilidad que se obtiene al usar la gráfica de interacción entre los factores es facilitar la selección de la condición en que la debe operar el proceso y de esta forma mejorar su desempeño. Es decir, la mejor opción de funcionalidad.
- La resistencia a la tracción máxima alcanza un valor de 84,63 MPa con un módulo de elasticidad de 1363,03 MPa y con una elongación de 6,21%. Estos valores se han obtenido mediante estratificación manual con curado al ambiente, pero con matriz de resina poliéster.
- La resistencia a la tracción máxima alcanza un valor de 71,79 MPa con un módulo de elasticidad de 1518,47 MPa y con una elongación de 4,73%. Estos valores se han obtenido mediante estratificación manual con curado al ambiente, con matriz de resina epoxi.
- El comportamiento en general del material compuesto se ve influenciado en gran parte por el tipo de matriz como se puede observar en las gráficas de efectos principales y la interacción de los factores, por lo que se logra mejor comportamiento con la resina poliéster.
- Por medio de la función de deseabilidad se conoció cuál es la mejor combinación que favorece al material compuesto reforzado con fibra de Guadua, ya que cuando el material compuesto es sometido a exposición UV durante 250 horas; este tiene un mejor comportamiento en cuanto a la resistencia a la tracción.
- Al ser expuesto a rayos UV según normativa ISO 4892, mediante envejecimiento artificial por medio de la cámara con arco de Xenón se ha logrado mejorar la propiedad mecánica; pero sufre una pérdida en el peso debido al ensayo UV que oscila entre el 1-2% considerado un valor mínimo.

4.2 Recomendaciones

- Se debe considerar el tiempo de manufactura del tejido de fibra de Guadua ya que este conlleva mucho tiempo, debido a la forma tradicional de ser extraído. Por lo cual, es importante implementar máquinas o equipos que permitan acortar el tiempo de transformación de dicha materia prima, desde su corte hasta llegar al producto final.
- Las propiedades mecánicas de la fibra de Guadua dependen desde el corte del culmo de dicha fibra, transporte, tratamiento, preservación y extracción de la fibra. El corte debe ser realizado cuando el culmo ha alcanzado su madurez de 4-6 años y para lograr su preservación por medio del curado natural o tratamiento químico por inmersión.
- Para emplear la resina epóxica se debe tomar en cuenta que la misma debe mantenerse a una temperatura ambiente para no provocar que se encuentre gélida y grumosa.
- Durante la fabricación de las probetas es necesario colocar un rectángulo de 25x55 mm de lija grano 50 en los extremos y por ambos lados, con la finalidad de evitar la adherencia de las mordazas en las probetas a ensayar. Para ello, es también necesario cubrir los bordes con bicarbonato de sodio para así obtener los valores deseados en el ensayo a tracción.
- Si se requiere mejorar la resistencia a la tracción del material compuesto reforzado con fibra de guadua se recomienda realizar un curado al horno de las probetas, mismas que posteriormente se va a ensayar. Por lo tanto, se obtendrá valores mayores en la resistencia y otras propiedades mecánicas.
- Las propiedades mecánicas del material compuesto mejoran notablemente cuando más capas del tejido son apiladas para conformar las probetas embebidas en un tipo de resina (termoestable o termoplástica).
- Para mejorar el ajuste de los datos del trabajo experimental se puede realizar más muestras por cada combinación y mejorar la fracción volumétrica del material compuesto para obtener valores uniformes de la resistencia a la tracción.
- Es necesario realizar un estudio de flamabilidad o la adición de un retardante al material compuesto que debido sus propiedades mecánicas se destina para uso de interiores y exteriores, en el área automotriz, aéreo o aeroespacial. Por

tanto, con la información recabada en el presente trabajo experimental queda asentada como una base para posteriores investigaciones.

- Debido a la existencia de información donde los materiales compuestos son analizados frente a un choque, es necesario someter al material compuesto reforzado con fibra de Guadua a un ensayo de impacto para conocer su comportamiento frente a este fenómeno que sucede en la vida cotidiana.
- Para lograr mayor factibilidad en un trabajo experimental es necesario contemplar los costos que este implica, gracias a los datos obtenidos se puede seleccionar como una mejor opción la matriz de resina poliéster ya que proporciona mejor comportamiento en el material y tiene bajo costo de manufactura además de ser biodegradable.

4.3 Referencias bibliográficas

- [1] L. E. Moreno Montoya, L. R. Osorio Serna, and E. E. Trujillo De los Ríos, “Estudio de las propiedades mecánicas de haces de fibra de Guadua angustifolia,” 2011.
- [2] K. Lázaro, H. Gonzáles, and A. J. Cardenas, “Propiedades mecánicas del material compuesto elaborado con bambú (Guadua angustifolia Kunth) y polipropileno Mechanical properties of the composite material made with bamboo (Guadua angustifolia Kunth) and polypropylene,” *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, vol. 7, no. 38, pp. 95–110, 2016.
- [3] M. L. Sánchez, W. A. Aperador, and G. Capote, “Influence of the delignification process on the properties of panels made with Guadua fibers and plant resin,” 2018.
- [4] M. P. Lucena, A. Suarez, and I. Zamudio, “DESARROLLO DE UN MATERIAL COMPUESTO A BASE DE FIBRAS DE BAMBU PARA APLICACIONES AERONÁUTICAS,” 2009.
- [5] Pablo Daniel Mazón, “Caracterización mecánica del material híbrido de matriz epóxica reforzada con fibra de vidrio y tejido de fibras naturales de caña de guadua y algodón para la determinación de propiedades mecánicas en aplicaciones industriales,” 2018.
- [6] L. E. Moreno M., L. R. Osorio Serna, and E. E. Trujillo De Los Ríos, “Estudio de las propiedades mecánicas de haces de fibra de Guadua angustifolia,” 2006.
- [7] U. T. de Pereira, “Estudio de las características físicas de haces de fibra de Guadua Angustifolia,” 2007.
- [8] J. J. Ortega, M. Blanco, and Á. Cuevas, “Acción de las radiaciones U.V. sobre el poli (cloruro de vinilo) flexible,” 1984.
- [9] I. Tena *et al.*, “Monitorizado del curado ultravioleta (UV) de un compuesto poliéster reforzado con fibra de vidrio.”

- [10] L. D. C. Mullo, “Análisis del proceso de ranurado del material compuesto dematriz polimérica con resina epoxi y poliéster reforzado con cascarilla de arroz,” 2019.
- [11] M. N. y B. Bhushan, *Green Energy and Technology*. 2012.
- [12] L. E. V. Jaramillo, “Obtención experimental de un material biocompuesto a base de una matriz polimérica y reforzada con fibras naturales de guadúa angustifolia proveniente de Ecuador,” 2013.
- [13] V. S. Victor Hugo Guerrero, Carla Valdivieso, *Nuevos materiales aplicaciones estructurales e industriales*. .
- [14] M. C. Ruano and J. C. Ruano, “Notas sobre Mecánica de Materiales Compuestos,” 2015.
- [15] S. P. Martínez, “Materialescompuestos.” [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/ALEXANDERG45/materialescompuestos>. [Acceso: 29-Aug-2019].
- [16] I. Mecánica, “Materiales Compuestos.” [En línea]. Available: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn114.html>. [Acceso: 29-Aug-2019].
- [17] L. Juan, M. Kirschenbaum, and C. Crowe, “Materiales y materias primas.”
- [18] F. Herrera Castañeda, “Ciencia de los polímeros Manufactura de termoplásticos y termoestables,” in *OpenCourseWare de la Universidad Anáhuac México*, 2014.
- [19] J. Cuartero and A. Miravete, “Ensayo AMOCO de “Blistering” sobre laminados protegidos con gelcoat,” *Mater. Compuestos 1*, pp. 43–50, 2003.
- [20] C. materiales compuestos 1, “Materiales compuestos fabricación,” 1965.
- [21] J. W. R. Colorado, “Caracterización de un materia compuesto matriz termoestable reforzado con fibra de guadua,” 2017.
- [22] M. L. Gimena, “Proyecto productivo ecológico de Bambú,” in *lSergioguillen.Com*, no. 710, 2014, pp. 1–119.

- [23] CAMICON and MIDUVI, “Norma Ecuatoriana de la Construcción - NEC-SE-Guadua - Estructuras de Guadua,” 2017.
- [24] P. Arquinauta, *Plástico reforzado con fibra de Guadua y construcción flotante*, no. September. 2018.
- [25] Lucia Aguilar, “Manual para la Construcción con Bambú,” p. 49, 2017.
- [26] G. Gonzalez Sprinberg and C. Rabin Lema, *Para entender las radiaciones Energía nuclear, medicina, industria*, vol. 53, no. 9. 2011.
- [27] Y. Cengel, *Transferencia de Calor y Masa*. .
- [28] C. D. Aguirre, “Efectos de la radiación UV en presencia de la humedad y temperatura en la guauda,” 2018.
- [29] M. L. V. Andrade, “Envejecimiento artificial de película delgada de Polietileno de alta densidad virgen por radiación ultravioleta de lámparas de Xenón,” 2013.
- [30] A. F. Ribadeneira, “Protección anticorrosiva del acero mediante el uso de pinturas alquídicas con pigmento de óxido de Hierro en atmósferas urbana y subtropical,” 2008.
- [31] Q-LAB, “Cámara de envejecimiento artificial - Q-SUN Xe-3 || Q-Lab || Q-Lab.” [En línea]. Disponible: <https://www.q-lab.com/es-es/products/q-sun-xenon-arc-test-chambers/q-sun-xe-3>. [Acceso: 28-Jun-2019].
- [32] R. Mott, *Resistencia de Materiales*. .
- [33] Ciencia y sociedad República Dominicana, “Materiales compuestos reforzados con fibra,” 2007.
- [34] H. Gutiérrez and R. Salazar, *Elementos de inferencia estadística: experimentos con uno y dos tratamientos*. 2008.
- [35] H. D. Sánchez Erazo, “Análisis estadístico de las propiedades mecánicas a tracción, flexión e impacto del material híbrido con fibra de vidrio y abacá en matriz polimérica en resina poliéster, para determinar la mejor configuración,” 2019.

- [36] Minitab, “Estadístico de Anderson-Darling .” [En línea]. Disponible: https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/capability-analysis/supporting-topics/distributions-and-transformations-for-nonnormal-data/anderson-darling-and-distribution-fit/?fbclid=IwAR0J2tnxs3XDgZrvk2Vng86HzhPbPQihQXfT_oJS7c8t96Ab3xFMfMSUSng. [Acceso: 26-Nov-2019].
- [37] Q-LAB PRODUCTS, “Cámaras de ensayos de envejecimiento artificial - Q-SUN Xe-1 || Q-Lab || Q-Lab.” [En línea]. Disponible: <https://www.q-lab.com/es-es/products/q-sun-xenon-arc-test-chambers/q-sun-xe-1>. [Acceso: 28-Jun-2019].
- [38] D. Fernando and R. Duque, “Estudio de la degradación de policarbonato y polipropileno en las condiciones atmosféricas de la ciudad de Emeraldas.”
- [39] A. D3039, “Método de prueba estándar para las propiedades de tracción de los materiales compuestos de matriz polimérica,” 1995.
- [40] “Software : Minitab 19.” [En línea]. Disponible: <https://www.addlink.es/productos/minitab-statistical-software#descargas>. [Acceso: 21-Oct-2019].
- [41] EPN, “Ensayo de exposición UV,” 2019.

ANEXOS



CPGZQ'C

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA (DECAB)
CENTRO DE INVESTIGACIONES APLICADAS A POLÍMEROS
C I A P



Campus Politécnico José Rubén Orellana Ricaurte. Direc.: Ladrón de Guevara E11-253
Personas de Contacto: Tlga. Elizabeth Venegas
Troncal: 2976300 ext. 2122, 2120, 2121. E-mail: elisabeth.venegas@epn.edu.ec / lizvenegas4@yahoo.es
Quito- Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS

ORDEN DC-OT0041-2019

Proforma: DC-P0658-2019

Empresa solicitante: Marisol Belén Guamaní

Dirección: Fundadores del Cantón y Flores

Fecha de recepción de muestra: 29-05-2019

Fecha de entrega de resultados: 24-06-2019

Análisis solicitados: 250 horas de Exposición en cámara de xenón
Elaboración de informe por cada ensayo
Revisión por cada muestra

Importante: Los resultados que constan en el presente informe conciernen exclusivamente a las muestras, artículos o materiales entregados al CIAP y no se extienden a lotes de producción o marcas. La reproducción total o parcial de este informe se la hará previa la autorización expresa del DECAB de la E.P.N.



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA (DECAB)
CENTRO DE INVESTIGACIONES APLICADAS A POLÍMEROS

C I A P

Campus Politécnico José Rubén Orellana Ricaurte. Direc.: Ladrón de Guevara E11-253

Personas de Contacto: Tlga. Elizabeth Venegas

Troncal: 2976300 ext. 2122, 2120, 2121. E-mail: elisabeth.venegas@epn.edu.ec / lizvenegas4@yahoo.es

Quito- Ecuador



INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS O TRABAJO

ORDEN: DC-OT0041-2019

IDENTIFICACIÓN DE LA(S) MUESTRA(S) Y SERVICIO (S)

No. muestra	ID Muestra	Descripción de muestra	Servicio/Analito	Laboratorio
1	DC-MU5070	FIBRA DE GUADUA CON RESINA POLIESTER	250 horas exposición en cámara de xenón	CIAP
1	DC-MU5070	FIBRA DE GUADUA CON RESINA POLIESTER	Revisión por cada muestra	CIAP
1	DC-MU5070	FIBRA DE GUADUA CON RESINA POLIESTER	Elaboración de informe por cada ensayo	CIAP
1	DC-MU5071	FIBRA DE GUADUA CON RESINA EPOXI	300 horas exposición en cámara de xenón	CIAP
1	DC-MU5071	FIBRA DE GUADUA CON RESINA EPOXI	Revisión por cada muestra	CIAP
1	DC-MU5071	FIBRA DE GUADUA CON RESINA EPOXI	Elaboración de informe por cada ensayo	CIAP

1. Ensayo de exposición en cámara de arco de xenón

Antecedentes:

Sobre las muestras que se presentan a continuación, el cliente solicitó realizar ensayos de degradación acelerada en cámara de arco de xenón (para simular el ataque de la radiación UV) con un ciclo total de 50 y 250 horas de ensayo, de acuerdo con la norma ASTM G155 2013 "Standard Practice for Operating Xenon Arc Light Apparatus for Exposure of Non-Metallic Materials".



