



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE MECÁNICA
PROYECTO TÉCNICO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERA MECÁNICA

TEMA:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ACCESORIO EXTERNO
AUTOMOTRIZ BAJO EL PROCESO DE INFUSIÓN AL VACÍO CON
MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA”**

AUTORA: Vanessa Estefanía Tenorio Cabezas

TUTOR: Ing. Mg. Juan Gilberto Paredes Salinas

AMBATO - ECUADOR

Febrero - 2024

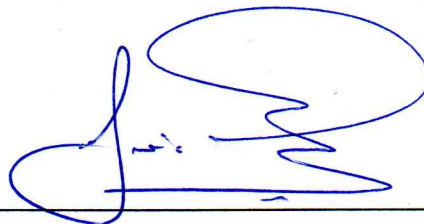
APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Proyecto Técnico, previo a la obtención del Título de Ingeniera Mecánica, con el tema: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ACCESORIO EXTERNO AUTOMOTRIZ BAJO EL PROCESO DE INFUSIÓN AL VACÍO CON MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA”**, elaborado por la Srta. Vanessa Estefanía Tenorio Cabezas, portadora de la cédula de ciudadanía C.I. 1804711719; estudiante de la Carrera de Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente Proyecto Técnico es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad

Ambato, febrero 2024



Ing. Mg. Juan Gilberto Paredes Salinas

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Vanessa Estefanía Tenorio Cabezas, con C.I. 1804711719 declaro que todos los contenidos y actividades expuestos en el desarrollo del presente proyecto técnico con el tema: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ACCESORIO EXTERNO AUTOMOTRIZ BAJO EL PROCESO DE INFUSIÓN AL VACÍO CON MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA”**, así como también los análisis, proceso, tablas, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, febrero 2024



Vanessa Estefanía Tenorio Cabezas

C.I. 1804711719

AUTORA

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad “Técnica de Ambato”, para que haga de este Proyecto Técnico o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y proceso de investigación, según las normas de la institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi Proyecto Técnico, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, febrero 2024



Vanessa Estefanía Tenorio Cabezas

C.I. 1804711719

AUTORA

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Proyecto Técnico, realizado por la estudiante Vanessa Estefanía Tenorio Cabezas de la Carrera de Mecánica bajo el tema: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ACCESORIO EXTERNO AUTOMOTRIZ BAJO EL PROCESO DE INFUSIÓN AL VACÍO CON MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA”**.

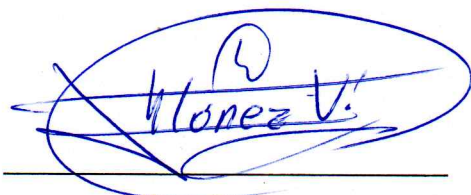
Ambato, febrero 2024

Para constancia firman:



Ing. Segundo Manuel Espín Lagos, Mg

MIEMBRO CALIFICADOR



Ing. Jorge Enrique López Velástegui, Mg.

MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

El presente Proyecto Técnico quiero dedicar principalmente a mi padre, Edwin Tenorio y mi abuelito, Flavio Cabezas a pesar de que están en el cielo sé que siempre quisieron y querrán verme cumplir mis metas, estoy segura de que estuvieron acompañándome y guiando mi camino a cada momento, el sueño de mi abuelito fue verme como toda una profesional (ingeniera) y ahora lo estoy cumpliendo.

También le dedico a mi madre, Doris Cabezas que es la mejor del mundo, quien me ha apoyado incondicionalmente durante toda mi trayectoria académica, guiándome y enseñándome los mejores valores, ah ser una persona humilde, honrada, aplicada, responsable, que solo me queda decirle que ha sido, es y será mi heroína.

A mi hermano Henry Tenorio que ha sido mi gran ejemplo para seguir y por compartir conmigo todos sus conocimientos, y grandes consejos para no rendirme en ningún momento de mi vida.

Finalmente, a mi mascota y amigo incondicional ATOM que ha estado conmigo mientras realizaba mi Proyecto Técnico, cuando se quedaba a mi lado hasta altas horas de la madrugada haciéndome compañía para no sentirme sola en los momentos más frustrantes de mi vida y este proceso.

AGRADECIMIENTO

Primero quiero agradecer a Dios y la Virgen de Agua Santa por darme las fuerzas y salud, por bendecirme con mi familia, amigos y personas magnificas durante mi vida.

Quiero expresar mi gran agradecimiento a mi tutor, Ing. Mg. Juan Paredes, por su guía durante todo el proceso, por sus consejos, conocimientos y confianza en mí, además quiero agradecer al Ing. Henry Erazo, por brindarme su apoyo técnico, a la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Mecánica, la cual siempre será mi segundo hogar, a todos los ingenieros que han sido mis docentes en cada semestre, gracias por sus grandes conocimientos y formación profesional.

Un infinito agradecimiento al Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoria (CIDFAE) en general, por permitirme el paso a sus instalaciones, especialmente al equipo técnico del laboratorio y área de materiales compuesto ubicado en la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE) ubicado en Quito-Sangolquí, que me apoyaron durante todo el proceso, con sus conocimientos teóricos y prácticos, por su amabilidad, profesionalismo y paciencia.

A mi enamorado Diego Jácome, por apoyarme con sus palabras cuando me sentía mal o algo me salía mal y me daba ánimos para no rendirme, a mi madre y abuelita que todos los días me dan su bendición sin importar que esté enojada o desanimada, por siempre hacerme sonreír a pesar de las adversidades y mi hermano que siempre me ha guiado. Gracias por confiar en mí, por tanta paciencia y amor incondicional.

Los amo.

Finalmente agradezco a mi mejor amiga, Melanie Supe y mejores amigos, Pablo López, Juan Gonzales, Josue Bayas y Michael Zurita, quienes me han apoyado incondicionalmente durante toda la carrera, por tenerme paciencia cuando les pedía que me expliquen algo que no lograba entender o cuando les obligaba a que realicemos los trabajos el mismo día que nos enviaban, gracias por cada palabra de motivación, por cada broma, locura, chistes y risas que nunca faltaron, por cada momento compartido dentro y fuera de la Universidad, gracias por ser unos maravillosos amigos, responsables, inteligentes, honrados y respetuosos.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE TABLAS	xv
ÍNDICE DE DIAGRAMAS.....	xvii
RESUMEN EJECUTIVO	xviii
ABSTRACT.....	xix
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Antecedentes investigativos	1
1.2. Justificación.....	3
1.3. Fundamentación teórica	4
1.3.1. Ingeniería de los materiales	4
1.3.2. Materiales compuestos	4
1.3.2.1. Materiales compuestos reforzados con fibras.....	5
1.3.2.2. Componentes del material compuesto.....	5
1.3.3. Fibras sintéticas.....	6
1.3.3.1. Fibra de carbono	6
1.3.3.2. Tipos de fibras de vidrio.....	7
1.3.3.3. Matriz polimérica	9
1.3.3.4. Clasificación de matrices poliméricas	9

1.3.3.5.	Proceso de curado de resinas termoestables.....	10
1.3.3.6.	Propiedades principales de las matrices poliméricas.....	11
1.3.4.	Pruebas de funcionamiento aplicadas en materiales compuestos.....	12
1.3.4.1.	Ensayos de caracterización	12
1.3.4.2.	Ensayo de flexión	12
1.3.4.3.	Ensayo de tracción.....	13
1.3.4.4.	Molde para el proceso de infusión al vacío.....	14
	Alternativas para el molde	14
	Descripción de la opción seleccionada en materia prima para el molde	15
1.3.4.5.	Proceso de fabricación del molde.....	17
a.	Impresión 3D.....	17
b.	Mecanizado CNC	18
c.	Embutición	19
1.3.4.6.	Selección de alternativa de fabricación del molde	20
	Descripción de la opción seleccionada para el proceso de fabricación del molde	21
1.3.5.	Proceso de infusión al vacío.....	21
a.	Concepto general	22
b.	Vacío	22
	Accesorio del sistema de vacío	24
1.3.6.	Diseño del accesorio automotriz.....	25
1.3.6.1.	Descripción de diseños de capos de entrada de flujo de aire	28
1.3.7.	Descripción general del proceso de infusión al vacío.....	29
1.3.7.1.	Características principales	33
1.3.7.2.	Flujo del fluido de la resina	33
1.3.7.3.	Parámetros que intervienen en el proceso de infusión al vacío.....	33
a.	Ley de Darcy	34

b.	Gradiente de presión.....	34
c.	Permeabilidad del material/refuerzo (K).....	37
d.	Fracción de volumen de la fibra.....	37
e.	Velocidad de laminado.....	38
f.	Tiempo de llenado.....	38
g.	Presión de compactación.....	39
1.3.7.4.	Kit de infusión al vacío.....	39
1.3.6.	Obtención de la cantidad de resina con respecto al peso de la fibra.....	40
1.4.	Objetivos.....	41
Objetivo general.....		41
Objetivos específicos.....		41
CAPÍTULO II.....		42
METODOLOGÍA.....		42
2.1.	Materiales.....	42
2.2.	Métodos.....	49
2.2.1.	Bibliográfico.....	50
2.2.2.	Experimental.....	50
2.2.3.	Cuantitativo.....	51
2.2.4.	Descripción de etapas.....	52
2.3.	Diagrama de flujo del proyecto técnico.....	53
2.4.	Diagrama de flujo de la obtención del molde.....	55
2.5.	Diagrama de flujo del proceso de infusión al vacío.....	56
2.6.	Operacionalización de variables.....	58
2.6.1.	Variable independiente.....	58
2.6.2.	Variable de propiedades mecánicas.....	58
2.6.3.	Matriz de colocación de las fibras.....	59
2.7.	Obtención de materia prima.....	59

