



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE LAS
LÁMINAS PARA AUTOPARTES EN FIBRA DE VIDRIO
REFORZADAS CON WOVEN ROVING 800 EN LA FÁBRICA
MASTER FIBRA UBICADA EN AMBATO.”**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTORA: IVONNE ESTEFANÍA VARGAS CÁCERES

DIRECTOR: ING. CÉSAR ARTURO PUENTE GUIJARRO. PhD.

Riobamba - Ecuador

2020

©2020, Ivonne Estefanía Vargas Cáceres

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, IVONNE ESTEFANÍA VARGAS CÁCERES, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autora, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 17 de febrero del 2020




A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Ivonne Vargas', with a stylized flourish underneath.

Ivonne Estefanía Vargas Cáceres

180466599-8

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal de Trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Proyecto Técnico, **“OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE LAS LÁMINAS PARA AUTOPARTES EN FIBRA DE VIDRIO REFORZADAS CON WOVEN ROVING 800 EN LA FÁBRICA MASTER FIBRA UBICADA EN AMBATO”**, realizado por la señorita: **IVONNE ESTEFANÍA VARGAS CÁCERES**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Dr. Bolívar Edmundo Flores Humanante PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2020-02-17
Ing. César Arturo Puente Guijarro DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN		2020-02-17
Ing. Bolívar Efraín Morales Oñate MIEMBRO DE TRIBUNAL		2020-02-17

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación lo dedico con mucho amor y cariño a: Mis padres *Carlos y Rosario*, quienes son mi razón de ser, por inculcar en mí el ejemplo de humildad, perseverancia y disciplina, por su apoyo incondicional durante el arduo camino para cumplir con excelencia mis metas. Mi abuelito *Marco Antonio*, a quien considero como mi segundo padre, por sus alentadoras palabras y oraciones, por ser reflejo de vida, sabiduría y experiencia que definitivamente merece mi respeto y admiración. Mis hermanas *Diana y Paola*, quienes son una parte esencial en mi vida, por enseñarme las primeras letras que reflejaría a largo plazo un éxito en mi vida, por ser cómplices de muchas aventuras, entender muchos de mis silencios y brindarme el mejor regalo “mis sobrinos”. Finalmente, de manera especial a *Santiago*, mi compañero ideal, por ser parte de mi vida y de esa fuerza que me impulsa a seguir adelante, por su apoyo y comprensión durante este trayecto académico.

Ivonne

AGRADECIMIENTO

A Dios, por su infinito amor y misericordia, por protegerme durante todo mi camino y brindarme la fuerza necesaria para culminar con éxito esta etapa de mi vida. A la Empresa *Master Fibra*, en especial al Gerente Víctor Vascones, por su tiempo y colaboración incondicional para el desarrollo de este proyecto técnico. Al *Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero* por su colaboración para la culminación de este estudio. A la *Escuela Superior Politécnica de Chimborazo* y mis profesores, en especial al Ing. César Puente e Ing. Bolívar Morales quienes me han guiado y asesorado durante el desarrollo de este proyecto como parte de mi formación profesional.

Ivonne

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiii
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS	xv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT	xvii
INTRODUCCIÓN	1

CAPITULO I

1	DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.1	Identificación del problema.....	2
1.2	Línea base del proyecto	3
1.2.1	<i>Antecedentes de la empresa</i>	3
1.3	Beneficiarios directos e indirectos	4
1.3.1	<i>Beneficiarios directos</i>	4
1.3.2	<i>Beneficiarios indirectos</i>	4
1.4	Localización del proyecto	4
1.5	Objetivos	5
1.5.1	<i>Objetivo General</i>	5
1.5.2	<i>Objetivos Específicos</i>	6

CAPITULO II

2	FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	7
2.1	Material compuesto.....	7
2.2	Fibra de vidrio.....	8
2.2.1	<i>Generalidades</i>	8
2.2.2	<i>Propiedades y Aplicaciones</i>	9
2.2.3	<i>Fabricación</i>	10
2.2.4	<i>Presentaciones industriales</i>	11
2.3	Comportamiento mecánico de materiales reforzados con fibras.....	12

2.3.1	<i>Influencia de la longitud y diámetro de la fibra</i>	12
2.3.2	<i>Cantidad de fibra</i>	12
2.3.3	<i>Orientación de la fibra</i>	12
2.4	Laminado	13
2.5	Ensayos de caracterización mecánica	14
2.5.1	<i>Ensayo Flexión</i>	14
2.5.2	<i>Ensayo tracción</i>	15
2.5.3	<i>Ensayo dureza</i>	15
2.5.4	<i>Ensayo impacto</i>	16

CAPITULO III

3	MARCO METODOLÓGICO	17
3.1	Tipo de estudio	17
3.1.1	<i>Nivel de la investigación</i>	17
3.2	Análisis del proceso de laminado actual (L_A) para autopartes en fibra de vidrio. 18	
3.2.1	<i>Configuración de laminado actual y laminado propuesto para la optimización</i>	22
3.3	Elaboración de probetas	25
3.3.1	<i>Técnicas</i>	25
3.3.2	<i>Dimensionamiento de las probetas</i>	26
3.3.3	<i>Proceso de elaboración de probetas</i>	27
3.3.4	<i>Codificación de probetas</i>	31
3.4	Esquema o diseño del experimento para los ensayos mecánicos	31
3.5	Prueba tecnológica de elaboración de probetas	33
3.6	Procedimiento experimental para los ensayos de caracterización mecánica	33
3.6.1	<i>Ensayo Flexión</i>	34
3.6.2	<i>Ensayo Tracción</i>	35
3.6.3	<i>Ensayo Dureza</i>	37
3.6.4	<i>Ensayo Impacto</i>	38
3.7	Cálculos de Ingeniería	39
3.7.1	<i>Determinación del peso de resina en los laminados</i>	40
3.7.2	<i>Determinación de los porcentajes de fibra y resina en los laminados propuestos</i>	42
3.7.3	<i>Determinación de las propiedades mecánicas</i>	43
3.8	Resultados	46
3.9	Requerimientos de tecnología, equipos y maquinaria	49
3.10	Análisis de Costo/beneficio del proyecto	50

3.10.1	<i>Presupuesto</i>	50
3.10.2	<i>Análisis comparativo de costos</i>	52
3.11	Cronograma del proyecto técnico	54

CAPITULO IV

4	ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN	56
4.1	Resultados de la prueba tecnológica de elaboración de probetas	56
4.2	Determinación del peso de resina en los laminados	57
4.3	Determinación de los porcentajes de fibra y resina en los laminados propuestos .	57
4.4	Resultados de los ensayos mecánicos	58
4.4.1	<i>Resultados del ensayo Flexión</i>	59
4.4.2	<i>Resultados del ensayo Tracción</i>	62
4.4.3	<i>Resultados del ensayo de Dureza Shore D</i>	66
4.4.4	<i>Resultados del ensayo de Impacto Charpy</i>	68
4.4.5	<i>Selección del laminado con la mejor combinación de propiedades mecánicas</i>	71

	CONCLUSIONES	73
--	---------------------------	----

	RECOMENDACIONES	74
--	------------------------------	----

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Datos geográficos de la Fábrica Master Fibra	5
Tabla 1-3:	Parámetros de trabajo en el proceso actual de laminado para autopartes.	21
Tabla 2-3:	Configuración de Laminado Actual y Propuesto para la optimización	22
Tabla 3-3:	Normativa aplicable para ensayos de caracterización mecánica	25
Tabla 4-3:	Descripción de los materiales utilizados en la elaboración de probetas	27
Tabla 5-3:	Número de capas del material de refuerzo para los laminados	29
Tabla 6-3:	Esquema o diseño del experimento para los ensayos mecánicos	32
Tabla 7-3:	Prueba tecnológica de elaboración de probetas	33
Tabla 8-3:	Distancia entre apoyos para el ensayo a flexión	35
Tabla 9-3:	Peso de las capas de fibra de vidrio Mat empleada en cada laminado	40
Tabla 10-3:	Resultados de la cantidad de resina en los laminados	46
Tabla 11-3:	Resultados de los porcentajes de resina y fibra en los laminados	46
Tabla 12-3:	Resultados del ensayo Flexión en los laminados.....	47
Tabla 13-3:	Resultados del ensayo Tracción en los laminados.....	47
Tabla 14-3:	Resultados del ensayo Dureza Shore D en los laminados	48
Tabla 15-3:	Resultados del ensayo Impacto Charpy en los laminados	48
Tabla 16-3:	Requerimientos de equipos y maquinaria en la elaboración de probetas	49
Tabla 17-3:	Requerimientos de equipos y maquinaria para los ensayos mecánicos.....	49
Tabla 18-3:	Presupuesto para del proyecto técnico.....	51
Tabla 19-3:	Costos de materiales en la elaboración del Laminado Actual (L_A)	52
Tabla 20-3:	Costos de materiales en la elaboración del Laminado Propuesto 1 (L_{P1})	52
Tabla 21-3:	Costos de materiales en la elaboración del Laminado Propuesto 2 (L_{P2})	53
Tabla 22-3:	Costos de materiales en la elaboración del Laminado Propuesto 3 (L_{P3})	53
Tabla 23-3:	Cronograma del Proyecto Técnico	55
Tabla 1-4:	Criterio para el análisis estadístico	58
Tabla 2-4:	ANOVA para esfuerzo máximo de flexión	59
Tabla 3-4:	Resumen estadístico para esfuerzo máximo de flexión (MPa).....	59
Tabla 4-4:	ANOVA para módulo de elasticidad.....	60
Tabla 5-4:	Resumen estadístico para módulo de elasticidad (MPa)	60
Tabla 6-4:	ANOVA para deformación máxima.....	61
Tabla 7-4:	Resumen estadístico para deformación máxima	62
Tabla 8-4:	ANOVA para esfuerzo máximo de tracción.....	63
Tabla 9-4:	Resumen estadístico para esfuerzo máximo de tracción (MPa)	63
Tabla 10-4:	ANOVA para módulo de elasticidad a la tracción	64

Tabla 11-4: Resumen estadístico para módulo de elasticidad a tracción (MPa).....	64
Tabla 12-4: ANOVA para % de elongación	65
Tabla 13-4: Resumen estadístico para % de elongación	66
Tabla 14-4: ANOVA para dureza shore D.....	67
Tabla 15-4: Resumen estadístico para dureza shore D (HS).....	67
Tabla 16-4: ANOVA para energía de ruptura.....	68
Tabla 17-4: Resumen estadístico para energía de ruptura (J)	69
Tabla 18-4: ANOVA para resistencia al impacto	69
Tabla 19-4: Resumen estadístico para resistencia al impacto (J/m).....	70
Tabla 20-4: Comparación de las medias para las propiedades mecánicas.....	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Carrocería de un autobús	3
Figura 2-1: Mapa de Georreferenciación de la Fábrica Master Fibra.....	5
Figura 1-2: Componentes de un material compuesto	7
Figura 2-2: Tipos de material de refuerzo	8
Figura 3-2: Partes y piezas de autobuses a base de fibra de vidrio.....	10
Figura 4-2: Proceso de fabricación de fibra de vidrio.....	10
Figura 5-2: Presentaciones industriales de la fibra de vidrio	11
Figura 6-2: Estructura de un material compuesto laminado	13
Figura 7-2: Tipos de láminas compuestas reforzadas con fibra.....	13
Figura 8-2: Ensayo Flexión.....	14
Figura 9-2: Ensayo Tracción.....	15
Figura 10-2: Ensayo Dureza	15
Figura 11-2: Ensayo Impacto Charpy	16
Figura 1-3: Método de laminación manual.....	18
Figura 2-3: Esquema del Laminado Propuesto Actual (L _A)	23
Figura 3-3: Esquema del Laminado Propuesto 1 (L _{P1})	23
Figura 4-3: Esquema del Laminado Propuesto 2 (L _{P2})	24
Figura 5-3: Esquema del Laminado Propuesto 3 (L _{P3})	24
Figura 6-3: Dimensiones de probeta para ensayo a Flexión	26
Figura 7-3: Dimensiones de probeta para ensayo a Tracción	26
Figura 8-3: Dimensiones de probeta para ensayo de Dureza Shore D.....	26
Figura 9-3: Dimensiones de probeta para ensayo de Impacto Charpy	26
Figura 10-3: Procedimiento A para ensayo a Flexión	34

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3:	Diagrama de flujo del proceso de laminación manual en Master Fibra	20
Gráfico 2-3:	Análisis comparativo de costos	54
Gráfico 1-4:	Comparación de la prueba tecnológica.....	56
Gráfico 2-4:	Comparación de la cantidad de resina en los laminados	57
Gráfico 3-4:	Comparación de los %Fibra y %Resina en los laminados	58
Gráfico 4-4:	Gráfico de medias para el esfuerzo máximo de flexión (MPa)	60
Gráfico 5-4:	Gráfico de medias para módulo de elasticidad a la flexión (MPa).....	61
Gráfico 6-4:	Gráfico de medias para deformación máxima.....	62
Gráfico 7-4:	Gráfico de medias para esfuerzo máximo a la tracción (MPa).....	64
Gráfico 8-4:	Gráfico de medias para módulo de elasticidad a tracción (MPa)	65
Gráfico 9-4:	Gráfico de medias para % de elongación	66
Gráfico 10-4:	Gráfico de medias para dureza shore D (HS).....	68
Gráfico 11-4:	Gráfico de medias para energía de ruptura (J).....	69
Gráfico 12-4:	Gráfico de medias para resistencia al impacto (J/m).....	70

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1-3: Guardachoque elaborado por laminación manual	21
Fotografía 2-3: Preparación e inspección del molde	28
Fotografía 3-3: Fibra de Vidrio Mat 450 g/m ² y Woven Roving 800 g/m ²	29
Fotografía 4-3: Resina poliéster catalizada.....	29
Fotografía 5-3: Laminados obtenidos.....	30
Fotografía 6-3: Corte de probetas mediante láser CNC.....	31
Fotografía 7-3: Pirómetro y calibrador digital - Pie de rey.....	34
Fotografía 8-3: Probetas en el puente de deflexión	35
Fotografía 9-3: Probetas acondicionadas con lija para el ensayo a Tracción	36
Fotografía 10-3: Probetas sujetadas con las mordazas	36
Fotografía 11-3: Durómetro digital	37
Fotografía 12-3: Determinación de Dureza Shore D en la probeta	37
Fotografía 13-3: Máquina de ensayo Impacto Charpy	38
Fotografía 14-3: Entalladora motorizada para Charpy polímeros	38
Fotografía 15-3: Probeta entallada para ensayo Impacto Charpy.....	39
Fotografía 16-3: Probeta entallada en la máquina de ensayo Impacto Charpy.....	39

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** ELABORACIÓN DE PROBETAS CON LA CONFIGURACIÓN DE LAMINADO CORRESPONDIENTE
- ANEXO B:** CODIFICACIÓN DE PROBETAS OBTENIDAS
- ANEXO C:** NORMA ASTM D7264-ENSAYO FLEXIÓN
- ANEXO D:** NORMA ASTM D3039-ENSAYO TRACCIÓN
- ANEXO E:** NORMA ASTM D2240-ENSAYO DUREZA
- ANEXO F:** NORMA ASTM D6110-ENSAYO IMPACTO CHARPY
- ANEXO G:** INFORME DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS MECÁNICOS: FLEXIÓN, TRACCIÓN, DUREZA E IMPACTO
- ANEXO H:** RESULTADOS DE LAS PROBETAS ENSAYADAS MECÁNICAMENTE
- ANEXO I:** PROGRAMA ESTADÍSTICO MINITAB
- ANEXO J:** CERTIFICADO DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO TÉCNICO

RESUMEN

Este estudio tuvo como objetivo optimizar el proceso actual de elaboración de láminas para autopartes en fibra de vidrio en la Fábrica Master Fibra, que emplea únicamente fibra tipo Mat (FV_M), añadiendo la fibra Woven Roving 800 (FW_R) con distintas configuraciones y orientaciones de laminado. Se fabricó probetas con el laminado actual: L_A ($FV_M + FV_M + FV_M$) y con los laminados propuestos: L_{P1} ($FV_M + FW_R_{(0^\circ/90^\circ)} + FV_M$), L_{P2} ($FV_M + FW_R_{(0^\circ/90^\circ)} + FW_R_{(0^\circ/90^\circ)} + FV_M$) y L_{P3} ($FV_M + FW_R_{(0^\circ/90^\circ)} + FW_R_{(\pm 45^\circ)} + FV_M$), mediante el proceso de laminación manual. Posteriormente, fueron evaluadas con una prueba tecnológica, basada en aspectos de manufactura y pruebas mecánicas de flexión, tracción, dureza e impacto bajo la normativa ASTM D correspondiente. Con los resultados de la caracterización mecánica se aplicó el método estadístico ANOVA con un 95% de confianza y 5% de error para conocer si existió o no diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los laminados. Con el análisis estadístico, se evidenció que todos los laminados propuestos mostraron iguales e incluso mejores resultados que el L_A , sin embargo entre ellos, fue el L_{P2} el cual presentó mejores ventajas en su diseño y características mecánicas, consiguiendo así la misma resistencia a la flexión, un incremento del 113% del esfuerzo a tracción, un aumento del 89% en su capacidad para deformarse, 1,1% de dureza, 271% en la energía de ruptura y 323% más resistente al impacto con relación al L_A . Se concluye que el L_{P2} optimizó el proceso de laminado, variando de 30% fibra-70% resina a un 40%-60% respetivamente, por lo que es totalmente viable en términos de calidad y costos de producción. Se recomienda a Master Fibra añadir la FW_R a su configuración de laminado en la fabricación de autopartes, debido a que se obtienen materiales con excelente comportamiento mecánico con un ahorro económico del 4,25% aproximadamente en comparación con el L_A .

Palabras clave: <INGENIERIA QUIMICA>, <RESISTENCIA DE MATERIALES>, <FIBRA DE VIDRIO>, <RESINA POLIÉSTER>, <CONFIGURACIÓN DE LAMINADO>, <MASTER FIBRA>



ABSTRACT

This study aimed to optimise the current process of manufacturing sheets for auto parts in glass pound at the “Fábrica Master Fibra”, which uses only fibre Mat (FV_M), adding the Woven Roving 800 (FW_R) pound with different configurations and orientations of laminate. Test tubes were manufactured with the current laminate: L_A ($FV_M + FV_M + FV_M$) and with the proposed laminates: L_{P1} ($FV_M + FW_R (0^\circ/90^\circ) + FV_M$), L_{P2} ($FV_M + FW_R (0^\circ/90^\circ) + FW_R (0^\circ/90^\circ) + FV_M$) and L_{P3} ($FV_M + FW_R (0^\circ/90^\circ) + FW_R (\pm 45^\circ) + FV_M$), through the process of manual lamination. Subsequently, they were evaluated with a technological test, based on aspects of manufacturing and mechanical tests of flexion, traction, hardness and impact under the corresponding ASTM D regulations. The ANOVA statistical method was applied with the results of the mechanical characterisation with 95% confidence and 5% error to know whether or not there were statistically significant differences between the averages of the laminates. With the statistical analysis, it was evident that all the laminates proposed showed the same and even better results than the L_A , however among them, it was the L_{P2} which presented better advantages in its design and mechanical characteristics, thus achieving the same resistance to bending, an increase of 113% of tensile stress, an increase of 89% in its ability to deform, 1.1% hardness, 271% in the breaking energy and 323% more resistant to impact to L_A . It concluded that the L_{P2} optimised the rolling process, varying from 30% fiber - 70% resin to 40% - 60% respectfully, so it is viable in terms of quality and production costs. The recommendation for “Master Fibra” is to add the FW_R to its laminate configuration in the manufacture of auto parts because materials with excellent mechanical performance are obtained with an economic saving of approximately 4.25% compared to L_A .

Keywords: <CHEMICAL ENGINEERING>, <MATERIAL RESISTANCE>, <GLASS FIBER>, <POLYESTER RESIN>, <LAMINATE CONFIGURATION >, <”MASTER FIBRA”>



INTRODUCCIÓN

El avance tecnológico y la reducción de costos de producción han hecho posible la utilización de materiales compuestos a base de fibra de vidrio, que además de ser un material muy ligero con el cual se puede realizar una gran variedad de productos industriales y comerciales debido a su gran versatilidad, ofrece importantes aplicaciones que se extiende desde aplicaciones: náuticas, eléctricas, aeronáuticas, corrosión, construcción hasta transporte (carrocerías).

Es en esta última donde se enfoca este proyecto, en la cual las autopartes y accesorios automotrices actualmente están constituidos por estos materiales que ayudan a mejorar sus características tanto como su resistencia, peso y durabilidad.

Sin embargo, la fibra de vidrio se lo utiliza de una forma muy artesanal y presenta debilidades en cuanto al proceso de laminado de la fibra de vidrio ya que al momento de colocar la fibra se lo realiza empíricamente, ocasionando pérdida de dinero y tiempo, razón por la cual es necesario desarrollar una metodología de diseño aplicable a la fibra de vidrio, donde se pueda conocer y utilizar correctamente este tipo de material alternativo en beneficio del desarrollo industrial y ambiental.

Es importante fortalecer e impulsar con nuevos estudios en el proceso de laminado de fibra para conseguir un producto final con mejores propiedades mecánicas que de igual manera cumplan con estándares, funcionalidad y competitividad en el mercado de las piezas automotrices que son más vulnerables a una colisión para dar mayor confiabilidad en el sector carroceros y por tanto que estas alternativas vayan de la mano tanto lo económico, lo técnico y lo ecológico.

CAPÍTULO I

1 DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Identificación del problema

Actualmente las tecnologías demandan el uso de materiales con una mezcla inusual de propiedades que por sí solas son difíciles de conseguirlas, por lo que es tendencia el uso de materiales compuestos. Esta tendencia se ha incrementado notablemente para su aplicación en el sector carroceros en Sud América y específicamente en Brasil, que representa al país con mayor producción de carrocerías para buses. (MGC Comunicación Corporativa S.A. de C.V., 2017)

En Ecuador se ha observado un gran adelanto e incremento de la capacidad de producción en el sector carroceros, aproximadamente el 77% de la producción carroceros del país se encuentra en la ciudad de Ambato (Castro, 2014: p.8). A pesar de ello, existen pocos talleres mecánicos en la ciudad que conocen y elaboran piezas automotrices empleando como materia prima matriz de resina poliéster + fibra de vidrio debido a que desconocen del amplio campo de opciones que presenta estos materiales compuestos.

La fábrica Master Fibra, es una organización que con el transcurso de los años se ha convertido en una empresa muy reconocida por sus trabajos de calidad en la producción y comercialización de partes y piezas en fibra de vidrio para la industria carroceros. Sin embargo, el proceso actual de laminado de la fibra de vidrio emplea solo fibra tipo MAT que corresponde a un conjunto de hilos cortados entrelazados caóticamente, constituyendo una manta, manejando un 30% de fibra de vidrio MAT y 70% de resina poliéster, laminado que necesita ser mejorado.

Por tanto, ante la necesidad de contar con una nueva metodología de diseño (laminado) aplicable a estos materiales compuestos, que le permita impulsar y fortificar su producción y comercialización en el sector carroceros, se presenta este proyecto dirigido a la optimización del proceso de elaboración de las láminas para autopartes en fibra de vidrio reforzadas con Woven Roving 800, otro tipo de fibra de vidrio que produce laminados más resistentes por la mayor resistencia a la tracción y además se pueda conocer y utilizar de mejor manera este tipo de composites y lanzar al mercado un nuevo producto con otra tecnología garantizando el correcto desempeño, pero sobre todo la calidad de las fibras, con exigencias competitivas, y a precios económicos.

1.2 Línea base del proyecto

1.2.1 Antecedentes de la empresa

El enfoque principal está sobre la Fábrica Master Fibra, organización que se dedica al diseño, modelación, fabricación y comercialización de partes y piezas en fibra de vidrio para el sector carrocerero, cuyas instalaciones se encuentra ubicado en la provincia de Tungurahua, cantón Ambato.

Corresponde a una microempresa que lleva inmerso en el mercado 10 años, que en sus inicios contaba con una infraestructura simple que no satisfacía las necesidades para su producción, sin embargo, con el transcurso del tiempo ha logrado adquirir las instalaciones adecuadas y por ende se ha convertido en una microempresa muy reconocida por sus trabajos de calidad. Actualmente cuenta con 17 trabajadores tanto en el área administrativa como área de producción, siendo su representante legal el Sr. Víctor Vascones. Por la naturaleza de su actividad está directamente relacionada con el sector carrocerero y provee las autopartes a 7 carrocerías distribuidas en varias provincias teniendo como principales clientes: Carrocerías IMCE (Ambato), Carrocerías Mayorga (Riobamba), IMETAM C.A. (Quito).

Elabora partes y piezas en fibra de vidrio para la carrocería interior y exterior de autobuses, es decir la estructura liviana que se monta sobre el chasis la cual debe ser lo suficientemente resistente y flexible para soportar las cargas. Tales como el panel trasero y delantero, techos, guardachoques, tableros, entre otros.



Figura 1-1: Carrocería de un autobús

Fuente: Master Fibra, 2020

El proceso productivo para la fabricación de autopartes y accesorios es elaborado en base a estándares y procedimientos como lo indican sus respectivas fichas técnicas de cada producto, cumpliendo de esta manera las normas internacionales lo que garantiza el correcto funcionamiento, pero sobre todo la calidad de sus fibras empleadas.

Dichas fibras tienen como componentes resina poliéster tipo isoftálicas y aglomerantes retardantes al fuego con fibra de vidrio las cuales al unirse y tener como constituyentes un catalizador y un acelerante para la reacción de polimerización de dicha resina (curado) dan como productos finales compuestos con formas apropiadas de acuerdo a los moldes utilizados, estos tienen grados de tensión y resistencia al impacto, muy especiales, semejantes o mejores que el acero, estas son condiciones propias de los productos cuando están mezclados entre sí pues la resina como tal sin la fibra es quebradiza pero al incorporarlo la manta de fibra de vidrio le proporciona las características antes mencionadas lo que garantiza un producto de alta calidad. (Master Fibra, 2020)

1.3 Beneficiarios directos e indirectos

1.3.1 Beneficiarios directos

Los beneficiarios directos del proyecto técnico corresponden a la Fábrica MASTER FIBRA al optimizar su proceso de elaboración de laminados para la fabricación de autopartes en fibra de vidrio reflejado en sus propiedades mecánicas y costos de producción.

1.3.2 Beneficiarios indirectos

Sus clientes correspondientes al sector carrocerero representan el beneficiario indirecto al adquirir piezas automotrices con altos estándares de calidad y a su vez los pasajeros quienes hacen uso de estos vehículos.

1.4 Localización del proyecto

La Fábrica MASTER FIBRA se encuentra en la provincia de Tungurahua, cantón Ambato, cuyos datos geográficos se ilustran en la Tabla 1-1.

Además, los ensayos mecánicos realizados a las probetas de estudio se llevaron a cabo en el Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero (*CFPMC*) ubicado en el Sector Catiglata – La Península – Ambato

Tabla 1-1: Datos geográficos de la Fábrica Master Fibra

UBICACIÓN	Panamericana Norte Km. 5-1/2 Entrada a Macasto
COORDENADAS	1°14'56.7" S - 78°37'0.3" O
LATITUD	-1.2490799 m
LONGITUD	-78.6167526 m
ALTITUD	2580 m s. n. m.
CLIMA	15° C

Fuente: GeoDatos, 2020

Realizado por: Vargas, I. 2020



Figura 2-1: Mapa de Georreferenciación de la Fábrica Master Fibra

Fuente: Google Maps, 2020

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

- Optimizar el proceso de elaboración de las láminas para autopartes en fibra de vidrio reforzadas con Woven Roving 800 en la Fábrica Master Fibra.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Analizar el proceso de laminado para autopartes en fibra de vidrio empleado actualmente en la fábrica Master Fibra.
- Elaborar las probetas con fibra de vidrio Mat y Woven Roving 800 bajo la normativa aplicable.
- Realizar ensayos mecánicos a las probetas obtenidas según la norma correspondiente.
- Determinar el laminado con mejores resultados en las pruebas mecánicas y tecnológicas.
- Validar el nuevo material obtenido conforme a la Norma ASTM correspondiente.

CAPÍTULO II

2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Material compuesto

Un material compuesto se define básicamente como la unión de dos o más materiales de distintos grupos para conseguir una combinación de propiedades que no se encuentran en ninguno de los materiales en forma individual. (Campos & Sánchez, 2010: p. 55)

Los materiales compuestos se consideran como materiales multifásicos ya que están formados por una fase continua llamada matriz y otra dispersa denominada refuerzo, las mismas que se encuentran separadas por una interfase en la cual cada uno de ellos aporta funciones específicas para la determinación de las propiedades del nuevo material.

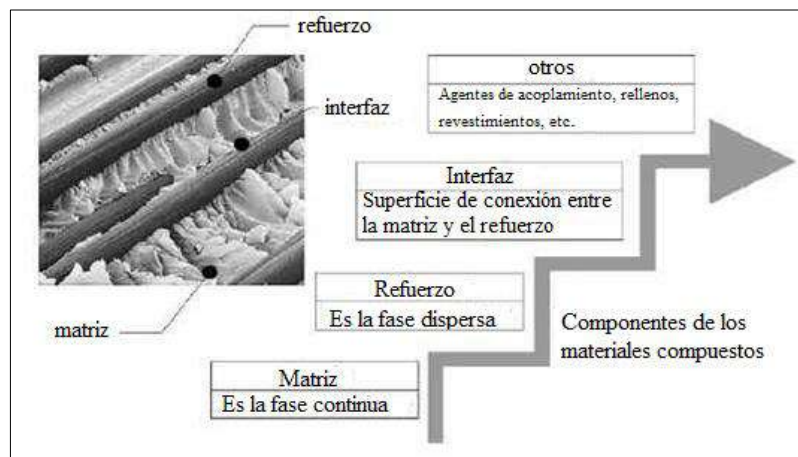


Figura 1-2: Componentes de un material compuesto

Fuente: Guerrero et al., 2011: p. 50

La matriz corresponde al elemento que envuelve o cubre al material de refuerzo manteniendo a cada fibra en su sitio y permitiendo que estas desarrollen su capacidad estructural (Shackelford, 1998: p. 512). Existen diferentes tipos de matrices entre las cuales pueden ser metálicas, cerámicas y poliméricas. Sin embargo, a nivel industrial especialmente en la industria carrocería se emplea las matrices poliméricas por su costo accesible, baja densidad y buenas propiedades.