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA (DECAB)
CENTRO DE INVESTIGACIONES APLICADAS A POLÍMEROS
C I A P

Campus Politécnico José Rubén Orellana Ricaurte. Direc.: Ladrón de Guevara E11-253
Personas de Contacto: Tlga. Elizabeth Venegas
Troncal: 2976300 ext. 2122, 2120, 2121. E-mail: elisabeth.venegas@epn.edu.ec / lizvenegas4@yahoo.es
Quito- Ecuador



El cliente hizo la entrega de dos muestras. Las mismas que se detallan a continuación:

Muestra # 1: FIBRA DE GUADUA CON RESINA POLIESTER

Muestra #2: FIBRA DE GUADUA CON RESINA EPOXI

Metodología:

- ✓ Se procedió a realizar el ensayo directamente sobre las muestras, tal cual fueron entregadas por el cliente, sin que se las haya sometido a ningún proceso preparativo o limpieza.
- ✓ Se siguió el procedimiento estipulado en la norma ASTM G 155- 13 "*Standard Practice for Operating Xenon Arc Light Apparatus for Exposure of Non-Metallic Materials*", con las siguientes condiciones:
 - Longitud de onda: 340 nm
 - Radiación: 0,35W/m²
 - Temperatura: 60 ± 5° C
 - Energía de exposición: ~2,0 kJ/m².h
- ✓ Se realizó una inspección visual de las muestras para evaluar los cambios registrados con respecto a su estado inicial, para lo cual se tomaron registros fotográficos al inicio y al cabo de 50 y 250 horas del ensayo.

Equipos:

- ✓ Cámara de arco de xenón Q-SUN





**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGIA (DECAB)
CENTRO DE INVESTIGACIONES APLICADAS A POLIMEROS**

C I A P

Campus Politécnico José Rubén Orellana Ricaurte. Direc.: Ladrón de Guevara E11-253

Personas de Contacto: Tlga. Elizabeth Venegas

Troncal: 2976300 ext. 2122, 2120, 2121. E-mail: elisabeth.venegas@epn.edu.ec / lizvenegas4@yahoo.es

Quito- Ecuador



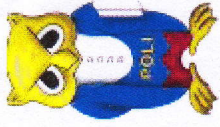
MUESTRA DE FIBRA DE GUADUA CON RESINA POLIESTER											
PATRÓN	50 horas de exposición					250 horas de exposición					
	50h-RP-FG-01	50h-RP-FG-02	50h-RP-FG-03	50h-RP-FG-04	50h-RP-FG-05	250h-RP-FG-01	250h-RP-FG-02	250h-RP-FG-03	250h-RP-FG-04	250h-RP-FG-05	
	COLOR: Decoloración del amarillo tenue TEXTURA: No hay cambio apreciable ASPECTO: No hay cambio apreciable					COLOR: Decoloración del amarillo tenue TEXTURA: No hay cambio apreciable ASPECTO: No hay cambio apreciable					



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGIA (DECAB)
CENTRO DE INVESTIGACIONES APLICADAS A POLIMEROS

C I A P

Campus Politécnico José Rubén Orellana Ricaurte. Direc.: Ladrón de Guevara E11-253
 Personas de Contacto: Tlga. Elizabeth Venegas
 Troncal: 2976300 ext. 2122, 2120, 2121. E-mail: elisabeth.venegas@epn.edu.ec / lizvenegas4@yahoo.es
 Quito- Ecuador



MUESTRA DE FIBRA DE GUADUA CON RESINA EPOXI										
PATRÓN	50 horas de exposición					250 horas de exposición				
	50h-RE-FG-01	50h-RE-FG-02	50h-RE-FG-03	50h-RE-FG-04	50h-RE-FG-05	250h-RE-FG-01	250h-RE-FG-02	250h-RE-FG-03	250h-RE-FG-04	250h-RE-FG-05
COLOR: Decoloración del amarillo tenue TEXTURA: Rugosidad leve al tacto leve ASPECTO: Desprendimiento de la capa superior de la resina leve						COLOR: Decoloración del amarillo tenue TEXTURA: Rugosidad leve al tacto ASPECTO: Desprendimiento de la capa superior de la resina				



**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA (DECAB)
CENTRO DE INVESTIGACIONES APLICADAS A POLÍMEROS**

C I A P

Campus Politécnico José Rubén Orellana Ricaurte. Direc.: Ladrón de Guevara E11-253

Personas de Contacto: Tlga. Elizabeth Venegas

Troncal: 2976300 ext. 2122, 2120, 2121. E-mail: elisabeth.venegas@epn.edu.ec / lizvenegas4@yahoo.es

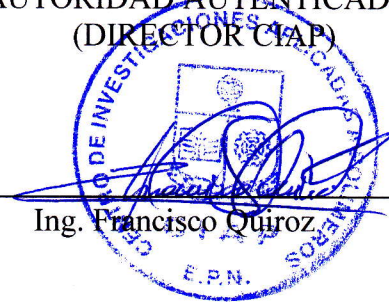
Quito- Ecuador



PROFESIONAL RESPONSABLE
DEL ANÁLISIS

Tlga. Elizabeth Venegas

AUTORIDAD AUTENTICADORA
(DIRECTOR CIA P)

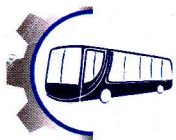


Ing. Francisco Quiroz

QUEJAS Y SUGERENCIAS

El cliente puede canalizar las quejas sobre los resultados de los análisis, sobre el tiempo de entrega del informe u otro aspecto, a través del Jefe del DECAB (francisco.quiroz@epn.edu.ec) hasta 8 días después de la entrega del informe. En el DECAB se mantiene un registro de quejas y sugerencias con el fin de mejorar el servicio.

El laboratorio no se responsabiliza por el muestreo realizado antes de la entrega de las muestras al DECAB, pero si se responsabiliza de las muestras recibidas en las condiciones tal como las entrega el cliente.



CPGZQ'D

RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS

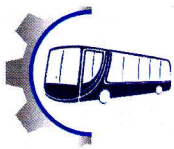
Informe N°: 180475512020190711-ETC	
DATOS DEL CLIENTE	
Empresa / Cliente: Marisol Belén Guamaní Saquina.	
Dirección: Fundadores del Cantón y Flores, Píllaro.	
Núm. de cédula / RUC: 1804755120	Teléfono: 0993627105
E-mail: belengmn@gmail.com	

DATOS INFORMATIVOS
Laboratorio: Resistencia de Materiales
Designación del material: Material compuesto con: matriz epóxica y poliéster, refuerzo de fibra de guadua con exposición UV en arco de xenón.
Método de ensayo: ASTM D 3039/D 3039M Método de prueba estándar para propiedades de tracción de los materiales compuestos de matriz de polimérica.

Número de Probetas cuantificadas

N°	Identificación del grupo	Matriz	Refuerzo	Exposición UV	Probetas a Ensayar
1	180475512020190711-ETC 01	Resina Epóxica 70%	Fibra de guadua 30%	0 Horas	5
2	180475512020190711-ETC 02	Resina Epóxica 70%	Fibra de guadua 30%	50 Horas	5
3	180475512020190711-ETC 03	Resina Epóxica 70%	Fibra de guadua 30%	250 Horas	5
4	180475512020190711-ETC 04	Resina Poliéster 70%	Fibra de guadua 30%	0 Horas	5
5	180475512020190711-ETC 05	Resina Poliéster 70%	Fibra de guadua 30%	50 Horas	5
6	180475512020190711-ETC 06	Resina Poliéster 70%	Fibra de guadua 30%	250 Horas	5
Total					30

Nota: La fabricación de las probetas en tipo y cantidad es declarada por el cliente.

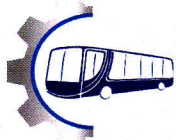


ENSAYO SOLICITADO			
No.	No. DE PROBETA	DESCRIPCIÓN	FECHA RECEPCIÓN
1	180475512020190711-ETC 01-1	Cumple con los criterios dimensionales	2019/07/12
2	180475512020190711-ETC 01-2	Cumple con los criterios dimensionales	2019/07/12
3	180475512020190711-ETC 01-3	Cumple con los criterios dimensionales	2019/07/12
4	180475512020190711-ETC 01-4	Cumple con los criterios dimensionales	2019/07/12
5	180475512020190711-ETC 01-5	Cumple con los criterios dimensionales	2019/07/12
6	180475512020190711-ETC 02-1	Cumple con los criterios dimensionales	2019/07/12
7	180475512020190711-ETC 02-2	Cumple con los criterios dimensionales	2019/07/12
8	180475512020190711-ETC 02-3	Cumple con los criterios dimensionales	2019/07/12
9	180475512020190711-ETC 02-4	Cumple con los criterios dimensionales	2019/07/12
10	180475512020190711-ETC 02-5	Cumple con los criterios dimensionales	2019/07/12
11	180475512020190711-ETC 03-1	Cumple con los criterios dimensionales	2019/07/12
12	180475512020190711-ETC 03-2	Cumple con los criterios dimensionales	2019/07/12
13	180475512020190711-ETC 03-3	Cumple con los criterios dimensionales	2019/07/12
14	180475512020190711-ETC 03-4	Cumple con los criterios dimensionales	2019/07/12
15	180475512020190711-ETC 03-5	Cumple con los criterios dimensionales	2019/07/12
16	180475512020190711-ETC 04-1	Cumple con los criterios dimensionales	2019/07/12
17	180475512020190711-ETC 04-2	Cumple con los criterios dimensionales	2019/07/12
18	180475512020190711-ETC 04-3	Cumple con los criterios dimensionales	2019/07/12
19	180475512020190711-ETC 04-4	Cumple con los criterios dimensionales	2019/07/12
20	180475512020190711-ETC 04-5	Cumple con los criterios dimensionales	2019/07/12
21	180475512020190711-ETC 05-1	Cumple con los criterios dimensionales	2019/07/12
22	180475512020190711-ETC 05-2	Cumple con los criterios dimensionales	2019/07/12
23	180475512020190711-ETC 05-3	Cumple con los criterios dimensionales	2019/07/12
24	180475512020190711-ETC 05-4	Cumple con los criterios dimensionales	2019/07/12
25	180475512020190711-ETC 05-5	Cumple con los criterios dimensionales	2019/07/12
26	180475512020190711-ETC 06-1	Cumple con los criterios dimensionales	2019/07/12
27	180475512020190711-ETC 06-2	Cumple con los criterios dimensionales	2019/07/12
28	180475512020190711-ETC 06-3	Cumple con los criterios dimensionales	2019/07/12
29	180475512020190711-ETC 06-4	Cumple con los criterios dimensionales	2019/07/12
30	180475512020190711-ETC 06-5	Cumple con los criterios dimensionales	2019/07/12

DATOS INFORMATIVOS: De acuerdo a los criterios de aceptación y rechazo las probetas cumplen con el número mínimo de muestras para el ensayo y en las dimensiones.

NOTA: LA INFORMACIÓN CONSIGNADA EN ESTE FORMULARIO ES DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDAD DEL CLIENTE. POSTERIORMENTE A LA EJECUCIÓN DEL(LOS) ENSAYO(S) NO SE ADMITIRÁ ARREGLOS DE ESTA INFORMACIÓN NI DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS. FAVOR REVISAR ANTES DE SU FIRMA.

Elaborado por:		Aprobado por:
Ing. Fernando Galarza Mg. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Ing. Fernando Tibán R. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Ing. Esteban López Espinel MEng. Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC
Cliente		



LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES
ENSAYO DE TRACCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS
INFORME DE RESULTADOS N°: 180475512020190711-ETC

DATOS GENERALES

DATOS INFORMATIVOS:

N° de proforma: RM_2019_044

Empresa / Cliente: Marisol Belén Guamaní Saquina.

RUC/C.I.: 1804755120

Ciudad: Píllaro.

Dirección: Fundadores del Cantón y Flores.

Teléfono: 0993627105

Correo: belengmn@gmail.com

DATOS DEL ENSAYO:

Lugar de Ejecución del Ensayo: Laboratorio de Resistencia de Materiales.

Dirección: Ambato/Catiglata. Toronto y Río de Janeiro.

Método de ensayo: ASTM D3039-2017: Método de prueba estándar para propiedades de tracción de materiales compuestos de matriz polimérica.

Tipo de ensayo: Cuantitativo

Tipo de probeta: Plana

Equipo utilizado: Máquina de ensayos Universal Metrotest 50KN

Modelo: MTE-50.

Serie: 8210M002

Velocidad de ensayo: 10 mm/min.

Precarga: 0,01 N

Fecha de Inicio de Ensayo: 2019/07/18 Fecha de Finalización de Ensayo: 2019/07/18

Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en *Material compuesto con: matriz epóxica y poliéster, refuerzo de fibra de guadua con exposición UV en arco de xenón.* Las probetas fueron recibidas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del CFPMC del H.G.P. Tungurahua.

OBJETOS DE ENSAYO

Número de Probetas cuantificadas:

N°	Identificación del grupo	Matriz	Refuerzo	Exposición UV	Probetas a Ensayar
1	180475512020190711-ETC 01	Resina Epóxica 70%	Fibra de guadua 30%	0 Horas	5
2	180475512020190711-ETC 02	Resina Epóxica 70%	Fibra de guadua 30%	50 Horas	5
3	180475512020190711-ETC 03	Resina Epóxica 70%	Fibra de guadua 30%	250 Horas	5

Nota: La fabricación y configuración de las probetas es declarada por el cliente.

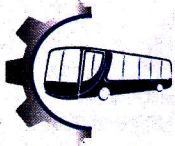
Observaciones: Ninguna.

Elaborado por:		Aprobado por:
Ing. Fernando Galarza Mg. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Ing. Fernando Tibán R. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Ing. Esteban López E. MEng. Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC

Lugar y fecha de emisión de informe: Ambato, 30 de julio de 2019.

N° de Factura: 001-002-000007377.