2.8.	Propiedades físicas de las fibras utilizadas en el proyecto técnico	60
2.8.1.	Fibra de vidrio	60
2.8.2.	Fibra de carbono.....	61
2.9.	Cálculos	62
2.9.1.	Cantidad de resina y endurecedor en función al peso.....	62
2.9.2.	Permeabilidad en función de la velocidad de fluido	64
2.10.	Proceso de obtención del accesorio automotriz bajo el proceso de infusión al vacío 66	
2.10.1.	Proceso de preparación y lamiando.....	66
2.10.2.	Proceso de desmoldeo y obtención de probetas.....	70
2.11.	Parámetros principales para la realización de los ensayos	73
2.11.1.	Tracción.....	73
	Propiedades para el ensayo de tracción	73
2.11.2.	Flexión	74
	Propiedades para ensayo de flexión.....	75
2.11.3.	Tipos de fallos en probetas.....	76
CAPÍTULO III.....		79
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		79
3.1.	Interpretación y tabulación de resultados del proceso de infusión al vacío y ensayos realizados	79
3.1.1.	Descripción de diseño de cubierta de flujo de aire	79
3.1.2.	Análisis de tiempos de laminado.....	80
3.1.3.	Fibras técnicas de probetas ensayadas a tracción.....	81
3.1.4.	Fichas técnicas de probetas ensayadas a flexión.....	87
3.2.	Análisis y discusión de los resultados	93
3.2.1.	Diseño de molde	93
3.2.2.	Parámetros principales del proceso de infusión al vacío	93

3.2.2.1.	Discusión del proceso de infusión al vacío	94
3.2.3.	Resultados generales de las pruebas mecánicas Tracción-Flexión	94
3.2.4.	Comparación de resultados del proceso de infusión al vacío	96
3.2.5.	Comparación de resultados de pruebas de tracción	97
3.3.	Análisis económico	102
3.3.1.	Costo de insumos	102
3.3.2.	Costos de materia prima.....	103
3.3.3.	Costo de maquinado.....	104
3.3.4.	Costos por tratamiento térmico	105
3.3.5.	Costo de mano de obra.....	105
3.3.6.	Costo total de fabricación total	105
CAPÍTULO IV.....		107
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		107
4.1.	Conclusiones	107
4.2.	Recomendaciones.....	110
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		112
ANEXOS		117
Anexo 1.	Ficha Técnica de Resina epoxi.	117
Anexo 2.	Ficha técnica e la fibra de vidrio.....	119
Anexo 3.	Ficha técnica de maquina universal de ensayos SERIE 50 kN.....	120
Anexo 4.	Informe final de ensayos a tracción con Fibra de Carbono.	121
Anexo 5.	Informe final de ensayos a tracción con Fibra de vidrio.....	122
Anexo 6.	Informe final de ensayos a flexión con Fibra de Carbono.....	123
Anexo 7.	Informe final de ensayos a flexión con Fibra de vidrio.....	124
Anexo 8.	Standard Test Method for Tensile properties of Polymer Matrix Composite Materials. Para la verificación de tipos de fallos (ASTM D3039).	125
Anexo 9.	Norma ASTM D638 para ensayos de tracción.	131

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Composición de un material compuesto.....	5
Figura 2. Tipos de fibras sintéticas	6
Figura 3. Proceso de curado de resinas Tiempo vs Temperatura.....	11
Figura 4. Cargas a flexión en tres puntos	12
Figura 5. Probetas para ensayos de flexión a) Fibra de carbono, b) Fibra de vidrio..	13
Figura 6. Ensayo de tracción, aplicado para materiales compuestos	13
Figura 7. Probetas para ensayos de tracción a) Fibra de carbono, b) Fibra de vidrio.	14
Figura 8. Bloque de madera de Laurel.	16
Figura 9. Proceso de impresión en 3D	17
Figura 10. Proceso de Fresado CNC	18
Figura 11. Proceso de embutición.....	19
Figura 12. Esquema del proceso de infusión al vacío.....	22
Figura 13. Presiones absolutas y relativas con relación a la Atmosfera.....	23
Figura 14. Marcación del vacuómetro durante el proceso de vacío.....	24
Figura 15. Representación de una ventosa o tope	24
Figura 16. Cubierta de aire opción 1	28
Figura 17. Cubierta de entrada de flujo de aire, opción 2	29
Figura 18. Cubierta de entrada de flujo de aire, opción 3	29
Figura 19. Diseño de accesorio externo automotriz y propiedades generales.	30
Figura 20. Ventilador universal para entrada de aire.	30
Figura 21. Molde de ventilador universal para entrada de aire.....	31
Figura 22. Sistema de vacío.	32
Figura 23. Entrada de resina.....	32
Figura 24. Proceso de desmoldeo y curado finalizado.....	33
Figura 25. Puntos de presiones a analizar.	34
Figura 26. Características sobre los tamaños de poros en fibras de refuerzo	36
Figura 27. Dimensiones del accesorio externo automotriz y molde de madera.....	51
Figura 28. Altura total del bloque con la cavidad del accesorio automotriz.....	51
Figura 29. Altura total del accesorio automotriz.....	51
Figura 30. Máquina Universal para ensayos.....	73

Figura 31. Ensayo de flexión en la máquina de ensayos Universal.	75
Figura 32. Tipos de fallos en una probeta.....	76
Figura 33. Diseño oficial del proyecto técnico.	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades de fibra de carbono estándar, HR y HM.....	7
Tabla 2. Propiedades de tipos de la fibras de vidrio	8
Tabla 3. Propiedades de matrices poliméricas	11
Tabla 4. Ponderación de opciones del material para el molde.....	15
Tabla 5. Ponderación de opciones del proceso de fabricación para el molde.....	21
Tabla 6. Medidas principales de autos para la obtención de un promedio de capo ...	26
Tabla 7. Descripción de materiales.	42
Tabla 8. Variable independiente con material compuesto conformado por el proceso de infusión al vacío.	58
Tabla 9. Variables dependientes de propiedades mecánicas.....	58
Tabla 10. Número de capas de las fibras para el conformado.	59
Tabla 11. Propiedades principales de la resina y endurecedor.....	60
Tabla 12. Proceso de lamiando, infusión al vacío.....	66
Tabla 13. Proceso de desmoldeo y obtención de probetas para ensayos de tracción y flexión.	70
Tabla 14. Códigos de fallos en una probeta a tracción. Norma ASTM D3039	77
Tabla 15. Códigos de fallos en ensayos sometidos a flexión. Norma ASTM D7264.....	77
Tabla 16. Códigos de fallos generales para ensayos a flexión.	78
Tabla 17. Análisis de tiempos y obtención del parámetro final.....	80
Tabla 18. Ficha técnica del material compuesto de fibra de carbono, Prueba 1.....	81
Tabla 19. Ficha técnica de material compuesto de fibra de vidrio, prueba 2.....	84
Tabla 20. Ficha técnica del material compuesto con fibra de carbono, prueba 1.	87
Tabla 21. Ficha Técnica de material compuesto con fibra de vidrio, prueba 2.	91
Tabla 22. Resultados del proceso de fabricación del molde.....	93
Tabla 23. Parámetros principales para el proceso de infusión al vacío para formas complejas.....	93
Tabla 24. Propiedades mecánicas generales de ensayos a tracción.	94
Tabla 25. Propiedades mecánicas generales de ensayos a flexión.....	95
Tabla 26. Propiedades mecánicas generales de ensayos a tracción.	95
Tabla 27. Resultados de ensayos a tracción con fibra de carbono y fibra de vidrio. .	96
Tabla 28. Resultados de ensayos a flexión con fibra de carbono y fibra de vidrio....	96
Tabla 29. Parámetros de comparación de procesos de infusión al vacío.	97

Tabla 30. Comparación de resultados de pruebas de tracción.	98
Tabla 31. Comparación de datos entre proyecto técnico y proyecto técnico externo.99	
Tabla 32. Comparación de resultados entre proyecto técnico y proyecto técnico externo.....	101
Tabla 33. Costos de insumos.....	102
Tabla 34. Costo de materia prima en general.....	103
Tabla 35. Costo por horas.	104
Tabla 36. Costos de maquinado y laminado por cada proceso.	104
Tabla 37. Costos de tratamiento térmico.....	105
Tabla 38. Costo por mano de obra.	105
Tabla 39. Costo total de fabricación.	105

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1. Etapas principales del proyecto técnico.	52
Diagrama 2. Proceso general del proyecto técnico.	54
Diagrama 3. Proceso de obtención del molde.	55
Diagrama 4. Proceso de laminado por infusión al vacío.	57
Diagrama 5. Comportamiento de propiedades entre fibra de carbono y fibra de vidrio.	98
Diagrama 6. Comportamiento mecánico de resultados.	100
Diagrama 7. Comportamiento de propiedades mecánicas de Proyecto Técnico y Proyecto Externo.	102

RESUMEN EJECUTIVO

En la actualidad la aplicación de materiales compuestos para el conformado y creación de componentes o accesorios es una de las mayores necesidades en el campo industrial, teniendo como objetivo la disminución del peso y el reemplazo de los metales, conservando o mejorando las propiedades de los materiales. El avance de los procesos de conformado en su mayoría son manuales, provocando fallas irreversibles como la porosidad, fisuras, burbujas de aire, etc., conformando laminados menos resistentes.

El Proyecto Técnico se enfocó en la obtención de los parámetros principales que intervienen en el proceso de infusión al vacío aplicado a un laminado con una forma compleja, es decir, zonas curvas, inclinadas, rectas y profundidad, además se realizó ensayos de Tracción-Flexión para comprobar las propiedades mecánicas del laminado obtenido y curado a una temperatura de 80 grados centígrados por dos horas. Los resultados que se obtuvieron mediante la aplicación del proceso se compararon con otros proyectos comerciales que fueron conformados bajo los mismos parámetros.

El Trabajo Técnico planteó que para un proceso de infusión al vacío la permeabilidad es uno de los parámetros que influyeron al momento de realizar un laminado, usando y aplicando la Ley de Darcy, por esa razón fue importante seleccionar bien los complementos (kit de infusión al vacío) y se verificó que las orientaciones que tienen las fibras naturales o sintéticas, deberán ser a 45 grados para una mayor resistencia, pero si se desea un laminado con menor residencia la orientación recomendada es de 0 a 90 grados.

Palabras clave: Infusión, Permeabilidad, Tracción, Flexión, Resistencia, Fibras Sintéticas, Resinas, Ley de Darcy.

ABSTRACT

Actually the application of composite materials for the forming and creation of components or accessories is one of the greatest needs in the industrial field, aiming to reduce the weight and the replacement of metals, preserving or improving the properties of the materials. The progress of the forming processes are mostly manual, causing irreversible failures such as porosity, cracks, air bubbles and more defects, forming less resistant laminates.

The Technical Project focused on obtaining the main parameters involved in the vacuum infusion process applied to a laminate with a complex shape, that is, curved, inclined, straight and deep areas. In addition, Tensile-Flexural tests were carried out to check the mechanical properties of the laminate obtained and cured at a temperature of 80 grades Celsius for two hours. The results obtained through the application of the process were compared with other commercial projects that were formed under the same parameters.