El material de refuerzo favorece en la resistencia mecánica, rigidez y dureza del material, por tal va a ser determinante para obtener las principales propiedades mecánicas. (Miravete et al., 2012: p. 2)

Existen diferentes tipos de materiales de refuerzos como las partículas y fibras como se ilustra en la Figura 2-2, tecnológicamente este último es el más empleado debido a que tiene el propósito de conseguir una elevada resistencia y rigidez a baja densidad en el nuevo material, lo cual es fundamental en el sector carrocerero. Las fibras más conocidas para la elaboración de piezas automotrices es la fibra de vidrio.

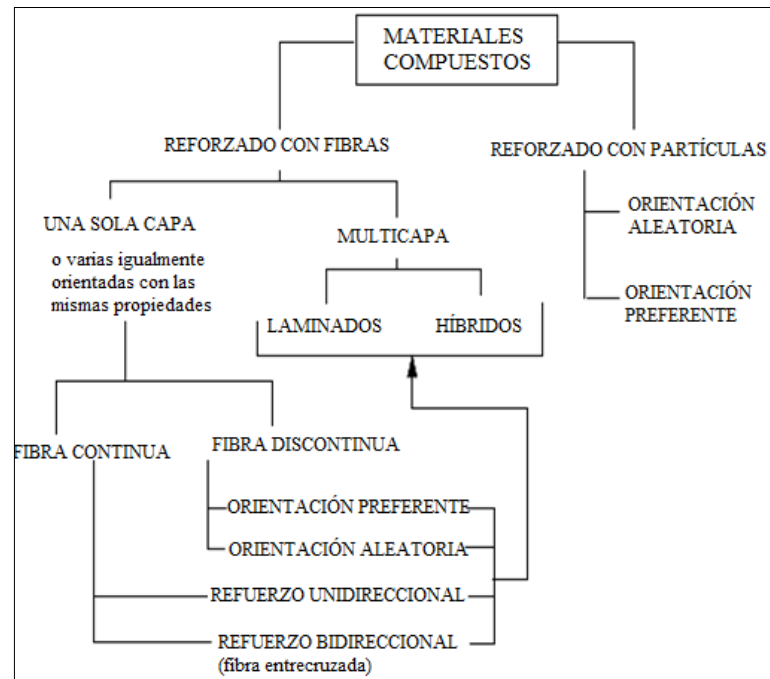


Figura 2-2: Tipos de material de refuerzo

Fuente: Paris, 2006: p. 3

La interfase corresponde a la región de contacto entre las dos fases continua y dispersa, las propiedades mecánicas del material están regidas por cómo es la interfase, es decir, si esta es débil no existe una transferencia de carga eficiente. (Stupenengo, 2011: p. 12)

2.2 Fibra de vidrio

2.2.1 Generalidades

La Fibra de Vidrio como su nombre mismo lo indica corresponde a numerosos y finos filamentos de vidrio basados en dióxido de silicio (Si_2O). Según Smith & Hashemi (2004: p. 4) la fibra de vidrio se emplea como refuerzo de matrices de plástico para formar materiales estructurales y compuestos de moldeo debido a su disponibilidad, sus buenas características mecánicas y su bajo costo.

El vidrio tipo E y S constituyen los dos tipos de vidrio más significativos y mayor consumo dentro de la producción de fibra de vidrio por su excelente relación resistencia/peso (Shackelford, 1998: p. 510). El tipo E se destaca por su alta densidad, buenas cualidades de rigidez, resistencia y desgaste, pero sobre todo por sus propiedades eléctricas y propiedades frente al fuego por lo que presentan gran demanda en sectores carroceros y el tipo S presentan mejor resistencia a la tracción y un módulo de elasticidad que los otros tipos de vidrio, además son resistentes a la fatiga, temperatura y humedad, sin embargo es más costoso que el anterior y se emplea industrialmente como refuerzo en componentes de aeronáutica, espacial y armamento.

2.2.2 *Propiedades y Aplicaciones*

Antes de mencionar las diferentes aplicaciones de la fibra de vidrio en sectores industriales es conveniente dar a conocer las propiedades de este material fibroso, entre las cuales Miravete et al. (2012: p. 21) menciona las siguientes:

- Resistencia química
- Aislante térmico
- Aislante eléctrico
- Resistencia mecánica
- Incombustibilidad
- Estabilidad dimensional
- Versatilidad
- Peso ligero

Gracias a la versatilidad de la fibra de vidrio y por sus excelentes propiedades antes mencionadas posee diversas aplicaciones, entre las cuales se destaca las siguientes:

- *Aplicaciones eléctricas:* Hoy en día, este material es muy utilizado en el mundo de las telecomunicaciones para la elaboración de cables con fibra óptica, placas aislantes, postes para iluminación, etc.
- *Aplicaciones corrosivas:* Se emplea con gran frecuencia en la elaboración de productos para combatir el proceso de corrosión como por ejemplo en tuberías, revestimiento de tanques, ductos, bombas, partes de ventilador debido a que presenta gran resistencia química.
- *Industria náutica:* La fibra de vidrio ha sido el material predilecto en esta industria para la construcción, mantenimiento y reparación de embarcaciones.

Y de particular importancia y aplicabilidad tenemos en la:

- *Industria automotriz:* Esta industria es una de las principales beneficiadas, las empresas utilizan láminas de fibras de vidrio para la elaboración y reparación de partes del vehículo como piezas delanteras, traseras, capo, puertas e incluso asientos, como es el caso de la Fábrica Master Fibra ubicada en Ambato.



Figura 3-2: Partes y piezas de autobuses a base de Fibra de Vidrio

Fuente: Master Fibra, 2020

2.2.3 Fabricación

La fibra de vidrio se obtiene a partir de una masa fundida que se forma en un horno refractario a aproximadamente 2550 °F (1400 °C) a partir de una mezcla que contiene arena, piedra caliza y alúmina. La masa fundida se agita y salen por diminutos orificios en forma de filamentos muy finos. Estas fibras se rocían con una solución orgánica de apresto para adherirlas entre sí, un agente que protege la superficie del deterioro por fricción antes de ser estiradas y posteriormente se enrollan en un tubo de formación. El conjunto de hilos enrollados se retira y se seca en un horno para eliminar el agua o las soluciones de apresto. La fibra de vidrio se puede convertir en varias presentaciones industriales. (Kaw, 2006: pp. 22-23)

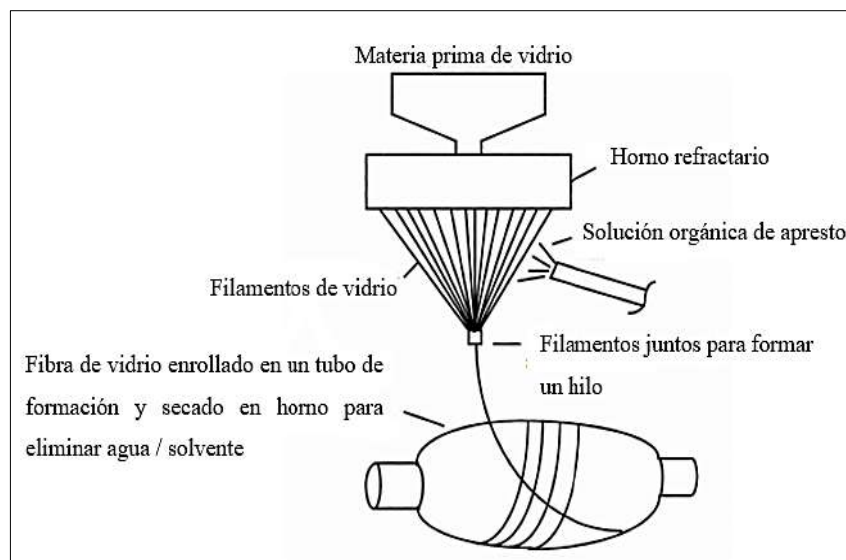


Figura 4-2: Proceso de fabricación de fibra de vidrio

Fuente: Kaw, 2006: p. 22

2.2.4 Presentaciones industriales

Una vez obtenida la fibra de vidrio esta puede adoptar muchos formatos textiles como por ejemplo en tubos, mallas y tejidos. A continuación, se indica las presentaciones industriales más destacadas de este material según Miravete et al. (2012: pp. 25-33)

- *Mat*: Constituye una manta de filamentos individuales cortados a una determinada longitud y aglomerados entre sí mediante un aglutinante, distribuidos caóticamente. Presenta diferentes gramajes (200, 300, 450, 600 g/m²), la resistencia que brindan estos finos hilos cortadas al azar es igual en todas las direcciones.
- *Roving o mechas*: Consiste en un conjunto de hebras continuas muy largas enrolladas presentando la apariencia de mechas, son utilizadas como refuerzo en zonas de difícil acceso, generalmente se emplea en el laminado por spray.
- *Tejido*: Dentro de esta categoría tenemos el denominado Woven Roving que consiste en un tejido bi-direccional, es decir las fibras tipo roving están colocadas en dos direcciones horizontal (tramas) y vertical (urdimbres) formando ángulos de 0° y 90° respectivamente, lo cual permite conseguir laminados más resistentes.
- *Velos o mat de superficie*: Por lo general se emplean para la parte superficial en los laminados debido a que presenta una zona lisa y muy uniforme.

En la Figura 5-2 se indica los diferentes tipos de presentaciones industriales de la fibra de vidrio:
a) Hilo de fibra de vidrio b) Velos de superficie c) Roving de hebra continua d) Woven Roving.

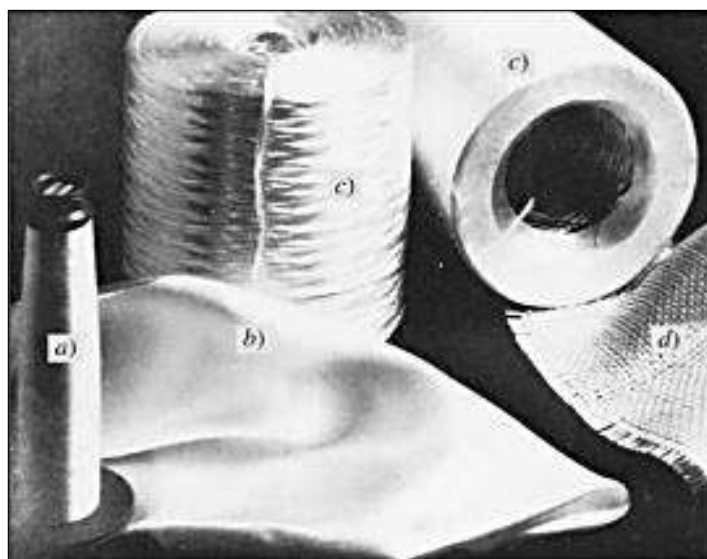


Figura 5-2: Presentaciones industriales de la fibra de vidrio

Fuente: Hashemi & Smith, 2004: p. 6

2.3 Comportamiento mecánico de materiales reforzados con fibras

Las propiedades mecánicas del material ingenieril reforzado con fibras dependen en gran medida no solo de las propiedades de los materiales constituyentes, sino también de otros factores como de su geometría, de su distribución y de su fracción volumétrica. (Pérez & Sánchez, 2014: pp. 19-20)

2.3.1 Influencia de la longitud y diámetro de la fibra

Este concierne a un factor esencial, Stupenengo (2011: p. 18) manifiesta que la resistencia aumenta cuando la relación de forma es grande, es decir es conveniente utilizar como refuerzo fibras que tengan menor diámetro (menor área superficial) y mayor longitud debido a que son los extremos de la fibra quienes soportan menos carga, por tanto, a mayor longitud menos extremos.

2.3.2 Cantidad de fibra

La concentración y distribución de las fibras influyen en la resistencia del producto final (composite). Una fracción en volumen mayor de la fibra de refuerzo refleja una mayor resistencia y rigidez del compuesto.

2.3.3 Orientación de la fibra

Es preciso mencionar que los compuestos reforzados con fibras tienen un comportamiento anisotrópico, es decir que sus propiedades mecánicas son diferentes en función de la orientación relativa de las fibras. En consecuencia, si fabricamos un composite de matriz polimérica en donde todas las fibras quedan paralelas, este material será muy rígido en paralelo a sus fibras, pero muy poco rígido perpendicular a ellas. (Ramos, 2010: pp.43-44)

No obstante, para aumentar la eficiencia del refuerzo en un material anisotrópico se puede diseñar este, para soportar condiciones de carga diferentes introduciendo fibras largas y continuas en varias direcciones para acercarse aún más a un comportamiento relativamente isotrópico, es decir que presenten propiedades mecánicas iguales en todas las direcciones. La orientación de las fibras afecta al grado de anisotropía del sistema. (Pérez & Sánchez, 2014: p. 20)

2.4 Laminado

Tecnológicamente las estructuras de los materiales compuestos suelen construirse con muchas capas (laminadas) donde cada una de ellas se orienta para alcanzar la rigidez y resistencia óptima. (Budynas & Nisbett, 2012: pp. 55-56)

El término laminado hace referencia al conjunto o apilamiento de láminas unas sobre otras, cada una de ellas corresponde a una fina capa de resina reforzada con fibra para obtener un material compuesto con la rigidez deseada.

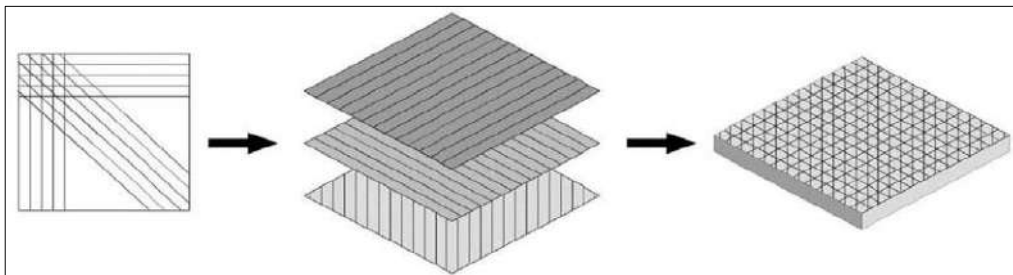


Figura 6-2: Estructura de un material compuesto laminado

Fuente: Guerrero et al., 2011: p. 57

Las propiedades mecánicas del material resultante dependerán en gran medida de la secuencia del apilado de las láminas en combinación con las propiedades que presentan los materiales constituyentes. (Chiachío & Chiachío, 2015: p. 6)

Se conoce como configuración de laminado a la secuencia de apilamiento de cada una de las capas o láminas teniendo en cuenta la orientación de las fibras. En las láminas se puede introducir fibras de tipo continuas o discontinuas, de tejidos unidireccionales y bidireccionales, o distribuidos al azar como se muestra en la Figura 7-2. (Reddy, 2004: pp. 83-85)

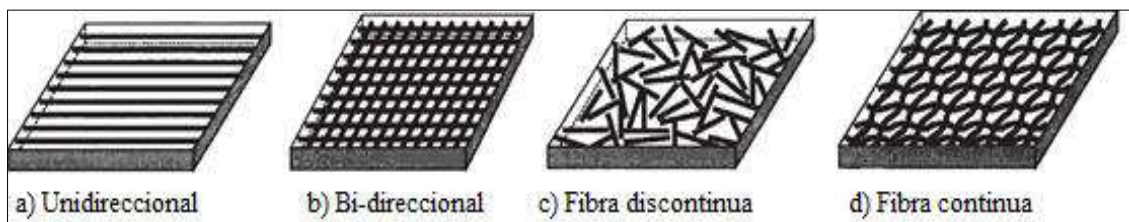


Figura 7-2: Tipos de láminas compuestas reforzadas con fibra

Fuente: Reddy, 2004: p. 83

Reboul (2012: p. 9) manifiesta que la distribución de estas fibras permite un mayor control de la anisotropía en las propiedades mecánicas del material, en efecto se emplea distintos laminados

como es tipo cinta cuya característica principal es que cada lámina está constituida por fibras orientadas en una única dirección presentando una isotropía transversal, sin embargo puede apilarse láminas con diferentes direcciones $[0^\circ, 90^\circ, \pm 45^\circ]$ dando lugar a laminados cuasi-isotrópicos.

Y tipo tejido que se caracteriza por la presencia de fibras en dos direcciones perpendiculares entre sí (bi-direccional) con diferentes distribuciones de entrelazado, dando lugar a tejidos como sarga, satén, raso, esterilla, sin embargo, la más utilizada es el tipo tafetán cuya ventaja es la uniformidad de las propiedades mecánicas en direcciones de $(0^\circ, 90^\circ)$. La fibra de vidrio Woven Roving (FW_R) corresponde a este tipo de tejido.

2.5 Ensayos de caracterización mecánica

En ingeniería es imprescindible mostrar el comportamiento de un material cuando éste es sometido a la acción de fuerzas exteriores mediante ensayos de caracterización mecánica para asegurar que el diseño es apto y está dentro de las características de calidad para su respectiva aplicación. Para determinar las propiedades mecánicas se emplea ensayos sobre una muestra de material basándose en normas como las ASTM con el uso de maquinaria adecuada para cada ensayo.

2.5.1 Ensayo Flexión

Este tipo de ensayo consiste en aplicar una carga puntual en forma perpendicular al material de estudio (probeta) para determinar si cumple con los estándares solicitados por el material, evaluando así la fuerza que actúa por unidad de área: esfuerzo máximo a la flexión (σ_{mF}); la capacidad elástica del material: módulo de elasticidad (E_F) y el cambio en dimensión por unidad de longitud: deformación máxima (ε)

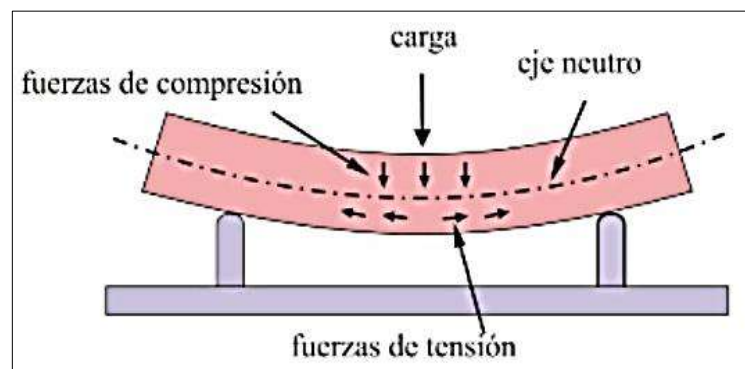


Figura 8-2: Ensayo Flexión

Fuente: Redondo, 2014: p. 37

2.5.2 Ensayo tracción

Ensayo destructivo que tienen como fundamento la aplicación de una carga axial que aumenta paulatinamente a lo largo del eje principal llegando generalmente hasta la ruptura de la misma, evaluando así la fuerza que actúa por unidad de área: esfuerzo máximo a la tracción (σ_{mT}), la capacidad de resistencia a la deformación: módulo de elasticidad (E_T) y la capacidad que presenta el material de estudio para deformarse antes de llegar al punto de ruptura: porcentaje de elongación (% ϵ).

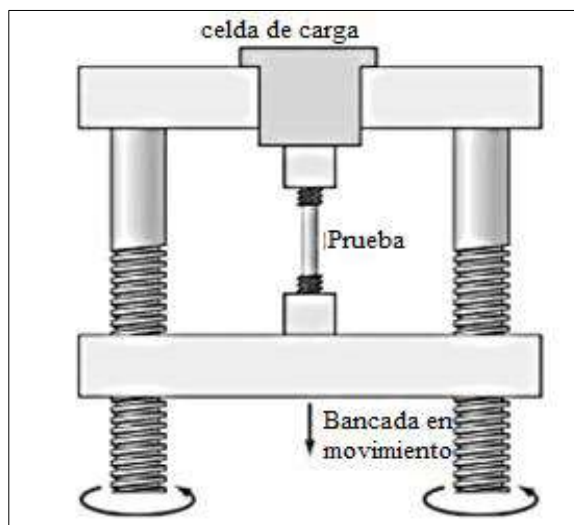


Figura 9-2: Ensayo Tracción

Fuente: Smith & Hashemi, 2004: p. 22

2.5.3 Ensayo dureza

Es aquel tipo de ensayo aplicado a materiales para determinar la resistencia que brinda un material a ser penetrado por una pieza de otro material distinto, mucho más duro que el material a ensayar, llamado penetrador o indentador.

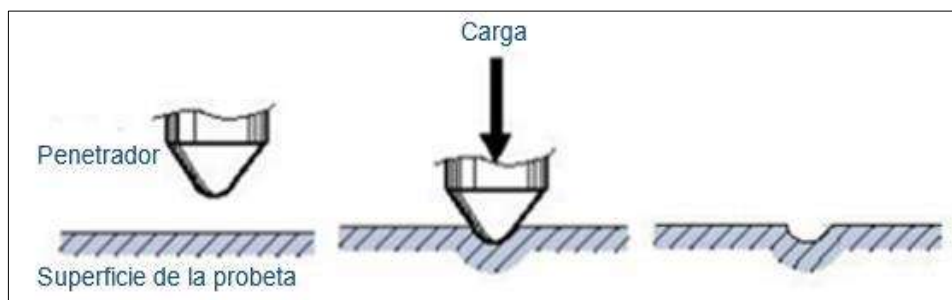


Figura 10-2: Ensayo Dureza

Fuente: Shackelford, 1998: p. 209

2.5.4 Ensayo impacto

Consiste en someter al material de estudio a una carga de choque y romper la muestra calculando la energía requerida para producir dicha ruptura y así evaluar su comportamiento mecánico tal como la Resistencia máxima al impacto (R_I).

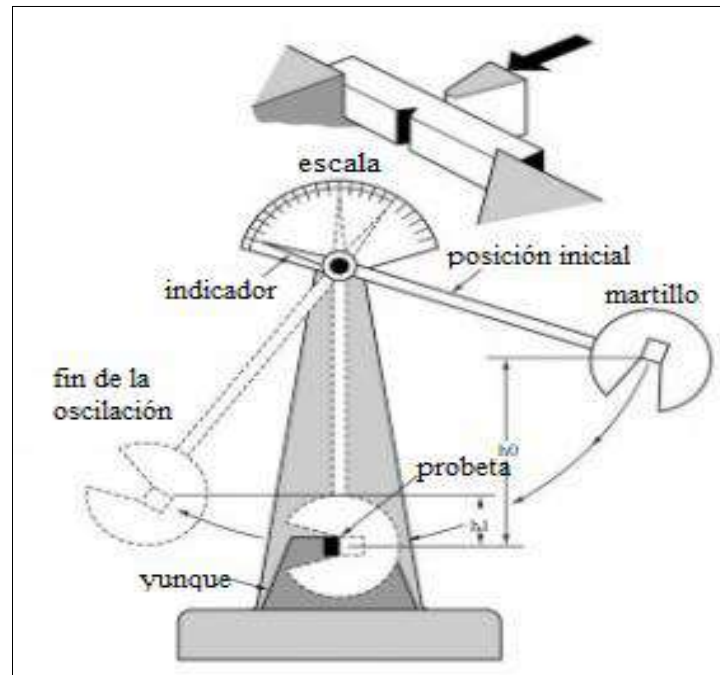


Figura 11-2: Ensayo Impacto Charpy

Fuente: Shackelford, 1998: p. 261

CAPÍTULO III

3 MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de estudio

Este trabajo es de tipo técnico debido a que se requiere optimizar el proceso actual de elaboración de láminas para autopartes llevada a cabo por la Fábrica Master Fibra mediante una nueva configuración de laminado que incluya la fibra Woven Roving (FW_R), considerando los factores que determinan las propiedades mecánicas del material y poder implementarlo en el mercado.

3.1.1 Nivel de la investigación

a) *Descriptiva*

El nivel descriptivo se aplicó para describir el proceso de laminado actual llevado a cabo por la fábrica Master Fibra y de tal manera establecer una óptima configuración de laminado.

b) *Bibliográfica*

Para obtener una optimización de la elaboración de láminas se realizó una investigación exhaustiva de los materiales compuestos reforzados con fibras, así como los factores que determinan las características mecánicas del mismo.

c) *Exploratoria*

Este nivel se empleó para establecer las diferentes configuraciones de laminado, teniendo en cuenta la influencia del tamaño, cantidad y orientación de las fibras de vidrio para aprovechar al máximo las características de los materiales.

d) *Experimental*

Este proyecto técnico se ve sustentado en un estudio experimental al elaborar probetas con el material de estudio, variando la configuración de laminado para ser aplicadas en ensayos de caracterización mecánica tales como ensayo flexión, tracción, dureza e impacto y así determinar

sus propiedades mecánicas que mediante un análisis estadístico se determinará el material con mejores resultados que optimice el proceso de laminado.

3.2 Análisis del proceso de laminado actual (L_A) para autopartes en fibra de vidrio en la Fábrica Master Fibra.

En esta etapa del proyecto se empleó un estudio de campo ya que se requirió visitas in situ a la fábrica, de tal manera que se pudo realizar una observación y análisis de todo el proceso de laminado vigente hasta la obtención del producto final.

La Fábrica Master Fibra actualmente emplea un método sencillo y artesanal que depende en gran medida de la habilidad del operario conocido como estratificación o laminación manual (hand lay-up) como se muestra en la Figura 1-3 que consiste en impregnar el refuerzo con la resina previamente catalizada de forma manual en un molde abierto.

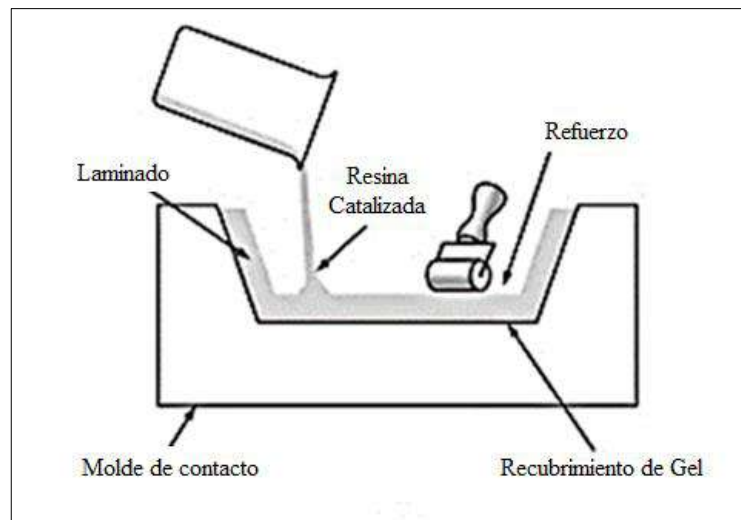


Figura 1-3: Método de laminación manual

Fuente: Hashemi & Smith, 2004: pp. 23

Para la obtención de una pieza automotriz elaborado en dicha fábrica, se siguieron los siguientes pasos:

1. Inició con la recepción y almacenamiento de la materia prima e insumos que se empleó en la elaboración de una pieza automotriz, tales como la fibra de vidrio Mat, resina poliéster isoftálica, Peróxido de Metil Etil Cetona (MEKP), agentes separadores o desmoldantes.

2. Se transportó la materia prima e insumos al área de producción.
3. Preparación del molde: Se lijo y limpió el molde de cualquier impureza, se aplicó un agente desmoldante (cera) que impide el contacto directo de la resina con el molde y facilita el retiro de la pieza al final, se dejó secar aproximadamente 25 minutos y posteriormente se aplicó una película de gel coat de forma manual, de la misma manera se dejó que se cure parcialmente.
4. Se cortó las capas de fibra de vidrio Mat 450 g/m² según las dimensiones requeridas por la pieza automotriz a fabricar.
Nota: Es recomendable considerar que sobresalga la fibra del molde.
5. Preparación de la resina poliéster: Se preparó una mezcla de resinas (catalizador, aceleradores y cargas) con los parámetros de trabajo establecidos por la fábrica, una resina poliéster no saturada, de viscosidad media, pre-acelerada (octoato de cobalto) para gelado y curado a temperatura ambiente con la adición de un iniciador o catalizador (MEKP) al 50%.
Nota: Para mejorar la viscosidad de la resina se adicionó el diluyente estireno.
6. Se procedió con la etapa de laminado en el cual se colocó la resina previamente catalizada en un solo sentido con ayuda de una brocha y la primera capa del material de refuerzo, se empapa nuevamente la capa de fibra de vidrio con resina hasta completar el número de láminas requerido.
Nota: Entre cada laminado se pasó un rodillo con el objetivo de que la fibra de vidrio se impregne con el polímero y también para eliminar las burbujas entre el laminado. Además, en este punto se cortó los excesos de fibra que sobresale del molde ya que una vez secos no se podrá retirarlos.
7. Se dejó curar la pieza a temperatura ambiente, el tiempo de curado depende en gran medida de dos factores: cantidad de catalizador y la temperatura ambiente.
8. Luego se desmoldó la pieza realizando unos golpes en la superficie del molde con un martillo de goma y cuñas de madera.
9. Se realizó una inspección de la pieza automotriz observando que no contenga fallas de forma, secado, poros, burbujas entre otros.
10. Finalmente, el producto terminado al no presentar fallas se pulió para mejorar la estética de la autoparte.