N°	Identificación del grupo	Matriz	Refuerzo	Exposición UV	Probetas a Ensayar
4	180475512020190711-ETC 04	Resina Poliéster 70%	Fibra de guadua 30%	0 Horas	5
5	180475512020190711-ETC 05	Resina Poliéster 70%	Fibra de guadua 30%	50 Horas	5
6	180475512020190711-ETC 06	Resina Poliéster 70%	Fibra de guadua 30%	250 Horas	5
Total					30





Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

RESULTADOS:

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor					
1	180475512020190711-ETC 01-1	20,5	64,3	24,88	5,52	5662,75	41,23	626,50	6,58	LAB
2	180475512020190711-ETC 01-2	20,5	64,3	24,57	5,84	4834,40	33,69	625,49	5,39	LAB
3	180475512020190711-ETC 01-3	20,5	64,3	25,26	5,01	5973,58	47,20	905,25	5,21	LGM
4	180475512020190711-ETC 01-4	20,5	64,3	25,09	4,58	3811,98	33,17	754,91	4,39	LAB
5	180475512020190711-ETC 01-5	20,5	64,3	24,59	4,32	6776,68	63,79	1148,54	5,55	LAT
				Promedio \bar{X}		5411,878	43,819	812,139	5,426	
				Desviación estándar S_{n-1}		1132,948	12,580	220,460	0,785	
				Coeficiente de variación CV		20,934	28,709	27,146	14,459	

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor					
6	180475512020190711-ETC 02-1	20,9	62,5	24,98	4,61	6173,96	53,61	1163,51	4,61	LAB
7	180475512020190711-ETC 02-2	20,9	62,5	24,98	4,85	4829,67	39,86	902,93	4,42	LAT
8	180475512020190711-ETC 02-3	20,9	62,5	25,31	4,79	7191,64	59,32	1223,63	4,85	LGM
9	180475512020190711-ETC 02-4	20,9	62,5	25,31	4,79	6314,38	52,08	1038,86	5,01	AAT
10	180475512020190711-ETC 02-5	20,9	62,5	24,86	4,00	6640,99	66,78	1267,42	5,27	LAB
				Promedio \bar{X}		6230,128	54,333	1119,269	4,831	
				Desviación estándar S_{n-1}		875,335	9,935	148,381	0,335	
				Coeficiente de variación CV		14,050	18,285	13,257	6,932	



Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor					
11	180475512020190711-ETC 03-1	21,4	60,4	23,73	3,70	6303,34	71,79	1518,47	4,73	LGM
12	180475512020190711-ETC 03-2	21,4	60,4	25,01	4,55	6151,87	54,06	991,94	5,45	LAB
13	180475512020190711-ETC 03-3	21,4	60,4	25,04	4,53	5542,84	48,87	763,01	6,40	LAB
14	180475512020190711-ETC 03-4	21,4	60,4	25,01	5,11	5976,73	46,77	1053,45	4,44	LGT
15	180475512020190711-ETC 03-5	21,4	60,4	25,02	4,36	6596,81	60,47	955,34	6,33	LAB
				Promedio \bar{X}		6114,318	56,391	1056,443	5,470	
				Desviación estándar S_{n-1}		392,255	10,106	280,164	0,898	
				Coeficiente de variación CV		6,415	17,922	26,520	16,417	

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor					
16	180475512020190711-ETC 04-1	22,1	56,8	24,82	3,38	5741,64	68,44	1364,34	5,02	LAB
17	180475512020190711-ETC 04-2	22,1	56,8	24,74	3,62	4037,61	45,08	1041,36	4,33	LAB
18	180475512020190711-ETC 04-3	22,1	56,8	24,97	3,91	6076,13	62,23	1184,29	5,26	AGM
19	180475512020190711-ETC 04-4	22,1	56,8	24,81	3,79	5820,53	61,90	1247,46	4,96	LAB
20	180475512020190711-ETC 04-5	22,1	56,8	24,87	4,00	6831,90	68,68	1388,60	4,95	LAB
				Promedio \bar{X}		5701,562	61,267	1245,210	4,902	
				Desviación estándar S_{n-1}		1024,995	9,613	141,443	0,343	
				Coeficiente de variación CV		17,977	15,690	11,359	7,002	



Prob eta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor					
21	180475512020190711-ETC 05-1	22,2	57,0	25,05	3,48	6331,74	72,63	1262,40	5,75	SGT
22	180475512020190711-ETC 05-2	22,2	57,0	25,76	4,12	9053,45	85,30	1069,46	7,98	LGT
23	180475512020190711-ETC 05-3	22,2	57,0	24,95	3,96	8526,47	86,30	1372,31	6,29	SGB
24	180475512020190711-ETC 05-4	22,2	57,0	24,78	3,91	7529,29	77,71	1254,40	6,20	SGT
25	180475512020190711-ETC 05-5	22,2	57,0	25,78	3,59	6907,64	74,64	1029,98	7,25	SGB
				Promedio \bar{X}		7669,718	79,317	1197,708	6,692	
				Desviación estándar S_{n-1}		1122,431	6,200	143,585	0,901	
				Coeficiente de variación CV		14,635	7,817	11,988	13,465	

Prob eta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor					
26	180475512020190711-ETC 06-1	22,1	57,1	25,83	3,91	8209,33	81,28	1371,72	5,93	AAB
27	180475512020190711-ETC 06-2	22,1	57,1	24,86	3,85	8100,46	84,63	1363,03	6,21	LAB
28	180475512020190711-ETC 06-3	22,1	57,1	24,84	3,67	7556,12	82,89	1599,45	5,18	LAB
29	180475512020190711-ETC 06-4	22,1	57,1	24,8	4,06	6883,97	68,37	1267,94	5,39	LAB
30	180475512020190711-ETC 06-5	22,1	57,1	24,88	3,67	7620,81	83,46	1344,75	6,21	AGT
				Promedio \bar{X}		7674,138	80,127	1389,381	5,783	
				Desviación estándar S_{n-1}		526,621	6,683	124,374	0,473	
				Coeficiente de variación CV		6,862	8,340	8,952	8,180	

Nomenclatura:

Tipo de falla evaluado: El tipo de falla evaluado se lo realiza mediante los criterios de la norma ASTM D3039-2017.

Primer caracter	Tipo de falla	Segundo caracter	Área de la falla	Tercer caracter	Localización de falla
L	Lateral	A	En el agarre	T	Parte superior
S	Largo, partiendo	I	Dentro del agarre	B	Fondo
A	Angular	G	Zona calibrada	M	Medio



HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

Informe N°: 180475512020190711-ETC	
DATOS DEL CLIENTE	
Empresa / Cliente: Marisol Belén Guamaní Saquinga.	
Dirección: Fundadores del Cantón y Flores, Píllaro.	
Núm. de cédula / RUC: 1804755120	Teléfono: 0993627105
E-mail: belengmn@gmail.com	

DATOS INFORMATIVOS

Laboratorio: Resistencia de Materiales.

Designación del material:

Material compuesto con: matriz epóxica y poliéster, refuerzo de fibra de guadua con exposición UV en arco de xenón.

Método de ensayo: ASTM D 3039/D 3039M Método de prueba estándar para propiedades de tracción de los materiales compuestos de matriz de polímero.

N°	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	EVIDENCIAS
1	180475512020190711-ETC 01-1	2019/07/12	2019/07/31	Cliente	Se entrega al cliente.	
2	180475512020190711-ETC 01-2	2019/07/12	2019/07/31	Cliente	Se entrega al cliente.	
3	180475512020190711-ETC 01-3	2019/07/12	2019/07/31	Cliente	Se entrega al cliente.	
4	180475512020190711-ETC 01-4	2019/07/12	2019/07/31	Cliente	Se entrega al cliente.	
5	180475512020190711-ETC 01-5	2019/07/12	2019/07/31	Cliente	Se entrega al cliente.	



Nº	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	EVIDENCIAS
6	180475512020190711-ETC 02-1	2019/07/12	2019/07/31	Cliente	Se entrega al cliente.	
7	180475512020190711-ETC 02-2	2019/07/12	2019/07/31	Cliente	Se entrega al cliente.	
8	180475512020190711-ETC 02-3	2019/07/12	2019/07/31	Cliente	Se entrega al cliente.	
9	180475512020190711-ETC 02-4	2019/07/12	2019/07/31	Cliente	Se entrega al cliente.	
10	180475512020190711-ETC 02-5	2019/07/12	2019/07/31	Cliente	Se entrega al cliente.	
11	180475512020190711-ETC 03-1	2019/07/12	2019/07/31	Cliente	Se entrega al cliente.	
12	180475512020190711-ETC 03-2	2019/07/12	2019/07/31	Cliente	Se entrega al cliente.	
13	180475512020190711-ETC 03-3	2019/07/12	2019/07/31	Cliente	Se entrega al cliente.	
14	180475512020190711-ETC 03-4	2019/07/12	2019/07/31	Cliente	Se entrega al cliente.	
15	180475512020190711-ETC 03-5	2019/07/12	2019/07/31	Cliente	Se entrega al cliente.	
16	180475512020190711-ETC 04-1	2019/07/12	2019/07/31	Cliente	Se entrega al cliente.	
17	180475512020190711-ETC 04-2	2019/07/12	2019/07/31	Cliente	Se entrega al cliente.	
18	180475512020190711-ETC 04-3	2019/07/12	2019/07/31	Cliente	Se entrega al cliente.	
19	180475512020190711-ETC 04-4	2019/07/12	2019/07/31	Cliente	Se entrega al cliente.	
20	180475512020190711-ETC 04-5	2019/07/12	2019/07/31	Cliente	Se entrega al cliente.	
21	180475512020190711-ETC 05-1	2019/07/12	2019/07/31	Cliente	Se entrega al cliente.	
22	180475512020190711-ETC 05-2	2019/07/12	2019/07/31	Cliente	Se entrega al cliente.	
23	180475512020190711-ETC 05-3	2019/07/12	2019/07/31	Cliente	Se entrega al cliente.	
24	180475512020190711-ETC 05-4	2019/07/12	2019/07/31	Cliente	Se entrega al cliente.	
25	180475512020190711-ETC 05-5	2019/07/12	2019/07/31	Cliente	Se entrega al cliente.	



N°	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	EVIDENCIAS
26	180475512020190711-ETC 06-1	2019/07/12	2019/07/31	Cliente	Se entrega al cliente.	
27	180475512020190711-ETC 06-2	2019/07/12	2019/07/31	Cliente	Se entrega al cliente.	
28	180475512020190711-ETC 06-3	2019/07/12	2019/07/31	Cliente	Se entrega al cliente.	
29	180475512020190711-ETC 06-4	2019/07/12	2019/07/31	Cliente	Se entrega al cliente.	
30	180475512020190711-ETC 06-5	2019/07/12	2019/07/31	Cliente	Se entrega al cliente.	

Todas las muestras de cada grupo ensayado por acuerdo se entregan al cliente, el CFPMC no se responsabiliza por el mantenimiento y almacenamiento de las mismas, quedando a responsabilidad del cliente su resguardo.

Elaborado por: Ing. Fernando Galarza Chacón Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Ing. Fernando Tibán R. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Aprobado por: Ing. Esteban López Espinel Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC
Cliente		

CPGZQ'E

DIN EN ISO 4892-2

DIN

ICS 83.080.01

Supersedes
DIN EN ISO 4892-2:2000-11

**Plastics –
Methods of exposure to laboratory light sources –
Part 2: Xenon-arc lamps (ISO 4892-2:2006)
English version of DIN EN ISO 4892-2:2006-06**

Kunststoffe –
Künstliches Bestrahlen oder Bewittern in Geräten –
Teil 2: Xenonbogenlampen (ISO 4892-2:2006)
Englische Fassung DIN EN ISO 4892-2:2006-06

Document comprises 14 pages



Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials¹

This standard is issued under the fixed designation D 3039/D 3039M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

^{ε1} NOTE—Eq 5 was revised editorially in December 2002.

1. Scope

1.1 This test method determines the in-plane tensile properties of polymer matrix composite materials reinforced by high-modulus fibers. The composite material forms are limited to continuous fiber or discontinuous fiber-reinforced composites in which the laminate is balanced and symmetric with respect to the test direction.

1.2 The values stated in either SI units or inch-pound units are to be regarded separately as standard. Within the text, the inch-pound units are shown in brackets. The values stated in each system are not exact equivalents; therefore, each system must be used independently of the other. Combining values from the two systems may result in nonconformance with the standard.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- D 792 Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement²
- D 883 Terminology Relating to Plastics²
- D 2584 Test Method for Ignition Loss of Cured Reinforced Resins³
- D 2734 Test Method for Void Content of Reinforced Plastics³
- D 3171 Test Methods for Constituent Content of Composites Materials⁴
- D 3878 Terminology for Composite Materials⁴
- D 5229/D 5229M Test Method for Moisture Absorption

Properties and Equilibrium Conditioning of Polymer Matrix Composite Materials⁴

E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines⁵

E 6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing⁵

E 83 Practice for Verification and Classification of Extensometers⁵

E 111 Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus⁵

E 122 Practice for Choice of Sample Size to Estimate a Measure of Quality for a Lot or Process⁶

E 132 Test Method for Poisson's Ratio at Room Temperature⁵

E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods⁶

E 251 Test Methods for Performance Characteristics of Metallic Bonded Resistance Strain Gages⁵

E 456 Terminology Relating to Quality and Statistics⁶

E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method⁶

E 1012 Practice for Verification of Specimen Alignment Under Tensile Loading⁵

E 1237 Guide for Installing Bonded Resistance Strain Gages⁵

3. Terminology

3.1 *Definitions*—Terminology D 3878 defines terms relating to high-modulus fibers and their composites. Terminology D 883 defines terms relating to plastics. Terminology E 6 defines terms relating to mechanical testing. Terminology E 456 and Practice E 177 define terms relating to statistics. In the event of a conflict between terms, Terminology D 3878 shall have precedence over the other standards.

3.2 *Definitions of Terms Specific to This Standard:*

NOTE—If the term represents a physical quantity, its analytical dimensions are stated immediately following the term (or letter symbol) in fundamental dimension form, using the following ASTM standard symbology for fundamental

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D30 on Composite Materials and is the direct responsibility of Subcommittee D30.04 on Lamina and Laminate Test Methods.

Current edition approved April 10, 2000. Published July 2000. Originally published as D 3039 – 71T. Last previous edition D 3039 – 95a.

² *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 08.01.

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 08.02.

⁴ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 15.03.

⁵ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.01.

⁶ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 14.02.



dimensions, shown within square brackets: $[M]$ for mass, $[L]$ for length, $[T]$ for time, $[Θ]$ for thermodynamic temperature, and $[nd]$ for nondimensional quantities. Use of these symbols is restricted to analytical dimensions when used with square brackets, as the symbols may have other definitions when used without the brackets.

3.2.1 *nominal value, n* —a value, existing in name only, assigned to a measurable property for the purpose of convenient designation. Tolerances may be applied to a nominal value to define an acceptable range for the property.

3.2.2 *transition region, n* —a strain region of a stress-strain or strain-strain curve over which a significant change in the slope of the curve occurs within a small strain range.

3.2.3 *transition strain, $\epsilon^{transition}$ $[nd]$, n* —the strain value at the mid range of the transition region between the two essentially linear portions of a bilinear stress-strain or strain-strain curve.

3.2.3.1 *Discussion*—Many filamentary composite materials show essentially bilinear behavior during loading, such as seen in plots of either longitudinal stress versus longitudinal strain or transverse strain versus long longitudinal strain. There are varying physical reasons for the existence of a transition region. Common examples include: matrix cracking under tensile loading and ply delamination.

3.3 Symbols:

3.3.1 A —minimum cross-sectional area of a coupon.

3.3.2 B_y —percent bending for a uniaxial coupon of rectangular cross section about y axis of the specimen (about the narrow direction).

3.3.3 B_z —percent bending for a uniaxial coupon of rectangular cross section about z axis of the specimen (about the wide direction).

3.3.4 CV —coefficient of variation statistic of a sample population for a given property (in percent).

3.3.5 E —modulus of elasticity in the test direction.

3.3.6 F^{tu} —ultimate tensile strength in the test direction.

3.3.7 F^{su} —ultimate shear strength in the test direction.

3.3.8 h —coupon thickness.

3.3.9 L_g —extensometer gage length.

3.3.10 L_{min} —minimum required bonded tab length.

3.3.11 n —number of coupons per sample population.

3.3.12 P —load carried by test coupon.

3.3.13 P^f —load carried by test coupon at failure.

3.3.14 P^{max} —maximum load carried by test coupon before failure.

3.3.15 s_{n-1} —standard deviation statistic of a sample population for a given property.