The technical work showed that for a vacuum infusion process, permeability is one of the parameters that influenced at the time of lamination, using and applying Darcy's Law, for that reason it was important to select the complements (vacuum infusion kit) and it was verified that the orientations of the natural or synthetic fibers should be at 45 grades for greater resistance, but if a laminate with lower residence is desired, the recommended orientation is from 0 to 90 grades.

Keywords: Infusion, Permeability, Tensile, Flexural, Strength, Synthetic Fibers, Resins, Darcy's Law.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes investigativos

Para el presente proyecto técnico es importante obtener información que es un punto de partida acerca del proceso de infusión al vacío y materiales compuestos de matriz polimérica, las cuales serán reforzadas con resina epoxi o poliéster, además en este apartado se recopilan análisis, estudios y aplicaciones de autores que han utilizado este proceso de laminado o moldeo para la realización de componentes de cualquier tipo la misma que será utilizada para este trabajo.

Con respecto al proceso de infusión al vacío o también llamada moldeo al vacío, algunos estudios indican que la aplicación del mismo para la producción en serie llega a optimizar tiempo y costos a diferencia de un proceso manual, obteniendo un resultado mucho más uniforme en la conformación de componentes ya sean planos, curvos o que tengan diferentes formas, teniendo en consideración el sellado total del molde para evitar fugas y retardos en el moldeo [1].

Según el trabajo de Subbiah Rajkumar, 2016, con el tema: “Vacuum Infusion Molding of Natural Fibre Reinforced Biobased Resin Composite”, redacta que un proceso de infusión al vacío es el comportamiento que tiene el flujo de la resina al moldear cualquier tipo de componente o accesorio, en este proceso interviene la permeabilidad y la validación de los ángulos de salida del mismo molde, en la realización del proceso, la dirección a la que irá el flujo es decir el paso de la resina por la fibra se deben tomar en cuenta de acuerdo a las propiedades de tracción a las que será sometido en futuros ensayos. Por último la resistencia a la tracción longitudinal que tienen los materiales compuestos indican que tienen un incremento de 7 a 8 veces a comparación con la resistencia con una dirección transversal, presentando estas variaciones debido a la permeabilidad [2].

De acuerdo al artículo científico realizado por Angel Xavier Arias Perez, Jonathan Samuel Velez Salazar, Abrahan Mesias Jorque Rea y Rodrigo Patricio Toasa Jimenes, 2022, con el tema: “Materiales compuestos y su aplicación en partes automotrices”,

redactan que, la fabricación de componentes y accesorios automotrices con materiales compuestos ha tenido una de las mejores ventajas en el campo carroceros que es el reemplazo del metal y se ha logrado la obtención de partes de autos igual de resistentes que el mismo metal o con propiedades hasta mucho mejores, debido a que las fibras ya sean sintéticas o naturales tienden a alinearse hasta proporcionar una rigidez máxima en la dirección donde se encuentran las cargas más importantes y permitiendo que el tejido o el conformado deseado llegue a ser flexible [3].

De acuerdo al trabajo realizado por Moncayo Theurer, M.; Rodriguez, J.; Alcívar; López; Soriano y Villacis, 2016, cualquier tipo de componente de cualquier material tiende a deteriorarse con el pasar del tiempo, por lo que la implementación de refuerzos con fibras de matriz polimérica tiende a aumentar el tiempo de vida y la resistencia mecánicas del componente o estructura, adicional el conformado de componentes o accesorios con fibras sintéticas está siendo un gran aporte para el reemplazo de los metales debido a su menor peso y mayor resistencia, tomando en cuenta la fibra de carbono que es 10 veces más resistente que el acero, debido a su composición del 99% de pureza, ya que tiene hasta 400000 hilos los cuales son más delgados que el cabello del ser humano. Se unen formando una resistencia máxima a la tracción de 4000 MPa aproximadamente [4].

En la investigación realizada por Diego Lascano, Jorge Valcárcel, Rafael Balart, Luís Quiles-Carrillo y Teodomiro Boronat, 2019, autores del artículo científico con el tema: “Fabricación de materiales compuestos de alto rendimiento medioambiental con resina epoxi de origen renovable y núcleos ligeros permeables para infusión asistida por vacío” en la revista de INGENIUS, se redacta que la utilización de la fibra de vidrio en la actualidad es realizado con el propósito de obtener diferentes componentes, gracia a que se la puede adaptar a propiedades deseadas, pero su resistencia mecánica hace que la fibra de vidrio sea utilizada en bruto en al campo automotriz, deportivo, balístico y constructivo, al igual que la utilización de las matrices que son basadas en resinas epoxi que son las más utilizadas debido sus excelentes propiedades térmicas, mecánicas y de recubrimientos uniformes al unirse con materiales compuestos [5].

1.2. Justificación

En la actualidad los materiales compuestos están abarcando la mayor parte de las industrias, debido a la excelente composición química, física y mecánica que brindan las fibras, estas fibras pueden ser sintéticas o naturales, dando apertura a la fabricación de diversos tipos de componentes estéticos u obligatorios. Las fibras sintéticas mucho más conocidas y utilizadas son la de vidrio, carbono y kevlar, pero cada una de ellas resalta en sus campos específicos como es la fibra de carbono que es en la que nos enfocaremos, esta es muy utilizada en el área automotriz por su gran resistencia, alta rigidez y bajo peso. Utilizada para la elaboración de componentes complementarios o carrocerías completas gracias a la buena estructura basada en los plásticos termoestables (matrices). Esta fibra al unirse con una matriz la cual está compuesta por resinas sintéticas, ayuda a la fusión total de las dos, dando como resultados láminas o componentes resistentes [6].

En la industria automotriz es importante un buen laminado o conformado, debido a la seguridad que deben tener los autos, la fibra de vidrio y carbono están conformadas por una estructura fija y estable que puede llegar a absorber altas cantidades de energía, en caso de que puedan existir impactos o choques, es por ello por lo que al implementar cualquier tipo de componente incrementa el porcentaje de seguridad del automóvil. Los componentes de los autos hechos con aluminio el cual es uno de los metales más ligeros y utilizados en la industria mecánica automotriz está pesando entre (20 y 30) % más que el mismo componente realizado con fibra de carbono [7]. Así mismo con el aspecto de la corrosión, un metal o acero con el pasar del tiempo tiende a ser afectado por la oxidación y es mucho más complicado tratarlo. Las fibras sintéticas si llegan a desgastarse con el tiempo, pero son mucho más resistentes a los factores ambientales los cuales provocan la corrosión [8].

En búsqueda de métodos de conformado, se encontró el proceso de laminado por infusión al vacío VARTM (Vacuum Assisted Resin Transfer Molding), el cual es uno de los procesos que se está tratando de implementar en gran parte de la industria mundial, gracias a la optimización de recursos al realizar cualquier tipo de conformado tratando de asegurar muy bien el área de los moldes para que al pasar la resina por el mismo no existan fugas, por ende, también desperdicio de material y recursos, a diferencia que el proceso manual en donde existen altas pérdidas tanto de recursos

como económicas para toda la empresa u operarios que se dedican a realizar procesos de laminados [9].

El presente trabajo de investigación está enfocado en el desarrollo y estudio de los parámetros necesarios para la aplicación del proceso de infusión al vacío para que futuros trabajos de conformado que se deseen realizar en la carrera de Mecánica de la Universidad “Técnica de Ambato” sean exitosos, aprovechando que el laboratorio de Innovación y Desarrollo de Ingeniería Mecánica cuenta con los equipos y máquinas necesarias para la realización del proceso, probetas y ensayos que se deben realizar, obteniendo como ventaja la reducción de gastos económicos en la realización de la obtención del componente automotriz u otros laminados.

1.3. Fundamentación teórica

1.3.1. Ingeniería de los materiales

Es la ciencia que estudia cualquier tipo de material, para estudiar un material y mejorar sus propiedades o crear un nuevo material, mediante relaciones y estudios sobre la microestructura, composiciones químicas, físicas o mecánicas, forma y procedimientos de conformado, teniendo en cuenta que en la ingeniería de los materiales se establece la relación entre propiedades y funcionamiento del mismo [10].

El desarrollo del ser humano cada vez es mucho más acelerado, específicamente enfocados al desarrollo de industrias constructoras, automotrices, aviación, computación, telecomunicaciones, seguridad, aeroespacial, marítima, civil, etc., ha despertado el interés en los materiales compuestos los cuales combinan sus buenas propiedades mecánicas con la flexibilidad, pesos livianos, gran facilidad de moldeo y laminados ya que las fibras sintéticas o naturales presentan una permeabilidad muy buena para el tránsito de fluidos como son las resinas [11].

1.3.2. Materiales compuestos

El campo de materiales compuestos junto con la ingeniería en la actualidad son una parte importante en el área de diseño y construcción, debido a que el objetivo principal del ser humano es el remplazo de materiales usuales o comunes, por materiales con iguales o mejores propiedades, por esa razón, el área de materiales compuestos han

llegado a ocupar un puesto de reemplazo notable en materiales cerámicos, metales, plásticos y madera [12].

Los materiales compuestos se caracterizan por la combinación de dos elementos, pero insolubles entre sí, a pesar de que sus estructuras serán diferentes, y gracias a esa unión se crea un nuevo material con mejores propiedades físicas, químicas y mecánicas, a la vez estos materiales necesitan refuerzos como fibras naturales o sintéticas [12].

Es importante saber que la matriz representa al mayor porcentaje del material compuesto, sirviendo como fijador de la fibra de manera uniforme en la geometría, además transmite los esfuerzos hacia la fibra, sirviendo como protección a medios externos. Los refuerzos o también llamadas fibras es el complemento del material, teniendo como finalidad el aumento de las características físicas y mecánicas de la matriz, aportando mayor rigidez y resistencia [12].

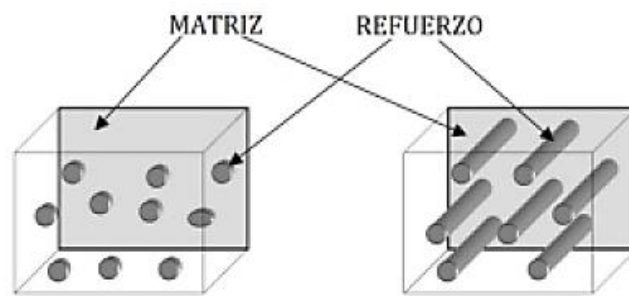


Figura 1. Composición de un material compuesto [13].