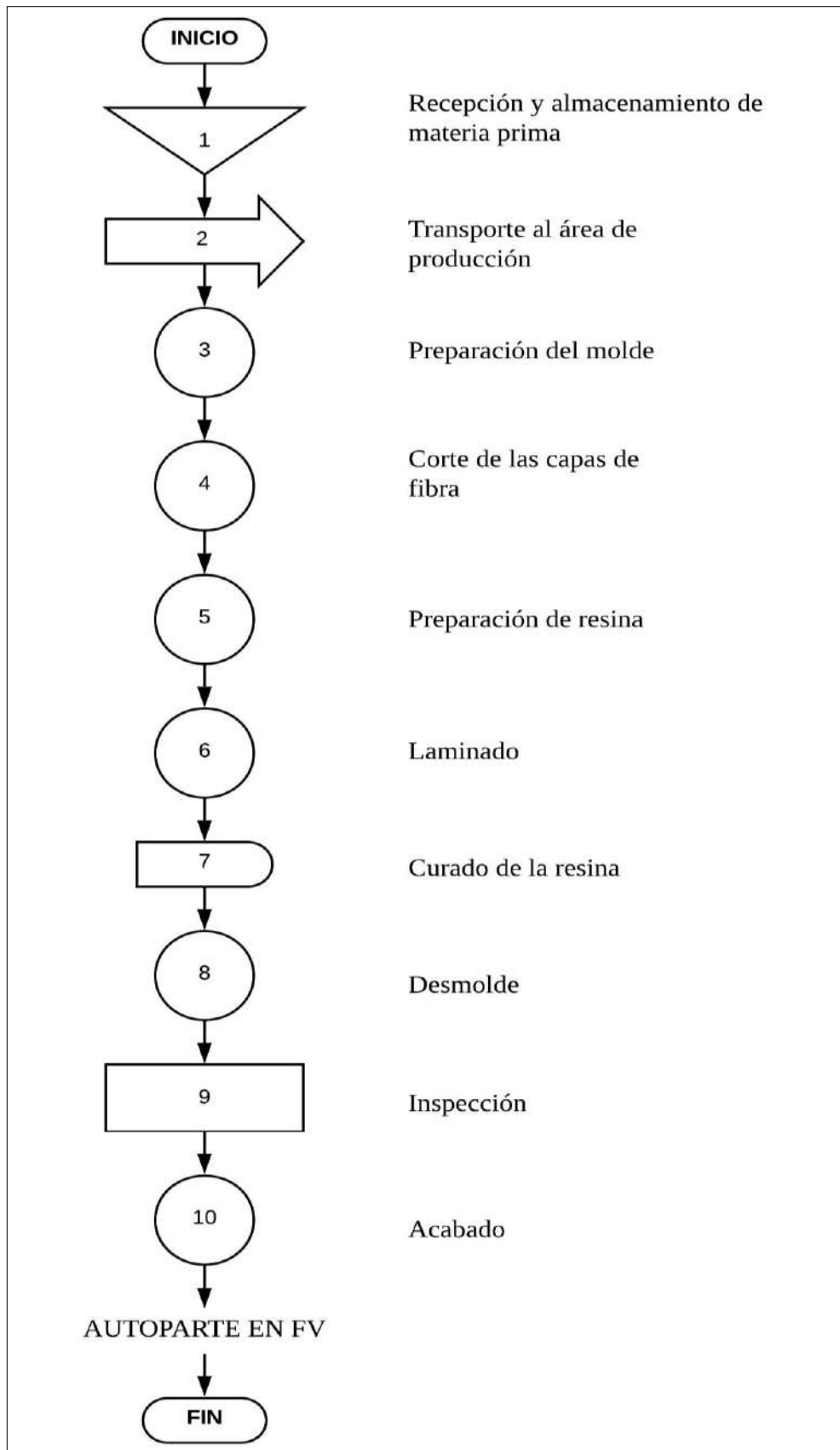


Gráfico 1-3: Diagrama de flujo del proceso de laminación manual en Master Fibra

Fuente: Master Fibra, 2020

Realizado por: Vargas, I. 2020

A continuación, en la Fotografía 1-3 se muestra un guardachoque con matriz poliéster y fibra de vidrio como refuerzo, elaborado en la Fábrica Master Fibra mediante el proceso de laminación manual.



Fotografía 1-3: Guardachoque elaborado por laminación manual

Fuente: Master Fibra, 2020

Los parámetros de trabajo que emplea la fábrica en cuanto a los porcentajes de la matriz y refuerzo para la fabricación de autopartes se muestran a continuación:

Tabla 1-3: Parámetros de trabajo en el proceso actual de laminado para autopartes.

MATERIAL	MATRIZ		REFUERZO		
	%R	Característica	%FV	Característica	Orientación de la fibra
AUTOPARTES	70	Resina poliéster tipo isoftálica	30	Fibra de vidrio Mat 450 g/m ²	Aleatorio

Fuente: Master Fibra, 2020

Realizado por: Vargas, I. 2020

La fábrica emplea únicamente fibra de vidrio tipo Mat, fibras discontinuas de 50 mm aproximadamente, con un gramaje de 450 g/m² que son apiladas unas sobre otras cuya orientación de las fibras es aleatorio, dependiendo del tipo de autoparte se apila 2, 3 o más capas de fibra de vidrio. Sin embargo, para el estudio de este proyecto se basó en un laminado de tres capas.

Luego de analizar el proceso se pone énfasis en la etapa de laminado y se consideró adicionar al L_A la fibra de vidrio Woven Roving 800 (FW_R) un tejido tipo tafetán que está constituido por fibras continuas de mayor longitud lo cual le proporciona mayor rigidez. El laminado ofrece una esencial ventaja al ingeniero para optimizar las propiedades mecánicas aprovechando al máximo

sus características resistentes mediante distintas configuraciones y orientaciones de las fibras de refuerzo en cada lámina.

3.2.1 Configuración de laminado actual y laminado propuesto para la optimización

En la Tabla 2-3 se muestra la configuración de laminado actual (L_A) en la Fábrica Master Fibra, así como las tres configuraciones propuestas (L_P) que buscan optimizar el proceso.

Tabla 2-3: Configuración de Laminado Actual y Propuesto para la optimización

Laminado Actual (L_A)		Laminado Propuesto (L_P) para la optimización			
N° de láminas FV_M	Configuración de laminado	Laminado Propuesto	N° de láminas FV_M	N° de láminas FW_R	Configuración de laminado
3	$FV_M + FV_M + FV_M$	L_{P1}	2	1	$FV_M + FW_{R(0^\circ/90^\circ)} + FV_M$
		L_{P2}	2	2	$FV_M + FW_{R(0^\circ/90^\circ)} + FW_{R(0^\circ/90^\circ)} + FV_M$
		L_{P3}	2	2	$FV_M + FW_{R(0^\circ/90^\circ)} + FW_{R(\pm 45^\circ)} + FV_M$

Realizado por: Vargas, I. 2020

Donde:

FV_M = Fibra de Vidrio MAT 450.

$FW_{R(0^\circ/90^\circ)}$ = Fibra de Vidrio Woven Roving 800 con dirección de las fibras a 0° y 90° .

$FW_{R(\pm 45^\circ)}$ = Fibra de Vidrio Woven Roving 800 con dirección de las fibras a 45° y -45° .

L_A = Laminado Actual en la Fábrica Master Fibra.

L_{P1} = Laminado Propuesto 1

L_{P2} = Laminado Propuesto 2

L_{P3} = Laminado Propuesto 3

A continuación, se presenta el esquema gráfico de cada laminado mencionado anteriormente.

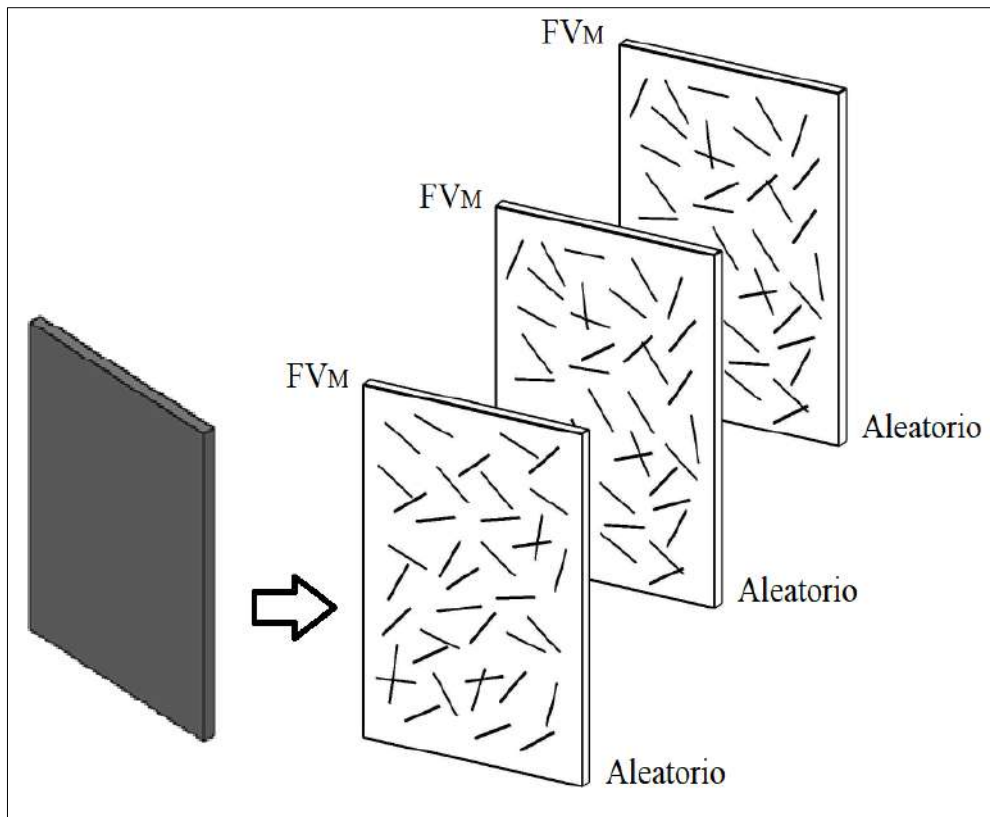


Figura 2-3: Esquema del Laminado Propuesto Actual (L_A)

Realizado por: Vargas, I. 2020

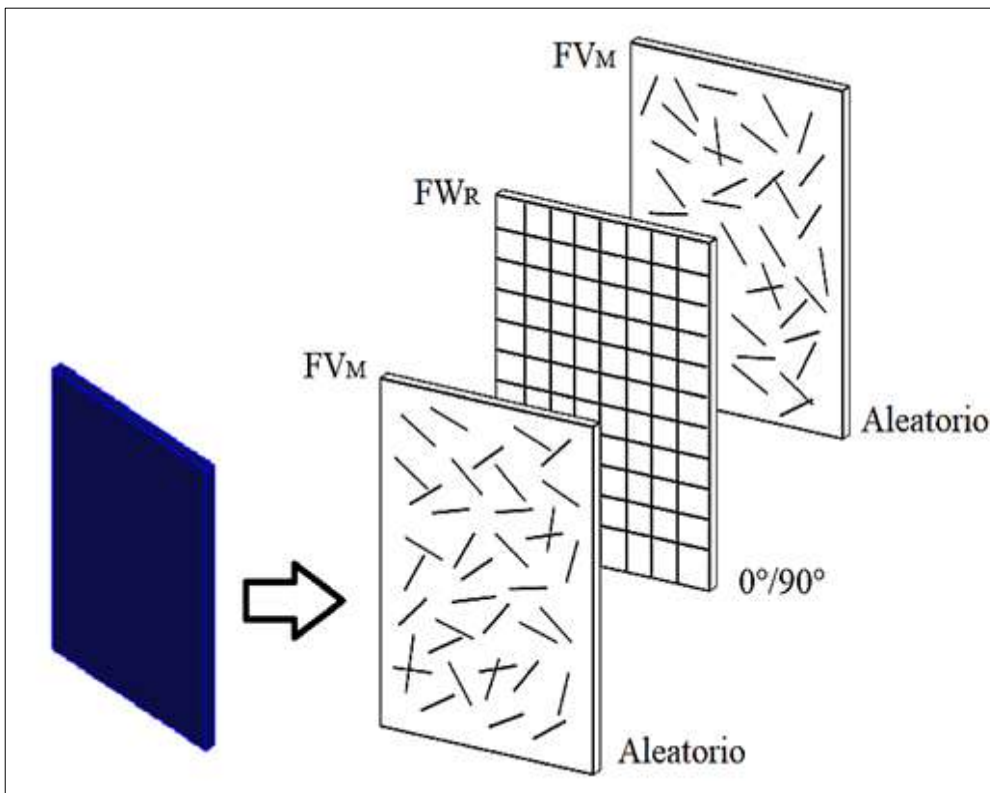


Figura 3-3: Esquema del Laminado Propuesto 1 (L_{P1})

Realizado por: Vargas, I. 2020

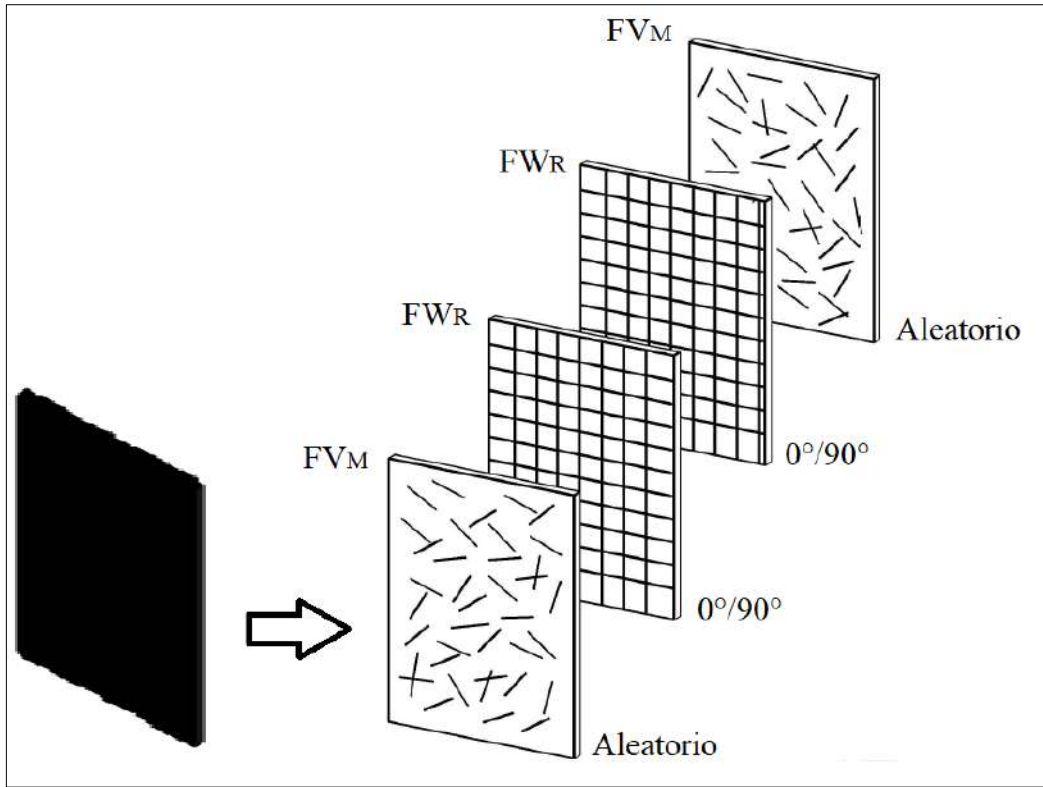


Figura 4-3: Esquema del Laminado Propuesto 2 (Lp2)

Realizado por: Vargas, I. 2020

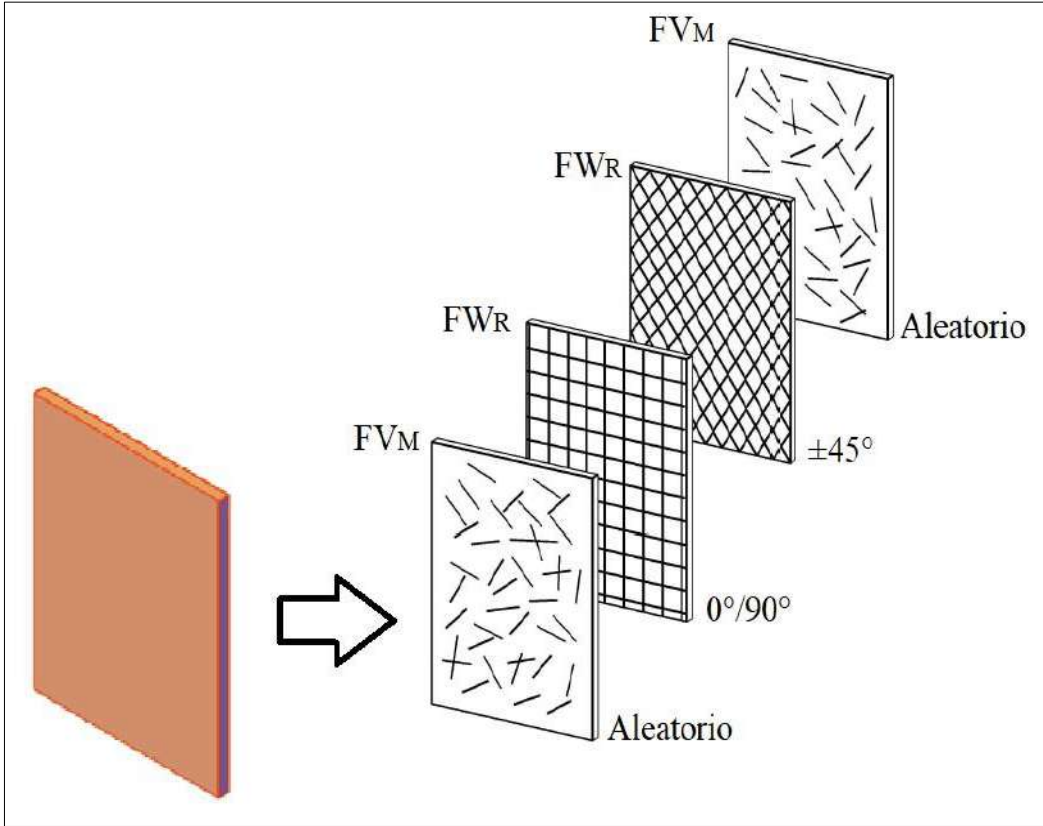


Figura 5-3: Esquema del Laminado Propuesto 3 (Lp3)

Realizado por: Vargas, I. 2020

3.3 Elaboración de probetas

Para la optimización del proceso de laminado se procede a elaborar probetas con el L_A de la Fábrica Mater Fibra así como el Laminado Propuesto (L_P) con distintas configuraciones como se detalló en la Tabla 2-3 para la respectiva caracterización mecánica del material compuesto empleado en las autopartes.

3.3.1 Técnicas

Cada configuración de laminado va a ser caracterizado mecánicamente por 4 ensayos: ensayo flexión, ensayo tracción, ensayo dureza y ensayo de impacto. Por lo tanto, estos ensayos están bajo normativa donde se especifica los procedimientos para su realización, así como las características de los especímenes o muestras a analizar. En la Tabla 3-3 se ilustra la normativa aplicable a los ensayos de caracterización mecánica

Tabla 3-3: Normativa aplicable para ensayos de caracterización mecánica

Tipo de ensayo	Normativa aplicable	
	N° ASTM	Título
Flexión	ASTM D7264	Método de prueba estándar para propiedades de flexión de materiales compuestos de matriz polimérica.
Tracción	ASTM D3039	Método de prueba estándar para propiedades de tracción de materiales compuestos de matriz polimérica
Dureza	ASTM D2240	Método de prueba estándar para la propiedad del caucho: dureza del durómetro
Impacto	ASTM D6110	Método de prueba estándar para determinar la resistencia al impacto Charpy de muestras entalladas de Plástico

Fuente: Normas ASTM

Realizado por: Vargas, I. 2020

Las normas ASTM mencionadas anteriormente establecen las dimensiones de las probetas: longitud (l), ancho (b) y espesor (h). Sin embargo, en este caso el espesor es variable debido a que está en función del número de láminas de fibra de vidrio y de resina poliéster con las que se fabrican las autopartes. Además, se debe realizar un mínimo de 5 probetas para ser estudiadas en cada tipo de ensayo.

3.3.2 Dimensionamiento de las probetas

En las siguientes figuras se muestran las dimensiones de las probetas para cada ensayo mecánico:

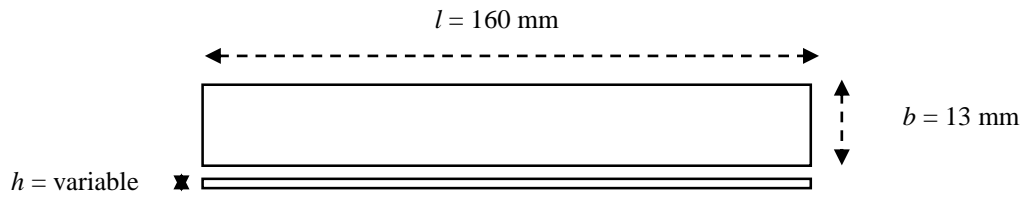


Figura 6-3: Dimensiones de probeta para ensayo a Flexión

Fuente: Norma ASTM D7264-07

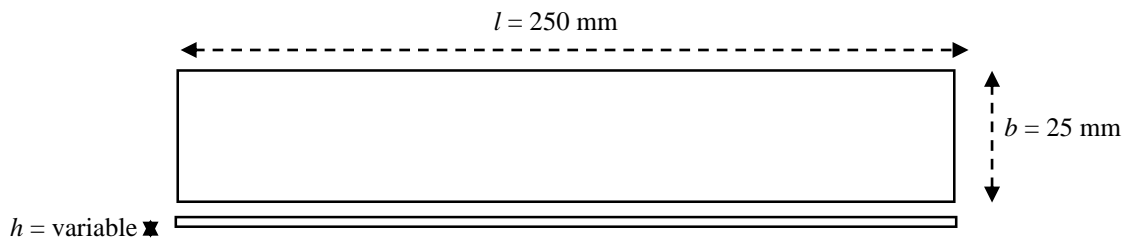


Figura 7-3: Dimensiones de probeta para ensayo a Tracción

Fuente: Norma ASTM D3039

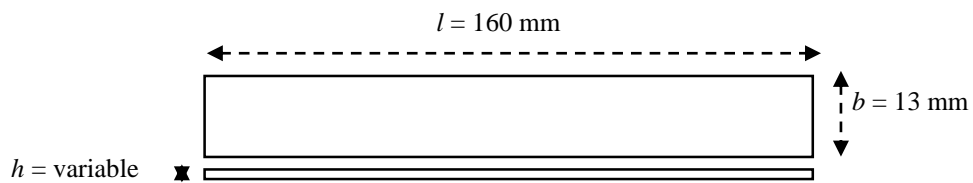


Figura 8-3: Dimensiones de probeta para ensayo de Dureza Shore D

Fuente: Norma ASTM D2240

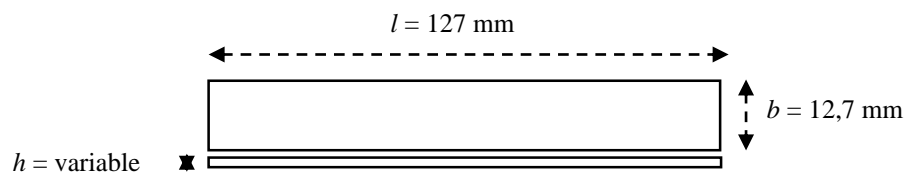


Figura 9-3: Dimensiones de probeta para ensayo de Impacto Charpy

Fuente: Norma ASTM D6110

3.3.3 Proceso de elaboración de probetas

La elaboración de todas las probetas de matriz termoestable reforzada con fibra de vidrio con diferentes configuraciones de laminado se obtuvieron por medio del proceso de estratificación o laminado manual como se describió en la sección 3.2 en planchas de 35 x 50 cm para posteriormente ser cortadas a láser con las dimensiones de las probetas establecidas anteriormente para cada tipo de ensayo.

Los materiales requeridos para los laminados se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 4-3: Descripción de los materiales utilizados en la elaboración de probetas

Materiales	Marca	Característica
Fibra de vidrio Mat 450 g/m ²	Taishan Fiberglass	Fibra sintética tipo manta o colchoneta con gramaje de 450 g/m ² que actúa como refuerzo del laminado.
Fibra de vidrio Woven Roving 800 g/m ²	Taishan Fiberglass	Fibra sintética tipo tejido tafetán con gramaje de 800 g/m ² que actúa como refuerzo del laminado.
Resina poliéster	Reichhold	Resina no saturada que actúa como matriz termoestable del laminado. Son resinas preaceleradas, tixotrópicas, de reactividad y viscosidad media.
Peróxido de metil etil cetona (MEKP)	-	Catalizador que permite endurecer a la resina poliéster, iniciador del proceso de curado.
Gel coat	Reichhold	Resina poliéster que constituye la superficie del laminado cuya función es protegerlo de la intemperie y humedad, y desde el punto de vista estético conferirle un acabado colorido, liso y brillante a la pieza a fabricar.
Pigmento	-	Son resinas poliéster que se empleó únicamente como identificación de laminados.
Cera desmoldante	Simoniz	Cera parafínica en pasta que actúa como agente de desmoldeo del laminado.

Fuente: Master Fibra, 2020

Realizado por: Vargas, I. 2020

Por lo tanto, el proceso de elaboración de las probetas con los laminados establecidos fue igual, pero se diferenció en la configuración de laminado y la cantidad de resina y catalizador, debido a que al añadir la FW_R en los laminados propuestos se varió las fracciones volumétricas del refuerzo y la matriz, las mismas que fueron calculadas tomando como punto de referencia los parámetros de la Fábrica establecidos en la Tabla 1-3.

Etapa 1: Preparación e inspección del molde

Se midió las dimensiones de la plancha plana para cada laminado y se trazó como se muestra en la Fotografía 2-3, se limpió la superficie para eliminar cualquier tipo de impureza. Luego de ello se colocó cera desmoldante en movimientos circulares sobre el área haciendo presión para que la cera cubra todos los poros de la superficie, una vez seco se adicionó una capa de Gel Coat y se dejó que cure parcialmente.



Fotografía 2-3: Preparación e inspección del molde

Fuente: Master Fibra, 2020

Etapa 2: Trazado, corte y pesaje del material de refuerzo

Se cortó las capas necesarias de FV_M y FW_R para conformar los 4 tipos de laminados con las dimensiones del molde como se muestra en la Fotografía 3-3.

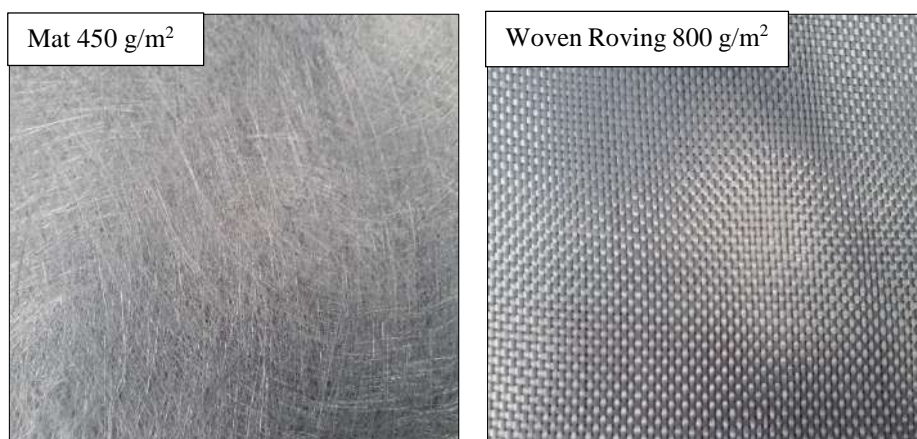
En la siguiente tabla se detalla el total de capas trazadas y cortadas de la fibra de vidrio Mat 450 g/m^2 y Woven Roving 800 g/m^2 para conformar los 4 tipos de laminados.

Posteriormente se realizó el pesaje de las mismas para determinar la cantidad de resina y catalizador a utilizar en cada laminado.

Tabla 5-3: Número de capas del material de refuerzo para los laminados

Laminado	N° de capas del material de refuerzo		
	FV _M	FW _R	
L _A	3	-	-
L _{P1}	2	1	orientación 0°/90°
L _{P2}	2	2	orientación 0°/90°
L _{P3}	2	1	orientación 0°/90°
		1	orientación ±45°
TOTAL	9	5	

Realizado por: Vargas, I. 2020

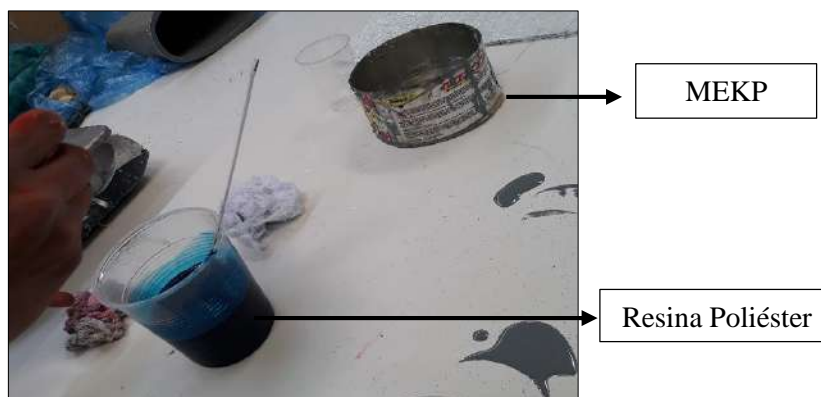


Fotografía 3-3: Fibra de Vidrio Mat 450 g/m² y Woven Roving 800 g/m²

Fuente: Master Fibra, 2020

Etapa 3: Preparación de la resina poliéster

Se empleó una báscula digital y se vertió la cantidad de resina calculada para cada laminado en un recipiente limpio y preferiblemente descartable y se le agregó y mezcló el catalizador MEKP al 1% (varía dependiendo la T) hasta obtener una mezcla homogénea. Además, se le agregó un pigmento para diferenciar cada laminado.



Fotografía 4-3: Resina poliéster catalizada

Fuente: Master Fibra, 2020

Etapa 4: Laminado

Una vez transcurrido el tiempo adecuado para que la cera y el Gel Coat estén secos parcialmente, se procedió con el laminado, que consistió en colocar las capas de fibra de vidrio considerando la secuencia de apilamiento de las láminas (configuración de laminado) como se detalló en la Tabla 1-3.

Inicialmente se coloca de manera uniforme la resina poliéster ya catalizada y sobre ella la primera capa de fibra de vidrio y se presiona con un rodillo en todas las direcciones de la fibra con el objetivo de eliminar el exceso de resina que ocasiona burbujas de aire, seguidamente se impregna nuevamente con la resina poliéster hasta que quede embebida el refuerzo en la matriz. Este procedimiento se sigue hasta completar el número de láminas de fibra de vidrio requeridas por cada laminado (véase ANEXO A)

Etapa 5: Curado de la resina

Una vez finalizado el apilado de láminas se dejó secar a temperatura ambiente para dar lugar al proceso de curado de la resina. Esto depende mucho de la temperatura y la humedad en el ambiente de trabajo.

Etapa 6: Desmolde

Luego de transcurrir el tiempo adecuado para completar el proceso de curado de la resina se procedió a desmoldar obteniendo como resultado los siguientes laminados como se observa en la Fotografía 9-3.



Fotografía 5-3: Laminados obtenidos

Fuente: Master Fibra, 2020

Etapa 7: Corte de probetas

Una vez obtenido los laminados se procedió a cortar las probetas con las dimensiones establecidas anteriormente mediante láser como se muestra en la Fotografía 10-3 para obtener cortes de precisión. Luego de ello se lija cada probeta para un mejor acabado.