3.3.16 w —coupon width.

3.3.17 x_i —test result for an individual coupon from the sample population for a given property.

3.3.18 \bar{x} —mean or average (estimate of mean) of a sample population for a given property.

3.3.19 δ —extensional displacement.

3.3.20 ϵ —general symbol for strain, whether normal strain or shear strain.

3.3.21 ϵ —indicated normal strain from strain transducer or extensometer.

3.3.22 σ —normal stress.

3.3.23 ν —Poisson's ratio.

4. Summary of Test Method

4.1 A thin flat strip of material having a constant rectangular cross section is mounted in the grips of a mechanical testing machine and monotonically loaded in tension while recording load. The ultimate strength of the material can be determined from the maximum load carried before failure. If the coupon strain is monitored with strain or displacement transducers then the stress-strain response of the material can be determined, from which the ultimate tensile strain, tensile modulus of elasticity, Poisson's ratio, and transition strain can be derived.

5. Significance and Use

5.1 This test method is designed to produce tensile property data for material specifications, research and development, quality assurance, and structural design and analysis. Factors that influence the tensile response and should therefore be reported include the following: material, methods of material preparation and lay-up, specimen stacking sequence, specimen preparation, specimen conditioning, environment of testing, specimen alignment and gripping, speed of testing, time at temperature, void content, and volume percent reinforcement. Properties, in the test direction, which may be obtained from this test method include the following:

5.1.1 Ultimate tensile strength,

5.1.2 Ultimate tensile strain,

5.1.3 Tensile chord modulus of elasticity,

5.1.4 Poisson's ratio, and

5.1.5 Transition strain.

6. Interferences

6.1 *Material and Specimen Preparation*—Poor material fabrication practices, lack of control of fiber alignment, and damage induced by improper coupon machining are known causes of high material data scatter in composites.

6.2 *Gripping*—A high percentage of grip-induced failures, especially when combined with high material data scatter, is an indicator of specimen gripping problems. Specimen gripping methods are discussed further in 7.2.4, 8.2, and 11.5.

6.3 *System Alignment*—Excessive bending will cause premature failure, as well as highly inaccurate modulus of elasticity determination. Every effort should be made to eliminate excess bending from the test system. Bending may occur as a result of misaligned grips or from specimens themselves if improperly installed in the grips or out-of-tolerance caused by poor specimen preparation. If there is any doubt as to the alignment inherent in a given test machine, then the alignment should be checked as discussed in 7.2.5.

6.4 *Edge Effects in Angle Ply Laminates*—Premature failure and lower stiffnesses are observed as a result of edge softening in laminates containing off-axis plies. Because of this, the strength and modulus for angle ply laminates can be drastically underestimated. For quasi-isotropic laminates containing significant 0° plies, the effect is not as significant.

7. Apparatus

7.1 *Micrometers*—A micrometer with a 4- to 5-mm [0.16- to 0.20-in] nominal diameter double-ball interface shall be

used to measure the thickness of the specimen. A micrometer with a flat anvil interface shall be used to measure the width of the specimen. The accuracy of the instruments shall be suitable for reading to within 1 % of the sample width and thickness. For typical specimen geometries, an instrument with an accuracy of $\pm 2.5 \mu\text{m}$ [$\pm 0.0001 \text{ in.}$] is adequate for thickness measurement, while an instrument with an accuracy of $\pm 25 \mu\text{m}$ [$\pm 0.001 \text{ in.}$] is adequate for width measurement.

7.2 *Testing Machine*—The testing machine shall be in conformance with Practices E 4 and shall satisfy the following requirements:

7.2.1 *Testing Machine Heads*—The testing machine shall have both an essentially stationary head and a movable head.

7.2.2 *Drive Mechanism*—The testing machine drive mechanism shall be capable of imparting to the movable head a controlled velocity with respect to the stationary head. The velocity of the movable head shall be capable of being regulated as specified in 11.3.

7.2.3 *Load Indicator*—The testing machine load-sensing device shall be capable of indicating the total load being carried by the test specimen. This device shall be essentially free from inertia lag at the specified rate of testing and shall indicate the load with an accuracy over the load range(s) of interest of within $\pm 1 \%$ of the indicated value. The load range(s) of interest may be fairly low for modulus evaluation, much higher for strength evaluation, or both, as required.

NOTE 1—Obtaining precision load data over a large range of interest in the same test, such as when both elastic modulus and ultimate load are being determined, place extreme requirements on the load cell and its calibration. For some equipment, a special calibration may be required. For some combinations of material and load cell, simultaneous precision measurement of both elastic modulus and ultimate strength may not be possible and measurement of modulus and strength may have to be performed in separate tests using a different load cell range for each test.

7.2.4 *Grips*—Each head of the testing machine shall carry one grip for holding the test specimen so that the direction of load applied to the specimen is coincident with the longitudinal axis of the specimen. The grips shall apply sufficient lateral pressure to prevent slippage between the grip face and the coupon. If tabs are used the grips should be long enough that they overhang the beveled portion of the tab by approximately 10 to 15 mm [0.5 in.]. It is highly desirable to use grips that are rotationally self-aligning to minimize bending stresses in the coupon.

NOTE 2—Grip surfaces that are lightly serrated, approximately 1 serration/mm [25 serrations/in.], have been found satisfactory for use in wedge-action grips when kept clean and sharp; coarse serrations may produce grip-induced failures in untabbed coupons. Smooth gripping surfaces have been used successfully with either hydraulic grips or an emery cloth interface, or both.

7.2.5 *System Alignment*—Poor system alignment can be a major contributor to premature failure, to elastic property data scatter, or both. Practice E 1012 describes bending evaluation guidelines and describes potential sources of misalignment during tensile testing. In addition to Practice E 1012, the degree of bending in a tensile system can also be evaluated using the following related procedure. Specimen bending is considered separately in 11.6.1.

7.2.5.1 A rectangular alignment coupon, preferably similar in size and stiffness to the test specimen of interest, is instrumented with a minimum of three longitudinal strain gages of similar type, two on the front face across the width and one on the back face of the specimen, as shown in Fig. 1. Any difference in indicated strain between these gages during loading provides a measure of the amount of bending in the thickness plane (B_y) and width plane (B_z) of the coupon. The strain gage location should normally be located in the middle of the coupon gage section (if modulus determination is a concern), near a grip (if premature grip failures are a problem), or any combination of these areas.

7.2.5.2 When evaluating system alignment, it is advisable to perform the alignment check with the same coupon inserted in each of the four possible installation permutations (described relative to the initial position): initial (top-front facing observer), rotated back to front only (top back facing observer), rotated end for end only (bottom front facing observer), and rotated both front to back and end to end (bottom back facing observer). These four data sets provide an indication of whether the bending is due to the system itself or to tolerance in the alignment check coupon or gaging.

7.2.5.3 The zero strain point may be taken either before gripping or after gripping. The strain response of the alignment coupon is subsequently monitored during the gripping process, the tensile loading process, or both. Eq 1-3 use these indicated strains to calculate the ratio of the percentage of bending strain to average extensional strain for each bending plane of the alignment coupon and the total percent bending, B_{total} . Plotting percent bending versus axial average strain is useful in understanding trends in the bending behavior of the system.

7.2.5.4 Problems with failures during gripping would be reason to examine bending strains during the gripping process in the location near the grip. Concern over modulus data scatter would be reason to evaluate bending strains over the modulus evaluation load range for the typical transducer location. Excessive failures near the grips would be reason to evaluate bending strains near the grip at high loading levels. While the

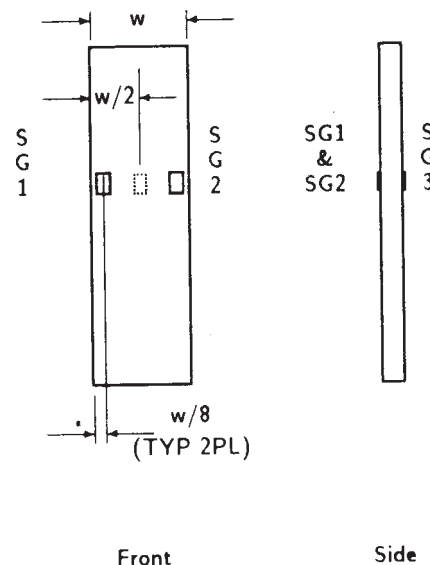


FIG. 1 Gage Locations for System Alignment Check Coupon

maximum advisable amount of system misalignment is material and location dependent, good testing practice is generally able to limit percent bending to a range of 3 to 5 % at moderate strain levels ($>1000 \mu\epsilon$). A system showing excessive bending for the given application should be readjusted or modified.

$$B_y = \frac{\epsilon_{ave} - \epsilon_3}{\epsilon_{ave}} \times 100 \quad (1)$$

$$B_z = \frac{4/3 (\epsilon_2 - \epsilon_1)}{\epsilon_{ave}} \times 100 \quad (2)$$

where:

B_y = percent bending about system y axis (about the narrow plane), as calculated by Eq 1, %;

B_z = percent bending about system z axis (about the wide plane), as calculated by Eq 2, %;

ϵ_1 , ϵ_2 , and ϵ_3 = indicated longitudinal strains displayed by Gages 1, 2, and 3, respectively, of Fig. 1, $\mu\epsilon$; and

ϵ_{ave} = $(|\epsilon_1 + |\epsilon_2|)/2 + |\epsilon_3|/2$.

The total bending component is:

$$B_{total} = |B_y| + |B_z| \quad (3)$$

7.3 Strain-Indicating Device—Load-strain data, if required, shall be determined by means of either a strain transducer or an extensometer. Attachment of the strain-indicating device to the coupon shall not cause damage to the specimen surface. If Poisson's ratio is to be determined, the specimen shall be instrumented to measure strain in both longitudinal and lateral directions. If the modulus of elasticity is to be determined, the longitudinal strain should be simultaneously measured on opposite faces of the specimen to allow for a correction as a result of any bending of the specimen (see 11.6 for further guidance).

7.3.1 Bonded Resistance Strain Gage Selection—Strain gage selection is a compromise based on the type of material. An active gage length of 6 mm [0.25 in.] is recommended for most materials. Active gage lengths should not be less than 3 mm [0.125 in.].⁷ Gage calibration certification shall comply with Test Methods E 251. When testing woven fabric laminates, gage selection should consider the use of an active gage length that is at least as great as the characteristic repeating unit of the weave. Some guidelines on the use of strain gages on composites follow. A general reference on the subject is Tuttle and Brinson.⁸

7.3.1.1 Surface preparation of fiber-reinforced composites in accordance with Practice E 1237 can penetrate the matrix material and cause damage to the reinforcing fibers resulting in improper coupon failures. Reinforcing fibers should not be exposed or damaged during the surface preparation process.

⁷ A typical gage would have a 0.25-in. active gage length, 350- Ω resistance, a strain rating of 3 % or better, and the appropriate environmental resistance and thermal coefficient.

⁸ Tuttle, M. E. and Brinson, H. F., "Resistance-Foil Strain-Gage Technology as Applied to Composite Materials," *Experimental Mechanics*, Vol 24, No. 1, March 1984; pp. 54–65; errata noted in Vol 26, No. 2, June 1986, pp. 153–154.

The strain gage manufacturer should be consulted regarding surface preparation guidelines and recommended bonding agents for composites pending the development of a set of standard practices for strain gage installation surface preparation of fiber-reinforced composite materials.

7.3.1.2 Consideration should be given to the selection of gages having larger resistances to reduce heating effects on low-conductivity materials. Resistances of 350 Ω or higher are preferred. Additional consideration should be given to the use of the minimum possible gage excitation voltage consistent with the desired accuracy (1 to 2 V is recommended) to reduce further the power consumed by the gage. Heating of the coupon by the gage may affect the performance of the material directly, or it may affect the indicated strain as a result of a difference between the gage temperature compensation factor and the coefficient of thermal expansion of the coupon material.

7.3.1.3 Consideration of some form of temperature compensation is recommended, even when testing at standard laboratory atmosphere. Temperature compensation is required when testing in nonambient temperature environments.

7.3.1.4 Consideration should be given to the transverse sensitivity of the selected strain gage. The strain gage manufacturer should be consulted for recommendations on transverse sensitivity corrections and effects on composites. This is particularly important for a transversely mounted gage used to determine Poisson's ratio, as discussed in Note 11.

7.3.2 Extensometers—For most purposes, the extensometer gage length should be in the range of 10 to 50 mm [0.5 to 2.0 in.]. Extensometers shall satisfy, at a minimum, Practice E 83, Class B-1 requirements for the strain range of interest and shall be calibrated over that strain range in accordance with Practice E 83. For extremely stiff materials, or for measurement of transverse strains, the fixed error allowed by Class B-1 extensometers may be significant, in which case Class A extensometers should be considered. The extensometer shall be essentially free of inertia lag at the specified speed of testing, and the weight of the extensometer should not induce bending strains greater than those allowed in 6.3.

NOTE 3—It is generally less difficult to perform strain calibration on extensometers of longer gage length as less precision in displacement is required of the extensometer calibration device.

7.4 Conditioning Chamber—When conditioning materials at nonlaboratory environments, a temperature/vaporlevel-controlled environmental conditioning chamber is required that shall be capable of maintaining the required temperature to within $\pm 3^\circ\text{C}$ [$\pm 5^\circ\text{F}$] and the required relative vapor level to within $\pm 3\%$. Chamber conditions shall be monitored either on an automated continuous basis or on a manual basis at regular intervals.

7.5 Environmental Test Chamber—An environmental test chamber is required for test environments other than ambient testing laboratory conditions. This chamber shall be capable of maintaining the gage section of the test specimen at the required test environment during the mechanical test.

8. Sampling and Test Specimens

8.1 *Sampling*—Test at least five specimens per test condition unless valid results can be gained through the use of fewer specimens, such as in the case of a designed experiment. For statistically significant data, the procedures outlined in Practice E 122 should be consulted. Report the method of sampling.

NOTE 4—If specimens are to undergo environmental conditioning to equilibrium, and are of such type or geometry that the weight change of the material cannot be properly measured by weighing the specimen itself (such as a tabbed mechanical coupon), then use another traveler coupon of the same nominal thickness and appropriate size (but without tabs) to determine when equilibrium has been reached for the specimens being conditioned.

8.2 *Geometry*—Design of mechanical test coupons, especially those using end tabs, remains to a large extent an art rather than a science, with no industry consensus on how to approach the engineering of the gripping interface. Each major composite testing laboratory has developed gripping methods for the specific material systems and environments commonly encountered within that laboratory. Comparison of these methods shows them to differ widely, making it extremely difficult to recommend a universally useful approach or set of approaches. Because of this difficulty, definition of the geometry of the test coupon is broken down into the following three levels, which are discussed further in each appropriate section:

Purpose	Degree of Geometry Definition
8.2.1 <i>General Requirements</i>	Mandatory Shape and Tolerances
8.2.2 <i>Specific Recommendations</i>	Nonmandatory Suggested Dimensions
8.2.3 <i>Detailed Examples</i>	Nonmandatory Typical Practices

8.2.1 *General Requirements:*

8.2.1.1 *Shape, Dimensions, and Tolerances*—The complete list of requirements for specimen shape, dimensions, and tolerances is shown in Table 1.