1.3.2.1. Materiales compuestos reforzados con fibras

Tienen como objetivo, mejorar la resistencia a la fatiga, la rigidez y alivianar pesos, transmitiendo la fuerza a las fibras las cuales al estar entrelazadas (tejidas) tienden a soportar las fuerzas aplicadas, es por ello por lo que las fibras que se utilizaron en el proyecto técnico son las fibras de vidrio y carbono en forma tejida.

1.3.2.2. Componentes del material compuesto

Está conformada por dos fases:

Primera fase o matriz: soporte del material, aportando las propiedades principales del material, físicas y químicas, además transmite los esfuerzos del material a las fibras o refuerzos, además suelen ser metálicas o no metálicas que son las que se va a utilizar en el proyecto técnico, que son las matrices poliméricas, permitiendo obtener un

material mucho más resistente y ligero, por eso se utiliza como matriz la resina epoxi o poliéster debido a que tiene un costo mucho más bajo que la resina epoxi.

Segunda fase o refuerzo: mejora y aporta propiedades mecánicas al material como la rigidez, resistencia en general y resistencia a la temperatura y abrasión, es decir son las fibras sintéticas o naturales [12].

1.3.3. Fibras sintéticas

Son las responsables de brindar las propiedades estructurales al material compuesto. Las fibras con las que se va a trabajar en el proyecto técnico son con la fibra de carbono y fibra de vidrio, ya que son las fibras más utilizadas en la industria automotriz, gracias a sus propiedades como es su buena resistencia a la fatiga, además una de las mayores ventajas de estas fibras con relación a otros materiales es su relación peso (ligeros) y resistencia. Pero para utilizar esta fibra se tiene en cuenta que mientras más resistencia se desea las capas de fibras deben aumentar, además la orientación, longitud y espesor de la fibra influye mucho.

Como se puede observar en la Fig. 2, existen 3 tipos de fibras sintéticas a) Continuas, b) discontinuas y alineadas, c) discontinuas y orientadas al azar.

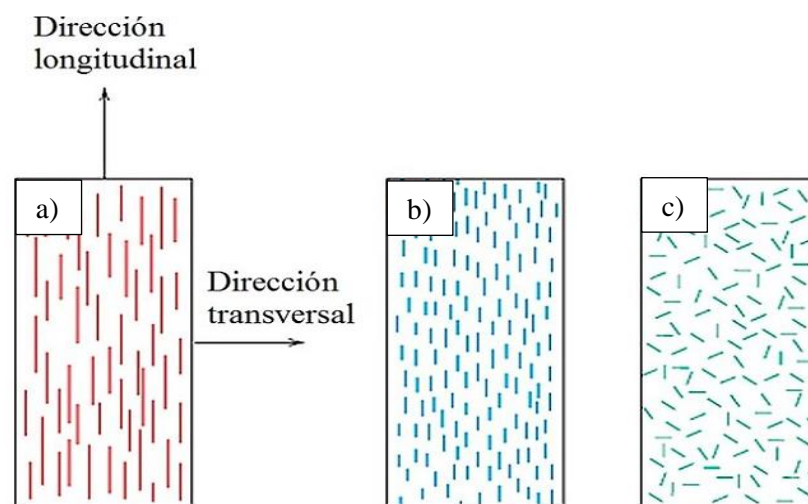


Figura 2. Tipos de fibras sintéticas [12].

1.3.3.1. Fibra de carbono

Es un material conformado en base al polímero poliacrilonitrilo (PAN) y un proceso de calentamiento bajo, además estas llegan a dividirse en fibras estándar, HM y HR.

- **Fibra de carbono estándar:** Conocida también como fibra de carbono de Tipo III, ya que el tratamiento a las que son sometidas es menor que a las fibras de alta resistencia (HR), a pesar de que la resistencia de este tipo de fibra es elevada, su rigidez es muy baja [10].
- **Fibra de carbono de alto modulo (HM):** se requiere de temperaturas muy altas para el tratamiento de este tipo de fibra, para poder adquirir un módulo de elasticidad alto, sin embargo, la rigidez que obtiene no representa alargamientos a la fractura, además esta fibra tiene un costo muy elevado [10].
- **Fibra de alta resistencia (HR):** Conocidas por su alta resistencia a la tracción y rigidez, empezando a reemplazar al metal en su totalidad, gracias a sus buenas propiedades a fatiga y resistencia a altas temperaturas, su fibra técnica esta adjunta en el literal de Anexos. Teniente en cuenta que esta fibra se utilizó en el proyecto técnico para la conformación del accesorio externo automotriz [10].

En la Tabla 1. Se describirá las propiedades principales de los diferentes tipos de fibras de carbono.

Tabla 1. Propiedades de fibra de carbono estándar, HR y HM [10].

Tipo	Fibra estándar (Tipo III)	Fibra de alta resistencia (HR)	Fibra de alto modulo (HM)
Diámetro de hilo (μm)	7-8	8	7
Densidad (g/cm^3)	1.82	1.79	1.81-1.87
Módulo de elasticidad (MPa)	290000	231000	390000
Resistencia a la tracción (MPa)	3100	2600-5000	2100-2700
Elongación a la fractura (%)	1.1	2	0.7

1.3.3.2. Tipos de fibras de vidrio

Las fibras de vidrio son usualmente utilizadas debido a su excelente resistencia mecánica, aislamiento eléctrico, compatibilidad con matrices de diferentes marcas y posee buena estabilidad dimensional, además, existen varios tipos de fibras para la conformado de materiales compuestos como es el tipo E, R, D, AR y C [10].

- a. **Tipo E:** Alta resistencia a diversos agentes químicos, alta resistencia a la tracción, baja absorción de humedad, bajo costo económico. Usualmente es utilizada para la fabricación de accesorios o componentes automotrices, también en la fabricación de objetos deportivos como esquís o canoas y para industria constructora se suelen fabricar aislantes. Su peso específico oscila entre los 2.6 g/cm^3 [14].
- b. **Tipo R:** Alta resistencia mecánica, por ello este tipo de fibra es utilizada en la fabricación de componentes que son expuestas a temperaturas muy altas o componentes que permanecen en el agua por largo tiempo. Su peso específico es de 2.53 g/cm^3 [14].
- c. **Tipo S:** Utilizada en el campo industrial, en la fabricación de refuerzos, aisladores y componentes automotrices, accesorios y recubrimiento, debido a su elevado módulo de Young. Tiene un peso específico de 2.4 g/cm^3 [17].
- d. **Tipo C:** Alta resistencia a la corrosión y químicos, considerada como un material inorgánico. Es utilizada para la fabricación de tuberías ya que no llega a oxidarse, también para el conformado de tanques o tinas de almacenamiento, gasta componentes que requiere la industria marina y resistente a temperaturas mayores a 80° . Tiene un peso específico de 2.5 g/cm^3 [14].

En la Tabla 2. Se describió las propiedades principales de los diferentes tipos de fibras de vidrio.

Tabla 2. Propiedades de tipos de la fibras de vidrio [10].

Tipo	Fibra tipo R	Fibra tipo C	Fibra tipo E	Fibra tipo S
Diámetro de hilo (μm)	10-20	8	10	10
Densidad (g/cm^3)	2.58	2.5	2.59	2.4
Módulo de elasticidad (MPa)	72500	69000	85000	86000
Resistencia a la tracción (MPa)	3400	3100	3400-4400	4590

1.3.3.3. Matriz polimérica

Se caracteriza por estar conformada por moléculas que forman cadenas por enlaces simples (fase continua de un material compuesto), en donde el refuerzo se compacta, por esa razón debe tener características como:

- Cohesión.
- Adherencia al material.
- Establece propiedades químicas y físicas.
- Facilidad para transmitir cargas ejercida en el material.
- Utilizada para trabajos que requieran baja densidad y alto rendimiento a una temperatura ambiente.
- Fácil conformado.

Cuando un material compuesto está conformado en su totalidad, este es sometido a cargas de compresión, la matriz es la que soporta todo el esfuerzo que es ejercido por las cargas y la tracción en donde es la matriz la que transfiere la carga a las fibras [12] [15].

1.3.3.4. Clasificación de matrices poliméricas

Termoestables: Matrices que no tienen la capacidad de fluir a elevadas temperaturas ni tampoco pueden ser remoldada, debido a que al tener un aumento de temperatura se genera una degradación químicas en las moléculas entrecruzadas (carbonización), las matrices que pertenecen a este grupo es la resina epoxi que es la que se utilizó en el proyecto técnico, debido a sus propiedades físicas y mecánicas, dándole a un conformado mayor resistencia, compactación y acabados [15].

Elastómeros: Matrices que pueden ser deformadas a temperatura ambiente, debido a su capacidad de movimiento libre molecular, además es capaz de regresar a su forma inicial una vez que ya no se ejerzan cargas de extensión, estas matrices tienen una apariencia elástica y son invisibles e insolubles [15].

Termoplásticos: Matrices que cuando se calientan se ablandan, y cuando se llega a una temperatura alta y se la mantiene constante, el polímero comienza a fluir, pero

cuando la temperatura disminuye vuelve a su forma inicial y se vuelve en un polímero muy viscoso para después de un lapso se cementa y termina solidificándose [15].

Para el proyecto técnico se utilizó la matriz polimérica termoestable, donde se encuentran las resinas epoxi, poliéster, vinil éster, etc., seleccionando como matriz a la resina epoxi, ya que tiene enlaces entrecruzados, presentando características físicas y químicas mucho mejores que la resina poliéster, además es una de las resinas más utilizadas en el campo automotriz en la laminación de componentes y accesorios con fibra de vidrio, kevlar y carbono [12].

1.3.3.5. Proceso de curado de resinas termoestables

Las resinas pueden llegar a ser curadas a temperatura ambiente o pueden ser sometidas a temperaturas más elevadas para obtener un conformado mucho más compactado y rápido, ya que el curado se da debido a la unión de los monómeros, los mismos que forman dímeros (cadenas poliméricas ramificadas) por toda la estructura de las fibras, endureciéndose con el paso del tiempo hasta llegar a un estado sólido en su totalidad [15].