Fotografía 6-3: Corte de probetas mediante láser CNC

Fuente: Vargas, I. 2020

3.3.4 Codificación de probetas

Con las probetas obtenidas se realizó una codificación para facilitar su estudio, de tal manera que a cada tipo de laminado con su respectiva configuración se le asignó un color (*plomo-azul-negro-rojo*) en su elaboración para identificarlos, además se colocó la primera letra del ensayo (*F-T-D-I*) seguida del número de repetición (*R*) (vease ANEXO B).

3.4 Esquema o diseño del experimento para los ensayos mecánicos

En la Tabla 6-3 se ilustra el Esquema o diseño del experimento presentando como variante la configuración de laminado. Las probetas obtenidas con cada laminado serán sometidas a 5 repeticiones por cada ensayo mecánico.

Tabla 6-3: Esquema o diseño del experimento para los ensayos mecánicos

Laminado	Configuración de laminado	Color codificado	Ensayo codificado	N° probetas	Repeticiones del ensayo (R)				
L_A	$FV_M + FV_M + FV_M$	Plomo (p)	Flexión – (F)	5	Fp – R1	Fp – R2	Fp – R3	Fp – R4	Fp – R5
			Tracción – (T)	5	Tp – R1	Tp – R2	Tp – R3	Tp – R4	Tp – R5
			Dureza – (D)	5	Dp – R1	Dp – R2	Dp – R3	Dp – R4	Dp – R5
			Impacto – (I)	5	Ip – R1	Ip – R2	Ip – R3	Ip – R4	Ip – R5
L_{P1}	$FV_M + FW_{R(0^\circ/90^\circ)} + FV_M$	Azul (a)	Flexión – (F)	5	Fa – R1	Fa – R2	Fa – R3	Fa – R4	Fa – R5
			Tracción – (T)	5	Ta – R1	Ta – R2	Ta – R3	Ta – R4	Ta – R5
			Dureza – (D)	5	Da – R1	Da – R2	Da – R3	Da – R4	Da – R5
			Impacto – (I)	5	Ia – R1	Ia – R2	Ia – R3	Ia – R4	Ia – R5
L_{P2}	$FV_M + FW_{R(0^\circ/90^\circ)} + FW_{R(0^\circ/90^\circ)} + FV_M$	Negro (n)	Flexión – (F)	5	Fn – R1	Fn – R2	Fn – R3	Fn – R4	Fn – R5
			Tracción – (T)	5	Tn – R1	Tn – R2	Tn – R3	Tn – R4	Tn – R5
			Dureza – (D)	5	Dn – R1	Dn – R2	Dn – R3	Dn – R4	Dn – R5
			Impacto – (I)	5	In – R1	In – R2	In – R3	In – R4	In – R5
L_{P3}	$FV_M + FW_{R(0^\circ/90^\circ)} + FW_{R(\pm 45^\circ)} + FV_M$	Rojo (r)	Flexión – (F)	5	Fr – R1	Fr – R2	Fr – R3	Fr – R4	Fr – R5
			Tracción – (T)	5	Tr – R1	Tr – R2	Tr – R3	Tr – R4	Tr – R5
			Dureza – (D)	5	Dr – R1	Dr – R2	Dr – R3	Dr – R4	Dr – R5
			Impacto – (I)	5	Ir – R1	Ir – R2	Ir – R3	Ir – R4	Ir – R5
TOTAL PROBETAS				80					

Realizado por: Vargas, I. 2020

3.5 Prueba tecnológica de elaboración de probetas

Se realizó una prueba tecnológica de la elaboración de las probetas para conocer el laminado que presentó mayor factibilidad de elaborar, considerando aspectos técnicos de manufactura y características cualitativas como los que se detallan en la Tabla 7-3.

Por lo tanto, se evaluó cada laminado en una escala de 1 al 5, siendo 1 el menos aceptable y 5 el mejor con relación a cada característica para establecer cuál de ellos presenta las mejores ventajas en su diseño.

Tabla 7-3: Prueba tecnológica de elaboración de probetas

	Características	L_A	L_{P1}	L_{P2}	L_{P3}
a	Ahorro de cantidad de resina	3	5	4	4
b	Ahorro de cantidad de catalizador	3	5	4	4
c	Espesor requerido en el laminado	3	2	4	4
d	Impregnación del refuerzo con la fibra	3	3	4	3
e	Ausencia de burbujas de aire	3	3	5	3
f	Estética del laminado	3	2	4	4
g	Ahorro en costo de producción	3	5	4	4
	Promedio (\bar{X})	2,63	3,13	3,63	3,25
Escala de la valoración cualitativa					
Donde:					
1= Malo					
2= Regular					
3= Bueno					
4= Muy bueno					
5= Excelente					

Fuente: Master Fibra, 2020

Realizado por: Vargas, I. 2020

3.6 Procedimiento experimental para los ensayos de caracterización mecánica.

Las probetas obtenidas con los distintos laminados fueron sometidas a cuatro tipos de ensayos para determinar sus propiedades mecánicas, las mismas que se llevaron a cabo en el Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero (CFPMC) del Consejo Provincial de Tungurahua.

Previamente a cada ensayo se estableció las condiciones de Temperatura (T) y Humedad ($\%H$) en el ambiente de trabajo con un pirómetro, así como las dimensiones de las probetas: longitud

(l), ancho (b) y espesor (h) para los cálculos respectivos, empleando un calibrador digital, pie de rey como se ilustra en la siguiente fotografía.



Fotografía 7-3: Pirómetro y calibrador digital - Pie de rey

Fuente: CFPMC, 2020

3.6.1 Ensayo Flexión

Se realizó bajo la normativa ASTM D7264-07 basándose en el procedimiento A tal como se muestra en la Figura 10-3, correspondiendo a un sistema de carga de tres puntos donde se aplica una carga central en una viga apoyada empleando la Máquina de ensayos universal Polímeros Metrotest STH-1500 KN

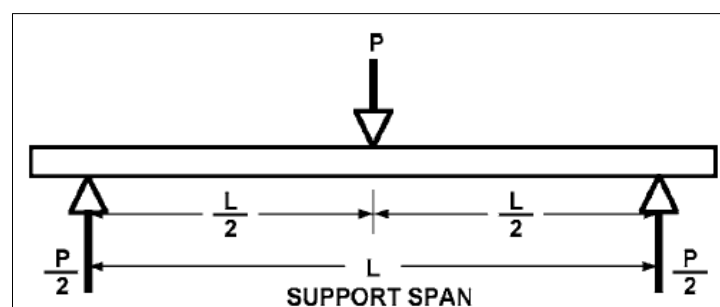


Figura 10-3: Procedimiento A para ensayo a Flexión

Fuente: Norma ASTM D7264-07: pp. 2

Se consideró un support span o distancia entre apoyos (L) de 16 veces el espesor (e), por tanto, se estableció un promedio (\hat{h}) para los cuatro laminados y se hizo la relación de $16 \times \hat{e}$ de tal manera que se determinó la distancia entre apoyos (L) detallados en la Tabla 8-3.

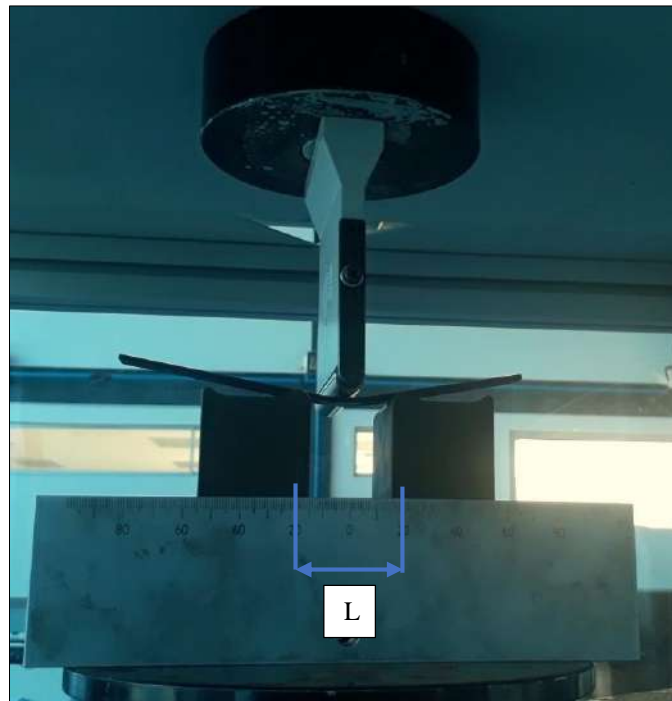
Tabla 8-3: Distancia entre apoyos para el ensayo a flexión

\hat{h} (mm)	Relación	L (mm)
2,5	2,5x16	40

Fuente: CFPMC, 2020

Realizado por: Vargas, I. 2020

El procedimiento optado para este ensayo consistió en ubicar la distancia entre apoyos establecido para los laminados en el puente de flexión y colocar las probetas. Seguidamente se aplicó una carga puntual (P) que se incrementó a lo largo de la sección transversal hasta que las probetas sufrieron una fractura.

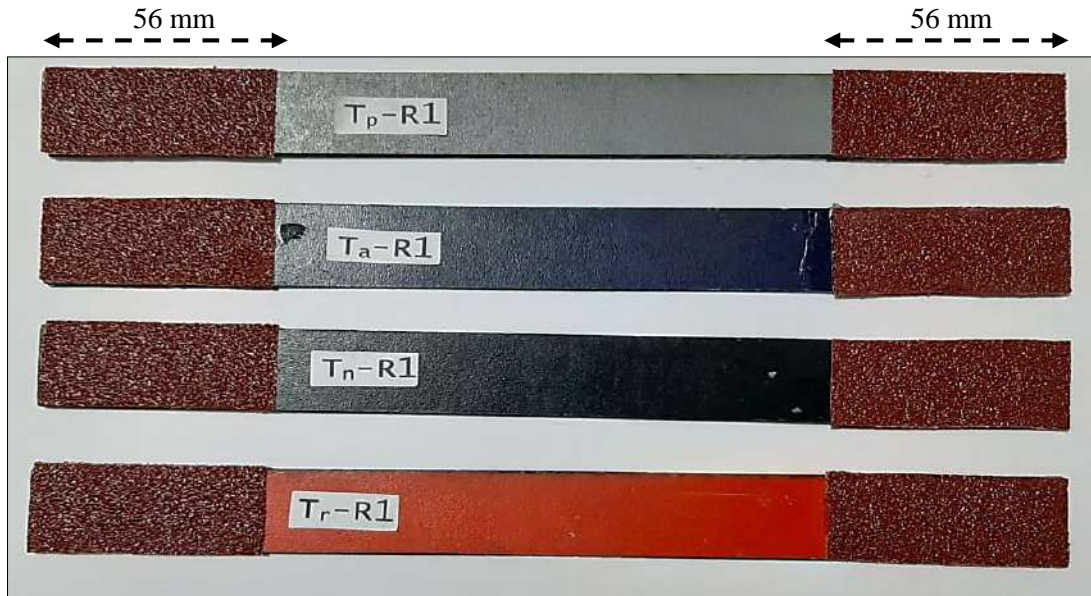


Fotografía 8-3: Probetas en el puente de deflexión

Fuente: CFPMC, 2020

3.6.2 *Ensayo Tracción*

Previo al ensayo se acondicionó las probetas de cada laminado para asegurar la sujeción con las mordazas y evitar el deslizamiento en el momento de aplicar las cargas, por lo que se colocó lija N° 50 a 56 mm en cada extremo de la probeta como se ilustra en la siguiente fotografía:



Fotografía 9-3: Probetas acondicionadas con lija para el ensayo a Tracción

Fuente: Vargas, I. 2020

El procedimiento optado para el ensayo Tracción consistió en introducir la probeta en la Máquina de ensayos universal Polímeros Metrotest 50 KN y sujetar sus extremos con las mordazas. Seguidamente se aplicó una carga (P) que se incrementó a lo largo del eje longitudinal a una velocidad de ensayo de 10 mm/min hasta que las probetas sufrieron una fractura.



Fotografía 10-3: Probetas sujetadas con las mordazas

Fuente: CFPMC, 2020

3.6.3 Ensayo Dureza

Para determinar la resistencia a la penetración de los materiales a ensayar se desarrolló por medio de la escala de Dureza Shore D basada en la norma ASTM 2240, ensayo que consistió en emplear un durómetro digital ilustrado en la Fotografía 19-3 que posee una punta cónica y un resorte muy rígido.



Fotografía 11-3: Durómetro digital

Fuente: CFPMC, 2020

Posteriormente, para este ensayo no destructivo se determinó cinco medidas de dureza en diferentes lugares de la probeta de ensayo con un intervalo de tiempo de indentación de 1 s tal como se establece en la normativa aplicable.

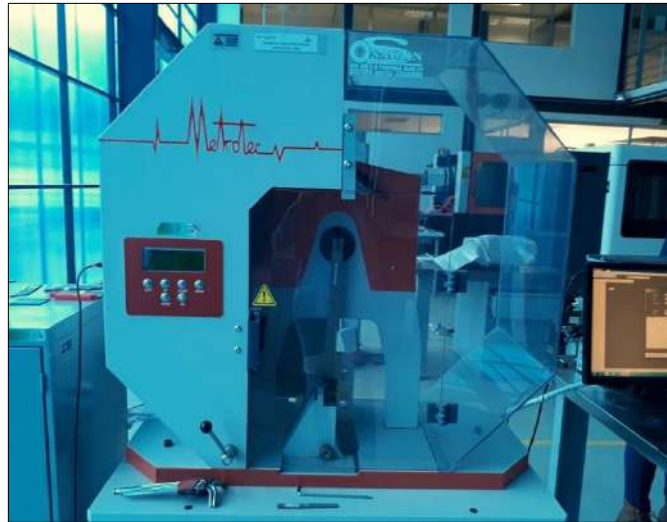


Fotografía 12-3: Determinación de Dureza Shore D en la probeta de ensayo

Fuente: CFPMC, 2020

3.6.4 *Ensayo Impacto*

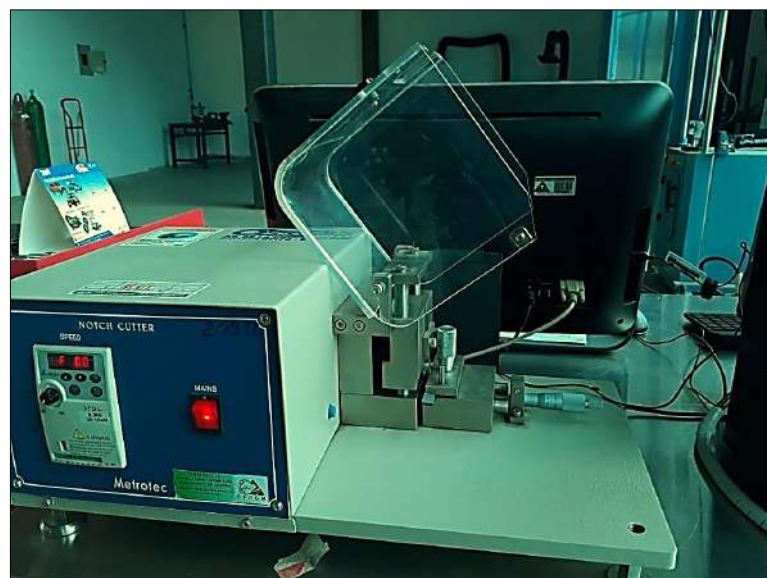
Se desarrolló el ensayo de Impacto tipo Charpy con el fin de determinar la energía necesaria para romper el material, en la Máquina de ensayo Charpy Modelo: IC-25/IA Serie: 1986M002.



Fotografía 13-3: Máquina de ensayo Impacto Charpy

Fuente: CFPMC, 2020

Inicialmente se realizó un entalle en V a las probetas de estudio con una profundidad de 2,5 mm como lo establece la norma ASTM correspondiente, empleando una entalladora motorizada para Charpy polímeros.



Fotografía 14-3: Entalladora motorizada para Charpy polímeros

Fuente: CFPMC, 2020

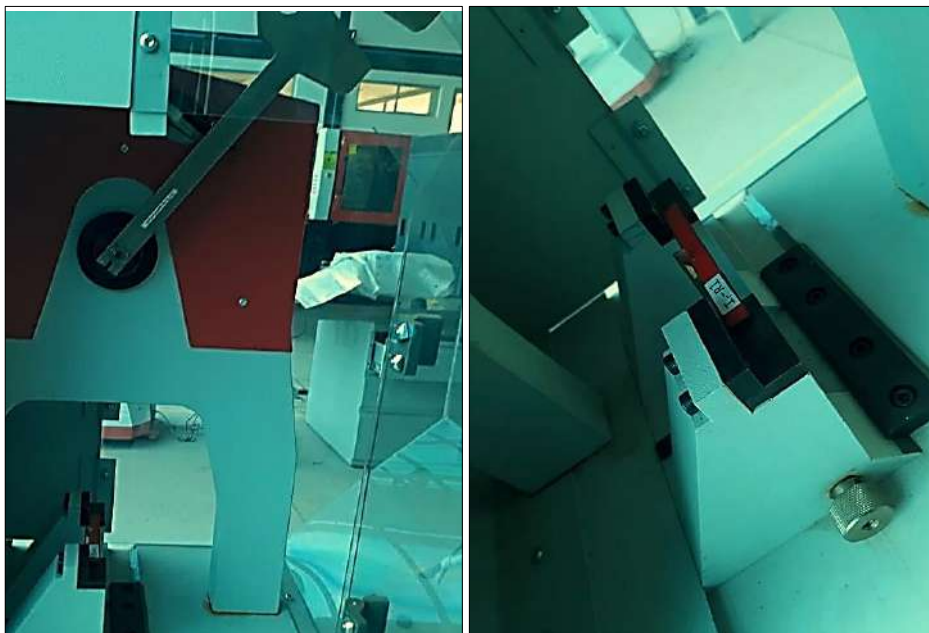


Fotografía 15-3: Probeta entallada para ensayo Impacto Charpy

Fuente: CFPMC, 2020

Posteriormente se seleccionó el péndulo Charpy más adecuado para el material correspondiendo a un péndulo con una capacidad de 5,4 J.

La probeta entallada se colocó en el soporte de la máquina (la distancia entre yunques fue de 101,6 mm) y se levantó el péndulo a una altura inicial (h_0) con referencia a la probeta formando un ángulo α . Se dejó caer el péndulo para que choque con la parte opuesta al entalle de la probeta llegando a una altura (h_1) con un ángulo β de tal manera que la probeta se fracturó, con ello se obtienen los datos para los cálculos respectivos.



Fotografía 16-3: Probeta entallada en la máquina de ensayo Impacto Charpy

Fuente: CFPMC, 2020

3.7 Cálculos de Ingeniería

3.7.1 Determinación del peso de resina en los laminados

Peso de resina poliéster (p_R)

Datos obtenidos:

En este apartado se indica el peso según el número de capas de fibra de vidrio Mat que se emplearon en la elaboración del L_A , L_{P1} , L_{P2} y L_{P3}

Tabla 9-3: Peso de las capas de fibra de vidrio Mat empleada en cada laminado

Laminado	N° capas de FV _M	Peso (Kg)
L_A	3	0,395
L_{P1}	2	0,290
L_{P2}	2	0,290
L_{P3}	2	0,290

Fuente: Master Fibra, 2020

Realizado por: Vargas, I. 2020

Cálculos:

La cantidad de resina se calculó por una relación peso/peso mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{\% R}{\% FV} = \frac{p_R}{p_{FV}} \quad (1)$$

Donde

$\%R$ = Porcentaje de Resina

$\%FV$ = Porcentaje de Fibra de Vidrio

p_R = Peso de Resina

p_{FV} = Peso de la Fibra de Vidrio

Para la Ecuación 1 se consideró los parámetros de trabajo de porcentaje en peso establecido por la Fábrica Master Fibra, mencionado en la Tabla 1-3 y el peso de la Fibra de Vidrio Mat detallados en la Tabla 9-3.

a) Para el Laminado Actual (L_A)

$$p_R = \frac{\% R}{\% FV} \times p_{FV}$$

$$p_R = 2,33 \times 0,395 \text{ Kg}$$

$$\mathbf{p_R = 0,920 \text{ Kg}}$$

b) Para el Laminado Propuesto 1 (L_{P1})

$$p_R = \frac{\% R}{\% FV} \times p_{FV}$$

$$p_R = 2,33 \times 0,290 \text{ Kg}$$

$$\mathbf{p_R = 0,675 \text{ Kg}}$$

Sin embargo, al añadir una capa de FW_R se requirió adicionar cierta cantidad de resina por lo que se agregó 0,06 Kg a la cantidad anterior para cubrir dicha capa.

$$p_{RT} = p_R + 0,06 \text{ Kg}$$

$$\mathbf{p_{Rt} = 0,735 \text{ Kg}}$$

c) Para el Laminado Propuesto 2 (L_{P2})

$$p_R = \frac{\% R}{\% FV} \times p_{FV}$$

$$p_R = 2,33 \times 0,290 \text{ Kg}$$

$$\mathbf{p_R = 0,675 \text{ Kg}}$$

Sin embargo, al añadir dos capas de FW_R se requirió adicionar cierta cantidad de resina por lo que se agregó 0,12 Kg a la cantidad anterior para cubrir dichas capas.

$$p_{RT} = p_R + 0,12 \text{ Kg}$$

$$\mathbf{p_{Rt} = 0,795 \text{ Kg}}$$

d) Para el Laminado Propuesto 3 (L_{P3})

$$p_R = \frac{\% R}{\% FV} \times p_{FV}$$

$$p_R = 2,33 \times 0,290 \text{ Kg}$$

$$\mathbf{p_R = 0,675 \text{ Kg}}$$

Sin embargo, al añadir dos capas de FW_R se requirió adicionar cierta cantidad de resina por lo que se agregó 0,12 Kg a la cantidad anterior para cubrir dichas capas.

$$p_{RT} = p_R + 0,12 \text{ Kg}$$

$$p_{Rt} = 0,795 \text{ Kg}$$

Como se mencionó anteriormente el catalizador se colocó en una proporción de 0,01 Kg por cada Kg de resina poliéster, es decir fue empleado en un 1% del peso total de la resina utilizada en cada laminado, por lo que se determinó con la siguiente ecuación:

$$p_C = p_{Rt} \times 0,01 \quad (1)$$

Donde

p_C = Peso del Catalizador

p_{Rt} = Peso total de Resina

3.7.2 *Determinación de los porcentajes de fibra y resina en los laminados propuestos*

Para este apartado se tomó como punto de referencia el L_A de la Fábrica Master Fibra del cual se conoce sus porcentajes (70%R y 30%FV). Por lo que se hizo una relación entre la cantidad de resina en el L_A con la cantidad de resina en los L_P , así:

a) Para el Laminado Propuesto 1 (L_{P1})

$$0,920 \text{ kg } p_{Rt} \longrightarrow 70 \%R$$

$$0,735 \text{ kg } p_{Rt} \longrightarrow X_{\%R} = 56 \%$$

$$\%FV = 100\% - \%R$$

$$\%FV = 100\% - 56\%$$

$$\%FV = 44 \%$$

b) Para el Laminado Propuesto 2 (L_{P2})

$$0,920 \text{ kg } p_{Rt} \longrightarrow 70 \%R$$

$$0,795 \text{ kg } p_{Rt} \longrightarrow X_{\%R} = 60 \%$$

$$\%FV = 100\% - \%R$$

$$\%FV = 100\% - 60\%$$

$$\%FV = 40\%$$

c) Para el Laminado Propuesto 3 (Lp3)

$$0,920 \text{ kg } p_{Rt} \longrightarrow 70 \%R$$

$$0,795 \text{ kg } p_{Rt} \longrightarrow X_{\%R} = 60\%$$

$$\%FV = 100\% - \%R$$

$$\%FV = 100\% - 60\%$$

$$\%FV = 40\%$$

3.7.3 Determinación de las propiedades mecánicas

De acuerdo a los datos detallados en el ANEXO G se calculó las propiedades mecánicas para los 4 ensayos realizados.

3.7.3.1 Ensayo de Flexión

a) Esfuerzo máximo de Flexión (σ_{mF})

$$\sigma_{mF} = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (3)$$

Donde:

σ_{mF} = Esfuerzo máximo de Flexión (MPa)

P = Fuerza aplicada (N)

L = Longitud de apoyos (mm)

b = Ancho de la probeta (mm)

h = Espesor de la probeta (mm)

b) Módulo de Elasticidad a la Flexión (E_F)

$$E_F = \frac{L^3 P}{4bh^3 \delta} \quad (4)$$

Donde:

E_F = Módulo de elasticidad a la Flexión (MPa)

P = Fuerza aplicada (N)

L = Longitud entre apoyos (mm)

b = Ancho de la probeta (mm)

h = Espesor de la probeta (mm)

δ = Deflexión de la probeta (mm)

c) Deformación máxima a la Flexión (ε)

$$\varepsilon = \frac{6\delta h}{L^2} \quad (5)$$

Donde:

ε = Deformación máxima a la Flexión

δ = Deflexión de la probeta (mm)

h = Espesor de la probeta (mm)

L = Longitud de apoyos (mm)

3.7.3.2 Ensayo de Tracción

a) Esfuerzo máximo de Tracción (σ_{mT})

$$\sigma_{mT} = \frac{P}{A} \quad (6)$$

Donde:

σ_{mT} = Esfuerzo máximo de Tracción (MPa)

P = Fuerza máxima aplicada (N)

A = Área de la sección transversal (mm²)

b) Elongación y Porcentaje de Elongación (ε - % ε)

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_i}{l_i} \quad (7)$$

$$\% \varepsilon = \frac{l_f - l_i}{l_i} \times 100\% \quad (8)$$

Donde:

ϵ = Elongación

l_i = Longitud inicial de la probeta (mm)

l_f = Longitud final de la probeta (mm)

$\% \epsilon$ = Porcentaje de Elongación (%)

c) Módulo de Elasticidad a la Tracción (E_T)

$$E_T = \frac{\sigma_{mT}}{\epsilon} \quad (9)$$

Donde

E_T = Módulo de Elasticidad a la Tracción (MPa)

σ_{mT} = Esfuerzo máximo a Tracción (MPa)

ϵ = Elongación (mm/mm)

3.7.3.3 Ensayo de Dureza

El Durómetro empleado proporciona automáticamente los valores de Dureza Shore D, sin embargo, se toma un promedio de las 5 mediciones en cada probeta.

$$DS_D = \frac{m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5}{5} \quad (10)$$

Donde

DS_D = Dureza Shore D (HS)

m_n = medición Shore D (HS)

3.7.3.4 Ensayo de Impacto

a) Energía de Ruptura (W_r)

$$W_r = mL_p(\cos \beta - \cos \alpha) \quad (11)$$

Donde

W_r = Energía de ruptura (J)

m = masa del péndulo (Kg)

L_p = Longitud del péndulo (m)

α y β = Ángulos formados por el péndulo

b) Resistencia al Impacto (R_I)

$$R_I = \frac{W_r}{A} \quad (12)$$

Donde

R_I = Resistencia al Impacto (J/m)

W_r = Energía de ruptura (J)

A = Área de la probeta (m²)

3.8 Resultados

Tabla 10-3: Resultados de la cantidad de resina en los laminados

Laminado	Resina total (Kg)
L _A	0,920
L _{P1}	0,735
L _{P2}	0,795
L _{P3}	0,795

Realizado por: Vargas, I. 2020

Tabla 11-3: Resultados de los porcentajes de resina y fibra en los laminados

Laminado	Resina (%)	Fibra (%)
L _A	70	30
L _{P1}	56	44
L _{P2}	60	40
L _{P3}	60	40

Realizado por: Vargas, I. 2020

Tabla 12-3: Resultados del ensayo Flexión en los laminados

Laminado	Probeta	Esfuerzo máximo a la flexión (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)	Deformación máxima
L_A	Tp – R1	154,40	7110,18	2,17
	Tp – R2	100,22	4227,19	2,37
	Tp – R3	110,84	4574,94	2,42
	Tp – R4	200,46	7986,81	2,51
	Tp – R5	209,26	7319,14	2,86
L_{P1}	Ta – R1	506,87	13027,34	3,89
	Ta – R2	168,96	7418,77	2,28
	Ta – R3	236,36	11077,15	2,13
	Ta – R4	500,37	834471,07	0,06
	Ta – R5	110,89	8484,14	1,31
L_{P2}	Tn – R1	189,60	7202,71	2,63
	Tn – R2	218,53	8062,16	2,71
	Tn – R3	165,92	6633,30	2,50
	Tn – R4	223,31	7942,02	2,81
	Tn – R5	223,31	7137,54	3,13
L_{P3}	Tr – R1	154,20	5619,86	2,74
	Tr – R2	215,50	10986,41	1,96
	Tr – R3	161,31	6717,62	2,40
	Tr – R4	152,99	6079,76	2,52
	Tr – R5	152,28	6978,04	2,18

Fuente: CFPMC, 2020

Realizado por: Vargas, I. 2020

Tabla 13-3: Resultados del ensayo de Tracción en los laminados

Laminado	Probeta	Esfuerzo máximo a la tracción (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)	Porcentaje de elongación (%)
L_A	Tp – R1	93,89	4982,50	1,884
	Tp – R2	83,21	4313,66	1,929
	Tp – R3	86,51	4016,15	2,154
	Tp – R4	80,09	4700,77	1,704
	Tp – R5	71,57	3747,77	1,910
L_{P1}	Ta – R1	185,92	5135,89	3,620
	Ta – R2	161,05	4930,18	3,267
	Ta – R3	181,04	5445,61	3,324
	Ta – R4	178,61	5041,23	3,543
	Ta – R5	162,16	5085,24	3,189
L_{P2}	Tn – R1	217,99	5688,89	3,832
	Tn – R2	174,30	4610,34	3,781
	Tn – R3	160,92	4794,71	3,356
	Tn – R4	173,15	4579,73	3,781
	Tn – R5	159,69	4748,35	3,363
L_{P3}	Tr – R1	146,69	4148,17	3,536
	Tr – R2	129,11	4327,20	2,984
	Tr – R3	149,56	4095,39	3,652
	Tr – R4	136,06	4266,66	3,189
	Tr – R5	117,93	3728,47	3,163

Fuente: CFPMC, 2020

Realizado por: Vargas, I. 2020

Tabla 14-3: Resultados del ensayo de Dureza Shore D en los laminados

Laminado	Probeta	Dureza Shore D (HS)
L_A	Tp – R1	88,40
	Tp – R2	88,20
	Tp – R3	90,20
	Tp – R4	88,90
	Tp – R5	88,70
L_{P1}	Ta – R1	90,10
	Ta – R2	90,50
	Ta – R3	89,90
	Ta – R4	90,40
	Ta – R5	90,00
L_{P2}	Tn – R1	89,90
	Tn – R2	89,90
	Tn – R3	89,70
	Tn – R4	89,80
	Tn – R5	90,00
L_{P3}	Tr – R1	89,30
	Tr – R2	89,70
	Tr – R3	89,70
	Tr – R4	89,80
	Tr – R5	90,40

Fuente: CFPMC, 2020

Realizado por: Vargas, I. 2020

Tabla 15-3: Resultados del ensayo Impacto Charpy en los laminados

Laminado	Probeta	Energía de ruptura (J)	Resistencia al impacto (J/m)
L_A	Tp – R1	1,000	306,75
	Tp – R2	1,000	299,40
	Tp – R3	0,970	281,98
	Tp – R4	1,040	299,71
	Tp – R5	0,840	262,50
L_{P1}	Ta – R1	1,850	872,64
	Ta – R2	2,190	1052,88
	Ta – R3	1,760	846,15
	Ta – R4	1,990	970,73
	Ta – R5	2,280	1112,20
L_{P2}	Tn – R1	3,740	1294,12
	Tn – R2	3,900	1382,98
	Tn – R3	3,350	1159,17
	Tn – R4	3,570	1133,33
	Tn – R5	3,450	1161,62
L_{P3}	Tr – R1	3,920	1256,41
	Tr – R2	3,380	1100,98
	Tr – R3	3,720	1188,50
	Tr – R4	3,390	1043,08
	Tr – R5	3,640	1166,67

Fuente: CFPMC, 2020

Realizado por: Vargas, I. 2020

Los resultados de las probetas sometidas a los ensayos mecánicos se muestran en el ANEXO H, en el cual se evidencia que las probetas sometidas a ensayo de tracción e impacto con la configuración de L_A fueron rotas en su totalidad, mientras que las probetas con la configuración de los laminados propuestos: L_{P1} , L_{P2} , L_{P3} sufrieron una fractura, pero no hasta el punto de la ruptura del material debido a la presencia de las fibras continuas provenientes de la FW_R (véase ANEXO H: lámina 4,5)

3.9 Requerimientos de tecnología, equipos y maquinaria

Para la elaboración de las probetas con los diferentes laminados se requirió de equipos y maquinaria detallados en la Tabla 16-3.