8.2.1.2 *Use of Tabs*—Tabs are not required. The key factor in the selection of specimen tolerances and gripping methods is the successful introduction of load into the specimen and the prevention of premature failure as a result of a significant discontinuity. Therefore, determine the need to use tabs, and specification of the major tab design parameters, by the end

result: acceptable failure mode and location. If acceptable failure modes occur with reasonable frequency, then there is no reason to change a given gripping method (see 11.10).

8.2.2 *Specific Recommendations:*

8.2.2.1 *Width, Thickness, and Length*—Select the specimen width and thickness to promote failure in the gage section and assure that the specimen contains a sufficient number of fibers in the cross section to be statistically representative of the bulk material. The specimen length should normally be substantially longer than the minimum requirement to minimize bending stresses caused by minor grip eccentricities. Keep the gage section as far from the grips as reasonably possible and provide a significant amount of material under stress and therefore produce a more statistically significant result. The minimum requirements for specimen design shown in Table 1 are by themselves insufficient to create a properly dimensioned and toleranced coupon drawing. Therefore, recommendations on other important dimensions are provided for typical material configurations in Table 2. These geometries have been found by a number of testing laboratories to produce acceptable failure modes on a wide variety of material systems, but use of them does not guarantee success for every existing or future material system.

8.2.2.2 *Gripping/Use of Tabs*—There are many material configurations, such as multidirectional laminates, fabric-based materials, or randomly reinforced sheet-molding compounds, which can be successfully tested without tabs. However, tabs are strongly recommended when testing unidirectional materials (or strongly unidirectionally dominated laminates) to failure in the fiber direction. Tabs may also be required when testing unidirectional materials in the matrix direction to prevent gripping damage.

8.2.2.3 *Tab Geometry*—Recommendations on important dimensions are provided for typical material configurations in Table 2. These dimensions have been found by a number of testing laboratories to produce acceptable failure modes on a wide variety of material systems, but use of them does not guarantee success for every existing or future material system. The selection of a tab configuration that can successfully produce a gage section tensile failure is dependent upon the coupon material, coupon ply orientation, and the type of grips being used. When pressure-operated nonwedge grips are used with care, squared-off 90° tabs have been used successfully. Wedge-operated grips have been used most successfully with tabs having low bevel angles (7 to 10°) and a feathered smooth transition into the coupon. For alignment purposes, it is essential that the tabs be of matched thickness.

8.2.2.4 *Friction Tabs*—Tabs need not always be bonded to the material under test to be effective in introducing the load into the specimen. Friction tabs, essentially nonbonded tabs held in place by the pressure of the grip, and often used with emery cloth or some other light abrasive between the tab and the coupon, have been successfully used in some applications. In specific cases, lightly serrated wedge grips (see Note 2) have been successfully used with only emery cloth as the interface between the grip and the coupon. However, the abrasive used

TABLE 1 Tensile Specimen Geometry Requirements

Parameter	Requirement
Coupon Requirements:	
shape	constant rectangular cross-section
minimum length	gripping + 2 times width + gage length
specimen width	as needed ^A
specimen width tolerance	±1 % of width
specimen thickness	as needed
specimen thickness tolerance	±4 % of thickness
specimen flatness	flat with light finger pressure
Tab Requirements (if used):	
tab material	as needed
fiber orientation (composite tabs)	as needed
tab thickness	as needed
tab thickness variation between tabs	±1 % tab thickness
tab bevel angle	5 to 90°, inclusive
tab step at bevel to specimen	feathered without damaging specimen

^A See 8.2.2 or Table 2 for recommendations.

TABLE 2 Tensile Specimen Geometry Recommendations^A

Fiber Orientation	Width, mm [in.]	Overall Length, mm [in.]	Thickness, mm [in.]	Tab Length, mm [in.]	Tab Thickness, mm [in.]	Tab Bevel Angle, °
0° unidirectional	15 [0.5]	250 [10.0]	1.0 [0.040]	56 [2.25]	1.5 [0.062]	7 or 90
90° unidirectional	25 [1.0]	175 [7.0]	2.0 [0.080]	25 [1.0]	1.5 [0.062]	90
balanced and symmetric	25 [1.0]	250 [10.0]	2.5 [0.100]	emery cloth	—	—
random-discontinuous	25 [1.0]	250 [10.0]	2.5 [0.100]	emery cloth	—	—

^A Dimensions in this table and the tolerances of Fig. 2 or Fig. 3 are recommendations only and may be varied so long as the requirements of Table 1 are met.

must be able to withstand significant compressive loads. Some types of emery cloth have been found ineffective in this application because of disintegration of the abrasive.⁹

8.2.2.5 Tab Material—The most consistently used bonded tab material has been continuous E-glass fiber-reinforced polymer matrix materials (woven or unwoven) in a [0/90]_ns laminate configuration. The tab material is commonly applied at 45° to the loading direction to provide a soft interface. Other configurations that have reportedly been successfully used have incorporated steel tabs or tabs made of the same material as is being tested.

8.2.2.6 Bonded Tab Length—When using bonded tabs, estimate the minimum suggested tab length for bonded tabs by the following simple equation. As this equation does not account for the peaking stresses that are known to exist at the ends of bonded joints. The tab length calculated by this equation should normally be increased by some factor to reduce the chances of joint failure:

$$L_{\min} = F^{tu}h/2F^{su} \quad (4)$$

where:

- L_{\min} = minimum required bonded tab length, mm [in.];
- F^{tu} = ultimate tensile strength of coupon material, MPa [psi];
- h = coupon thickness, mm [in.]; and
- F^{su} = ultimate shear strength of adhesive, coupon material, or tab material (whichever is lowest), MPa [psi].

8.2.2.7 Bonded Tab Adhesive—Any high-elongation (tough) adhesive system that meets the environmental requirements may be used when bonding tabs to the material under test. A uniform bondline of minimum thickness is desirable to reduce undesirable stresses in the assembly.

8.2.3 Detailed Examples—The minimum requirements for specimen design discussed in 8.2.1 are by themselves insufficient to create a properly dimensioned and toleranced coupon drawing. Dimensionally toleranced specimen drawings for both tabbed and untabbed forms are shown as examples in Fig. 2 (SI) and Fig. 3 (inch-pound). The tolerances on these drawings are fixed, but satisfy the requirements of Table 1 for all of the recommended configurations of Table 2. For a specific configuration, the tolerances on Fig. 2 and Fig. 3 might be able to be relaxed.

8.3 Specimen Preparation:

8.3.1 Panel Fabrication—Control of fiber alignment is critical. Improper fiber alignment will reduce the measured

properties. Erratic fiber alignment will also increase the coefficient of variation. The specimen preparation method shall be reported.

8.3.2 Machining Methods—Specimen preparation is extremely important for this specimen. Mold the specimens individually to avoid edge and cutting effects or cut from them plates. If they are cut from plates, take precautions to avoid notches, undercuts, rough or uneven surfaces, or delaminations caused by inappropriate machining methods. Obtain final dimensions by water-lubricated precision sawing, milling, or grinding. The use of diamond tooling has been found to be extremely effective for many material systems. Edges should be flat and parallel within the specified tolerances.

8.3.3 Labeling—Label the coupons so that they will be distinct from each other and traceable back to the raw material and in a manner that will both be unaffected by the test and not influence the test.

9. Calibration

9.1 The accuracy of all measuring equipment shall have certified calibrations that are current at the time of use of the equipment.

10. Conditioning

10.1 Standard Conditioning Procedure—Unless a different environment is specified as part of the experiment, condition the test specimens in accordance with Procedure C of Test Method D 5229/D 5229M and store and test at standard laboratory atmosphere (23 ± 3°C [73 ± 5°F] and 50 ± 10 % relative humidity).

11. Procedure

11.1 Parameters To Be Specified Before Test:

11.1.1 The tension specimen sampling method, coupon type and geometry, and conditioning travelers (if required).

11.1.2 The tensile properties and data reporting format desired.

NOTE 5—Determine specific material property, accuracy, and data reporting requirements before test for proper selection of instrumentation and data-recording equipment. Estimate operating stress and strain levels to aid in transducer selection, calibration of equipment, and determination of equipment settings.

11.1.3 The environmental conditioning test parameters.

11.1.4 If performed, the sampling method, coupon geometry, and test parameters used to determine density and reinforcement volume.

11.2 General Instructions:

11.2.1 Report any deviations from this test method, whether intentional or inadvertent.

⁹ E-Z Flex Metalite K224 cloth, Grit 120-J, available from Norton Company, Troy, NY 12181, has been found satisfactory in this application. Other equivalent types of emery cloth should also be suitable.

DRAWING NOTES:

1. INTERPRET DRAWING IN ACCORDANCE WITH ANSI Y14.5M-1982, SUBJECT TO THE FOLLOWING:
2. ALL DIMENSIONS IN MILLIMETRES WITH DECIMAL TOLERANCES AS FOLLOWS:
 NO DECIMAL | .X | .XX
 ± 3 | ± 1 | ± .3
3. ALL ANGLES HAVE TOLERANCE OF ± .5°.
4. PLY ORIENTATION DIRECTION TOLERANCE RELATIVE TO [-A-] WITHIN ± .5°.
5. FINISH ON MACHINED EDGES NOT TO EXCEED 1.6√ (SYMBOLOLOGY IN ACCORDANCE WITH ASA B46.1, WITH ROUGHNESS HEIGHT IN MICROMETRES.)
6. VALUES TO BE PROVIDED FOR THE FOLLOWING, SUBJECT TO ANY RANGES SHOWN ON THE FIELD OF DRAWING: MATERIAL, LAY-UP, PLY ORIENTATION REFERENCE RELATIVE TO [-A-], OVERALL LENGTH, GAGE LENGTH, COUPON THICKNESS, TAB MATERIAL, TAB THICKNESS, TAB LENGTH, TAB BEVEL ANGLE, TAB ADHESIVE.
7. NO ADHESIVE BUILDUP ALLOWED IN THIS AREA.

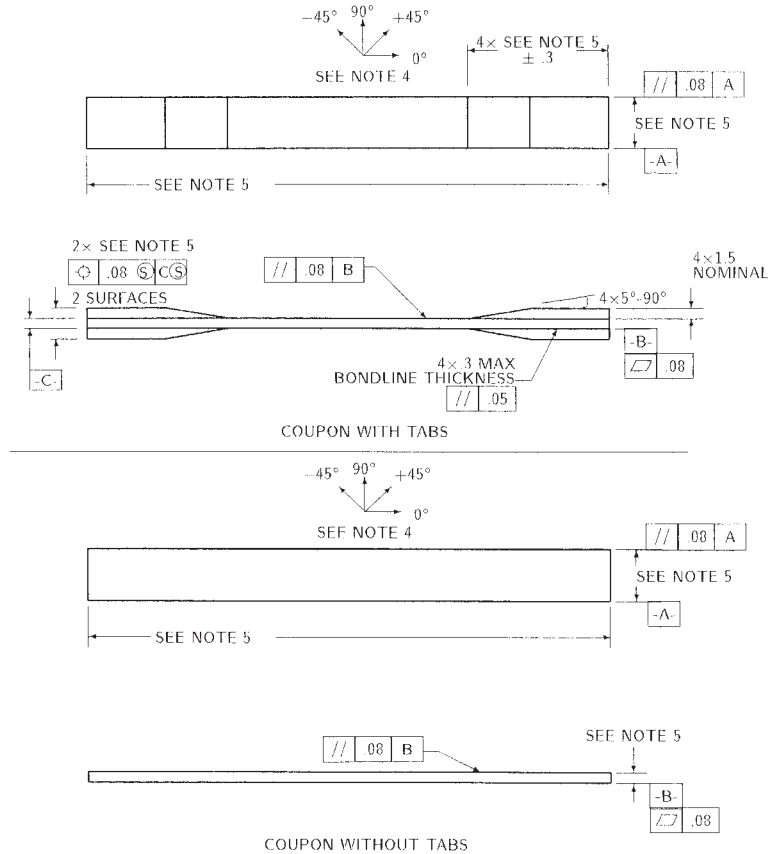


FIG. 2 Tension Test Specimen Drawing (SI)

11.2.2 If specific gravity, density, reinforcement volume, or void volume are to be reported, then obtain these samples from the same panels being tension tested. Specific gravity and density may be evaluated by means of Test Methods D 792. Volume percent of the constituents may be evaluated by one of the matrix digestion procedures of Test Method D 3171, or, for certain reinforcement materials such as glass and ceramics, by the matrix burn-off technique of Test Method D 2584. The void content equations of Test Methods D 2734 are applicable to both Test Method D 2584 and the matrix digestion procedures.

11.2.3 Following final specimen machining and any conditioning, but before the tension testing, determine the specimen area as $A = w \times h$, at three places in the gage section, and report the area as the average of these three determinations to the accuracy in 7.1. Record the average area in units of mm^2 (in.^2).

11.3 *Speed of Testing*—Set the speed of testing to effect a nearly constant strain rate in the gage section. If strain control is not available on the testing machine, this may be approximated by repeated monitoring and adjusting of the rate of load application to maintain a nearly constant strain rate, as mea-

sured by strain transducer response versus time. The strain rate should be selected so as to produce failure within 1 to 10 min. If the ultimate strain of the material cannot be reasonably estimated, initial trials should be conducted using standard speeds until the ultimate strain of the material and the compliance of the system are known, and the strain rate can be adjusted. The suggested standard speeds are:

11.3.1 *Strain-Controlled Tests*—A standard strain rate of 0.01 min^{-1} .

11.3.2 *Constant Head-Speed Tests*—A standard head displacement rate of 2 mm/min [0.05 in./min].