Es importante saber que para que la resina se endurezca deben ser mezcladas con un catalizador, endurecedor o acelerador que son agentes que activan los monómeros de la resina, acelerando el tiempo para que la resina se vuelva sólida ya que al pasar los minutos aumenta la viscosidad de esta, impregnando los refuerzos de la zona interna de la matriz [16]. Una vez que las moléculas alcanzan el punto de gel, estas generan calor de manera exotérmica, endureciendo por completo la resina, como se puede observar en el diagrama de la Figura 3., es el proceso de curado de la resina con relación al Tiempo y Temperatura [16].

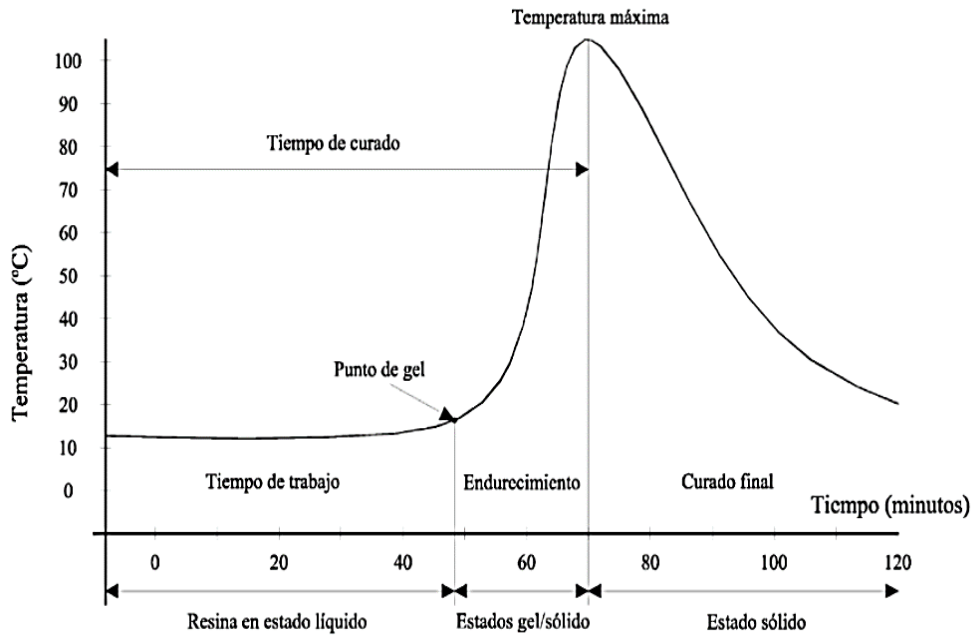


Figura 3. Proceso de curado de resinas Tiempo vs Temperatura [17].

1.3.3.6. Propiedades principales de las matrices poliméricas

Para el proceso de diseño y construcción con materiales compuestos las resinas son esenciales para cada tipo de producto que se vaya a realizar, por esa razón en la Tabla 3, se describen las propiedades principales de algunas resinas que son reconocidas en el mercado [15].

Tabla 3. Propiedades de matrices poliméricas [15].

PROPIEDAD	POLIÉSTER	EPOXI	FENÓLICA	VINIL ÉSTER
Densidad ($\frac{g}{cm^3}$)	1.17 – 1.26	1.17 – 1.25	1.25 – 1.3	1.27 – 1.42
alargamiento(%)	< 3	< 6 – 8	< 3	< 3.5 – 7
Fluencia	Muy baja			
Temperatura de moldeo (°C)	Temperatura ambiente < 180	Temperatura ambiente < 170	150 – 190	Temperatura ambiente < 175
Temperatura de reblandecimiento (°C)	80 – 160	80 – 130	100 – 150	100 – 150
Propiedades reológicas	Buena			
Calor de reacción ($\frac{kJ}{kg}$)	6 – 10	1 – 3	0.5 – 1.5	0.1 – 1

1.3.4. Pruebas de funcionamiento aplicadas en materiales compuestos

1.3.4.1. Ensayos de caracterización

Para comprobar las propiedades mecánicas de un material compuesto es necesario evaluar mediante ensayos o pruebas de funcionamiento realizadas en una maquina ensayadora Universal o específicamente para cada uno de los ensayos, es importante seguir una normativa, en la cual están especificados los parámetros de ensayo, es decir las dimensiones de las probetas, velocidad de ensayo, distancia de agarre, etc.

Estas normas fueron desarrolladas y estudiadas por entidades con la Sociedad Americana para Ensayos y Materiales (ASTM), donde se fundamentan ensayos de flexión y tracción [18].

1.3.4.2. Ensayo de flexión

Con este tipo de ensayo se logra determinar la rigidez a la flexión y la resistencia que tiene el material con una matriz polimérica [19].

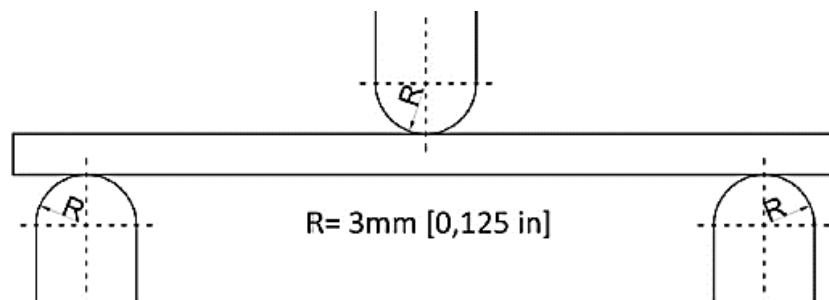


Figura 4. Cargas a flexión en tres puntos [18].

Características principales

- Este tipo de ensayo se trabaja con la Norma ASTM D7264 [18].
- Usualmente en estos ensayos se puede determinar la primera fisura y la resistencia máxima, y todo dependerá del número de capas de fibra que hayamos puesto.
- Teniendo en cuenta los parámetros de medición que especifica la norma anteriormente nombrada, las probetas fueron cortadas, como se muestra en el Figura 5, tanto de fibra de carbono como de vidrio.
- Las probetas que se van a ensayar como mínimo pueden ser tres ya que fueron obtenidas del accesorio automotriz ya laminado [20].

- Las medidas que muestra la norma son de 12.7mm de ancho y 127mm de largo para cualquier tipo de espesor que tenga el material, con un mínimo de largo de 80mm [20].
- Para el ensayo se debe dejar el 10% a cada lado de la probeta para que al momento de realizar el ensayo esta no resbale [20].

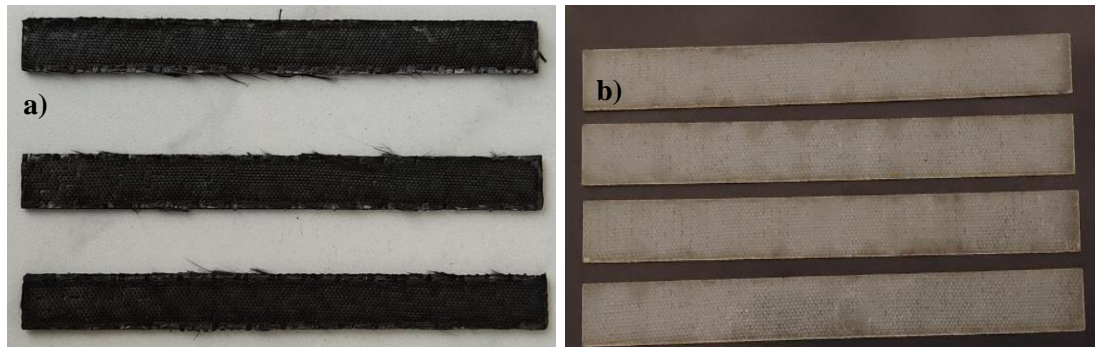


Figura 5. Probetas para ensayos de flexión a) Fibra de carbono, b) Fibra de vidrio.

1.3.4.3. Ensayo de tracción

Es uno de los ensayos más aplicados en el área de materiales compuestos ya que es indispensable conocer cuál es su deformación máxima, para ello es necesario obtener muestras del material en forma de probetas, las mismas que son colocadas en la Máquina Ensayadora Universal donde la probeta es colocada en un soporte con sus respectivos parámetros, donde se aplica una fuerza axial a lo largo del eje transversal, la misma carga que va aumentando gradualmente [15].



Figura 6. Ensayo de tracción, aplicado para materiales compuestos [21].

Características principales

- Para este ensayo se aplicará la norma ASTM D638 Tipo 1.
- Como medidas específicas para las probetas se tiene 165 mm de largo y 19 mm de ancho, para cualquier espesor que tenga el material, pero respetando la caracterización que debe tener la probeta, como se muestra en la Figura 7.

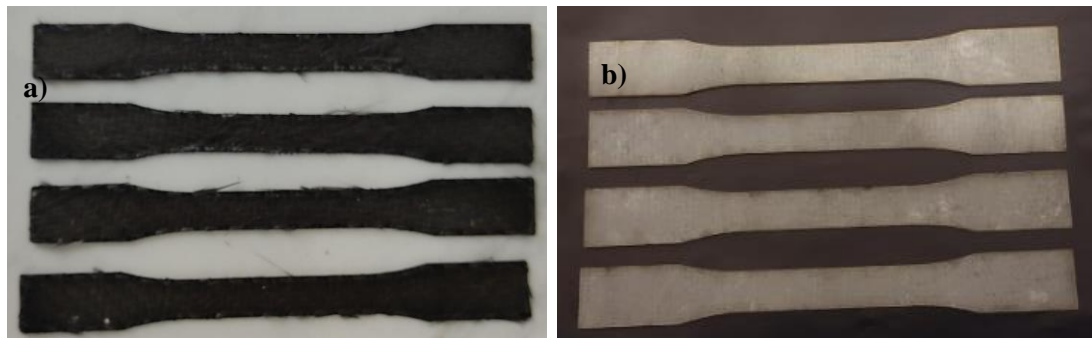


Figura 7. Probetas para ensayos de tracción a) Fibra de carbono, b) Fibra de vidrio.

1.3.4.4. Molde para el proceso de infusión al vacío

Alternativas para el molde

Para el molde se tomarán en cuenta tres alternativas de materiales los cuales son los más utilizados en la industria, obtenidos así mismo por diferentes procesos como Maquinado, impresión 3D y embutición.

En la Tabla 4, se realiza la ponderación para la selección del material que será utilizado para la fabricación del molde en el cual se realizará el laminado del accesorio automotriz bajo el proceso de infusión al vacío.