Tabla 16-3: Requerimientos de equipos y maquinaria en la elaboración de probetas

Equipo	Aplicación
Balanza electrónica	Medir la masa de un cuerpo o sustancia. Se empleó para medir la masa de las capas de fibra de vidrio y la cantidad de resina.
Maquinaria	Aplicación
Cortadora a láser CNC	Maquinaria que hace uso de un láser para producir cortes de alta precisión en las probetas de ensayo.

Realizado por: Vargas, I. 2020

Para la realización de los ensayos mecánicos a las probetas con los diferentes laminados se requirió de equipos y maquinaria detallados en la Tabla 17-3.

Tabla 17-3: Requerimientos de equipos y maquinaria para los ensayos mecánicos

Equipos	Marca	Aplicación
Pie de rey	KALKUM SQUERRA SL	Medir la profundidad y dimensiones de las probetas de ensayo.
Pirómetro	KESTREL	Medir la Temperatura y % de Humedad del ambiente de trabajo durante la realización de los ensayos mecánicos.
Durómetro Shore D	ERNST	Medir la dureza shore D en las probetas de ensayo.

Continuar pág. Siguiente

Continuación-Tabla 19-3

Maquinaria	Marca	Aplicación
Máquina universal para polímeros	METROTEST STH-1500 KN Modelo: STH-1500 KN Serie: 8802M001	Maquinaria empleada para determinar las propiedades mecánicas de flexión del material de estudio.
Máquina universal para polímeros	METROTEST 50KN Modelo: MTE – 50 Serie: 8210M002	Maquinaria empleada para determinar las propiedades mecánicas de tracción del material de estudio.
Máquina de Impacto Charpy	METROTEC Modelo: IC-25/IA Serie: 1986M002	Maquinaria empleada para determinar las propiedades mecánicas del material de estudio como la resistencia al impacto.
Entalladora motorizada para Charpy polímeros	METROTEC	Maquinaria empleada para realizar el entalle en V a las probetas sometidas a impacto.

Realizado por: Vargas, I. 2020

3.10 Análisis de Costo/beneficio del proyecto

3.10.1 Presupuesto

En la siguiente tabla se indica el presupuesto que se requirió para llevar a cabo este proyecto técnico, en el cual se detalla los costos por cada actividad que se realizó para la “Optimización de la elaboración de laminados para autopartes en fibra de vidrio reforzados con Woven Roving 800 en la Fábrica Master Fibra ubicada en Ambato”

Tabla 18-3: Presupuesto para del proyecto técnico

ACTIVIDAD	MATERIALES Y EQUIPOS	CANTIDAD UNITARIA	PRESUPUESTO			
			Valor unitario (Dólares)	Fuente de Financiamiento		Valor total
				Propia	Externa	
Análisis del proceso de laminado para autopartes en fibra de vidrio empleado actualmente en la fábrica Master Fibra.	Equipo de protección personal: mandil, mascarilla industrial, guantes, casco, zapatos industriales, transporte.	-	25,00		✓	25,00
Elaboración de las probetas con fibra de vidrio MAT y Woven Roving 800 bajo la normativa aplicable.	-Fibra Mat 450 g/m ² -Fibra Woven Roving 800 g/m ² -Resina Poliéster isoftálica -Peróxido de MEC -Gel coat -Pigmento -Cera desmoldante	-	60,00	✓		60,00
Corte de probetas a láser	Cortadora a láser CNC	-	84,00	✓		84,00
Realización de pruebas mecánicas a las probetas obtenidas según la norma correspondiente.	Ensayos mecánicos en el Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero	80	11,20	✓		896,00
Documento final	Libros, computadora, copias, internet	-	10,00	✓		10,00
	Computadora, impresiones, copias, anillados y empastado	-	50,00	✓		50,00
TOTAL						1125,00

Realizado por: Vargas, I. 2020

3.10.2 Análisis comparativo de costos

En las siguientes tablas se presenta el costo de materiales en la elaboración de cada laminado a los cuales se sumó el 10% por concepto de pérdidas de material durante el proceso de laminación manual, además se consideró un trabajador con un salario vital de \$600 para la mano de obra y un tiempo de producción de aproximadamente 1 h por cada laminado.

Tabla 19-3: Costos de materiales en la elaboración del Laminado Actual (L_A)

Laminado Actual (L_A)				
MATERIA PRIMA	Costo Unitario	Unidad	Cantidad utilizada	Costo total
Fibra de vidrio Mat 450 g/m ²	2,7	Kg	0,395	1,07
Fibra de vidrio Woven Roving 800 g/m ²	1,7	Kg	-	-
Resina Poliéster isoftálica	5,3	Kg	0,92	4,88
INSUMOS	Costo Unitario	Unidad	Cantidad utilizada	Costo total
Pigmento (plomo)	30	Kg	0,0184	0,55
Peróxido de metil etil cetona	6,8	Kg	0,0092	0,06
Cera desmoldante Simoniz	16	Kg	0,03	0,48
Gel coat	7,2	Kg	0,1	0,72
OTROS	Costo Unitario	Unidad	Cantidad utilizada	Costo total
Waípe	1,5	lb	0,25	0,38
Brocha 4 pulg.	2	unidad	1	2,00
Mano de obra	3,75	unidad	1	3,75
			Subtotal	13,88
Desperdicios	10	%		1,39
			TOTAL	\$15,28

Realizado por: Vargas, I. 2020

Tabla 20-3: Costos de materiales en la elaboración del Laminado Propuesto 1 (L_{P1})

Laminado Propuesto 1 (L_{P1})				
MATERIA PRIMA	Costo Unitario	Unidad	Cantidad utilizada	Costo total
Fibra de vidrio Mat 450 g/m ²	2,7	Kg	0,29	0,78
Fibra de vidrio Woven Roving 800 g/m ²	1,7	Kg	0,132	0,22
Resina Poliéster isoftálica	5,3	Kg	0,735	3,90
INSUMOS	Costo Unitario	Unidad	Cantidad utilizada	Costo total
Pigmento (azul)	30	Kg	0,0147	0,44
Peróxido de metil etil cetona	6,8	Kg	0,00735	0,05
Cera desmoldante Simoniz	16	Kg	0,03	0,48
Gel coat	7,2	Kg	0,1	0,72
OTROS	Costo Unitario	Unidad	Cantidad utilizada	Costo total
Waípe	1,5	lb	0,25	0,38
Brocha 4 pulg.	2	unidad	1	2,00
Mano de obra	3,75	unidad	1	3,75
			Subtotal	12,72
Desperdicios	10	%		1,27
			TOTAL	\$13,99

Realizado por: Vargas, I. 2020

Tabla 21-3: Costos de materiales en la elaboración del Laminado Propuesto 2 (L_P2)

Laminado Propuesto 2 (L_P2)				
MATERIA PRIMA	Costo Unitario	Unidad	Cantidad utilizada	Costo total
Fibra de vidrio Mat 450 g/m ²	2,7	Kg	0,29	0,78
Fibra de vidrio Woven Roving 800 g/m ²	1,7	Kg	0,265	0,45
Resina Poliéster isoftálica	5,3	Kg	0,795	4,21
INSUMOS	Costo Unitario	Unidad	Cantidad utilizada	Costo total
Pigmento (negro)	30	Kg	0,0159	0,48
Peróxido de metil etil cetona	6,8	Kg	0,00795	0,05
Cera desmoldante Simoniz	16	Kg	0,03	0,48
Gel coat	7,2	Kg	0,1	0,72
OTROS	Costo Unitario	Unidad	Cantidad utilizada	Costo total
Waipe	1,5	lb	0,25	0,38
Brocha 4 pulg.	2	unidad	1	2,00
Mano de obra	3,75	unidad	1	3,75
Subtotal				13,30
Desperdicios	10	%		1,33
TOTAL				\$14,63

Realizado por: Vargas, I. 2020

Tabla 22-3: Costos de materiales en la elaboración del Laminado Propuesto 3 (L_P3)

Laminado Propuesto 3 (L_P3)				
MATERIA PRIMA	Costo Unitario	Unidad	Cantidad utilizada	Costo total
Fibra de vidrio Mat 450 g/m ²	2,7	Kg	0,29	0,78
Fibra de vidrio Woven Roving 800 g/m ²	1,7	Kg	0,265	0,45
Resina Poliéster isoftálica	5,3	Kg	0,795	4,21
INSUMOS	Costo Unitario	Unidad	Cantidad utilizada	Costo total
Pigmento (rojo)	30	Kg	0,0159	0,48
Peróxido de metil etil cetona	6,8	Kg	0,00795	0,05
Cera desmoldante Simoniz	16	Kg	0,03	0,48
Gel coat	7,2	Kg	0,1	0,72
OTROS	Costo Unitario	Unidad	Cantidad utilizada	Costo total
Waipe	1,5	lb	0,25	0,38
Brocha 4 pulg.	2	unidad	1	2,00
Mano de obra	3,75	unidad	1	3,75
Subtotal				13,30
Desperdicios	10	%		1,33
TOTAL				\$14,63

Realizado por: Vargas, I. 2020

Los datos de costos otorgados por Master Fibra no han sido plasmados directamente en este análisis sino se han considerado valores aproximados respetando la confidencialidad de la fábrica.

Por lo tanto, el análisis comparativo se estimó entre el costo de materia prima, insumos y mano de obra empleados en la fabricación del L_A en comparación con los laminados propuestos (L_P) representados en la siguiente gráfica:

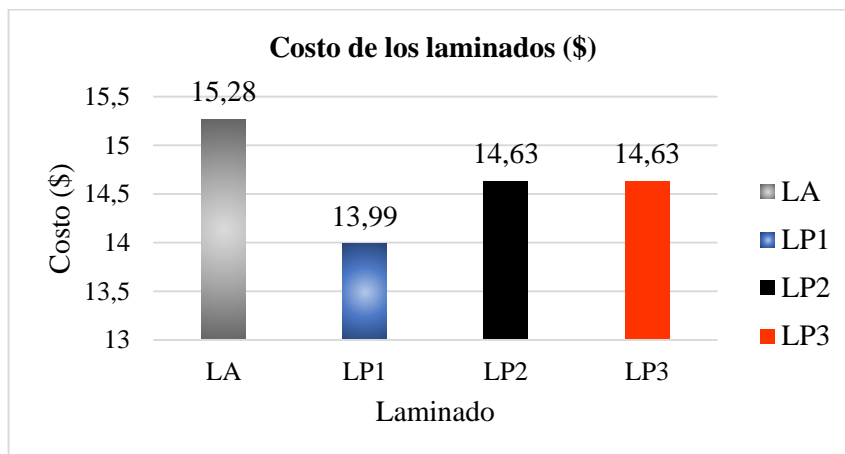


Gráfico 2-3: Análisis comparativo de costos

Realizado por: Vargas, I. 2020

De tal manera que al emplear aproximadamente 1 Kg de resina poliéster con el L_A de Master Fibra tiene un costo de \$15,28; sin embargo, al añadir la fibra de vidrio Woven Roving no solo se busca optimizar las propiedades mecánicas del material, sino también existe un ahorro económico de 8,44% para el L_{P1} y un 4,25% para el L_{P2} y L_{P3} con respecto al L_A.

Este análisis se realizó basándose en laminados que requieren aproximadamente 1 Kg de resina poliéster, sin embargo, al implementarlo a escala industrial el ahorro será una cifra muy significativa para la pequeña empresa, estimando un ahorro mínimo del 14% en el uso de resina, es decir 0,74 \$/Kg.

3.11 Cronograma del proyecto técnico

En el siguiente cronograma se indica el tiempo requerido para la ejecución de las actividades realizadas durante la elaboración de este proyecto técnico.

Tabla 23-3: Cronograma del proyecto técnico

ACTIVIDAD	TIEMPO																									
	1° mes				2° mes				3° mes				4° mes				5° mes				6° mes					
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4		
Revisión bibliográfica	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Análisis del proceso de laminado para autopartes en fibra de vidrio empleado actualmente en la fábrica Master Fibra.	■	■	■																							
Elaboración de las probetas con fibra de vidrio MAT y reforzado con Woven Roving 800 bajo la normativa aplicable.				■	■	■																				
Realización de pruebas o ensayos mecánicos a las probetas obtenidas según la norma correspondiente.							■	■	■	■	■	■														
Determinación del material con mejores resultados en las pruebas mecánicas y tecnológicas.													■	■	■	■	■									
Validación del nuevo material obtenido conforme a la Norma ASTM correspondiente.																	■	■								
Elaboración y corrección de borradores.	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■								
Redacción del trabajo final.																	■	■	■	■	■					
Empastado y presentación del trabajo final.																							■			
Auditoría académica.																							■	■		
Defensa del trabajo final																										■

Realizado por: Vargas, I. 2020

CAPÍTULO IV

4 ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados de la prueba tecnológica de elaboración de probetas

De acuerdo con la valoración cualitativa presentada anteriormente en la Tabla 7-3 se estima que los laminados propuestos presentan mejor factibilidad de diseño que el L_A. En el ahorro de resina y catalizador es el L_{P1} el cual sobresale, sin embargo, en el espesor requerido por el laminado no fue tan eficiente, así como en la estética en comparación con el L_{P2} y L_{P3}. El L_{P2} presentó una mejor impregnación de refuerzo con la fibra, característica indispensable para una transferencia de carga eficiente, al no evidenciarse fisuras, grietas o delaminación debido a la ausencia de burbujas. Además, en referencia a los costos de producción los laminados propuestos demandaron menor inversión que el L_A. Por lo tanto, al analizar todas las características cualitativas para cada laminado, se considera que el L_{P2} es el más factible para su elaboración seguido por el L_{P3} y L_{P1} respectivamente.

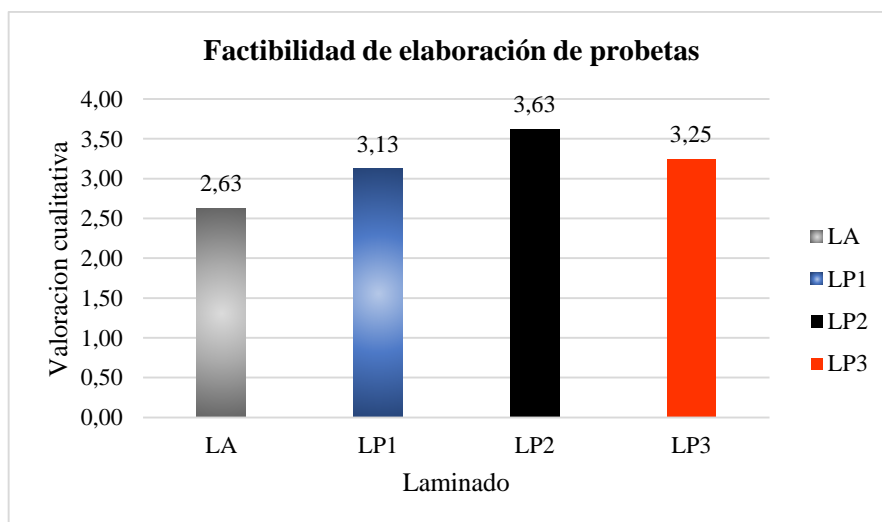


Gráfico 3-4: Comparación de la prueba tecnológica

Realizado por: Vargas, I. 2020

4.2 Determinación del peso de resina en los laminados

En la fabricación del L_A de Master Fibra se empleó para tres capas de FV_M 0,920 Kg de resina catalizada con MEKP al 1%, es decir por cada capa se distribuyó de manera uniforme y manual 0,31 Kg aproximadamente. Sin embargo, en los laminados propuestos al adicionar la FW_R se empleó cantidades menores de resina y por ende menor proporción de catalizador (MEKP) debido a que este tejido tiene la ventaja de humectarse fácilmente por la distribución de sus fibras, por cada capa de FW_R se empleó únicamente 0,06 kg de resina. Por lo tanto, en el L_{P1} existió un ahorro del 20% en el uso de resina poliéster y el 14% para el L_{P2} y L_{P3} en comparación con el L_A.

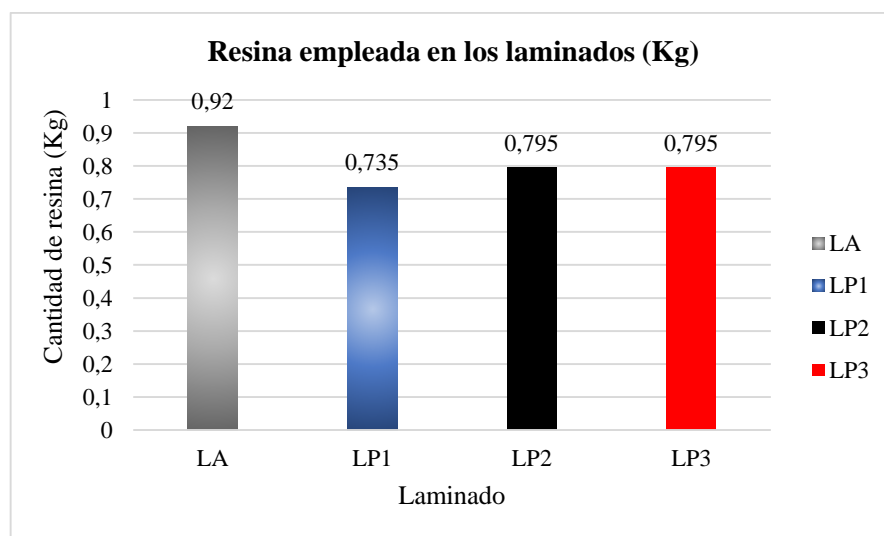


Gráfico 2-4: Comparación de la cantidad de resina en los laminados

Realizado por: Vargas, I. 2020

4.3 Determinación de los porcentajes de fibra y resina en los laminados propuestos

En el proceso experimental de elaboración de laminados, con la adición de la FW_R se consiguió variar la cantidad y orientación de fibra en las distintas configuraciones, así como disminuir la proporción de resina poliéster en los laminados propuestos tal como se explicó en el punto anterior. De tal manera que se varió los parámetros actuales de Master Fibra de 30%FV-70%R a un 44%FV-56%R al reemplazar una capa de FV_M por una de FW_R en el L_{P1}, además para el L_{P2} y L_{P3} corresponde a 40%FV-60%R ya que los dos laminados tienen el mismo número de capas tanto Mat como Woven Roving solo se diferencian en la orientación del tejido bidireccional.

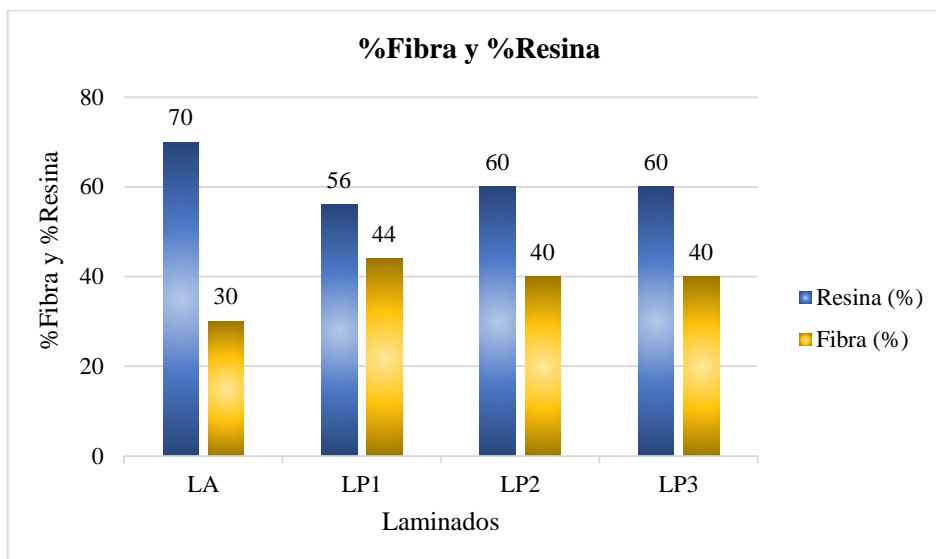


Gráfico 3-4: Comparación de los %Fibra y %Resina en los laminados

Realizado por: Vargas, I. 2020

4.4 Resultados de los ensayos mecánicos

Las propiedades mecánicas obtenidas en los ensayos de flexión, tracción, dureza e impacto de cada laminado fueron evaluadas estadísticamente mediante un diseño completamente al azar (DCA).

Para el análisis estadístico se realizó en el programa Minitab (véase ANEXO I) una comparación entre las propiedades mecánicas de cada laminado empleando un análisis de varianza (ANOVA) de un factor junto con la prueba de Tukey para la comparación múltiple entre medias. De tal manera se estableció si las propiedades presentaron o no diferencias estadísticamente significativas empleando un nivel de confianza del 95% y 5% de error.

Tabla 1-4: Criterio para el análisis estadístico

<i>H</i>	Hipótesis	Criterio	Se acepta
<i>H_o</i>	Nula	No hay diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los laminados	Si $\alpha > 0,05$
<i>H_a</i>	Alterna	Hay diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los laminados; al menos una es diferente	Si $\alpha < 0,05$

Realizado por: Vargas, I. 2020

4.4.1 Resultados del ensayo Flexión

Con los resultados de la Tabla 12-3 se analizó estadísticamente las siguientes propiedades mecánicas:

a) Esfuerzo máximo de flexión

Tabla 2-4: ANOVA para esfuerzo máximo de flexión

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Laminado	69145	3	23048	2,37	0,109
Error	155355	16	9710		
Total	224500	19			

Fuente: Minitab, 2020

Realizado por: Vargas, I. 2020

En la Tabla 2-4 se indica el análisis de varianza con respecto a los resultados de esfuerzo máximo de flexión de los cuatro laminados. El cual indica que el valor-p > 0,05; por lo que se deduce que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los laminados fabricados con distintas configuraciones (véase Tabla 3-4); por lo tanto, se acepta la H_0 y se rechaza la H_a con el 95% de certeza y 5% de error.

Tabla 3-4: Resumen estadístico para esfuerzo máximo de flexión (MPa)

Nivel	N	Media	Desv.Est.	ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada
LA	5	155,04	49,91	(-----*-----)
LP1	5	304,69	186,96	(-----*-----)
LP2	5	204,13	25,56	(-----*-----)
LP3	5	167,26	27,21	(-----*-----)

-----+-----+-----+-----+-----
100 200 300 400

Fuente: Minitab, 2020

Nota: El traslape de las medias indica que no hay diferencia estadísticamente significativa entre ellas

Al no existir diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los laminados para el esfuerzo máximo de flexión se estima que se puede fabricar las autopartes con la configuración de los laminados propuestos que presentan en su configuración la FW_R para obtener un material con la misma propiedad mecánica que el LA pero empleando menor cantidad de materia prima (resina y catalizador).

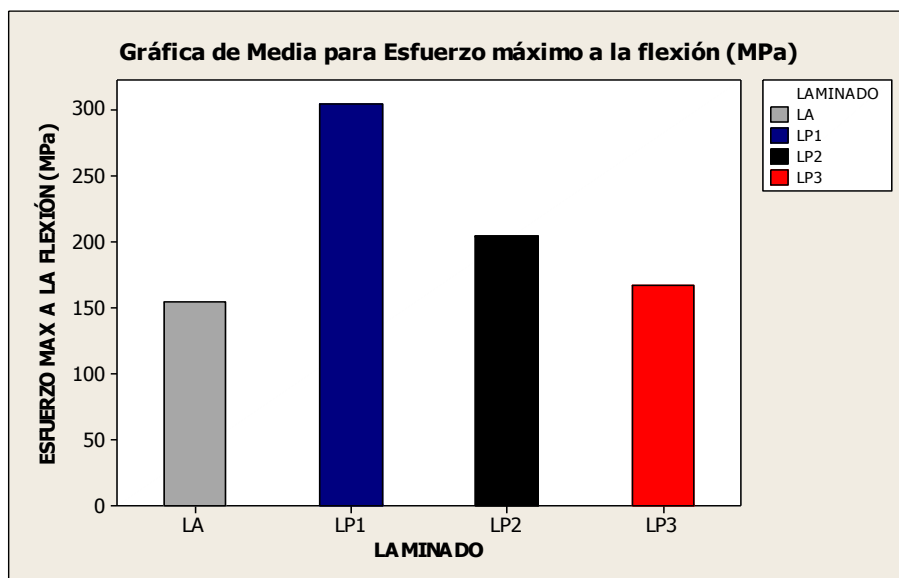


Gráfico 4-4: Gráfico de medias para el esfuerzo máximo de flexión (MPa)

Fuente: Minitab, 2020

b) Módulo de elasticidad a la flexión

Tabla 4-4: ANOVA para módulo de elasticidad

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Laminado	1,05748E11	3	3,52494E10	1,04	0,403
Error	5,4385E11	16	3,39907E10		
Total	6,49599E11	19			

Fuente: Minitab, 2020

Realizado por: Vargas, I. 2020

En la Tabla 4-4 se indica el análisis de varianza con respecto a los resultados de módulo de elasticidad de los cuatro laminados. El cual indica que el valor- $p > 0,05$; por lo que se deduce que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los laminados fabricados con distintas configuraciones (véase Tabla 5-4); por lo tanto, se acepta la H_0 y se rechaza la H_a con el 95% de certeza y 5% de error.

Tabla 5-4: Resumen estadístico para módulo de elasticidad (MPa)

Nivel	N	Media	Desv.Est.	ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada
LA	5	6244	1717	(-----*-----)
LP1	5	174896	368720	(-----*-----)
LP2	5	7396	597	(-----*-----)
LP3	5	7276	2141	(-----*-----)

-150000 0 150000 300000

Fuente: Minitab, 2020

Nota: El traslape de las medias indica que no hay diferencia estadísticamente significativa entre ellas

Al no existir diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los laminados para el módulo de elasticidad, se estima que se puede fabricar las autopartes con la configuración de los laminados propuestos que presentan en su configuración la FW_R para obtener un material con la misma propiedad mecánica que el LA pero empleando menor cantidad de materia prima (resina y catalizador).

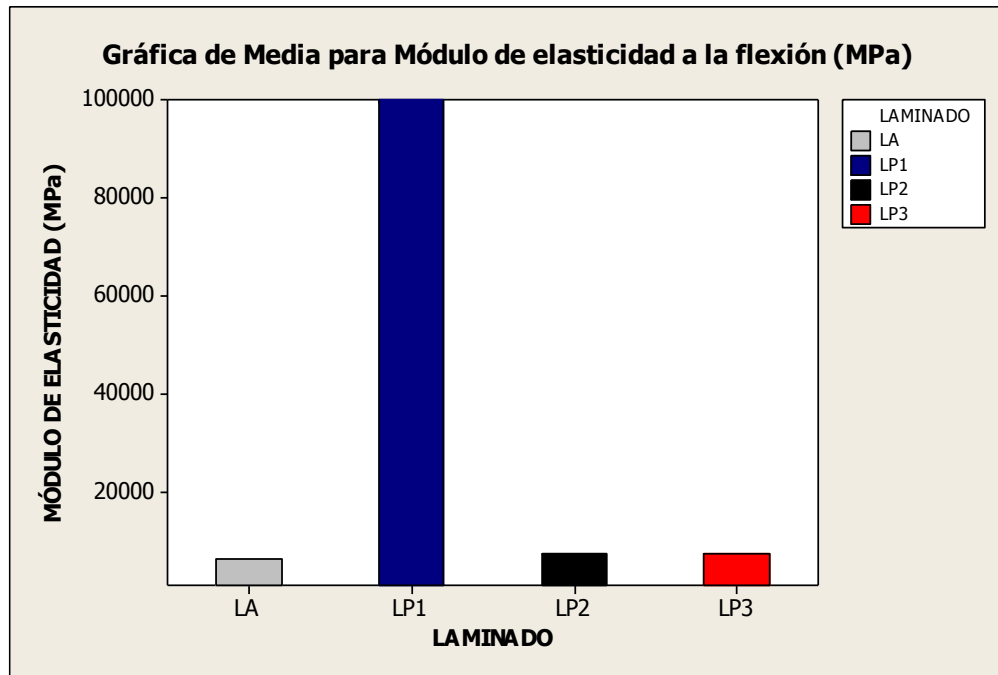


Gráfico 5-4: Gráfico de medias para módulo de elasticidad a la flexión (MPa)

Fuente: Minitab, 2020

c) Deformación máxima

Tabla 6-4: ANOVA para deformación máxima

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Laminado	1,740	3	0,580	1,06	0,392
Error	8,732	16	0,546		
Total	10,472	19			

Fuente: Minitab, 2020

Realizado por: Vargas, I. 2020

En la Tabla 6-4 se indica el análisis de varianza con respecto a los resultados de deformación máxima de los cuatro laminados. El cual indica que el valor- $p > 0,05$; por lo que se deduce que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los laminados fabricados con distintas configuraciones (véase Tabla 7-4); por lo tanto, se acepta la H_0 y se rechaza la H_a con el 95% de certeza y 5% de error.