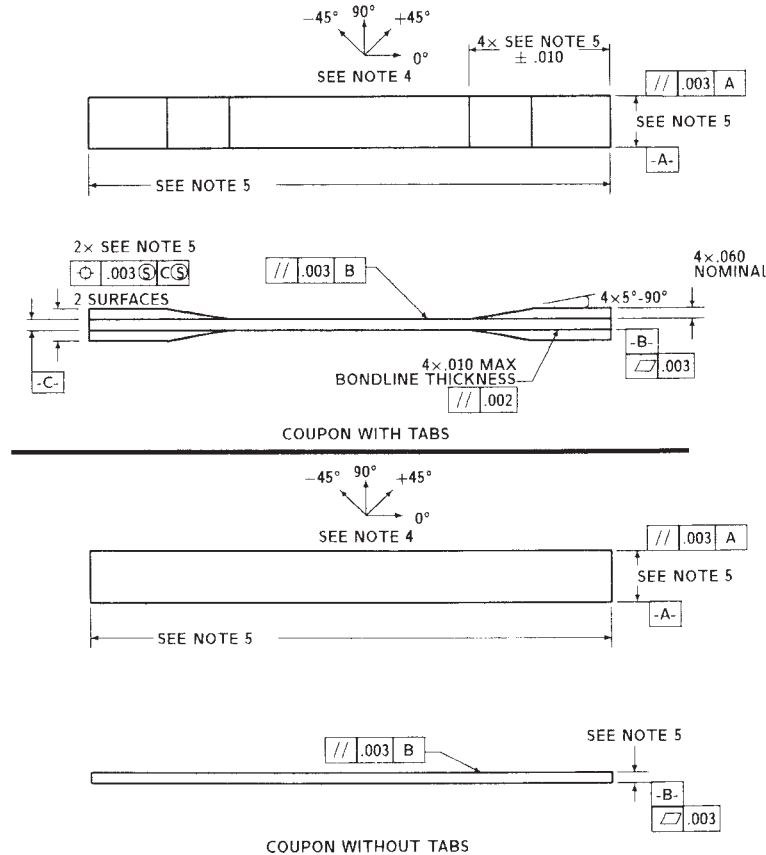
NOTE 6—Use of a fixed head speed in testing machine systems with a high compliance may result in a strain rate that is much lower than required. Use of wedge grips can cause extreme compliance in the system, especially when using compliant tab materials. In some such cases, actual strain rates 10 to 50 times lower than estimated by head speeds have been observed.

11.4 *Test Environment*—Condition the specimen to the desired moisture profile and, if possible, test under the same conditioning fluid exposure level. However, cases such as

DRAWING NOTES:

1. INTERPRET DRAWING IN ACCORDANCE WITH ANSI Y14.5M-1982, SUBJECT TO THE FOLLOWING:
2. ALL DIMENSIONS IN INCHES WITH DECIMAL TOLERANCES AS FOLLOWS:

.X	.XX	.XXX
±.1	±.03	±.01
3. ALL ANGLES HAVE TOLERANCE OF ±.5°.
4. PLY ORIENTATION DIRECTION TOLERANCE RELATIVE TO [-A-] WITHIN ±.5°.
5. FINISH ON MACHINED EDGES NOT TO EXCEED 64 $\sqrt{\text{ }}$ (SYMBOLOLOGY IN ACCORDANCE WITH ASA B46.1, WITH ROUGHNESS HEIGHT IN MICROINCHES.)
5. VALUES TO BE PROVIDED FOR THE FOLLOWING, SUBJECT TO ANY RANGES SHOWN ON THE FIELD OF DRAWING: MATERIAL, LAY-UP, PLY ORIENTATION REFERENCE RELATIVE TO [-A-], OVERALL LENGTH, GAGE LENGTH, COUPON THICKNESS, TAB MATERIAL, TAB THICKNESS, TAB LENGTH, TAB BEVEL ANGLE, TAB ADHESIVE.
6. NO ADHESIVE BUILDUP ALLOWED IN THIS AREA.


FIG. 3 Tension Test Specimen Drawing (inch-pound)

elevated temperature testing of a moist specimen place unrealistic requirements on the capabilities of common testing machine environmental chambers. In such cases, the mechanical test environment may need to be modified, for example, by testing at elevated temperature with no fluid exposure control, but with a specified limit on time to failure from withdrawal from the conditioning chamber. Modifications to the test environment shall be recorded.

11.4.1 Store the specimen in the conditioned environment until test time, if the testing area environment is different than the conditioning environment.

11.5 *Specimen Insertion*—Place the specimen in the grips of the testing machine, taking care to align the long axis of the gripped specimen with the test direction. Tighten the grips, recording the pressure used on pressure controllable (hydraulic or pneumatic) grips.

NOTE 7—The ends of the grip jaws on wedge-type grips should be even with each other following insertion to avoid inducing a bending moment that results in premature failure of the specimen at the grip. When using

untabbed specimens, a folded strip of medium grade (80 to 150 grit) emery cloth between the specimen faces and the grip jaws (grit-side toward specimen) provides a nonslip grip on the specimen without jaw serration damage to the surface of the specimen. When using tabbed specimens, insert the coupon so that the grip jaws extend approximately 10 to 15 mm [0.5 in.] past the beginning of the tapered portion of the tab. Coupons having tabs that extend beyond the grips are prone to failure at the tab ends because of excessive interlaminar stresses.

11.6 *Transducer Installation*—If strain response is to be determined attach the strain-indication transducer(s) to the specimen, symmetrically about the mid-span, mid-width location. Attach the strain-recording instrumentation to the transducers on the specimen.

11.6.1 When determining modulus of elasticity, it is recommended that at least one specimen per like sample be evaluated with back-to-back axial transducers to evaluate the percent bending, using Eq 5, at the average axial strain checkpoint value (the mid range of the appropriate chord modulus strain range) shown in Table 3. A single transducer can be used if the

TABLE 3 Specimen Alignment and Chord Modulus Calculation Strain Ranges

Tensile Chord Modulus Calculation Longitudinal Strain Range		Longitudinal Strain Checkpoint for Bending
Start Point	End Point	
$\mu\epsilon^A$	$\mu\epsilon$	$\mu\epsilon$
1000 ^B	3000	2000

^A 1000 $\mu\epsilon$ = 0.001 absolute strain.

^B This strain range is to be contained in the lower half of the stress/strain curve. For materials that fail below 6000 $\mu\epsilon$, a strain range of 25 to 50 % of ultimate is recommended.

percent bending is no more than 3 %. When bending is greater than 3 % averaged strains from back-to-back transducers of like kind are recommended.

$$B_y = \frac{|\epsilon_f - \epsilon_b|}{|\epsilon_f + \epsilon_b|} \quad (5)$$

where:

ϵ_f = indicated strain from front transducer, $\mu\epsilon$;
 ϵ_b = indicated strain from back transducer, $\mu\epsilon$; and
 B_y = percent bending in specimen.

11.7 *Loading*—Apply the load to the specimen at the specified rate until failure, while recording data.

11.8 *Data Recording*—Record load versus strain (or transducer displacement) continuously or at frequent regular intervals. If a transition region or initial ply failures are noted, record the load, strain, and mode of damage at such points. If the specimen is to be failed, record the maximum load, the failure load, and the strain (or transducer displacement) at, or as near as possible to, the moment of rupture.

NOTE 8—Other valuable data that can be useful in understanding testing anomalies and gripping or specimen slipping problems includes load versus head displacement data and load versus time data.

11.9 *Failure Mode*—Record the mode and location of failure of the specimen. Choose, if possible, a standard description using the three-part failure mode code that is shown in Fig. 4.

11.10 *Grip/Tab Failures*—Reexamine the means of load introduction into the material if a significant fraction of failures in a sample population occur within one specimen width of the tab or grip. Factors considered should include the tab alignment, tab material, tab angle, tab adhesive, grip type, grip pressure, and grip alignment.

12. Calculation

12.1 *Tensile Stress/Tensile Strength*—Calculate the ultimate tensile strength using Eq 6 and report the results to three significant figures. If the tensile modulus is to be calculated, determine the tensile stress at each required data point using Eq 7.

$$F^{tu} = P^{max}/A \quad (6)$$

$$\sigma_i = P_i/A \quad (7)$$

where:

F^{tu} = ultimate tensile strength, MPa [psi];
 P^{max} = maximum load before failure, N [lbf];
 σ_i = tensile stress at i th data point, MPa [psi];
 P_i = load at i th data point, N [lbf]; and
 A = average cross-sectional area from 11.2.3, mm² [in.²].

12.2 *Tensile Strain/Ultimate Tensile Strain*—If tensile modulus or ultimate tensile strain is to be calculated, and material response is being determined by an extensometer, determine the tensile strain from the indicated displacement at each required data point using Eq 8 and report the results to three significant figures.

$$\epsilon_i = \delta_i/L_g \quad (8)$$

where:

ϵ_i = tensile strain at i th data point, $\mu\epsilon$;
 δ_i = extensometer displacement at i th data point, mm [in.]; and
 L_g = extensometer gage length, mm [in.].

12.3 Tensile Modulus of Elasticity:

NOTE 9—To minimize potential effects of bending it is recommended that the strain data used for modulus of elasticity determination be the average of the indicated strains from each side of the specimen, as discussed in 7.3 and 11.6.

12.3.1 *Tensile Chord Modulus of Elasticity*—Select the appropriate chord modulus strain range from Table 3. Calculate the tensile chord modulus of elasticity from the stress-strain data using Eq 9. If data is not available at the exact strain range end points (as often occurs with digital data), use the closest available data point. Report the tensile chord modulus of elasticity to three significant figures. Also report the strain range used in the calculation. A graphical example of chord modulus is shown in Fig. 5.

12.3.1.1 The tabulated strain ranges should only be used for materials that do not exhibit a transition region (a significant change in the slope of the stress-strain curve) within the given strain range. If a transition region occurs within the recommended strain range, then a more suitable strain range shall be used and reported.

$$E^{chord} = \Delta\sigma/\Delta\epsilon \quad (9)$$

where:

E^{chord} = tensile chord modulus of elasticity, GPa [psi];
 $\Delta\sigma$ = difference in applied tensile stress between the two strain points of Table 3, MPa [psi]; and
 $\Delta\epsilon$ = difference between the two strain points of Table 3 (nominally 0.002).

12.3.2 *Tensile Modulus of Elasticity (Other Definitions)*—Other definitions of elastic modulus may be evaluated and reported at the user's discretion. If such data is generated and reported, report also the definition used, the strain range used,

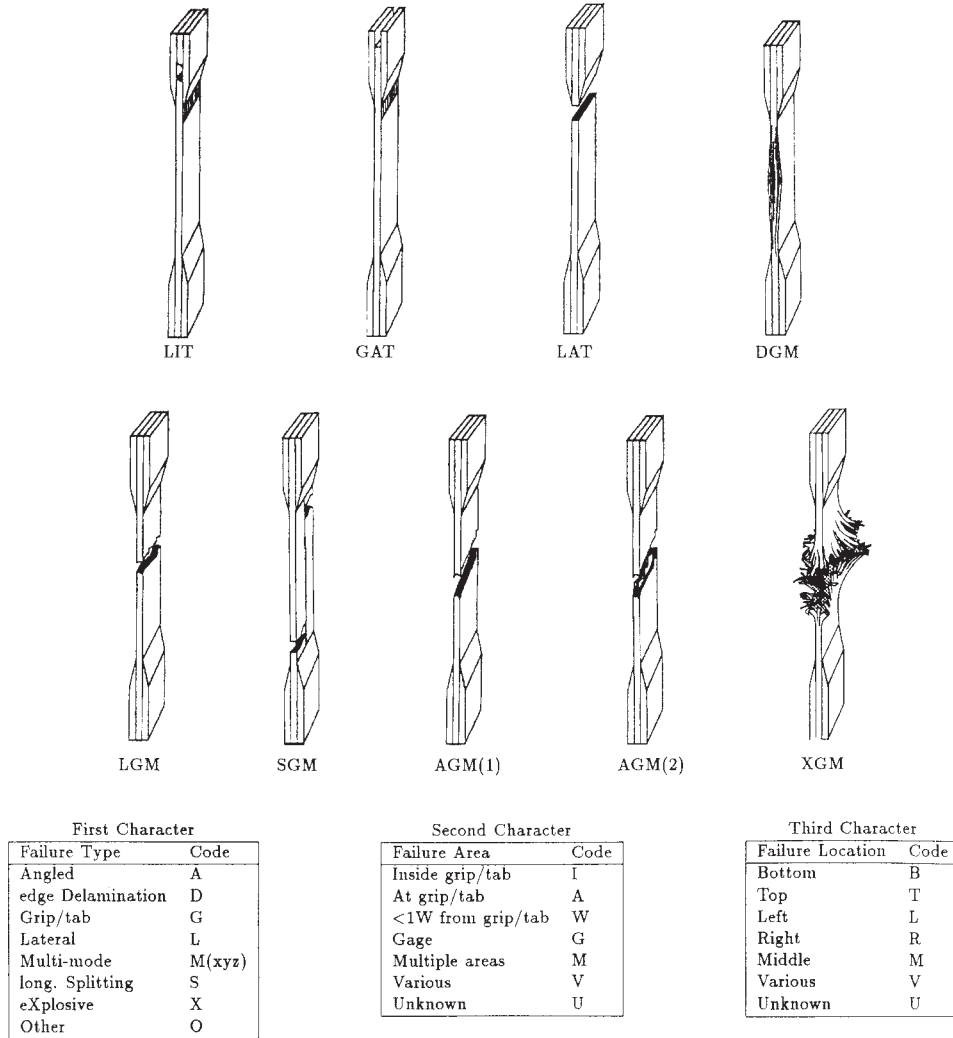


FIG. 4 Tensile Test Failure Codes/Typical Modes

and the results to three significant figures. Test Method E 111 provides additional guidance in the determination of modulus of elasticity.

NOTE 10—An example of another modulus definition is the secondary chord modulus of elasticity for materials that exhibit essentially bilinear stress-strain behavior. An example of secondary chord modulus is shown in Fig. 5.

12.4 Poisson's Ratio:

NOTE 11—If bonded resistance strain gages are being used, the error produced by the transverse sensitivity effect on the transverse gage will generally be much larger for composites than for metals. An accurate measurement of Poisson's ratio requires correction for this effect. The strain gage manufacturer should be contacted for information on the use of correction factors for transverse sensitivity.

12.4.1 Poisson's Ratio By Chord Method—Select the appropriate chord modulus longitudinal strain range from Table 3. Determine (by plotting or otherwise) the transverse strain (measured perpendicular to the applied load), ϵ_t , at each of the two longitudinal strains (measured parallel to the applied load), ϵ_l , strain range end points. If data is not available at the exact strain range end points (as often occurs with digital data), use

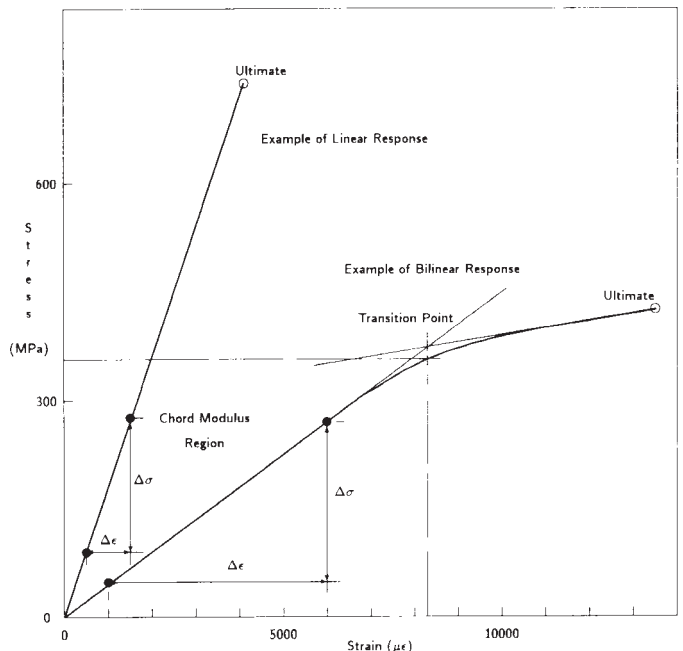


FIG. 5 Typical Tensile Stress-Strain Curves

the closest available data point. Calculate Poisson's ratio by Eq 10 and report to three significant figures. Also report the strain range used.

$$\nu = -\Delta\epsilon_t/\Delta\epsilon_l \quad (10)$$

where:

- ν = Poisson's ratio;
- $\Delta\epsilon_t$ = difference in lateral strain between the two longitudinal strain points of Table 3, $\mu\epsilon$; and
- $\Delta\epsilon_l$ = difference between the two longitudinal strain points of Table 3 (nominally either 0.001, 0.002, or 0.005).