Las opciones de materiales con el que se va a fabricar el molde serán ponderadas de acuerdo con los criterios que se ha venido adquiriendo, juntamente con el conocimiento adquirido en las diversas materias tomadas durante todo el tiempo académico, como es Resistencia de Materiales I, Resistencia de Materiales II, CAD CAM, Moldes, Procesos de Manufactura y Procesos de Fabricación.

Los valores de la ponderación serán del 1 al 3.

Siendo:

1 = *fácil, bajo, mínimo, malo*

2 = normal, medio

3 = bueno, alto, máximo, difícil

Tabla 4. Ponderación de opciones del material para el molde.

Característica	Opciones	Madera	Termoplásticos	Silicon	Metal
	Costo económico del proceso de fabricación		2	2	3	3
Dificultad del proceso de conformado del molde		2	1	3	3
Costo económico del material base para el molde		2	3	2	3
Acabado que se obtiene con cada proceso de fabricación		3	2	2	3
Impacto con el medio ambiente		3	2	1	1
Dificultad del proceso de curado		3	2	3	3
Biodegradable		3	1	1	1
TOTAL		18	13	15	17

La opción que se ha seleccionado es la madera ya que en algunos de los aspectos que fueron ponderados es la que más destaca, como es el costo económico, amigable con el medio ambiente y el costo del material base.

Descripción de la opción seleccionada en materia prima para el molde

a. Madera

La madera que se va a utilizar para el maquinado del molde del accesorio externo será el laurel o también conocido como Tihue o Trihue, el cual crece en suelos profundos y húmedos, aproximadamente desde el nivel del mar hasta los 700 m sobre el mismo. Adema esta especie se asocia con loa Robles, Lingues, Olivillos y Coigües [22].

El laurel es la madera más utilizada para la fabricación de moldes, debido a su alta firmeza, el grano de conformación es medio, además las fibras de esta madera son ligeramente entrelazadas, lo cual permite que su maquinado sea mucho más fácil.

Es catalogada como una de las maderas con densidad media-buena cuando está expuesta a hongos.



Figura 8. Bloque de madera de Laurel.

Características:

- Mantiene un color amarillento y café al mismo tiempo.
- La textura del laurel es fina y homogénea es por ello por lo que es ideal para trabajos de maquinados, carpintería, encofrados, fabricación de tableros, conformados, etc.
- La densidad de esta madera es aproximadamente de 0.58 g/cm^3 al 12% de contenido de humedad [22].
- Muy fácil de cepillar y cortar, con poco desgaste de sierras y lijas.
- El olor que emana la madera cuando está siendo maquinada o procesada no llega a ser tóxico o desagradable.
- Su coeficiente de contracción volumétrica es de 0.48 [23].
- La madera al ser maquinada hasta obtener la forma deseada tiene que ser curada para poderla utilizar en el laminado mediante Infusión al vacío.

Propiedades mecánicas

- *Resistencia a la compresión:* – kg/cm^2 [23]
- *Resistencia a flexión estática:* 908 kg/cm^2 [23]
- *Módulo de elasticidad:* 103.500 kg/cm^2 [23]

1.3.4.5. Proceso de fabricación del molde

Para la fabricación de un molde es importante tener en cuenta diferentes aspectos como el ámbito económico, biodegradable, dificultad y tiempo de conformado. Un molde para un proceso de laminado con materiales compuestos debe cumplir ciertos aspectos como la resistencia, debe ser lo más liso posible y ángulos de salida.

A continuación, se realiza una selección del método para la fabricación del molde, teniendo 3 procesos principales y adecuados para estos conformados como es la impresión 3D, mecanizado CNC y embutición [24] [25] [26].

a. Impresión 3D

También llamada manufactura por adición, el cual es un conjunto de procesos los cuales producen objetos o componentes a través de la adición de un material en capas. Los plásticos y las aleaciones metálicas son los materiales que más se utilizan para este proceso.

La impresión 3D es muy utilizada para la fabricación de prototipos, componentes ligeros, productos con funcionalidades mejoradas, implantes médicos personalizados o con medidas estándar, herramientas, calibradores, patrones para fundiciones de metal y accesorios [27].



Figura 9. Proceso de impresión en 3D [28].

Características principales

- La complejidad de impresión no eleva el costo ya que está en función de las horas de impresión.
- No procesa ensamblajes
- Su fabricación mantiene aún una baja demanda en el mundo.
- No tiene un límite de diseño.

- No requiere de excesiva intervención manual.
- La fabricación es compacta y portátil ya que existen impresoras que son muy fáciles de trasladar.
- Se producen menos residuos.
- Se puede utilizar gran variedad de filamentos de materiales.
- El nivel de detalle y precisión es mucho más exacto, permitiendo que los algoritmos de programación no se limiten en mejoras.

b. Mecanizado CNC

Proceso que consiste en la realización de diversas actividades de corte, grabado, profundizado y rebaje, mediante herramientas giratorias con placas o dientes metálicos, permitiendo la eliminación de partes sobrantes de un componente el cual puede ser de distintos tipos de materiales como madera, acero, aluminio, bronce, plásticos técnicos, etc [29].

Este proceso puede ser controlado entre maquinaria convencional o CNC que tiene un control numérico llevado a cabo por un ordenador, teniendo una pantalla en lugar de manivelas para la regulación de los motores de fresado, haciendo que el proceso de conformado sea mucho más preciso permitiendo el paso a 3, 4 o 5 ejes de corte [29].

Para utilizar una fresadora CNC es importante crear un programa con la codificación o lenguaje que utiliza la máquina, ya sea manual o mediante un software CAM, para pasarla a la CNC la misma que efectúa las trayectorias de desplazamiento de los ejes de la maquina como es la velocidad para que el software de control empiece el fresado [29].



Figura 10. Proceso de Fresado CNC [30].

Características principales

- Mayor precisión y eficiencia en los procesos de corte
- Es capaz de maquinar diseños muy complejos con un acabado mínimo en errores
- Descenso en el número de residuos que genera
- Alta seguridad para el operario
- El tiempo de trabajo depende mucho en la complejidad del componente o accesorio deseado.
- El proceso de CNC es utilizado para ruedas dentadas y rectas, engranes, roscas de tornillos, moldes de laminado, moldes de inyección de plásticos, turbinas, bujes, rotores, troquelados, etc [31].
- Sus costos van dependiendo de las horas de trabajo.

c. Embutición

Es un proceso de fabricación tecnología el cual consiste en dar forma a una lámina metálica en una superficie no desarrollable, en este proceso ocurre una transformación del material ya sea en una forma cilíndrica o cónica de acuerdo al diámetro, teniendo en cuenta que el material de partida es un disco de diámetro, para este proceso se debe considerar factores como el juego del punzón y la matriz, radio de embutición, redondeo del punzón, velocidad de embutición, presión del pasador,, esfuerzo de embutición, etc. [26].

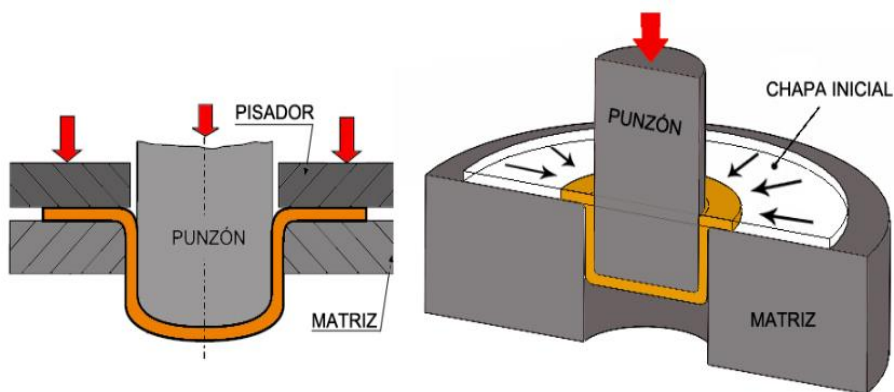


Figura 11. Proceso de embutición [32].

Características principales

- Producción continua con tiempos de fabricación mínimos en componentes con tolerancias exactas.
- Bajos costos en herramientas.
- Alta capacidad para la realización de embutición con cualquier tipo de metal incluyendo aleaciones exóticas.
- Alimentación oscilatoria la cual permite una producción múltiple para lograr mínimos desperdicios de materia prima [32].

1.3.4.6. Selección de alternativa de fabricación del molde

Las opciones para el proceso de fabricación del molde serán ponderadas de acuerdo con los criterios investigados en diferentes páginas y artículos científicos en los cuales se obtiene información acerca de cada proceso, sus características principales, ventajas y desventajas, así también los aspectos que se califican son analizados de acuerdo con las necesidades para la ejecución del presente proyecto técnico, definiendo la viabilidad para solucionar la problemática principal que se aborda [33].

Los valores de la ponderación serán del 1 al 3.

Siendo:

1 = *difícil, alto, malo, más de 10 horas de trabajo*

2 = *normal, medio, máximo 5 horas de trabajo*

3 = *fácil, bajo, bueno, máximo 3 horas de trabajo*

Tabla 5. Ponderación de opciones del proceso de fabricación para el molde

Característica	Opciones	Impresión	Mecanizado	Embutición
		3D	CNC	
Costo/Beneficio del proceso		1	2	1
Dificultad del proceso		2	2	2
Horas invertidas		1	1	2
Costo/Beneficio de material base		2	3	1
Acabado que se obtiene con cada proceso de fabricación		3	2	2
Disponibilidad de recurso humano		2	3	2
Toxicidad		1	2	2
Biodegradable		2	3	1
TOTAL		14	18	13

Descripción de la opción seleccionada para el proceso de fabricación del molde

La opción que se seleccionó de acuerdo con los parámetros calificados con un puntaje de 18, para el proceso de fabricación del molde es mediante el Fresado CNC ya que es uno de los procesos más utilizados para este tipo de maquinados y obtención de un componente con las características deseadas, así también destacando en que se maquina madera la misma que al ser sometida a un fresado y moldeado no será tóxica para el operario.

También este proceso estaca en la obtención de materia prima debido a que si se puede maquina madera que es el material base del molde, respecto también a costo beneficio que se tiene y su facilidad de adquisición en la materia prima.

1.3.5. Proceso de infusión al vacío

Este proceso de moldeo consiste en la creación de presión sobre un laminado ya sea plano o tenga una forma en particular, durante un ciclo de curado. Este proceso también presenta varias etapas o funciones como se las describe a continuación.