Tabla 7-4: Resumen estadístico para deformación máxima

Nivel	N	Media	Desv.Est.	ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada
LA	5	2,4660	0,2530	(-----+-----+-----+-----+)
LP1	5	1,9340	1,4040	(-----*-----)
LP2	5	2,7560	0,2379	(-----*-----)
LP3	5	2,3600	0,3017	(-----*-----)
				-----+-----+-----+-----+
				1,80 2,40 3,00 3,60

Fuente: Minitab, 2020

Nota: El traslape de las medias indica que no hay diferencia estadísticamente significativa entre ellas

Al no existir diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los laminados para la deformación máxima, se estima que se puede fabricar las autopartes con la configuración de los laminados propuestos que presentan en su configuración la FW_R para obtener un material con la misma propiedad mecánica que el L_A pero empleando menor cantidad de materia prima (resina y catalizador).

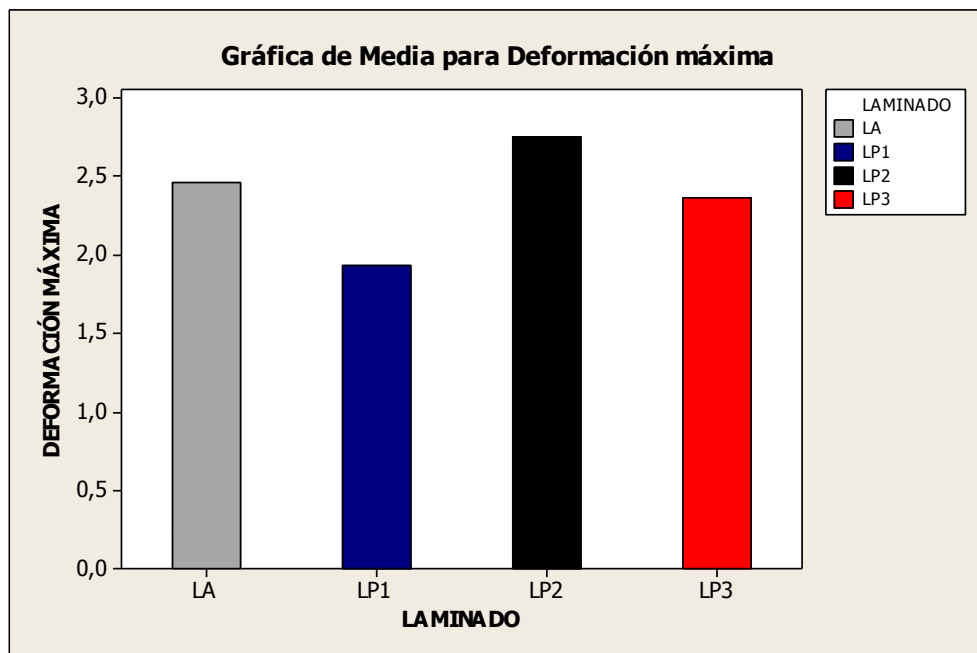


Gráfico 6-4: Gráfico de medias para deformación máxima

Fuente: Minitab, 2020

4.4.2 Resultados del ensayo Tracción

De los resultados de la Tabla 13-3 se analizó estadísticamente las siguientes propiedades mecánicas:

a) **Esfuerzo máximo de tracción**

Tabla 8-4: ANOVA para esfuerzo máximo de tracción

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Laminado	287978	3	9599	41,25	0,000
Error	3723	16	233		
Total	32520	19			

Fuente: Minitab, 2020

Realizado por: Vargas, I. 2020

En la Tabla 8-4 se indica el análisis de varianza con respecto a los resultados de esfuerzo máximo a la tracción de los cuatro laminados. El cual indica que el valor- $p < 0,05$; por lo que se deduce que si existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los laminados fabricados con distintas configuraciones (véase Tabla 9-4); por lo tanto, se rechaza la H_0 y se acepta la H_a con el 95% de certeza y 5% de error.

Tabla 9-4: Resumen estadístico para esfuerzo máximo de tracción (MPa)

Nivel	N	Media	Desv.Est.	ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada
LA	5	83,05	8,22	(---*---)
LP1	5	173,76	11,41	(---*---)
LP2	5	177,21	23,77	(---*---)
LP3	5	135,87	12,96	(---*---)

+-----+-----+-----+-----+
70 105 140 175

Fuente: Minitab, 2020

Nota: El traslape de las medias indica que no hay diferencia estadísticamente significativa entre ellas

Al existir diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los laminados para el esfuerzo máximo de tracción, se aplicó la prueba de Tukey con el cual se deduce una optimización de esta propiedad mecánica con los laminados propuestos que contienen el tejido bidireccional; siendo el LP1 y LP2 los que soporta la máxima cantidad de esfuerzo al aplicar una carga uniaxial. Obteniendo así, un material con mejor esfuerzo a la tracción que el LA, empleando menor cantidad de materia prima (resina y catalizador).

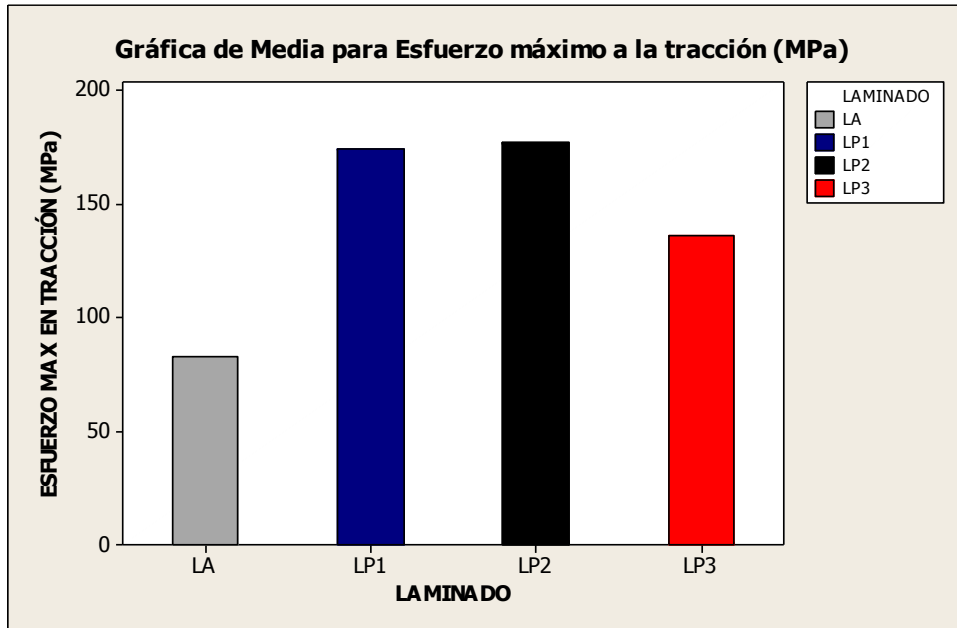


Gráfico 7-4: Gráfico de medias para esfuerzo máximo a la tracción (MPa)

Fuente: Minitab, 2020

b) Módulo de elasticidad a la tracción

Tabla 10-4: ANOVA para módulo de elasticidad a la tracción

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Laminado	3280987	3	1093662	7,92	0,002
Error	2208552	16	138034		
Total	5489539	19			

Fuente: Minitab, 2020

Realizado por: Vargas, I. 2020

En la Tabla 10-4 se indica el análisis de varianza con respecto a los resultados de módulo de elasticidad a tracción de los cuatro laminados. El cual indica que el valor-p < 0,05; por lo que se deduce que si existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los laminados fabricados con distintas configuraciones (véase Tabla 11-4); por lo tanto, se rechaza la H_0 y se acepta la H_a con el 95% de certeza y 5% de error.

Tabla 11-4: Resumen estadístico para módulo de elasticidad a tracción (MPa)

Nivel	N	Media	Desv.Est.	ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada
LA	5	4352,2	499,6	(-----*-----)
LP1	5	5127,6	193,3	(-----*-----)
LP2	5	4884,4	458,7	(-----*-----)
LP3	5	4113,2	233,9	(-----*-----)

-----+-----+-----+-----+-----
4000 4500 5000 5500

Fuente: Minitab, 2020

Nota: El traslape de las medias indica que no hay diferencia estadísticamente significativa entre ellas

Al existir diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los laminados para el módulo de elasticidad a tracción, se aplicó la prueba de Tukey con el cual se deduce una optimización de esta propiedad mecánica con los laminados propuestos que contienen el tejido bidireccional; siendo el LP1 el más resistente a la deformación al aplicar una fuerza uniaxial externa. Obteniendo así, un material con mejor módulo elástico que el LA, empleando menor cantidad de materia prima (resina y catalizador).

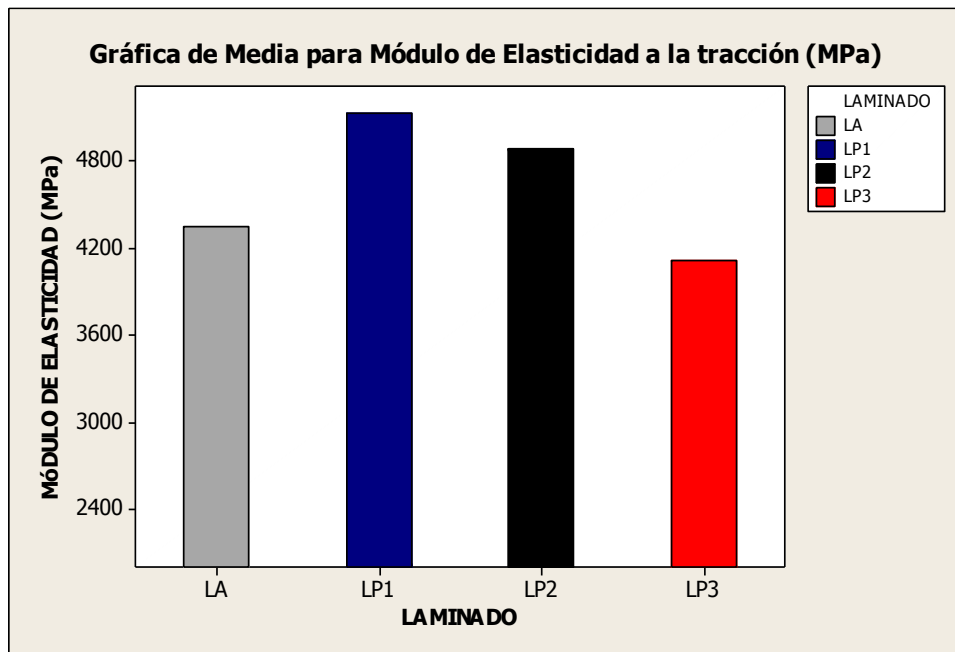


Gráfico 8-4: Gráfico de medias para módulo de elasticidad a tracción (MPa)

Fuente: Minitab, 2020

c) % de elongación

Tabla 12-4: ANOVA para % de elongación

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Laminado	8,9634	3	2,9878	61,14	0,000
Error	0,7819	16	0,0489		
Total	9,7454	19			

Fuente: Minitab, 2020

Realizado por: Vargas, I. 2020

En la Tabla 12-4 se indica el análisis de varianza con respecto a los resultados de % elongación en los cuatro laminados. El cual indica que el valor-p < 0,05; por lo que se deduce que si existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los laminados fabricados con distintas configuraciones (véase Tabla 13-4); por lo tanto, se rechaza la H₀ y se acepta la H_a con el 95% de certeza y 5% de error.

Tabla 13-4: Resumen estadístico para % de elongación

Nivel	N	Media	Desv.Est.	ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada
LA	5	1,9162	0,1603	(---*---)
LP1	5	3,3886	0,1845	(--*---)
LP2	5	3,6226	0,2411	(--*---)
LP3	5	3,3048	0,2786	(--*---)

1,80 2,40 3,00 3,60

Fuente: Minitab, 2020

Nota: El traslape de las medias indica que no hay diferencia estadísticamente significativa entre ellas

Al existir diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los laminados para el % de elongación, se aplicó la prueba de Tukey con el cual se deduce una optimización de esta propiedad mecánica con los laminados propuestos que contienen el tejido bidireccional; siendo el LP1, LP2 y LP3 los que tienen mayor capacidad de deformarse antes de llegar al punto de ruptura. Obteniendo así, un material con mejor % de elongación que el LA, empleando menor cantidad de materia prima (resina y catalizador).

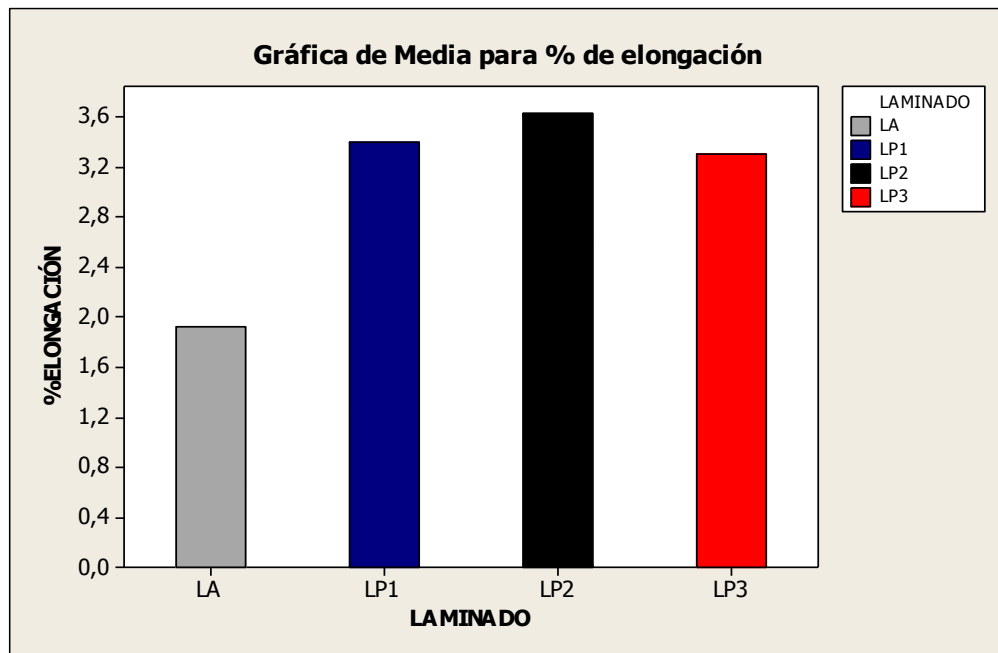


Gráfico 9-4: Gráfico de medias para % de elongación

Fuente: Minitab, 2020

4.4.3 Resultados del ensayo de Dureza Shore D

De los resultados de la Tabla 14-3 se analizó estadísticamente la dureza de los laminados con las distintas configuraciones.

Tabla 14-4: ANOVA para dureza shore D

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Laminado	4,661	3	1,554	7,28	0,003
Error	3,416	16	0,214		
Total	8,077	19			

Fuente: Minitab, 2020

Realizado por: Vargas, I. 2020

En la Tabla 14-4 se indica el análisis de varianza con respecto a los resultados de dureza shore D en los cuatro laminados. El cual indica que el valor-p < 0,05; por lo que se deduce que si existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los laminados fabricados con distintas configuraciones (véase Tabla 15-4); por lo tanto, se rechaza la H₀ y se acepta la H_a con el 95% de certeza y 5% de error.

Tabla 15-4: Resumen estadístico para dureza shore D

Nivel	N	Media	Desv.Est.	ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada			
LA	5	88,880	0,785	-----+-----+-----+-----+-----+-----			
LP1	5	90,180	0,259	(-----*-----)		(-----*-----)	
LP2	5	89,860	0,114		(-----*-----)		
LP3	5	89,780	0,396		(-----*-----)		
				-----+-----+-----+-----+-----+-----			
				88,80	89,40	90,00	90,60

Fuente: Minitab, 2020

Nota: El traslape de las medias indica que no hay diferencia estadísticamente significativa entre ellas

Al existir diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los laminados para la dureza shore D, se aplicó la prueba Tukey con el cual se deduce una optimización de esta propiedad mecánica con los laminados propuestos que contienen el tejido bidireccional; siendo los L_{P1}, L_{P2} y L_{P3} los que tiene mayor resistencia a ser penetrado por una fuerza externa. Obteniendo así, un material con mejor dureza que el L_A, empleando menor cantidad de materia prima (resina y catalizador).

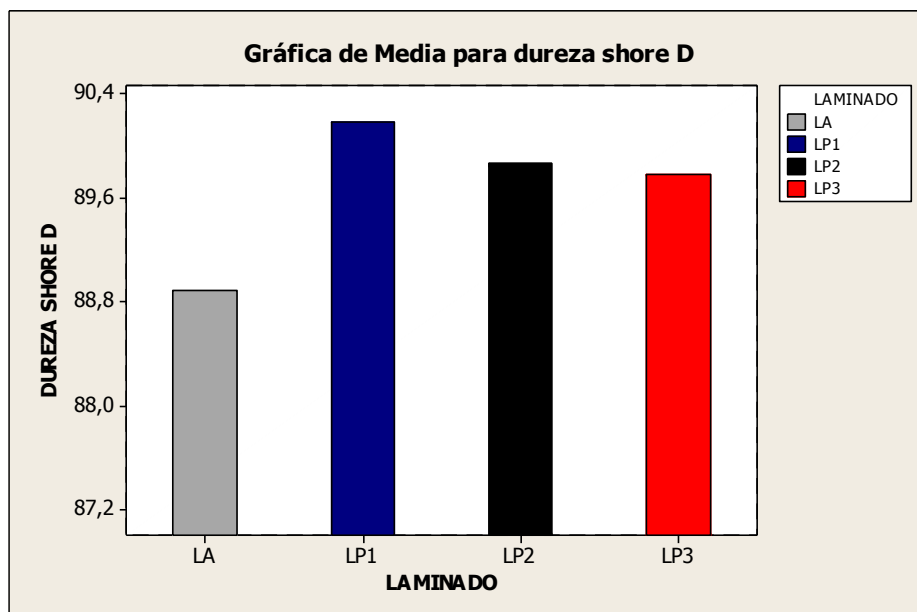


Gráfico 4-4: Gráfico de medias para dureza shore D (HS)

Fuente: Minitab, 2020

4.4.4 Resultados del ensayo de Impacto Charpy

Con los resultados de la Tabla 15-3 se analizó estadísticamente las siguientes propiedades mecánicas:

a) Energía de ruptura

Tabla 16-4: ANOVA para energía de ruptura

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Laminado	25,0700	3	8,3567	214,55	0,000
Error	0,6232	16	0,0390		
Total	25,6932	19			

Fuente: Minitab, 2020

Realizado por: Vargas, I. 2020

En la Tabla 16-4 se indica el análisis de varianza con respecto a los resultados de energía de ruptura en los cuatro laminados. El cual indica que el valor-p < 0,05; por lo que se deduce que si existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los laminados fabricados con distintas configuraciones (véase Tabla 17-4); por lo tanto, se rechaza la H_0 y se acepta la H_a con el 95% de certeza y 5% de error.

Tabla 17-4: Resumen estadístico para energía de ruptura (J)

Nivel	N	Media	Desv.Est.	ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada
LA	5	0,9700	0,0768	(-*-)
LP1	5	2,0140	0,2201	(-***)
LP2	5	3,6020	0,2211	(-***)
LP3	5	3,6100	0,2293	(-***)

+-----+-----+-----+-----+
0,80 1,60 2,40 3,20

Fuente: Minitab, 2020

Nota: El traslape de las medias indica que no hay diferencia estadísticamente significativa entre ellas

Al existir diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los laminados para la energía de ruptura, se aplicó la prueba de Tukey con el cual se deduce una optimización de esta propiedad mecánica con los laminados propuestos que contienen el tejido bidireccional; siendo el LP2 y LP3 los cuales presentan mayor energía para que el material con dicha configuración de laminado sufra una fractura. Obteniendo así, un material más resistente que el LA, empleando menor cantidad de materia prima (resina y catalizador).

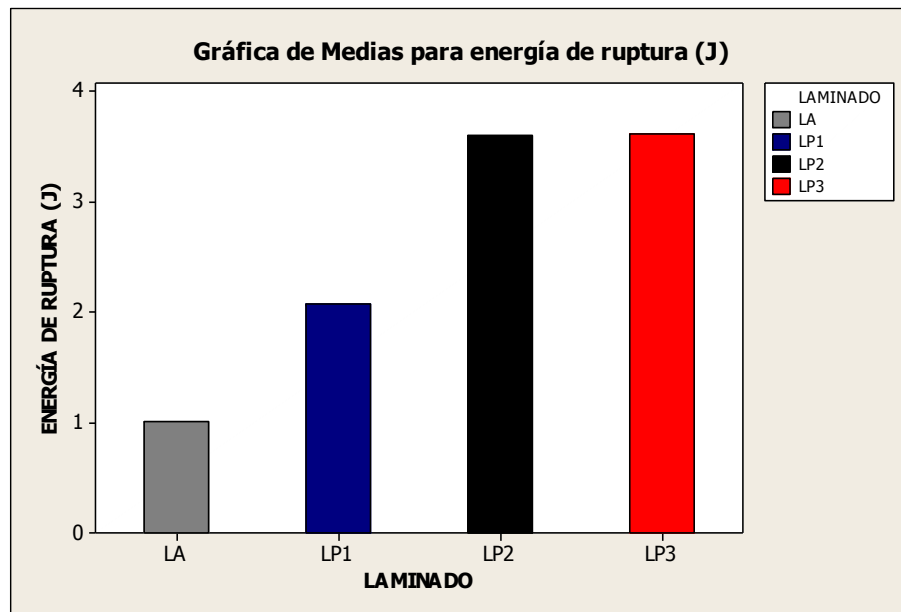


Gráfico 5-4: Gráfico de medias para energía de ruptura (J)

Fuente: Minitab, 2020

b) Resistencia al impacto

Tabla 18-4: ANOVA para resistencia al impacto

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Laminado	2730896	3	910299	115,06	0,000
Error	126581	16	7911		
Total	2857477	19			

Fuente: Minitab, 2020

Realizado por: Vargas, I. 2020

En la Tabla 18-4 se indica el análisis de varianza con respecto a los resultados de resistencia al impacto en los cuatro laminados. El cual indica que el valor-p < 0,05; por lo que se deduce que si existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los laminados fabricados con distintas configuraciones (véase Tabla 19-4); por lo tanto, se rechaza la H₀ y se acepta la H_a con el 95% de certeza y 5% de error

Tabla 19-4: Resumen estadístico para resistencia al impacto (J/m)

Nivel	N	Media	Desv. Est.	ICs de 95% individuales para la media basados en Desv. Est. agrupada
LA	5	290,1	17,9	(--*-)
LP1	5	970,9	113,9	(-*--)
LP2	5	1226,2	107,8	(--*--)
LP3	5	1151,1	82,0	(-*--)

Fuente: Minitab, 2020

Nota: El traslape de las medias indica que no hay diferencia estadísticamente significativa entre ellas

Al existir diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los laminados para la energía de ruptura, se aplicó la prueba Tukey con el cual se deduce una optimización de esta propiedad mecánica con los laminados propuestos que contienen el tejido bidireccional; siendo el LP2 y LP3 los cuales presentan mayor resistencia al impacto con la configuración de laminado establecida. Obteniendo así, un material más resistente a la fractura por el choque de una carga que el L_A, empleando menor cantidad de materia prima (resina y catalizador).

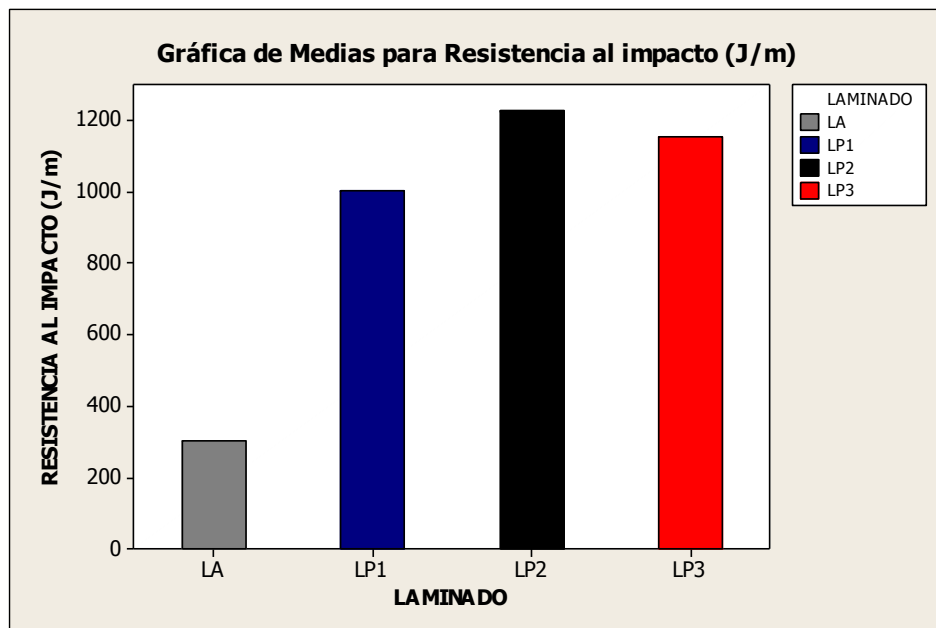


Gráfico 6-4: Gráfico de medias para resistencia al impacto (J/m)

Fuente: Minitab, 2020

4.4.5 Selección del laminado con la mejor combinación de propiedades mecánicas

Con base al análisis estadístico sobre la caracterización mecánica obtenido por medio de los ensayos respectivos, se seleccionó los laminados con los mejores resultados en cada propiedad analizada.

Tabla 20-4: Comparación de las medias para las propiedades mecánicas

Ensayo	Propiedad mecánica		Unidad	L _A	L _{P1}	L _{P2}	L _{P3}
Flexión	σ_{mF}	Esfuerzo máximo de flexión	MPa	155,035	304,690	204,132	167,256
	E_F	Módulo de elasticidad	MPa	6243,65	174895,694	7395,54	7276,338
	ϵ	Deformación máxima	-	2,467	1,934	2,757	2,361
Tracción	σ_{mT}	Esfuerzo máximo de tracción	MPa	83,05	173,756	177,210	135,870
	E_T	Módulo de elasticidad	MPa	4352,16	5127,632	4884,40	4113,178
	% ϵ	Porcentaje de elongación	%	1,916	3,389	3,623	3,305
Dureza	DS_D	Dureza shore D	HS	88,88	90,18	89,86	89,78
Impacto	W_I	Energía de ruptura	J	0,970	2,014	3,602	3,610
	R_I	Resistencia al impacto	J/m	290,06	970,921	1226,24	1151,126

Realizado por: Vargas, I. 2020

Nota: Al seleccionar más de un laminado en una propiedad mecánica indica que no hay diferencia significativa entre ellas

De acuerdo con lo estipulado en la Tabla 20-4, el esfuerzo máximo de flexión (σ_{mF}) con la configuración de L_A es estadísticamente igual a la evaluada con los laminados propuestos, por lo que se logró obtener un laminado con la misma resistencia a cargas perpendiculares a su eje longitudinal pero a menor costo de producción al añadir la FW_R. Lo mismo ocurrió con el módulo de elasticidad de flexión (E_F) y deformación máxima (ϵ).

Sin embargo en el esfuerzo máximo a la tracción (σ_{mT}) hubo un incremento del 109% con el L_{P1}, 113% con el L_{P2} y 64% con el L_{P3} con relación al L_A. En el módulo de elasticidad a la tracción (E_T) se logró un aumento del 17,82% con el L_{P1}, mientras que los L_{P2} y L_{P3} son estadísticamente iguales con relación al L_A. En el porcentaje de elongación (% ϵ) hubo un incremento del 77% con el L_{P1}, 89% con el L_{P2} y con el L_{P3} un 73% con relación al L_A.

Con referencia a la dureza shore D (DS_D) hubo una optimización no muy considerable ya que se mejoró solo 1,5% con el L_{P1}, 1,1% con el L_{P2} y 1% con el L_{P3} con relación al L_A.

La propiedad mecánica de mayor interés para las autopartes elaboradas a base de fibra de vidrio que están más propensas a una colisión corresponde a aquellas que se evaluaron con el ensayo de impacto, en el cual existió un incremento del 108%, 271%, 272% con el L_{P1}, L_{P2} y L_{P3} respectivamente, en cuanto a la energía de ruptura (W_I). Además, se optimizó la resistencia al

impacto (R_i) con los laminados propuestos L_{P1} , L_{P2} y L_{P3} con los cuales se logró un incremento del 235%, 323% y 297% respectivamente.

Por lo tanto, se le atribuye que la configuración de laminado que presenta la FW_R incide positivamente en la optimización de los resultados, ya que el comportamiento mecánico de los materiales compuestos depende en gran medida de factores como la longitud, cantidad y orientación de las fibras que actúan como refuerzo (Stupenengo, 2011: pp 18). La fibra de vidrio tipo Mat, configuración de L_A de Master Fibra, al estar constituida por filamentos cortos, discontinuos y distribuidos al azar presentan mayor cantidad de extremos en las fibras y son estos los que soportan menos carga, lo contrario sucede con la fibra de vidrio tipo Woven Roving, laminados propuestos en este estudio, que al estar conformado por fibras tejidas largas y continuas contienen menor cantidad de extremos, lo que le permite soportar condiciones de carga más elevadas, aportando al material mayor resistencia.