12.4.2 *Tensile Poisson's Ratio (Other Definitions)*—Other definitions of Poisson's ratio may be evaluated and reported at the user's direction. If such data is generated and reported, report also the definition used, the strain range used, and the results to three significant figures. Test Method E 132 provides additional guidance in the determination of Poisson's ratio.

12.5 *Transition Strain*—Where applicable, determine the transition strain from either the bilinear longitudinal stress versus longitudinal strain curve or the bilinear transverse strain versus longitudinal strain curve. Create a best linear fit or chord line for each of the two linear regions and extend the lines until they intersect. Determine to three significant digits the longitudinal strain that corresponds to the intersection point and record this value as the transition strain. Report also the method of linear fit (if used) and the strain ranges over which the linear fit or chord lines were determined. A graphical example of transition strain is shown in Fig. 5.

12.6 *Statistics*—For each series of tests calculate the average value, standard deviation and coefficient of variation (in percent) for each property determined:

$$\bar{x} = (\sum_{i=1}^n x_i)/n \quad (11)$$

$$s_{n-1} = \sqrt{(\sum_{i=1}^n x_i^2 - n\bar{x}^2)/(n-1)} \quad (12)$$

$$CV = 100 \times s_{n-1}/\bar{x} \quad (13)$$

where:

- \bar{x} = sample mean (average);
- s_{n-1} = sample standard deviation;
- CV = sample coefficient of variation, in percent;
- n = number of specimens; and
- x_i = measured or derived property.

13. Report

13.1 Report the following information, or references pointing to other documentation containing this information, to the maximum extent applicable (reporting of items beyond the control of a given testing laboratory, such as might occur with material details or panel fabrication parameters, shall be the responsibility of the requestor):

- 13.1.1 The revision level or date of issue of this test method.
- 13.1.2 The date(s) and location(s) of the test.
- 13.1.3 The name(s) of the test operator(s).

13.1.4 Any variations to this test method, anomalies noticed during testing, or equipment problems occurring during testing.

13.1.5 Identification of the material tested including: material specification, material type, material designation, manufacturer, manufacturer's lot or batch number, source (if not from manufacturer), date of certification, expiration of certification, filament diameter, tow or yarn filament count and twist, sizing, form or weave, fiber areal weight, matrix type, prepreg matrix content, and prepreg volatiles content.

13.1.6 Description of the fabrication steps used to prepare the laminate including: fabrication start date, fabrication end date, process specification, cure cycle, consolidation method, and a description of the equipment used.

13.1.7 Ply orientation stacking sequence of the laminate.

13.1.8 If requested, report density, volume percent reinforcement, and void content test methods, specimen sampling method and geometries, test parameters, and test results.

13.1.9 Average ply thickness of the material.

13.1.10 Results of any nondestructive evaluation tests.

13.1.11 Method of preparing the test specimen, including specimen labeling scheme and method, specimen geometry, sampling method, coupon cutting method, identification of tab geometry, tab material, and tab adhesive used.

13.1.12 Calibration dates and methods for all measurement and test equipment.

13.1.13 Type of test machine, grips, jaws, grip pressure, alignment results, and data acquisition sampling rate and equipment type.

13.1.14 Results of system alignment evaluations, if any such were done.

13.1.15 Dimensions of each test specimen.

13.1.16 Conditioning parameters and results, use of travelers and traveler geometry, and the procedure used if other than that specified in the test method.

13.1.17 Relative humidity and temperature of the testing laboratory.

13.1.18 Environment of the test machine environmental chamber (if used) and soak time at environment.

13.1.19 Number of specimens tested.

13.1.20 Speed of testing.

13.1.21 Transducer placement on the specimen and transducer type for each transducer used.

13.1.22 If strain gages were used, the type, resistance, size, gage factor, temperature compensation method, transverse sensitivity, lead-wire resistance, and any correction factors used.

13.1.23 Stress-strain curves and tabulated data of stress versus strain for each specimen.

13.1.24 Percent bending results for each specimen so evaluated.

13.1.25 Individual strengths and average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population. Note if the failure load was less than the maximum load before failure.

13.1.26 Individual strains at failure and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

13.1.27 Strain range used for chord modulus and Poisson's ratio determination.

13.1.28 If another definition of modulus of elasticity is used in addition to chord modulus, describe the method used, the resulting correlation coefficient (if applicable), and the strain range used for the evaluation.

13.1.29 Individual values of modulus of elasticity, and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

13.1.30 If another definition of Poisson's ratio is used in addition to the chordwise definition, describe the method used, the resulting correlation coefficient (if applicable), and the strain range used for the evaluation.

13.1.31 Individual values of Poisson's ratio, and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

13.1.32 If transition strain is determined, the method of linear fit (if used) and the strain ranges over which the linear fit or chord lines were determined.

13.1.33 Individual values of transition strain (if applicable), and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

13.1.34 Failure mode and location of failure for each specimen.

14. Precision and Bias

14.1 Precision:

14.1.1 The precision and bias of tension test strength and modulus measurements depend on strict adherence to the Test Method D 3039/D 3039M and are influenced by mechanical and material factors, specimen preparation, and measurement errors.

14.1.2 Mechanical factors that can affect the test results include: the physical characteristics of the testing machine (stiffness, damping, and mass), accuracy of loading and displacement/strain measurement, speed of loading, alignment of test specimen with applied load, parallelism of the grips, grip pressure, and type of load control (displacement, strain, or load).

14.1.3 Material factors that can affect test results include: material quality and representativeness, sampling scheme, and specimen preparation (dimensional accuracy, tab material, tab taper, tab adhesive, and so forth).

14.1.4 The mean tensile strength for a strain rate sensitive, glass/epoxy tape composite testing in the fiber direction was found to increase by approximately two standard deviations with decreasing time to failure tested at the limits of the recommended time to failure prescribed in Test Method D 3039/D 3039M. This result suggest that caution must be used when comparing test data obtained for strain rate sensitive composite materials tested in accordance with this standard.

14.1.5 Measurement errors arise from the use of specialized measuring instruments such as load cells, extensometers and strain gages, micrometers, data acquisition devices, and so forth.

14.1.6 Data obtained from specimens that fracture outside the gage are should be used with caution as this data may not be representative of the material. Failure in the grip region indicates the stress concentration at the tab is greater than the

natural strength variation of the material in the gage section. A tapered tab, bonded with a ductile low-modulus adhesive has a relatively low-stress concentration and should result in the lowest frequency of grip failures. Low-strength bias increases with the frequency of grip failures by an amount proportional to the stress concentration at the tab.

14.1.7 An interlaboratory test program was conducted where an average of five specimens each, of six different materials and lay-up configurations, were tested by nine different laboratories.¹⁰ Table 4 presents the precision statistics generated from this study as defined in Practice E 691 for tensile strength, modulus, and failure strain. All data except that for Material B (90° lay-up) was normalized with respect to an average thickness. The materials listed in Table 15 are defined as:

A	IM-6/3501-6 uni-tape (0)n
B	IM-6/3501-6 uni-tape (90)n
C	IM-6/3501-6 uni-tape (90/0)n
F	Glass/epoxy fabric (7781 glass/Ciba R 7376 Epoxy)- warp aligned
G	Carbon/epoxy fabric (66108 carbon/Ciba R 6376

TABLE 4 Precision Statistics

Material	\bar{x}	$s \bar{x}$	S_r	S_R	$S_r/\bar{x}, \%$	$S_R/\bar{x}, \%$
Strength, ksi						
A	342.69	8.49	10.68	12.78	3.12	3.73
B	8.52	0.52	0.85	0.92	9.94	10.84
C	156.37	3.84	10.85	10.85	6.94	6.94
F	66.18	3.20	1.52	3.48	2.30	5.26
G	121.52	1.59	3.92	3.92	3.23	3.23
Modulus, Msi						
A	23.57	0.65	0.63	0.86	2.69	3.66
B	1.30	0.05	0.04	0.06	3.12	4.57
C	12.38	0.29	0.37	0.44	2.98	3.54
F	3.95	0.08	0.04	0.09	1.01	2.28
G	9.47	0.16	0.12	0.20	1.29	2.06
Failure Strain, %						
A	1.36	0.06	0.07	0.08	4.95	6.15
B	0.66	0.04	0.08	0.09	12.47	13.02
C	1.22	0.03	0.06	0.06	5.25	5.27
F	2.04	0.15	0.07	0.16	3.19	8.03
G	1.27	0.03	0.05	0.05	3.83	4.13

14.1.8 The averages of the coefficients of variation are in Table 5. The values of S_r/X and S_R/X represent the repeatability and the reproducibility coefficients of variation, respectively. These averages permit a relative comparison of the repeatability (within laboratory precision) and reproducibility (between laboratory precision) of the tension test parameters. Overall, this indicates that the failure strain measurements exhibit the least repeatability and reproducibility of all the parameters measured while modulus was found to provide the highest repeatability and reproducibility of the parameters measured.

¹⁰ International Harmonization of Composite Materials—Phase I: Harmonization of ASTM D 3039/D 3039M and ISO 527-5, Final Report, ASTM Institute for Standards Research, April 1997.

TABLE 5 Averages of the Coefficients of Variation

Parameter	Average of S/X , %	Average of S_R/X , %
Strength	5.11	6.00
Modulus	2.22	3.22
Failure strain	5.94	7.32

14.1.9 The consistency of agreement for repeated tests of the same material is dependent on lay-up configuration, mate-

rial and specimen preparation techniques, test conditions, and measurements of the tension test parameters.

14.2 *Bias*—Bias cannot be determined for this test method as no acceptable reference standard exists.

15. Keywords

15.1 composite materials; modulus of elasticity; Poisson's ratio; tensile properties; tensile strength

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

MAQUINAS UNIVERSALES DE ENSAYOS Electromecánicas Modelos MTE-10/25/50

Máquinas de Doble Columna para Ensayos de Materiales diseñadas para realizar ensayos de Tracción – Compresión – Flexión – Cizallamiento – Pelado - Desgarramiento ... sobre muestras de materiales tales como Plásticos, Caucho, Metales ligeros, Adhesivos, Textiles, Madera, Hilos, Cuerdas...



CAPACIDADES: 10 - 25 y 50 kN

Células de carga disponibles no incluidas en el suministro estándar:
50kN - 25kN - 10kN - 5kN - 3kN - 1kN - 500N - 250N - 100N - 50N y 10N

- Ensayos - Tracción – Compresión - Flexión - Cizallamiento...
- Exactitud $\pm 0,5\%$ (EN ISO 7500:2004 Clase 0.5 ASTM E4)
- Accionamiento Electromecánico
- La Máquina de Ensayos en suministro estándar va equipada con:

- ✓ 1 Software avanzado de Ensayos de Materiales **METROTEST** Multilingüe (Español – Inglés – Francés y Alemán)
- ✓ 1 Pack de Estadísticas: Graficas de Barras – Campanas de Gauss y Comparativa de Referencias
- ✓ 1 "All-in-One" Touch Screen PC con Monitor de 22" Panorámico



INFORMACIÓN GENERAL:

Las Máquinas Universales de Ensayos electromecánicas MTE-10/25/50 de sobremesa con capacidades entre 10 y 50 kN tienen las más avanzadas y fiables estructuras en marco de ensayos electromecánicos con husillos de circulación a bolas. El sistema de control computerizado permite realizar el control en lazo cerrado de parámetros tales como fuerza de ensayo, deformación de la probeta y recorrido del travesaño etc. El sistema realiza en tiempo real sobre la pantalla del PC diagramas de ensayo, curvas de ensayo y creación de informes de ensayo. El control en lazo cerrado a través del programa de ensayos **METROTEST** hace posible la realización de ensayos cíclicos. Mediante una simple conexión con diferentes accesorios las máquinas de la serie MTE pueden hacer ensayos de diversos materiales y componentes para ajustarse a sus necesidades en control de calidad e investigación.

En el apartado de cumplimiento de Normas Internacionales, cumple o supera los requerimientos de las siguientes normas: ISO 7500-1, ASTM-E4, EN10002-2, BS 1610, DIN51221, ISO6892.

Con objeto de configurar las pruebas y completar las Máquinas Universales de Ensayos MTE-10/25/50, disponemos de manera opcional una amplia gama de accesorios de ensayo tales como Mordazas, Extensómetros, Puentes de Flexión, Dispositivos Especiales, etc.

Las **MAQUINAS UNIVERSALES DE ENSAYO Computarizadas MTE-10/50**, están formadas por un bastidor robusto en el cual se encuentra el marco de ensayos. El marco de ensayos está compuesto por dos husillos de accionamiento y re-circulación a bolas con protectores, de bajo coeficiente de fricción y dos columnas guía de acero cromado y rectificado.

La medición de fuerza se realiza a través de una célula de carga tracción-compresión alojada en el travesaño móvil. A dicha célula de carga se le acoplan los utillajes de ensayo necesarios (no incluidos en el suministro estándar de la Máquina Universal de Ensayos MTE-10/50).

El marco de ensayos admite sobrecargas del 120% de la fuerza nominal sin afectar a su precisión de medida o funcionamiento, lo cual da al bastidor una gran robustez y seguridad de correcto funcionamiento ante un trabajo intensivo.

Dispone de un sistema de limitadores de recorrido superior e inferior ajustables independientemente por el usuario. En el interior de la caja base se incluyen los elementos de transmisión, el transformador, electrónica de regulación, servomotor, etc.