- Primero, remueve todo el aire acumulado entre las capas de los refuerzos.
- Segundo, compacta las capas del refuerzo pendiente una transmisión de fuerza, para brindar un laminado mucho más uniforme.

- Tercero, previene que la orientación del laminado cambie durante todo el proceso.
- Cuarto, disminuye la humedad.
- Quinto, optimización de las relaciones refuerzo-matriz, en los componentes de material compuesto [34].

a. Concepto general

Es una mejora a los procesos manuales realizados hasta la actualidad. Además, este proceso está siendo uno de los más utilizados para las diferentes industrias de producción, entre ellas la industria automotriz, ya que es un proceso que ha demostrado mejorar el resultado final de un componente moldeado (producto final), así también ahorrando grandes pérdidas de materia prima.

En este proceso la presión atmosférica es utilizada principalmente la compactación de las fibras colocadas en el molde, utilizando la diferencia de presiones que es la presión atmosférica y la presión de vacío y de esa manera extraer la resina [35].

Es una de las técnicas en la cual se realiza un molde y éste se lo debe cerrar con un film (plástico fino) y otros complementos de refuerzo que se deben colocar cuando el molde está limpio y seco (colocados a mano). En el momento que el molde este completamente cerrado la resina empieza a correr cuando una bomba de vacío empieza a funcionar, penetrando por toda la cavidad y dejando un laminado uniforme [7].

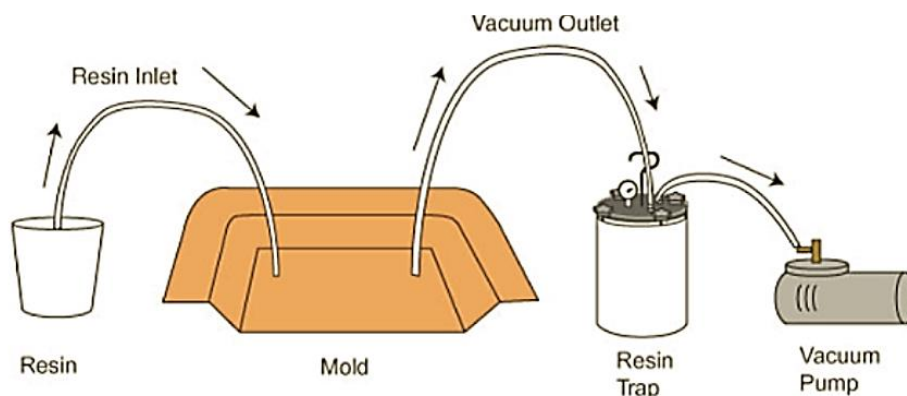


Figura 12. Esquema del proceso de infusión al vacío [36].

b. Vacío

Denominados a los estados que contienen presión de aire, encontrados por debajo de la presión atmosférica, pero también se entiende vacío total a la ausencia de presión

en absoluto. En este proceso de vacío la presión de compactación que se debe mantener en la mayoría de los casos está entre (19 y 20) *In. Hg*, tomadas desde la atmosférica, dando como dato la presión de compactación a la que el laminado está conformándose, es decir que en algunos casos industriales mucho más grandes se alcanza una presión absoluta igual a cero o de vacío total [34].

Los equipos que se utilizan para generar un vacío pueden ser:

- Extractores básicos para depresiones mínimas
- Bombas de vacío accionadas por motores eléctricos
- Como última tecnología los generados de vacío de aire comprimido.

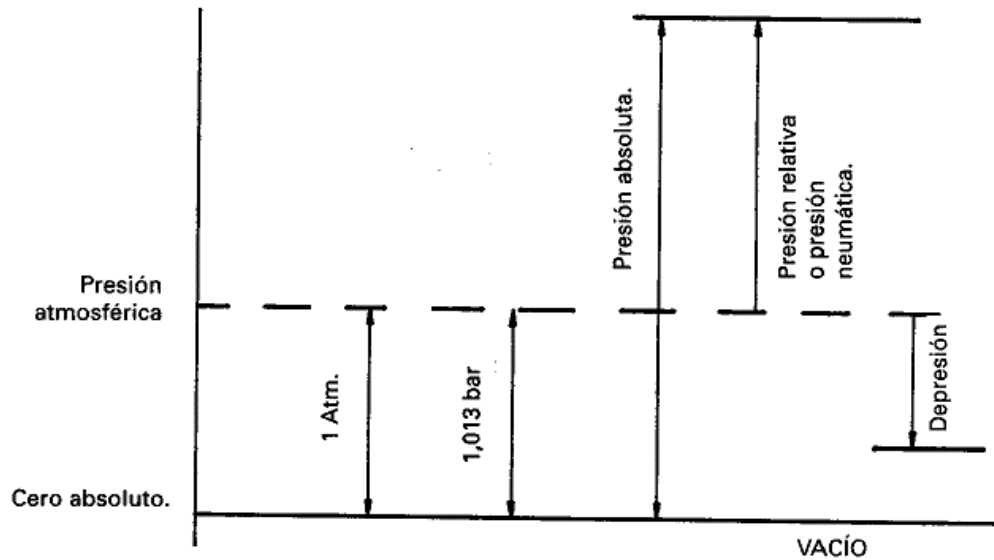


Figura 13. Presiones absolutas y elativas con relación a la Atmosfera [34].

En la Figura 14., se muestra cómo actúa al Vacuómetro y la presión que marca al momento de realizar el proceso de vacío, manteniendo una presión de compactación constante ya que si esta empieza a bajar el componente no tendrá uniformidad y empieza a adquirir bombas de aire.

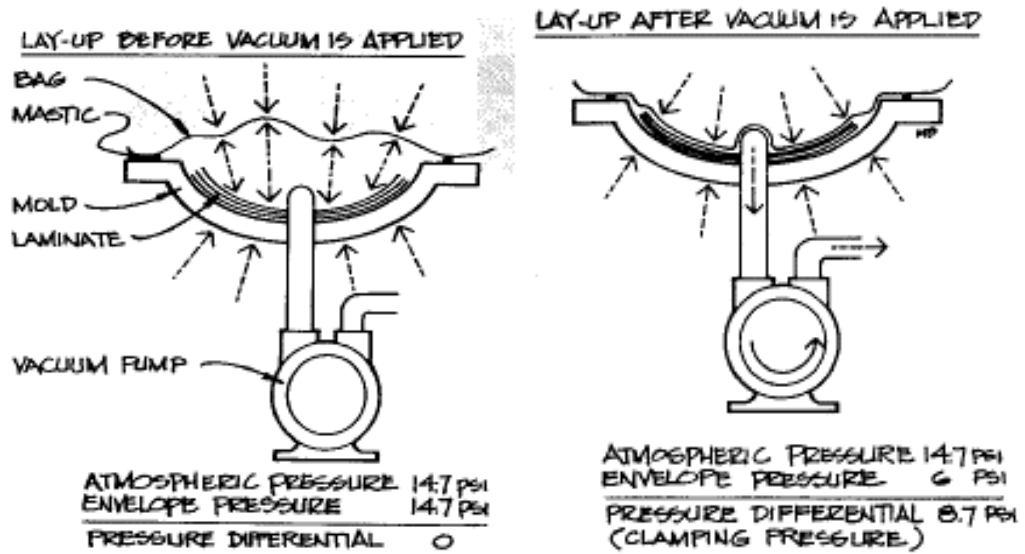


Figura 14. Marcación del vacuómetro durante el proceso de vacío [34].

Accesorio del sistema de vacío

a. Ventosa o topes

En este proceso los conectadores también llamados ventosas o topes juegan un papel muy importante en el proceso ya que son los encargados en sostener las mangueras de ingreso de resina y extracción de aire acumulado en la bolsa, además, conectan el sistema de extracción exterior ya sean bombas o generadores de vacío con la parte interior de la bosa. Estos pueden ser de distintos materiales empezando por metal hasta los más sencillo que son de caucho. Estos elementos deben ser seleccionados con mucho cuidado debido a que si una ventosa o tope tiene un defecto puede dañar todo el proceso [34].

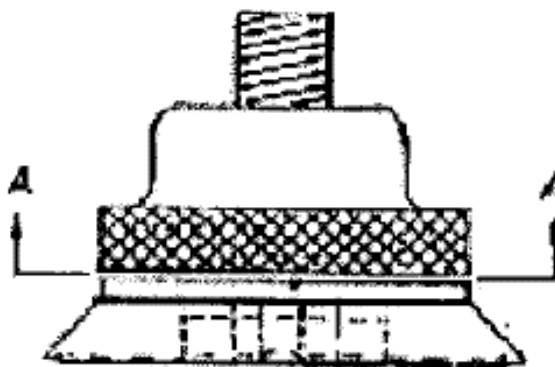


Figura 15. Representación de una ventosa o tope [34].

Aspectos generales

- La ubicación que estos accesorios deben ser colocados es en las zonas donde exista una mayor probabilidad que existan fallos de llegada de fluido o zonas ocultas [34].
- Las mangueras que van conectadas con el sistema deben ser de un diámetro acorde al volumen de aire que se va a extraer es decir si el laminado es grande el diámetro de las mangueras tendrá que ser mayor a 10 mm aproximadamente [34].

b. Vacuómetro

Es importante saber que el vacuómetro es el equipo que controla el nivel de vacío en la parte interior de la bolsa y las unidades que marca este equipo son los bares o milímetros de mercurio, en la parte interna de ciertas series de vacuómetros contienen glicerina, la cual sirve para proteger la aguja de algunas variaciones bruscas de movimiento [34].

Uno de los aspectos que se deben tener en cuenta, es que en cualquier tipo de vacuómetro ya sea seco o con glicerina en su interior, estos no están diseñados para trabajar a temperaturas mayores a 60°C, debido a los componentes internos que llegan a sufrir dilataciones, expulsando medidas erróneas en el nivel total [37].

1.3.6. Diseño del accesorio automotriz

Se partió de las medidas generales que tienen los autos en la actualidad ya que son muy importantes en el mundo carrocerero al momento de diseñar y construir un modelo principal o secundario como accesorios, en la Tabla 6, se muestra medidas de autos para la obtención de un promedio de sus medidas, las mismas que se utilizarán como referencia para la fabricación del accesorio externo automotriz (capo de entrada de flujo de aire) y diseñar un modelo específicamente universal, que se adaptará sin ningún problema a cualquier tipo de capo ya sean autos urbanos, deportivos, familiares, los datos son tomados de los carros más comerciales, con las marcas más vendidas en el mercado [38] [39].