CONCLUSIONES

- Se analizó el proceso de laminado para autopartes en fibra de vidrio empleado actualmente en la Fábrica Master Fibra correspondiendo al método de estratificación o laminación manual (hand lay-up) empleando únicamente FV_M que contiene fibras cortas distribuidas al azar en un 30% y 70% de resina poliéster catalizada con MEKP al 1%.
- Se elaboró probetas según normas ASTM D mediante estratificación manual con FV_M para la configuración del L_A de Master Fibra y adicionando FW_R un tejido bidireccional para la configuración de los laminados propuestos variando la cantidad y orientación de la fibra dando lugar a nuevos porcentajes de refuerzo y matriz, siendo 44% FV -56% R para el L_{P1} y 40% FV -60% R para el L_{P2} y L_{P3} .
- Con las probetas obtenidas se realizó en el Centro de Fomento Metalmecánico Carrocero los siguientes ensayos mecánicos: flexión, tracción, dureza e impacto bajo la normativa ASTM D7264-07, ASTM D3039, ASTM D2240 y ASTM D6110 respectivamente para determinar sus propiedades mecánicas tales como esfuerzo máximo ($\sigma_{mF} - \sigma_{mT}$), módulo de elasticidad ($E_F - E_T$), deformación unitaria (ϵ), porcentaje de elongación ($\% \epsilon$), dureza shore D (DS_D), energía de ruptura (W_r) y resistencia al impacto (R_I).
- Se determinó el laminado con mejores resultados en las pruebas mecánicas mediante un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de confianza del 95% y 5% de error con el cual se escogió al laminado con la mejor combinación de propiedades mecánicas correspondiendo al L_{P2} que tiene en su configuración dos capas de FW_R orientadas en la misma dirección ($0^\circ/90^\circ$) soportando así mayores condiciones de carga, además de presentar las mejores ventajas en la prueba tecnológica al existir un ahorro de resina y requerir menor inversión que el L_A de Master Fibra.
- Se validó el material al optimizar el proceso de elaboración de láminas para autopartes añadiendo la fibra Woven Roving, consiguiendo un laminado con menor cantidad de materia prima y con la misma resistencia a la flexión, mejorando su resistencia a cargas uniaxiales, la resistencia a la penetración y su resistencia al choque por una carga externa, el cual cumple con los estándares requeridos por Master Fibra.

RECOMENDACIONES

- Es importante considerar la T del ambiente de trabajo durante la mezcla de la resina poliéster con el catalizador, a mayor T menor porcentaje de catalizador. Además se puede usar una proporción de estireno para reducir la viscosidad de la resina.
- En la etapa de laminado pasar un rodillo en todas las direcciones para eliminar burbujas que provocan una mala calidad en el producto terminado como fisuras, grietas, delaminación, entre otras.
- Se recomienda realizar los ensayos mecánicos transcurrido al menos 2 semana a partir de la elaboración de las probetas para garantizar el óptimo curado de la resina a T ambiente.
- Es indispensable tener probetas adicionales de cada laminado para ensayos mecánicos preliminares, así como para eliminar máximos y mínimos y trabajar con datos de menor dispersión.
- Se recomienda someter al material seleccionado a ensayos de acondicionamiento (ensayo de envejecimiento y ensayo de corrosión) para determinar su comportamiento frente a situaciones y agentes agresivos.
- Incorporar como refuerzo fibras bidireccionales para mejorar las propiedades mecánicas del material compuesto.

BIBLIOGRAFÍA

ASTM D2240-15. *Standard Test Method for Rubber Property—Durometer Hardness.*

ASTM D3039. *Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials.*

ASTM D6110-04. *Standard Test Method for Determining the Charpy Impact Resistance of Notched Specimens of Plastics.*

ASTM D7264-07. *Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials.*

BUDYNAS, R.; & NISBETT, J. K. *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley.* 8va ed. México : Mc Graw Hill, 2012. ISBN 978-607-15-0771-6, pp: 55-56.

CASTRO, C. B. *Estudio del comportamiento frente al fuego de los materiales utilizados en la fabricación del interior de carrocerías y su incidencia en la homologación de modelos y competitividad de la empresa carrocera industria metálica CEPEDA.* [En línea] (Trabajo de Titulación) (Posgrado) Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Ambato-Ecuador, 2014. p: 8. [Citado el: 02 de Octubre de 2019]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/6539>.

CFPMC. *Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero.* Ambato-Ecuador. 2020

CHIACHÍO, M.; & CHIACHÍO, J. *Notas sobre Mecánica de Materiales Compuestos.* Universidad de Granada, Departamento de Mecánica de Estructuras e Ingeniería Hidráulica, 2015. pp: 6. [Citado el: 18 de Septiembre de 2019]. Disponible en: https://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/38852/ChiachioRuano_ApuntesMecanicaCFRP.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

GEODATOS. *Coordenadas Geográficas de Ambato-Tungurahua, Ecuador.* [En línea][Citado el: 20 de noviembre del 2019]. Disponible en: <https://www.geodatos.net/coordenadas/ecuador/tungurahua/ambato>

GUERRERO, V.; ET AL. *Nuevos materiales: aplicaciones estructurales e industriales*. [En línea] Quito-Ecuador: Imprefepp. 2011. pp: 50-57. [Citado el: 23 de Octubre de 2019]. Disponible en: https://www.academia.edu/20338571/Nuevos_materiales_aplicaciones_estructurales_e_industriales.

HASHEMI, H.; & SMITH, W. *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de los materiales*. [En línea] 4ta ed. México : Mc Graw Hill, 2004. pp: 4-23. [Citado el: 05 de Noviembre de 2019]. Disponible en: <https://archive.org/details/FundamentosDeLaCienciaEIngenieriaDeMaterialesEdicion4WilliamF.SmithJavadHashemi/page/n767/mode/2up>

KAW, A. *Mechanics of composite materials*. [En línea] Boca Raton - EE. UU. : Taylor & Francis Group, LLC, 2006. pp: 22-23. [Citado el: 06 de Noviembre de 2019]. Disponible en: https://www.academia.edu/8764844/_Autar_K._Kaw_Mechanics_of_Composite_Materials_S_Book_Fi_org_.

MASTER FIBRA. *Partes en fibra de vidrio*. Ambato-Ecuador. 2020

MGC COMUNICACIÓN CORPORATIVA S.A. DE C.V. *Argentina y Brasil son los dos países con la más importante industria carrocería de buses en Sudamérica*. [En línea] 2017. [Citado el: 16 de Octubre de 2019]. Disponible en: <https://motoradiesel.com/dev/2016/12/argentina-y-brasil-son-los-dos-paises-con-la-mas-importante-industria-carrocera-de-buses-en-sudamerica/>.

MINITAB. *Programa estadístico*. [En línea]. Disponible en: <https://minitab.softonic.com/>

MIRAVETE, A.; ET AL. *Materiales Compuestos I*. [En línea] Barcelona-España : Reverté S.A., 2012. pp. 2-33. [Citado el: 28 de Octubre de 2019]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/362430268/Materiales-Compuestos-Tomo-I-Antonio-Miravete>.

PARIS, F.; ET AL. *Introducción al análisis y diseño con materiales compuestos*. [En línea] Universidad de Sevilla, Escuela Superior de Ingenieros Industriales, Grupo de Elasticidad y Resistencia de Materiales. 2006. p: 3. [Citado el: 01 de Octubre de 2019]. Disponible en: <https://www.coursehero.com/file/31490444/Materiales-Compuestospdf/>.

PÉREZ, M.; & SÁNCHEZ, M. *Fundamentos de la mecánica de los materiales compuestos*. [En línea] Barcelona-España : Omnia Publisher, 2014. pp: 19-20. [Citado el: 08 de Noviembre de

2019].

Disponible

en:

<https://www.omniascience.com/books/index.php/monographs/catalog/view/77/311/492-1>.

RAMOS, R. T. “*Materiales compuestos de matriz polimérica reforzados con fibra de vidrio*”. Revista del Colegio de Ingenieros Técnicos de Obras Públicas [En línea], 2010. pp: 43-44. [Citado el: 27 de Noviembre de 2019]. ISSN 0210-0479. Disponible en: <https://docplayer.es/3454478-Materiales-compuestos-de-matriz-polimerica-reforzados-con-fibra-de-vidrio.html>

REBOUL, J. *Modelización numérica del comportamiento de un material compuesto de tejido de fibra de carbono y matriz epoxi ante cargas dinámicas*. [En línea] (Trabajo de Titulación) (Tesis) Universidad Carlo III de Madrid, Departamento de mecánica de medios de medios continuos y teoría de estructuras. Madrid-España, 2012. p: 9. [Citado el: 15 de Octubre de 2019]. Disponible en: <https://earchivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/16824/Trabajo%20Fin%20de%20Grado%20-%20Javier%20Reboul%20Corpa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

REDDY, J.N. *Mechanics of laminated composites plates and shell. Theory and Analysis*. [En línea] 2da ed. Texas - USA : College Station, 2004. pp:83-85. [Citado el: 15 de Noviembre de 2019]. Disponible en: <https://epdf.pub/mechanics-of-laminated-composite-plates-and-shells-theory-and-analysis-second-ed.html>

REDONDO, O. *Caracterización de Laminados de fibra de carbono-epoxi reforzados con óxido de grafeno*. [En línea] (Trabajo de Titulación) (Maestría) Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de ingeniería mecánica y de materiales. Valencia-España. 2014. p: 37. [Citado el: 26 de Noviembre de 2019]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/59500/Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

SHACKELFORD, J.F. *Introducción a la ciencia de materiales para ingenieros*. [En línea] 6ta ed. Madrid - España : Prentice Hall, 1998. pp: 209-512. [Citado el: 20 de Octubre de 2019]. Disponible en: <https://archive.org/details/IntroduccionALaCienciaDeMaterialesParaIngenierosEdicion6JamesF.Shackelford/page/n537/mode/2up>

STUPENENGO, F. *Materiales y materias primas*. [En línea] Buenos Aires - Argentina: Saavedra, 2011. pp: 12-19. [Citado el: 28 de Octubre de 2019]. Disponible en: <https://www.yumpu.com/es/document/read/14808501/dvd-3-materiales-compuestos-inet>.

ANEXOS

ANEXO A: ELABORACIÓN DE PROBETAS CON LA CONFIGURACIÓN DE LAMINADO CORRESPONDIENTE



NOTAS:

a) $L_A = FV_M + FV_M + FV_M$
 b) $L_{P1} = FV_M + FW_{R(0^\circ/90^\circ)} + FV_M$
 c) $L_{P2} = FV_M + FW_{R(0^\circ/90^\circ)} + FW_{R(0^\circ/90^\circ)} + FV_M$
 d) $L_{P3} = FV_M + FW_{R(0^\circ/90^\circ)} + FW_{R(\pm 45^\circ)} + FV_M$

CATEGORIA DEL DIAGRAMA:

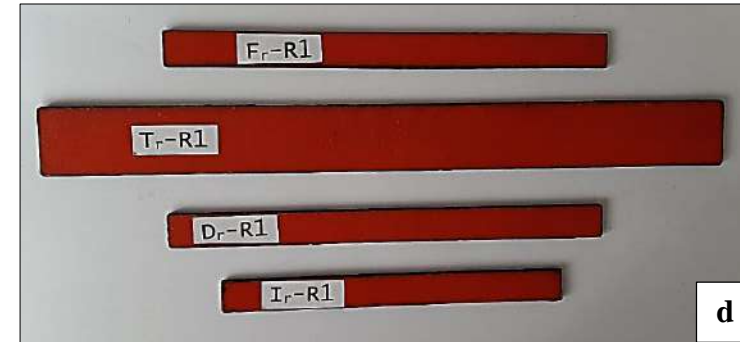
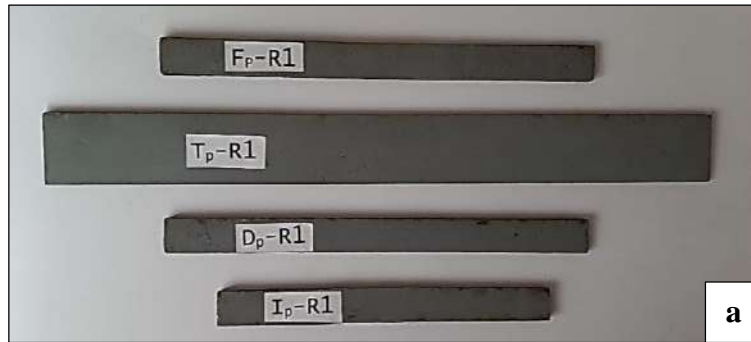
<input type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Preliminar
<input type="checkbox"/> Certificado	<input type="checkbox"/> Por aprobar
<input type="checkbox"/> Información	<input checked="" type="checkbox"/> Por calificar

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
 ELABORADO POR:
 Vargas I. 2020

ELABORACIÓN DE PROBETAS - ETAPA 4:
 LAMINADO

LÁMINA	ESCALA	FECHA
1	1:1	17/02/2020

ANEXO B: CODIFICACIÓN DE PROBETAS OBTENIDAS



NOTAS:

- a) L_A = color plomo (p) F = probeta para ensayo Flexión
 b) L_{p1} = color azul (a) T = probeta para ensayo Tracción
 c) L_{p2} = color negro (n) D = probeta para ensayo Dureza
 d) L_{p3} = color rojo (r) I = probeta para ensayo Impacto

CATEGORIA DEL DIAGRAMA:

- Aprobado Preliminar
 Certificado Por aprobar
 Información Por calificar

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE
 CHIMBORAZO
 FACULTAD DE CIENCIAS
 ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
 ELABORADO POR:
 Vargas I. 2020

CODIFICACIÓN DE PROBETAS OBTENIDAS

LÁMINA	ESCALA	FECHA
2	1:1	17/02/2020



Designation: D7264/D7264M – 07

Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials¹

This standard is issued under the fixed designation D7264/D7264M; 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.

1. Scope

1.1 This test method determines the flexural stiffness and strength properties of polymer matrix composites.

1.1.1 *Procedure A*—A three-point loading system utilizing center loading on a simply supported beam.

1.1.2 *Procedure B*—A four-point loading system utilizing two load points equally spaced from their adjacent support points, with a distance between load points of one-half of the support span.

Note 1—Unlike Test Method D6272, which allows loading at both one-third and one-half of the support span, in order to standardize geometry and simplify calculations this standard permits loading at only one-half the support span.

1.2 For comparison purposes, tests may be conducted according to either test procedure, provided that the same procedure is used for all tests, since the two procedures generally give slightly different property values.

1.3 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.

1.4 *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:²

D790 Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials

D2344/D2344M Test Method for Short-Beam Strength of Polymer Matrix Composite Materials and Their Laminates

D3878 Terminology for Composite Materials

D5229/D5229M Test Method for Moisture Absorption Properties and Equilibrium Conditioning of Polymer Matrix Composite Materials

D5687/D5687M Guide for Preparation of Flat Composite Panels with Processing Guidelines for Specimen Preparation

D6272 Test Method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials by Four-Point Bending

D6856 Guide for Testing Fabric-Reinforced “Textile” Composite Materials

E4 Practices for Force Verification of Testing Machines

E6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing

E18 Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials

E122 Practice for Calculating Sample Size to Estimate, With Specified Precision, the Average for a Characteristic of a Lot or Process

E177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods

E456 Terminology Relating to Quality and Statistics

E1309 Guide for Identification of Fiber-Reinforced Polymer-Matrix Composite Materials in Databases

E1434 Guide for Recording Mechanical Test Data of Fiber-Reinforced Composite Materials in Databases

2.2 Other Documents:

ANSI Y14.5-1999 Dimensioning and Tolerancing—Includes Inch and Metric³

ANSI B46.1-1995 Surface Texture (Surface Roughness, Waviness and Lay)³

3. Terminology

3.1 *Definitions*—Terminology D3878 defines the terms relating to high-modulus fibers and their composites. Terminology E6 defines terms relating to mechanical testing. Terminology E456 and Practice E177 define terms relating to statistics. In the event of a conflict between terms, Terminology D3878 shall have precedence over the other documents.

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 Laminas and Laminate Test Methods.

Current edition approved April 1, 2007. Published April 2007. Originally approved in 2006. Last previous edition approved in 2006 as D7264/D7264M – 06. DOI: 10.1520/D7264_D7264M-07.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

³ Available from American National Standards Institute (ANSI), 25 W. 43rd St., 4th Floor, New York, NY 10036, <http://www.ansi.org>.

Designation: D 3039/D 3039M – 00*¹

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.

ϵ^1 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 Laminas 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.

ANEXO E: NORMA ASTM D2240-ENSAYO DUREZA

This international standard was developed in accordance with internationally recognized principles on standardization established in the Decision on Principles for the Development of International Standards, Guides and Recommendations issued by the World Trade Organization Technical Barriers to Trade (TBT) Committee.



Designation: D2240 – 15

Standard Test Method for Rubber Property—Durometer Hardness¹

This standard is issued under the fixed designation D2240; 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 U.S. Department of Defense.

1. Scope

1.1 This test method covers twelve types of rubber hardness measurement devices known as durometers: Types A, B, C, D, DO, E, M, O, OO, OOO, OOO-S, and R. The procedure for determining indentation hardness of substances classified as thermoplastic elastomers, vulcanized (thermoset) rubber, elastomeric materials, cellular materials, gel-like materials, and some plastics is also described.

1.2 This test method is not equivalent to other indentation hardness methods and instrument types, specifically those described in Test Method D1415.

1.3 This test method is not applicable to the testing of coated fabrics.

1.4 All materials, instruments, or equipment used for the determination of mass, force, or dimension shall have traceability to the National Institute for Standards and Technology, or other internationally recognized organizations parallel in nature.

1.5 The values stated in SI units are to be regarded as standard. The values given in parentheses are for information only. Many of the stated dimensions in SI are direct conversions from the U. S. Customary System to accommodate the instrumentation, practices, and procedures that existed prior to the Metric Conversion Act of 1975.

1.6 *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:²

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D11 on Rubber and is the direct responsibility of Subcommittee D11.10 on Physical Testing.

Current edition approved Aug. 1, 2015. Published January 2016. Originally approved in 1964. Last previous edition approved in 2010 as D2240 – 05 (2010). DOI: 10.1520/D2240-15.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

D374 Test Methods for Thickness of Solid Electrical Insulation (Withdrawn 2013)³

D618 Practice for Conditioning Plastics for Testing

D785 Test Method for Rockwell Hardness of Plastics and Electrical Insulating Materials

D1349 Practice for Rubber—Standard Conditions for Testing

D1415 Test Method for Rubber Property—International Hardness

D4483 Practice for Evaluating Precision for Test Method Standards in the Rubber and Carbon Black Manufacturing Industries

F1957 Test Method for Composite Foam Hardness—Durometer Hardness

2.2 ISO Standard:⁴

ISO/IEC 17025: 1999 General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories

3. Summary of Test Method

3.1 This test method permits hardness measurements based on either initial indentation or indentation after a specified period of time, or both. Durometers with maximum reading indicators used to determine maximum hardness values of a material may yield lower hardness when the maximum indicator is used.

3.2 The procedures for Type M, or micro hardness durometers, accommodate specimens that are, by their dimensions or configuration, ordinarily unable to have their durometer hardness determined by the other durometer types described. Type M durometers are intended for the testing of specimens having a thickness or cross-sectional diameter of 1.25 mm (0.050 in.) or greater, although specimens of lesser dimensions may be successfully accommodated under the conditions specified in Section 6, and have a Type M durometer hardness range between 20 and 90. Those specimens which have a durometer hardness range other than specified shall use another suitable procedure for determining durometer hardness.

³ The last approved version of this historical standard is referenced on www.astm.org.

⁴ Available from International Organization for Standardization (ISO), 1 rue de Varemè, Case postale 56, CH-1211, Geneva 20, Switzerland.

ANEXO F: NORMA ASTM D6110-ENSAYO IMPACTO CHARPY



Designation: D 6110 – 04

Standard Test Method for Determining the Charpy Impact Resistance of Notched Specimens of Plastics¹

This standard is issued under the fixed designation D 6110; 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 reappraisal. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

1. Scope*

1.1 This test method is used to determine the resistance of plastics to breakage by flexural shock as indicated by the energy extracted from standardized (see Note 1) pendulum-type hammers, mounted in standardized machines, in breaking standard specimens with one pendulum swing. This test method requires specimens to be made with a milled notch (see Note 2). The notch produces a stress concentration which promotes a brittle, rather than a ductile, fracture. The results of this test method are reported in terms of energy absorbed per unit of specimen width (see Note 3).

NOTE 1—The machines with pendulum-type hammers have been standardized in that they must comply with certain requirements including a fixed height of hammer fall, which results in a substantially fixed velocity of the hammer at the moment of impact. Hammers of different initial energies (produced by varying their effective weights), however, are recommended for use with specimens of different impact resistance. Moreover, manufacturers of the equipment are permitted to use different lengths and constructions of pendulums with possible differences in pendulum rigidities resulting (see Section 5). Be aware that other differences in machine design do exist.

NOTE 2—The specimens are standardized in that they have a fixed length and fixed depth, however, the width of the specimens is permitted to vary between limits. One design of milled notch is allowed. The notch in the specimen serves to concentrate the stress, minimize plastic deformation, and direct the fracture to the part of the specimen behind the notch. Scatter in energy-to-break is thus reduced. Because of differences in the elastic and viscoelastic properties of plastics, however, response to a given notch varies among materials.

NOTE 3—Caution must be exercised in interpreting the results of this test method. The following testing parameters have been shown to affect test results significantly: method of specimen fabrication, including but not limited to processing technology, molding conditions, mold design, and thermal treatment; method of notching; speed of notching tool; design of notching apparatus; quality of the notch; time between notching and test; test specimen thickness; test specimen width under notch; and environmental conditioning.

1.2 *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 appro-*

priate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.

NOTE 4—This standard resembles ISO 179 in title only. The content is significantly different.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

- D 618 Practice for Conditioning Plastics for Testing
- D 647 Practice for Design of Molds for Test Specimens of Plastic Molding Materials³
- D 883 Terminology Relating to Plastics
- D 4000 Classification System for Specifying Plastic Materials
- D 4066 Classification System for Nylon Injection and Extrusion Materials
- D 5942 Test Method for Determination of Charpy Impact Strength
- D 5947 Test Methods for Physical Dimensions of Solid Plastics Specimens
- E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Test Program to Determine the Precision of Test Methods

3. Terminology

3.1 *Definitions*—For definitions related to plastics, see Terminology D 883.

4. Summary of Test Method

4.1 A notched specimen is supported as a horizontal simple beam and is broken by a single swing of the pendulum with the impact line midway between the supports and directly opposite the notch.

5. Significance and Use

5.1 Before proceeding with this test method, refer to the material specification for the material being tested. Any test specimen preparation, conditioning, dimensions and testing parameters required by the materials specification shall take

¹ This test method are under the jurisdiction of ASTM Committee D20 on Plastics and are the direct responsibility of Subcommittee D20.10 on Mechanical Properties.

Current edition approved March 1, 2004. Published April 2004. Originally approved in 1997. Last previous edition approved in 2002 as D 6110 - 02.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

³ Discontinued 1994; Replaced by D 1896, D 3419, D 3641, D 4703, D 5227.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.

ANEXO G: INFORME DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS MECÁNICOS: FLEXIÓN, TRACCIÓN, DUREZA E IMPACTO



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocero



**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES
ENSAYO DE FLEXIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS
INFORME DE RESULTADOS N°:180466599820191114-EFC**

DATOS GENERALES

DATOS INFORMATIVOS:

N° de proforma: RM_2019_068.

Empresa / Cliente: Ivonne Estefanía Vargas Cáceres.

RUC/C.I.: 1804665998

Ciudad: Ambato.

Dirección: Pichincha y Galápagos.

Teléfono: +593995430687

Correo: ivonnevargas2295@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 D7264-2015: Método de prueba estándar para propiedades de flexión de materiales compuestos de matriz de polímero.

Tipo de ensayo: Cuantitativo

Procedimiento: A

Equipo utilizado: Máquina de ensayos universal Polímeros Metrotest STH-1500 KN

Modelo: STH-1500/CS.

Serie: 8802M001

Velocidad de ensayo: 1 mm/min. **Precarga:** 0 N. **Distancia entre apoyos:** 40 mm.

Fecha de Inicio de Ensayo: 2020/01/13 **Fecha de Finalización de Ensayo:** 2020/01/13.

Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en probetas de *Material compuesto de fibra de vidrio MAT, Woven Roving (WR) y resina poliéster*. Las probetas fueron recibidas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del CFPMC del H. Gobierno Provincial Tungurahua.

OBJETOS DE ENSAYO

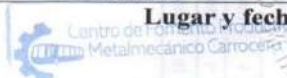
Número de Probetas cuantificadas

N°	Identificación del grupo	Configuración de Capas				Probetas a Ensayar
		1° Capa	2° Capa	3° Capa	4° Capa	
1	180466599820191114-EFC 01	MAT	WR	MAT	----	5
2	180466599820191114-EFC 02	MAT	WR (0°/90°)	WR (±45°)	MAT	5
3	180466599820191114-EFC 03	MAT	WR (0°/90°)	WR (0°/90°)	MAT	5
4	180466599820191114-EFC 04	MAT	MAT	MAT	----	5
Total						20

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

Observaciones: Ninguna.

Realizado por: Ing. Fernando Tibán R. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Aprobado por: Ing. Jorge Rodas B. MEng. Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC



Lugar y fecha de emisión de informe: Ambato, 16 de enero del 2020.

N° de Factura: 001-002-000008301.



Resultados:

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	Deformación máxima (%) (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor						
1	180466599820191114-EFC 01-1	21,4	58,5	12,8	2,04	450	5,086	506,87	13027,34	3,89	OAB
2	180466599820191114-EFC 01-2	21,4	58,5	12,8	2,04	150	2,977	168,96	7418,77	2,28	OAB
3	180466599820191114-EFC 01-3	21,4	58,5	12,32	2,03	200	2,803	236,36	11077,15	2,13	OLB
4	180466599820191114-EFC 01-4	21,4	58,5	12,84	2,05	450	0,078	500,37	834471,07	0,06	OLB
5	180466599820191114-EFC 01-5	21,4	58,5	12,75	2,06	100	1,692	110,89	8484,14	1,31	OAB
Promedio \bar{x}						270,000	2,53	304,69	174895,69	1,93	
Desviación estándar S_{n-1}						168,077	1,84	186,96	368720,38	1,40	
Coeficiente de variación CV						62,251	72,75	61,36	210,82	72,64	

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	Deformación máxima (%) (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor						
6	180466599820191114-EFC 02-1	21,4	58,4	12,97	3,00	300	2,439	154,20	5619,86	2,74	OAB
7	180466599820191114-EFC 02-2	21,4	58,4	12,98	2,74	350	1,909	215,50	10986,41	1,96	OAB
8	180466599820191114-EFC 02-3	21,4	58,4	12,91	2,94	300	2,178	161,31	6717,62	2,40	OAB
9	180466599820191114-EFC 02-4	21,4	58,4	12,90	3,02	300	2,222	152,99	6079,76	2,52	OAB
10	180466599820191114-EFC 02-5	21,4	58,4	12,96	3,02	300	1,927	152,28	6978,04	2,18	OUB
Promedio \bar{x}						310,000	2,135	167,256	7276,338	2,361	
Desviación estándar S_{n-1}						22,361	0,221	27,206	2141,347	0,302	
Coeficiente de variación CV						7,213	10,373	16,266	29,429	12,775	



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	Deformación máxima (%) (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor						
11	180466599820191114-EFC 03-1	22,7	55,3	12,99	2,92	350	2,404	189,60	7202,71	2,63	OUB
12	180466599820191114-EFC 03-2	22,7	55,3	12,80	2,74	350	2,638	218,53	8062,16	2,71	OUB
13	180466599820191114-EFC 03-3	22,7	55,3	12,90	2,90	300	2,300	165,92	6633,30	2,50	OUB
14	180466599820191114-EFC 03-4	22,7	55,3	12,90	2,70	350	2,777	223,31	7942,02	2,81	OAB
15	180466599820191114-EFC 03-5	22,7	55,3	12,90	2,70	350	3,090	223,31	7137,54	3,13	OAB
Promedio \bar{X}						340,000	2,642	204,132	7395,547	2,757	
Desviación estándar S_{n-1}						22,361	0,313	25,565	597,450	0,237	
Coeficiente de variación CV						6,577	11,858	12,524	8,079	8,587	

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	Deformación máxima (%) (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor						
16	180466599820191114-EFC 04-1	22,9	62,8	12,21	3,09	300	1,874	154,40	7110,18	2,17	OUB
17	180466599820191114-EFC 04-2	22,9	62,8	12,43	3,47	250	1,822	100,22	4227,19	2,37	OUB
18	180466599820191114-EFC 04-3	22,9	62,8	12,19	3,65	300	1,770	110,84	4574,94	2,42	OUB
19	180466599820191114-EFC 04-4	22,9	62,8	11,99	3,16	400	2,118	200,46	7986,81	2,51	OUB
20	180466599820191114-EFC 04-5	22,9	62,8	12,41	3,04	400	2,508	209,26	7319,14	2,86	OAB
Promedio \bar{X}						330,000	2,018	155,035	6243,653	2,467	
Desviación estándar S_{n-1}						67,082	0,304	49,905	1717,327	0,252	
Coeficiente de variación CV						20,328	15,084	32,190	27,505	10,218	

Nomenclatura de tipo de falla evaluado:

El tipo de falla evaluado se lo realiza mediante los criterios de la norma ASTM D7264-2015.

Primer carácter		Segundo carácter	Área de falla	Tercer carácter	Ubicación de falla
O	Otros	A	En el punto de carga	B	Fondo
		L	Entre la carga y el punto de apoyo	V	Varios
		U	No conocido	R	Derecha



LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES
ENSAYO DE TRACCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS
INFORME DE RESULTADOS N°: 180466599820191114-ETC

DATOS GENERALES

DATOS INFORMATIVOS:

N° de proforma: RM_2019_068.

Empresa / Cliente: Ivonne Estefanía Vargas Cáceres.

RUC/C.I.: 1804665998. **Ciudad:** Ambato.

Dirección: Pichincha y Galápagos.

Teléfono: +593995430687.

Correo: ivonnevargas2295@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 Polímeros Metrotest 50KN

Modelo: MTE-50.

Serie: 8210M002

Velocidad de ensayo: 10 mm/min.