CARACTERISTICAS:

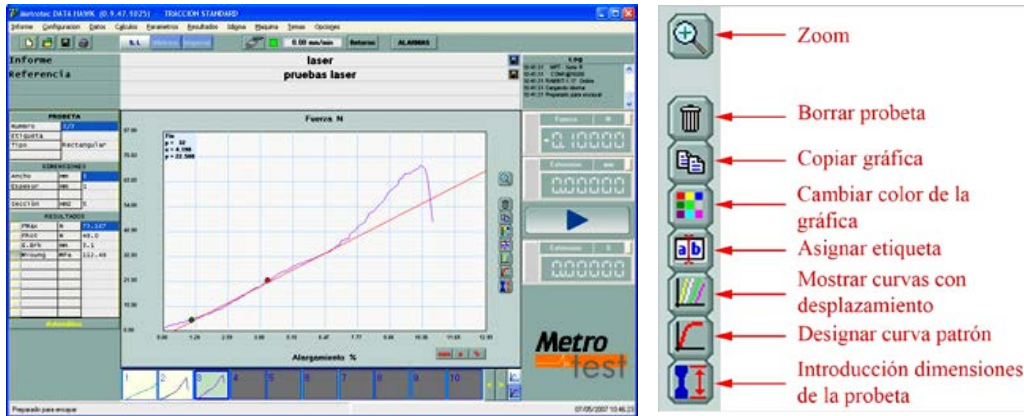
- ✓ Completamente computarizadas: El sistema de control y medición con tarjeta electrónica específica usadas para máquinas de ensayo, realizando la tara a cero y añadiendo un ajuste el cual es muy fiable.
- ✓ Dispone de un gestor de Bases de Datos para los resultados de ensayo el cual almacena de acuerdo a un formato estándar lo cual facilita el análisis y la transferencia a otros programas.
- ✓ Cumplimiento de requerimientos de ensayo para todo tipo de materiales con todas las normas de ensayo internacionales.
- ✓ Con un amplio rango de funciones en los gráficos, se pueden realizar cambios de color de las curvas, magnificaciones (zoom), reducciones, auto-escalado de las curvas (lo cual facilita y acorta el tiempo de realización de un ensayo con un nuevo material), desplazamiento de las curvas en el eje de deformaciones, designar curva patrón, asociación de etiquetas a cada gráfica, indicación de los valores digitalmente en la pantalla e impresión todo tipo de curvas de ensayo.
- ✓ El diseño modular facilita la modernización del software en el futuro.

*Maquina Universal de Ensayos MTE-25
equipada con Extensómetro de contacto de
grandes alargamientos*

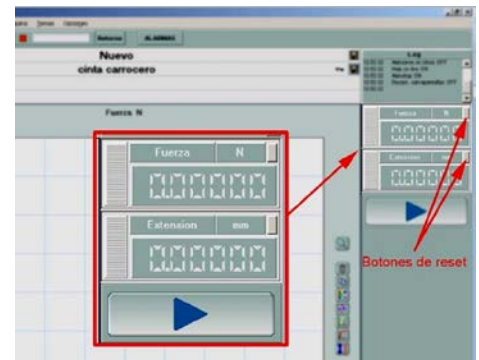


SOFTWARE DE ENSAYOS DE MATERIALES METROTEST

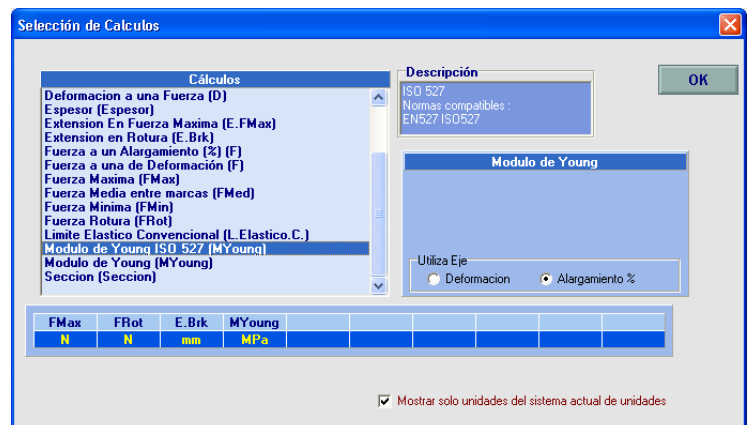
Programa **METROTEST** basado en WINDOWS MS es fácil y rápido de usar para alcanzar diferentes funciones, adaptable a la mayoría de los hábitos del operario. Con todas las funciones integradas como información de la muestra de ensayo, elección de la muestra, pantalla de datos, procesamiento de datos, análisis de datos operaciones de ensayo...fácil de usar.



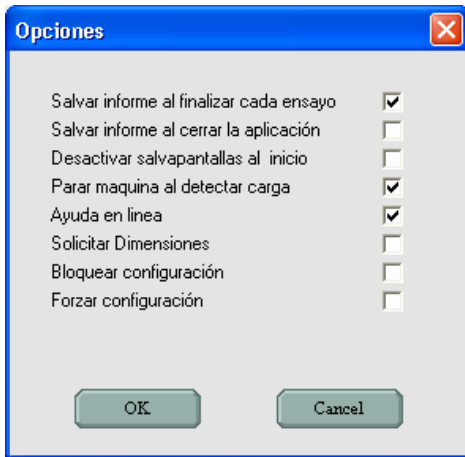
- ✓ Diseño de interfaz muy claro, intuitivo, atractivo y con información en pantalla.
- ✓ Elección de unidades diferentes para cada uno de los resultados.
- ✓ Recorrido de todos los puntos de la gráfica, punto por punto.
- ✓ Asociación de etiquetas a cada gráfica.
- ✓ Creación y manejo de curvas patrón.
- ✓ Ayuda sensible al contexto
- ✓ Informe personalizable
- ✓ Informes en formato PDF directamente sin necesidad de software adicional
- ✓ Auto escala automática en las gráficas
- ✓ Límites de ensayo independientes de límites de la gráfica
- ✓ Auto-guardado de resultados, probeta a probeta
- ✓ Visualización de curvas individual o múltiple
- ✓ Interfaz personalizable
- ✓ Opción de solicitar dimensiones de las muestras al comienzo de cada ensayo.
- ✓ Información en pantalla de las tareas que va realizando el programa (log)
- ✓ Parametrización visual de resultados.



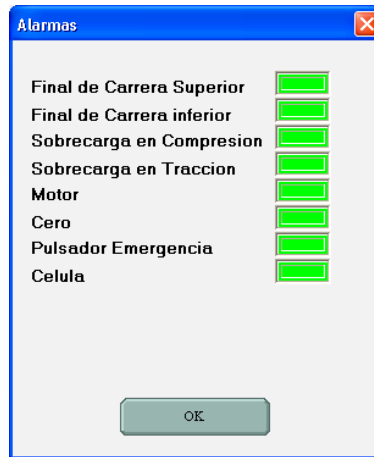
Menú PARAMETROS DE ENSAYO



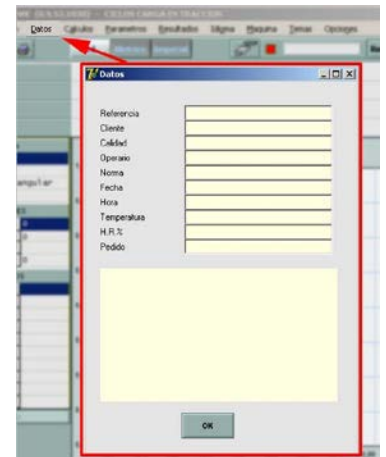
Menú SELECCIÓN DE CALCULOS



Menú OPCIONES



Menú ALARMAS

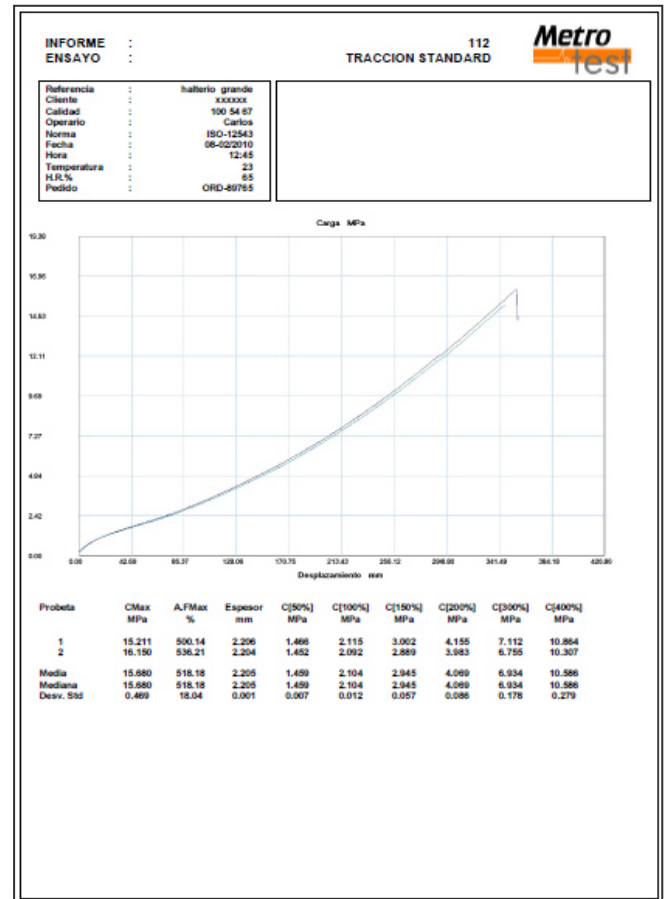


Menú DATOS

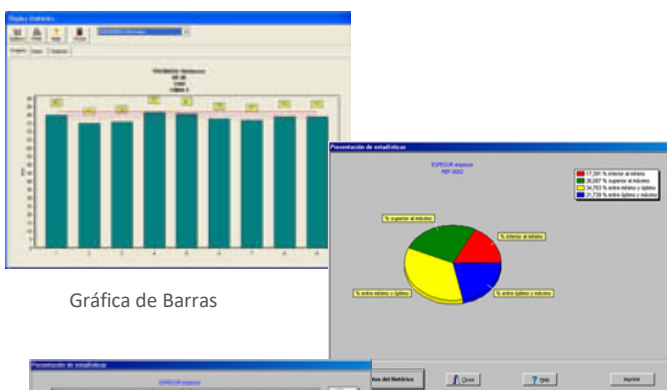
	FMax	FProt	E.Elek	HYoung
II	M	aa	MPa	
1	59.833	59.9	4.3	72.07
2	64.667	28.9	3.1	89.94
3	73.167	48.0	3.1	112.48
Media 65.866 45.2 3.5 91.16				
Dev Std 5.385 12.4 0.5 18.58				
Máximo 73.167 58.8 4.3 112.48				
C.V. 0.080 0.3 0.2 0.18				

Estadísticas:
 Media Mínimo
 Desviación Estandar Rango
 Máximo Coeficiente Variancia

Menú RESULTADOS



INFORME DE ENSAYOS



Gráfica de Barras

Comparativa de Tolerancias

Campanas de Gauss

Accesorios y útiles de ensayos OPCIONALES:

- ✓ Amplia gama de mordazas y útiles de ensayo para diversas aplicaciones y materiales



Puentes de Flexión



Mordazas Neumáticas
(Film – Tejidos – Láminas...)



Cámaras Térmicas Ensayos
(-70°C +280 °C)



Mordazas 1 Rodillo
(Hilos – Cuerdas – Alambres –
Cables Finos Dúctiles...)



Mordazas tipo Cuña
(Metales – Plásticos - Alambres –
Cables - Composites...)



OPCIONAL: Mando remoto
Control Digital Posicionamiento



EXTENSOMETROS
Pequeñas Extensiones



CABINAS DE
SEGURIDAD

EXTENSOMETROS
Gran Alargamiento



CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS FUNCIONALES:

UNIDAD DE CONTROL

- ✓ Control por PC y Software de Ensayos **METROTEST**
- ✓ Nivel de rotura de la muestra (% de caída de la fuerza al final del ensayo)
- ✓ Mantenimiento de picos de Fuerza / Extensión en Tracción o Compresión
- ✓ Selección de unidades de fuerza y deformación
- ✓ Modo de control externo por "All-in-One" Touch Screen PC con Monitor de 22"
- ✓ Puerto serie RS-232

MEDIDA DE FUERZA

- ✓ Rango: 2% a 100% - Precisión 0,5% de la fuerza aplicada
- ✓ Precisión en Fuerzas: Clase 0.5 (exactitud ± 0,5%)
- ✓ Resolución lecturas de carga: 1/200.000 puntos:
 - 1/100.000 en Tracción
 - 1/100.000 en Compresión
- ✓ Velocidad Muestreo Datos Fuerza (interna): 30.000 S/segundo
- ✓ Tara de carga digital 20% con la Célula de Carga en su máxima capacidad
- ✓ Unidades seleccionables: kN, N, cN, kgf, gf, lbf.
- ✓ Sistema de protección de la Célula de Carga
- ✓ Pre-carga programable
- ✓ Convertidor de alta velocidad A/D de 18 bit

MEDIDA DE RECORRIDO (Travesañó Móvil)

- ✓ Medida directa desde los husillos de accionamiento
- ✓ Rango único de medida (1 escala)
- ✓ Resolución de lectura: 0,001 mm
- ✓ Precisión de auto-retorno, mejor que 0,05 mm
- ✓ Unidades seleccionables: Milímetros y Pulgadas
- ✓ Límites de extensión programables

CONTROL DE VELOCIDAD

- ✓ Rango de velocidades variables (ver cuadro)
- ✓ Velocidad de retorno variable dentro de rango (ver cuadro)
- ✓ Resolución de velocidad prefijada: < 0,02 mm / minuto
- ✓ Precisión de la velocidad: ≤ ± 0,5%
- ✓ Velocidad de Pre-carga variable dentro del rango (ver cuadro)
- ✓ Sistema de protección de corriente
- ✓ Accionamiento por servo-motor



Modelo	MTE/10	MTE/25	MTE/50
Capacidad	10 KN (2248 lbf)	25 KN (5620 lbf)	50 KN (11240 lbf)
Resolución en fuerza con célula 10/25/50kN	0,1 N (0.22 lbf)	0,25 N (0.06 lbf)	0,5 N (0.11 lbf)
Exactitud medida fuerza	≤ ± 0,5%)		
Resolución en recorrido	0,001 mm		
Exactitud medida recorrido	≤ ± 1%)		
Recorrido travesañó móvil	1100 mm	1000mm	
Separación Standard entre columnas	430 mm		
Velocidades Standard	0,05 – 1000 mm /min.	0,05 – 500 mm /min.	
Separación entre fijaciones (adaptadores)	1100 mm	1000 mm	
Corriente eléctrica	220V / 50Hz - 110V/60Hz Monofásica.		
Potencia aproximada	600 w	750 w	1 Kw
Condición de temperatura ambiente de trabajo Humedad Relativa	10 °C ~ 35 °C 20% -80%		
Dimensiones Bastidor aprox.	1780 x 850 x 575 mm (Alto x Ancho x Fondo)	1780 x 850 x 575 mm (Alto x Ancho x Fondo)	1780 x 850 x 575 mm (Alto x Ancho x Fondo)
Peso Neto aprox.	140 Kg	190 Kg	195 Kg
Dimensiones Embalaje de madera aprox.	2050 x 1100 x 750mm (Largo x Ancho x Alto)	2050 x 1100 x 750mm (Largo x Ancho x Alto)	2050 x 1100 x 750mm (Largo x Ancho x Alto)
Peso Bruto aprox.	210 Kg	265 Kg	275 Kg

* TECHLAB SYSTEMS S.L. se reserva el derecho a realizar cualquier modificación técnica sin previo aviso

Doc: MTE-10_50-1-CAT-E-R8