Precarga: 0,01 N

Fecha de Inicio de Ensayo: 2020/01/10. **Fecha de Finalización de Ensayo:** 2020/01/10.

Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en *probetas de Material compuesto de fibra de vidrio MAT, Woven Roving (WR) y resina poliéster*. Las probetas fueron recibidas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del CFPMC del H. Gobierno Provincial de Tungurahua.

OBJETOS DE ENSAYO

Número de Probetas cuantificadas

N°	Identificación del grupo	Configuración de Capas				Probetas a Ensayar
		1° Capa	2° Capa	3° Capa	4° Capa	
1	180466599820191114-ETC 01	MAT	WR	MAT	-----	5
2	180466599820191114-ETC 02	MAT	WR (0°/90°)	WR (±45°)	MAT	5
3	180466599820191114-ETC 03	MAT	WR (0°/90°)	WR (0°/90°)	MAT	5
4	180466599820191114-ETC 04	MAT	MAT	MAT	-----	5
					Total	20

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

Observaciones: Ninguna.

Elaborado por:	Aprobado por:
Ing. Fernando Tibán R.	Ing. Jorge Rodas B. MEng.
Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC

Lugar y fecha de emisión de informe: Ambato, 17 de enero de 2020.

N° de Factura: 001-002-000008301.



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

RESULTADOS:

N°	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	180466599820191114-ETC 01-1	22,8	49,2	24,61	2,12	9700	185,92	5135,89	3,620	LAB
2	180466599820191114-ETC 01-2	22,8	49,2	24,95	2,19	8800	161,05	4930,18	3,267	LGM
3	180466599820191114-ETC 01-3	22,8	49,2	24,55	1,98	8800	181,04	5445,61	3,324	LGM
4	180466599820191114-ETC 01-4	22,8	49,2	24,64	2,17	9550	178,61	5041,23	3,543	LGM
5	180466599820191114-ETC 01-5	22,8	49,2	25,07	2,14	8700	162,16	5085,24	3,189	LGT
Promedio \bar{X}						9110,000	173,756	5127,632	3,389	
Desviación estándar S_{n-1}						474,868	11,405	193,280	0,185	
Coeficiente de variación CV						5,213	6,564	3,769	5,446	

N°	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	180466599820191114-ETC 02-1	21,8	51,6	24,63	2,92	10550	146,69	4148,17	3,536	AGM
7	180466599820191114-ETC 02-2	21,8	51,6	24,98	2,62	8450	129,11	4327,20	2,984	LGB
8	180466599820191114-ETC 02-3	21,8	51,6	24,75	2,58	9550	149,56	4095,39	3,652	LGB
9	180466599820191114-ETC 02-4	21,8	51,6	24,68	2,71	9100	136,06	4266,66	3,189	AGM
10	180466599820191114-ETC 02-5	21,8	51,6	24,65	3,01	8750	117,93	3728,47	3,163	LGM
Promedio \bar{X}						9280,000	135,870	4113,178	3,305	
Desviación estándar S_{n-1}						819,756	12,962	233,936	0,279	
Coeficiente de variación CV						8,834	9,540	5,687	8,433	



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

Nº	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	180466599820191114-ETC 03-1	21,1	53,6	24,78	2,24	12100	217,99	5688,89	3,832	XGM
12	180466599820191114-ETC 03-2	21,1	53,6	24,76	2,85	12300	174,30	4610,34	3,781	XAB
13	180466599820191114-ETC 03-3	21,1	53,6	24,81	2,68	10700	160,92	4794,71	3,356	XGB
14	180466599820191114-ETC 03-4	21,1	53,6	24,61	2,91	12400	173,15	4579,73	3,781	XGM
15	180466599820191114-ETC 03-5	21,1	53,6	24,7	2,51	9900	159,69	4748,35	3,363	AGB
Promedio \bar{X}						11480,000	177,210	4884,402	3,623	
Desviación estándar S_{n-1}						1118,928	23,771	458,718	0,241	
Coeficiente de variación CV						9,747	13,414	9,391	6,650	

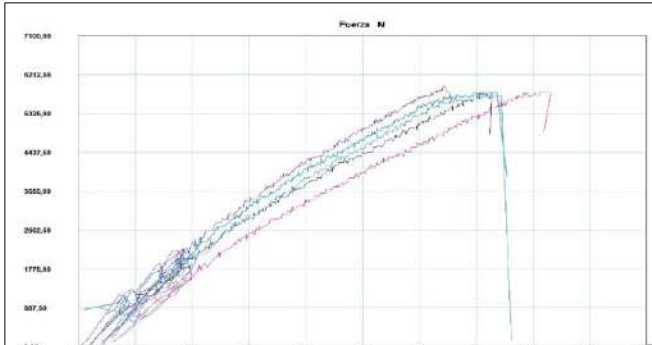
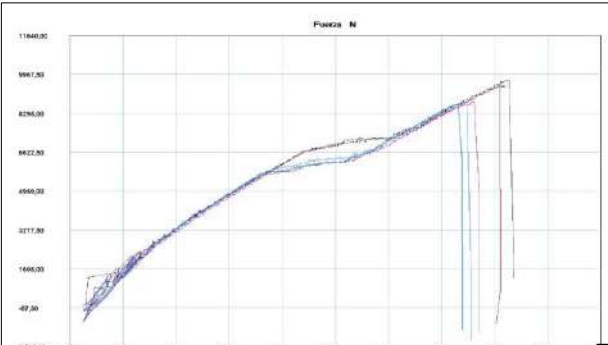
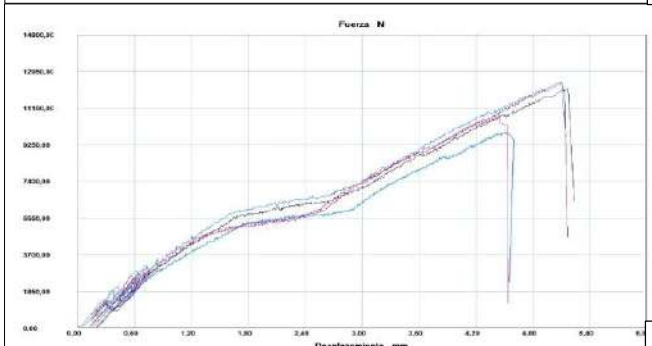
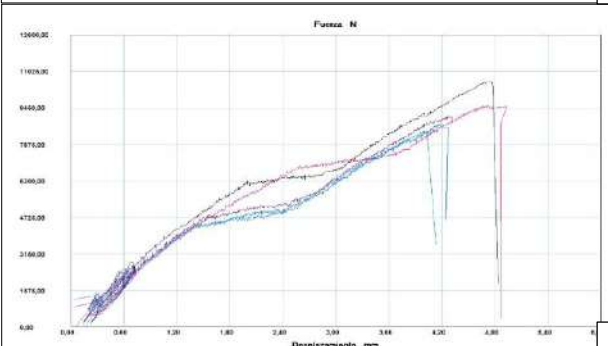
Nº	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor					
16	180466599820191114-ETC 04-1	21,1	56,5	24,32	2,54	5800	93,89	4982,50	1,884	LGM
17	180466599820191114-ETC 04-2	21,1	56,5	24,12	2,89	5800	83,21	4313,66	1,929	LGT
18	180466599820191114-ETC 04-3	21,1	56,5	24,03	2,79	5800	86,51	4016,15	2,154	LGB
19	180466599820191114-ETC 04-4	21,1	56,5	24,2	3,07	5950	80,09	4700,77	1,704	LGM
20	180466599820191114-ETC 04-5	21,1	56,5	24,41	3,32	5800	71,57	3747,77	1,910	LGT
Promedio \bar{X}						5830,000	83,053	4352,169	1,916	
Desviación estándar S_{n-1}						67,082	8,218	499,634	0,160	
Coeficiente de variación CV						1,151	9,895	11,480	8,373	

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
X	Explosiva	I	Dentro del agarre	B	Parte inferior
A	Angular	G	Zona calibrada	M	Medio

Continuación-ANEXO G

 <p style="text-align: center;">Fuerza N</p> <p style="text-align: center;">Desplazamiento mm</p>	 <p style="text-align: center;">Fuerza N</p> <p style="text-align: center;">Desplazamiento mm</p>							
 <p style="text-align: center;">Fuerza N</p> <p style="text-align: center;">Desplazamiento mm</p>	 <p style="text-align: center;">Fuerza N</p> <p style="text-align: center;">Desplazamiento mm</p>							
<p>NOTAS:</p> <p>a) L_A b) L_{P1} c) L_{P2} d) L_{P3}</p>	<p>CATEGORIA DEL DIAGRAMA:</p> <p><input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar</p>	<p style="text-align: center;">ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA ELABORADO POR: Vargas I. 2020</p>	CURVA DE FUERZA VS DESPLAZAMIENTO EN EL ENSAYO A TRACCIÓN					
<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>LÁMINA</th> <th>ESCALA</th> <th>FECHA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>1:1</td> <td>17/02/2020</td> </tr> </tbody> </table>			LÁMINA	ESCALA	FECHA	3	1:1	17/02/2020
LÁMINA	ESCALA	FECHA						
3	1:1	17/02/2020						



LABORATORIO DE ANÁLISIS METALGRÁFICO
ENSAYO DE DUREZA SHORE D PARA ELASTÓMEROS
INFORME DE RESULTADOS N°: 180466599820191114-EDSD

DATOS GENERALES

Datos informativos

N° de proforma: AM_2019_028

Empresa / Cliente: Ivonne Estefanía Vargas Cáceres.

RUC/C.I.: 1804665998

Dirección: Pichincha y Galápagos.

Correo: ivonnevargas2295@gmail.com

Ciudad: Ambato.

Teléfono: +593995430687.

Datos del ensayo:

Lugar de Ejecución del Ensayo: Laboratorio de Análisis metalográfico.

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

Método de ensayo: ASTM D2240: Método de prueba estándar para propiedades de caucho-Dureza.

Tipo de ensayo: Cuantitativo.

Equipo utilizado: Durómetro Shore **Tipo:** D **Número de serie:** 2806201802

Medio de prueba: Manual **Intervalo de tiempo de indentación:** 1s

Fecha de Inicio de Ensayo: 2019/12/02 **Fecha de Finalización de Ensayo:** 2019/12/02.

Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en probetas de *Material compuesto de fibra de vidrio MAT, Woven Roving (WR) y resina poliéster*. Las probetas fueron recibidas en el Laboratorio de Análisis Metalográfico del CFPMC del H. Gobierno Provincial de Tungurahua.

OBJETOS DE ENSAYO

Número de Probetas cuantificadas.

N°	Identificación del grupo	Configuración de Capas				Probetas Ensayar
		1° Capa	2° Capa	3° Capa	4° Capa	
1	180466599820191114- EDSO 01	MAT	WR	MAT	----	5
2	180466599820191114- EDSO 02	MAT	WR (0°/90°)	WR (±45°)	MAT	5
3	180466599820191114- EDSO 03	MAT	WR (0°/90°)	WR (0°/90°)	MAT	5
4	180466599820191114- EDSO 04	MAT	MAT	MAT	----	5
					Total	20

Nota: La fabricación de las probetas y su configuración, están de acuerdo según especificaciones declaradas por el cliente.

Elaborado por:	Aprobado por:
Ing. Fernando Tibán R.	Ing. Jorge Rodas B. MEng
Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC

Lugar y Fecha de emisión de Informe: Ambato, 16 de enero de 2020.

N°. Factura:001-002-000008300.

Código: RG-AM-007

Fecha de Elaboración: 15-03-2018

Fecha de última aprobación: 20-04-2018

Revisión: 1

**INFORME DE ENSAYO
DE DUREZA SHORE D**

Página 1 de 3



Resultados:

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Espesor (mm)	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5	Dureza SHORE (D)
1	180466599820191114-EDSD 01-1	22,8	62,1	2,07	89,00	90,00	90,00	90,50	91,00	90,10
2	180466599820191114-EDSD 01-2			2,06	92,50	90,50	89,50	89,50	90,50	90,50
3	180466599820191114-EDSD 01-3			2,06	88,50	89,50	90,00	91,00	90,50	89,90
4	180466599820191114-EDSD 01-4			2,10	91,50	90,50	91,00	89,50	89,50	90,40
5	180466599820191114-EDSD 01-5			2,22	90,00	89,50	92,00	89,50	89,00	90,00
Promedio \bar{X}										90,18
Desviación estándar S_{n-1}										0,26
Coeficiente de variación CV										0,29

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Espesor (mm)	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5	Dureza SHORE (D)
6	180466599820191114-EDSD 02-1	23,2	56,4	3,08	89,50	89,50	89,50	89,50	88,50	89,30
7	180466599820191114-EDSD 02-2			2,99	90,50	89,50	90,00	89,50	89,00	89,70
8	180466599820191114-EDSD 02-3			3,06	89,00	89,50	91,00	89,00	90,00	89,70
9	180466599820191114-EDSD 02-4			3,08	91,00	89,50	90,00	89,50	89,00	89,80
10	180466599820191114-EDSD 02-5			3,17	89,50	91,50	90,50	91,00	89,50	90,40
Promedio \bar{X}										89,78
Desviación estándar S_{n-1}										0,40
Coeficiente de variación CV										0,44



Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Espesor (mm)	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5	Dureza SHORE (D)
11	180466599820191114-EDSD 03-1	23,1	61,3	2,93	89,50	89,00	91,00	90,50	89,50	89,90
12	180466599820191114-EDSD 03-2			2,75	89,50	90,50	90,00	90,00	89,50	89,90
13	180466599820191114-EDSD 03-3			2,96	89,50	89,50	90,00	90,50	89,00	89,70
14	180466599820191114-EDSD 03-4			2,89	90,50	88,50	88,50	91,50	90,00	89,80
15	180466599820191114-EDSD 03-5			2,88	90,50	91,00	89,00	89,50	90,00	90,00

Promedio \bar{X}	89,86
Desviación estándar S_{n-1}	0,11
Coefficiente de variación CV	0,13

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Espesor (mm)	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5	Dureza SHORE (D)
16	180466599820191114-EDSD 04-1	22,8	58,1	3,38	87,00	86,50	88,00	91,00	89,50	88,40
17	180466599820191114-EDSD 04-2			3,45	88,50	89,50	90,00	86,50	86,50	88,20
18	180466599820191114-EDSD 04-3			3,20	90,00	90,00	91,00	90,50	89,50	90,20
19	180466599820191114-EDSD 04-4			3,13	90,00	88,50	87,50	89,00	89,50	88,90
20	180466599820191114-EDSD 04-5			3,28	89,00	88,50	88,00	89,50	88,50	88,70

Promedio \bar{X}	88,88
Desviación estándar S_{n-1}	0,79
Coefficiente de variación CV	0,88

Observaciones: Ninguna.



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES
ENSAYO IMPACTO CHARPY DE MATERIALES PLÁSTICOS.
INFORME DE RESULTADOS N°: 180466599820191114-EIC

DATOS GENERALES

Datos informativos:

N° de proforma: RM_2019_068.

Empresa / Cliente: Ivonne Estefanía Vargas Cáceres.

RUC/C.I.: 1804665998

Ciudad: Ambato.

Dirección: Pichincha y Galápagos.

Teléfono: +593995430687.

Correo: ivonnevargas2295@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 D6110-18; Método de prueba estándar para determinar la resistencia al impacto Charpy de muestras entalladas de Plásticos.

Tipo de ensayo: Cuantitativo

Capacidad del péndulo, (J): 5,4

Horas de acondicionamiento (luego del entalle): No aplica acondicionamiento.

Equipo utilizado: Máquina ensayo impacto Charpy

Modelo: IC-25/IA

Serie: 1986M002

Distancia entre yunques: 101.6 mm.

Muesca de la probeta: "V".

Fecha Inicio de Ensayo: 2019/12/02 **Fecha Finalización de Ensayo:** 2019/12/02.

Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en **Material compuesto de fibra de vidrio MAT, Woven Roving (WR) y resina poliéster**. Las probetas fueron recibidas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del CFPMC del H. Gobierno Provincial de Tungurahua.

OBJETOS DE ENSAYO

Número de Probetas cuantificadas:

N°	Identificación del grupo	Configuración de Capas				Probetas Ensayar
		1° Capa	2° Capa	3° Capa	4° Capa	
1	180466599820191114-EIC 01	MAT	WR	MAT	----	5
2	180466599820191114-EIC 02	MAT	WR (0°/90°)	WR (±45°)	MAT	5
3	180466599820191114-EIC 03	MAT	WR (0°/90°)	WR (0°/90°)	MAT	5
4	180466599820191114-EIC 04	MAT	MAT	MAT	-----	5
Total						20

Observaciones: Ninguna.

Nota: Este informe no significa certificación de calidad, no debe ser usado con fines publicitarios y no debe ser reproducido total ni parcialmente sin autorización escrita y certificada del ente emisor.

Elaborado por:	Aprobado por:
Ing. Fernando Tibán R.	Ing. Jorge Rodas B. MEng.
Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC

Lugar y fecha de emisión de Informe: Ambato, 17 de enero de 2020.

N°. Factura: 001-002-000008301.

Código: RG-RM-021
Fecha de Elaboración: 08-03-2018
Fecha de última aprobación: 17-05-2018
Revisión: 1

**INFORME DE ENSAYO DE IMPACTO CHARPY DE
MATERIALES PLÁSTICOS.**

Página 1 de 3



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



RESULTADOS:

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm.		Energía de ruptura (J)	Resistencia al impacto, (J/m)	Resistencia al impacto, (KJ/m ²)
				Ancho	Espesor			
1	180466599820191114-EIC 01-1	21,1	57,1	2,12	9,28	1,850	872,64	94,03
2	180466599820191114-EIC 01-2	21,1	57,1	2,08	9,88	2,190	1052,88	106,57
3	180466599820191114-EIC 01-3	21,1	57,1	2,08	9,79	1,760	846,15	86,43
4	180466599820191114-EIC 01-4	21,1	57,1	2,05	9,50	1,990	970,73	102,18
5	180466599820191114-EIC 01-5	21,1	57,1	2,05	9,74	2,280	1112,20	114,19
Promedio \bar{X}						2,014	970,921	100,681
Desviación estándar S_{n-1}						0,220	113,910	10,801
Coeficiente de variación CV						10,927	11,732	10,728

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm.		Energía de ruptura (J)	Resistencia al impacto, (J/m)	Resistencia al impacto, (KJ/m ²)
				Ancho	Espesor			
6	180466599820191114-EIC 02-1	23,6	54,8	3,12	9,92	3,920	1256,41	126,65
7	180466599820191114-EIC 02-2	23,6	54,8	3,07	9,97	3,380	1100,98	110,43
8	180466599820191114-EIC 02-3	23,6	54,8	3,13	10,02	3,720	1188,50	118,61
9	180466599820191114-EIC 02-4	23,6	54,8	3,25	9,63	3,390	1043,08	108,32
10	180466599820191114-EIC 02-5	23,6	54,8	3,12	9,55	3,640	1166,67	122,16
Promedio \bar{X}						3,610	1151,126	117,235
Desviación estándar S_{n-1}						0,229	82,025	7,759
Coeficiente de variación CV						6,353	7,126	6,618

Código: RG-RM-021
Fecha de Elaboración: 08-03-2018
Fecha de última aprobación: 17-05-2018
Revisión: 1

INFORME DE ENSAYO DE IMPACTO CHARPY DE MATERIALES PLÁSTICOS.



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocero




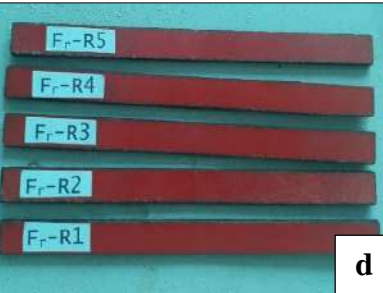
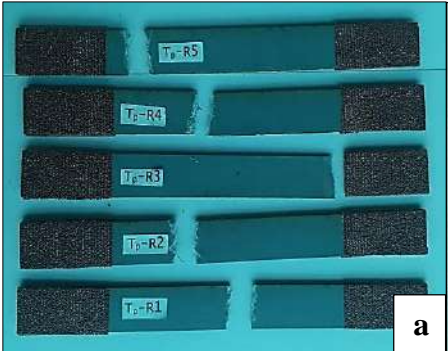
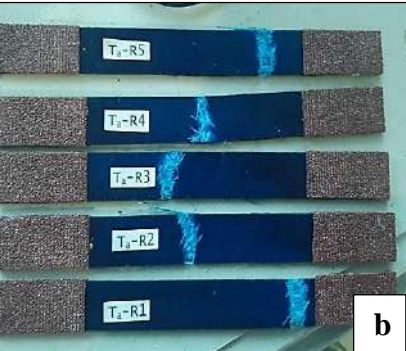
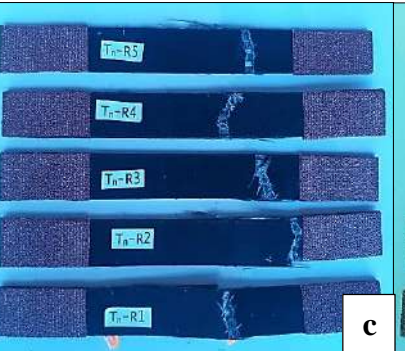



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

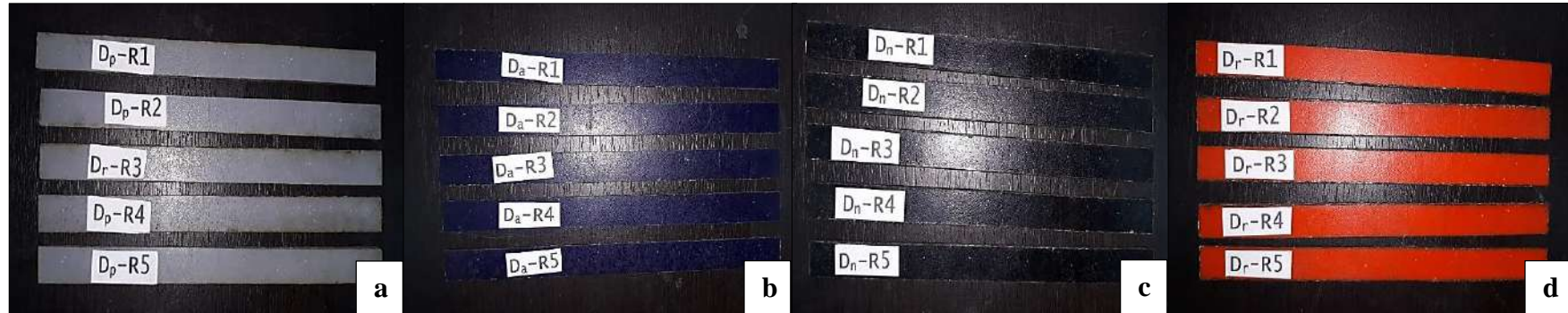
Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm.		Energía de ruptura (J)	Resistencia al impacto, (J/m)	Resistencia al impacto, (KJ/m ²)
				Ancho	Espesor			
11	180466599820191114-EIC 03-1	24,0	53,2	2,89	10,12	3,740	1294,12	127,88
12	180466599820191114-EIC 03-2	24,0	53,2	2,82	10,02	3,900	1382,98	138,02
13	180466599820191114-EIC 03-3	24,0	53,2	2,89	9,64	3,350	1159,17	120,25
14	180466599820191114-EIC 03-4	24,0	53,2	3,15	10,14	3,570	1133,33	111,77
15	180466599820191114-EIC 03-5	24,0	53,2	2,97	10,09	3,450	1161,62	115,13
Promedio \bar{X}						3,602	1226,243	122,608
Desviación estándar S_{n-1}						0,221	107,797	10,541
Coeficiente de variación CV						6,137	8,791	8,597

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm.		Energía de ruptura (J)	Resistencia al impacto, (J/m)	Resistencia al impacto, (KJ/m ²)
				Ancho	Espesor			
16	180466599820191114-EIC 04-1	24,3	52,5	3,26	9,71	1,000	306,75	31,59
17	180466599820191114-EIC 04-2	24,3	52,5	3,34	9,56	1,000	299,40	31,32
18	180466599820191114-EIC 04-3	24,3	52,5	3,44	9,63	0,970	281,98	29,28
19	180466599820191114-EIC 04-4	24,3	52,5	3,47	9,67	1,040	299,71	30,99
20	180466599820191114-EIC 04-5	24,3	52,5	3,20	9,54	0,840	262,50	27,52
Promedio \bar{X}						0,970	290,068	30,140
Desviación estándar S_{n-1}						0,077	17,915	1,721
Coeficiente de variación CV						7,919	6,176	5,710

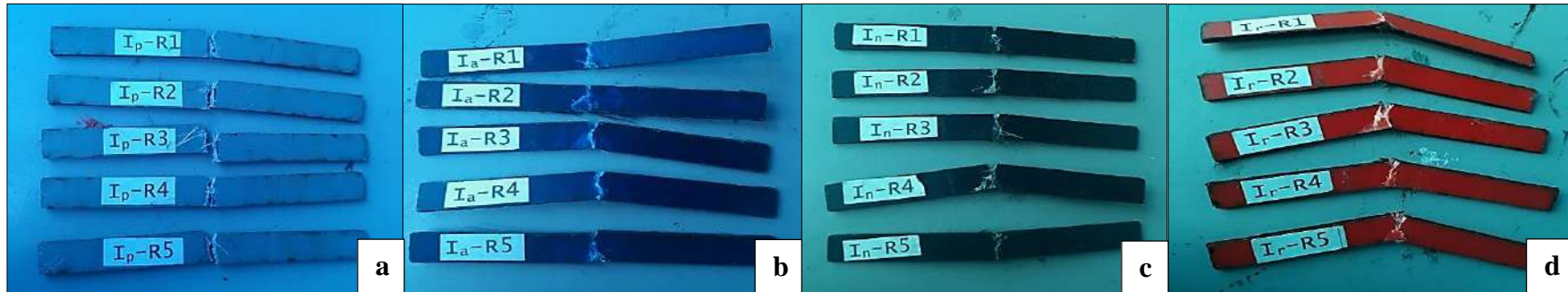
ANEXO H: RESULTADOS DE LAS PROBETAS ENSAYADAS MECÁNICAMENTE

Probetas ensayadas a Flexión										
 <p style="text-align: center;">a</p>	 <p style="text-align: center;">b</p>	 <p style="text-align: center;">c</p>	 <p style="text-align: center;">d</p>							
Probetas ensayadas a Tracción										
 <p style="text-align: center;">a</p>	 <p style="text-align: center;">b</p>	 <p style="text-align: center;">c</p>	 <p style="text-align: center;">d</p>							
<p>NOTAS:</p> <p>a) L_A b) L_{p1} c) L_{p2} d) L_{p3}</p>		<p>CATEGORIA DEL DIAGRAMA:</p> <p><input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar</p>	<p style="text-align: center;">ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA ELABORADO POR: Vargas I. 2020</p>	<p style="text-align: center;">PROBETAS ENSAYADAS A FLEXIÓN Y TRACCIÓN</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>LÁMINA</th> <th>ESCALA</th> <th>FECHA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>4</td> <td>1:1</td> <td>17/02/2020</td> </tr> </tbody> </table>	LÁMINA	ESCALA	FECHA	4	1:1	17/02/2020
LÁMINA	ESCALA	FECHA								
4	1:1	17/02/2020								

Probetas ensayadas a Dureza Shore D



Probetas ensayadas a Impacto Charpy



NOTAS:

- e) L_A
- f) L_{p1}
- g) L_{p2}
- h) L_{p3}

CATEGORIA DEL DIAGRAMA:

- Aprobado
- Certificado
- Información
- Preliminar
- Por aprobar
- Por calificar

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE
 CHIMBORAZO
 FACULTAD DE CIENCIAS
 ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
 ELABORADO POR:
 Vargas I. 2020

PROBETAS ENSAYADAS A DUREZA SHORE D E
 IMPACTO CHARPY

LÁMINA	ESCALA	FECHA
5	1:1	17/02/2020

ANEXO I: PROGRAMA ESTADÍSTICO MINITAB

Minitab - impacto.MPJ

Archivo Edición Datos Calc Estadísticas Gráfica Editor Herramientas Ventana Ayuda

Sesión

ANOVA unidireccional: RESISTENCIA AL IMPACTO (J/m) vs. LAMINADO

Fuente	GL	SC	MC	F	P
LAMINADO	3	2730896	910299	115,06	0,000
Error	16	126581	7911		
Total	19	2857477			

S = 88,95 R-cuad. = 95,57% R-cuad. (ajustado) = 94,74%

ICs de 95% individuales para la media

Gráfica de Media(RESISTENCIA AL IMPACTO (J/m))

Laminado	Media de Resistencia al Impacto (J/m)
LA	306,75
LP1	872,64
LP2	1052,88
LP3	970,73

Hoja de trabajo 1 ***

#	C1-T	C2	C3	C4	C5
	LAMINADO	ENERGIA DE RUPTURA (J)	RESISTENCIA AL IMPACTO (J/m)		
1	LA	1,00	306,75		
2	LA	1,00	299,40		
3	LA	0,97	281,98		
4	LA	1,04	299,71		
5	LA	0,84	262,50		
6	LP1	1,85	872,64		
7	LP1	2,19	1052,88		
8	LP1	1,76	846,15		
9	LP1	1,99	970,73		

Hoja de trabajo actual: Hoja de trabajo 1

Windows taskbar: Escribe aquí para buscar, 14:27 8/2/2020

ANEXO J: CERTIFICADO DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO TÉCNICO

MASTER FIBRA

Panamericana Norte Km. 5-1/2 Entrada a Macasto
Junto a Curtipiel,
Barrio: El Pisque
Ambato, Tungurahua
Ecuador
0984413924



Expertos en la elaboración de piezas en fibra de vidrio

Ambato, 17 de febrero de 2020

CERTIFICADO

Master Fibra extiende sus más atentos saludos a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo “ESPOCH” y tiene el honor de certificar la culminación del Trabajo de Titulación correspondiente al tema: **“OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE LAS LÁMINAS PARA AUTOPARTES EN FIBRA DE VIDRIO REFORZADAS CON WOVEN ROVING 800 EN LA FÁBRICA MASTER FIBRA UBICADA EN AMBATO”**, desarrollado por la Srta. **Ivonne Estefanía Vargas Cáceres** con cédula de identidad N° 1804665998. Cumpliendo así, con los estándares requeridos por nuestra entidad.

Atentamente,

Victor Vasconez
Victor Vasconez

Víctor Vasconez
Gerente de Master Fibra