Tabla 6. Medidas principales de autos para la obtención de un promedio de capo [38].

MODELO	LONGITUD (m)	ANCHO (m)	ALTURA (m)
Alfa Romeo Giulietta	4,35	1,80	1,47
Audi A3 Sportback	4,31	1,79	1,43
BMW Serie 1	4,33	1,77	1,42
Citroën C4 Cactus	4,17	1,73	1,48
Fiat Tipo	4,37	1,79	1,50
Ford Focus	4,38	1,83	1,45
Honda Civic	4,52	1,80	1,43
Hyundai i30	4,34	1,80	1,46
Kia Ceed	4,31	1,80	1,45
Kia Proceed	4,61	1,80	1,42
Lexus CT 200h	4,35	1,77	1,46
Mazda 3	4,47	1,80	1,47
Mercedes Clase A	4,42	1,98	1,44
Opel Astra	4,37	1,81	1,49
Peugeot 308	4,25	1,80	1,47
Renault Mégane	4,36	1,81	1,45
Seat León	4,28	1,82	1,46
Skoda Scala	4,36	1,79	1,47
Subaru Impreza	4,46	1,78	1,48
Toyota Corolla	4,33	1,76	1,48
Volkswagen Golf	4,26	1,79	1,49
Volvo V40	4,37	1,78	1,42
Audi Q3	4,48	1,86	1,59
Audi Q3 Sportback	4,50	1,84	1,56
BMW X1	4,44	1,82	1,60
BMW X2	4,36	1,82	1,53
Citroën C5 Aircross	4,50	1,97	1,69
Cupra Ateca	4,36	1,84	1,60
Dacia Duster	4,34	1,80	1,69
Ford Kuga	4,53	1,84	1,70
Hyundai Tucson	4,48	1,85	1,65
Infiniti QX30	4,43	1,82	1,52
Jaguar E-Pace	4,41	1,90	1,65
Jeep Compass	4,40	1,88	1,64
Jeep Wrangler Unlimited	4,88	1,89	1,88
Kia Niro	4,36	1,81	1,54
Kia Sportage	4,48	1,86	1,64

MODELO	LONGITUD (m)	ANCHO (m)	ALTURA (m)
Kia XCeed	4,40	1,83	1,40
Land Rover Range Rover Evoque	4,37	1,98	1,63
Lexus UX	4,50	1,84	1,54
Mazda CX-30	4,40	1,80	1,53
Mazda CX-5	4,56	1,84	1,67
Mercedes GLA	4,42	1,80	1,49
Mitsubishi ASX	4,30	1,77	1,62
Mitsubishi Eclipse Cross	4,41	1,81	1,69
Nissan Qashqai	4,38	1,81	1,59
Opel Grand Land X	4,48	1,86	1,61
Peugeot 3008	4,45	1,84	1,62
Renault Kadjar	4,45	1,84	1,61
Seat Ateca	4,36	1,84	1,60
Skoda Karoq	4,38	1,84	1,61
SsangYong Korando	4,45	1,87	1,62
Subaru XV	4,45	1,78	1,57
Suzuki S-Cross	4,30	1,79	1,58
Toyota C-HR	4,36	1,80	1,56
Volkswagen Tiguan	4,49	1,84	1,63
Volvo XC40	4,43	1,85	1,65
Abarth 500	3,67	1,63	1,48
Citroën C1	3,47	1,62	1,46
Fiat 500	3,57	1,63	1,49
Fiat Panda	3,65	1,64	1,55
Ford Ka+	3,94	1,70	1,52
Hyundai i10	3,67	1,66	1,50
Kia Picanto	3,60	1,60	1,49
Mitsubishi Space Star	3,80	1,67	1,51
Opel Adam	3,70	1,72	1,48
Opel Karl	3,68	1,60	1,48
Dacia Logan Break	4,49	1,73	1,55
Ford Focus Sportbreak	4,67	1,83	1,48
Honda Civic Tourer	4,54	1,77	1,48
Hyundai i30 CrossWagon	4,49	1,78	1,50

MODELO	LONGITUD (m)	ANCHO (m)	ALTURA (m)
Kia Ceed Tourer	4,60	1,80	1,47
Mercedes CLA Shooting Brake	4,63	1,78	1,44
Renault Clio Sport Tourer	4,27	1,73	1,45
Toyota Corolla Touring Sports	4,65	1,79	1,45
PROMEDIO	4,25	1,78	1,53

1.3.6.1. Descripción de diseños de capos de entrada de flujo de aire

En el mercado existe una gran variedad de diseños de cubiertas o capos de entrada de flujo de aire para autos con diseños personalizados (autos seleccionados) y universales. A continuación, se muestran tres modelos de cubiertas, las mismas que se tomaron en cuenta para la modelación de un diseño propio, que cumplió con aspectos como, el tamaño y peso.

a. Cubierta de entrada de flujo de aire recta de (ABS)

El diseño que se puede observar en la Fig. 16, tiene rasgos rectos, los cuales son personalizados para autos con un capo recto o que no sea un grado de inclinación mayor a 10° , además es fabricado con un material ABS y malla del mismo material muy comprimido, que a pesar de que es un diseño solamente decorativo, hará que el aire golpee con más fuerza el accesorio.



Figura 16. Cubierta de aire opción 1 [40].

b. Cubierta de entrada de flujo de aire redondeada (ABS)

El diseño que se puede observar en la Fig. 17, tiene rasgos curvos, lo que permitirá que el accesorio se pueda colocar en cualquier tipo de capo debido a sus grados de inclinación, con medidas estándares universales, fabricado con un material ABS y tres soportes en la apertura de entrada de aire y detalles marcados.



Figura 17. Cubierta de entrada de flujo de aire, opción 2 [41].

c. Cubierta de entrada de flujo de aire con filamentos redondeados (Fibra de carbono)

El diseño que se puede observar en la Fig. 18, tiene rasgos curvos, lo que permitirá que el accesorio se pueda colocar en cualquier tipo de capo debido a sus grados de inclinación, con medidas universales, fabricado con un material de fibra de carbono y tres soportes en la apertura de entrada de aire y detalles marcados.

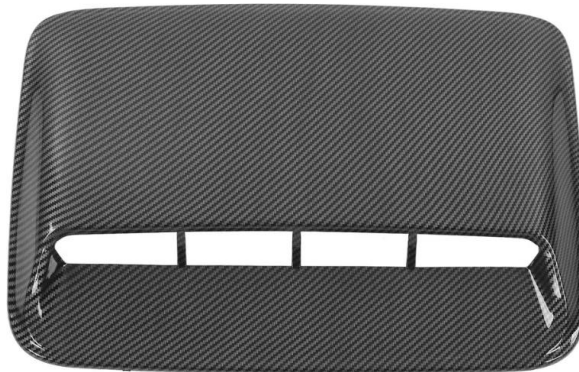


Figura 18. Cubierta de entrada de flujo de aire, opción 3 [42].

1.3.7. Descripción general del proceso de infusión al vacío

El proceso de infusión al vacío tiene diferentes pasos que son muy importantes para un conformado uniforme, ya que si se llega a omitir uno de ellos puede causar problemas como fugas, laminado con discontinuidades, tiempo de corrido mucho más

largo, etc., es por ello que a continuación se redactan los pasos necesarios para el proceso [43].

- 1) Modelar en un programa CAD el accesorio externo automotriz, en base a los diseños universales que existen en el mercado, con eso de obtuvo un diseño con las propiedades que se muestran en la Figura 19.



Figura 19. Diseño de accesorio externo automotriz y propiedades generales.

- 2) Obtener un molde del accesorio (ventilador universal para entrada de aire) que se desea laminar como se observa en la Fig. 20., éste puede ser fabricado en madera, espuma, PLA o metal.

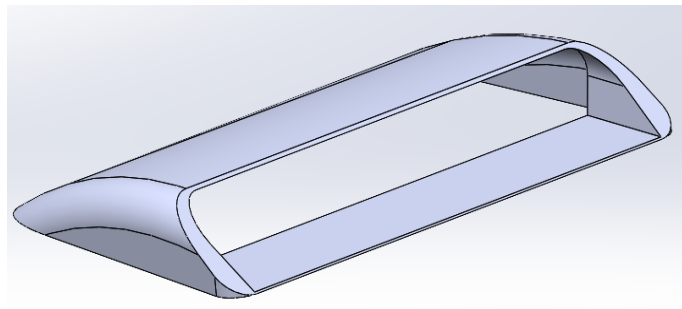


Figura 20. Ventilador universal para entrada de aire.

- 3) Preparar todos los materiales de refuerzo para cerrar por completo el molde, acompañada con la fibra sintética que se va a utilizar, ya sea de vidrio o carbono [43].

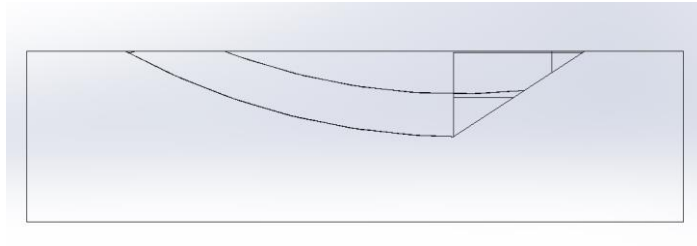


Figura 21. Molde de ventilador universal para entrada de aire.

- 4) Colocar las capas de los materiales que serán de refuerzo sobre el molde nombrado en el primer paso. Fijar las capas de refuerzo y la fibra sintética a la base o forma que tiene el molde, teniendo en cuenta que no deben quedar zonas arrugadas, para que la resina no se concentre en las mismas [43].
- 5) Colocar la tela desmoldante, la cual ayuda a la fácil separación de la manguera o tubos de entrada de resina, así mismo funda de vacío que ayudará a salir con facilidad el laminado.
- 6) Colocar o realizar los puntos de entrada y salida de resina que serán colocados teniendo en cuenta la dirección ya sea axial o longitudinal dependiendo la forma del accesorio [43]. Los puntos de entrada pueden ser uno o más, pero si es más de uno se debe tener en cuenta que estos sean secuenciales, como se observa en la Fig.21.
- 7) Instalar el sistema de extracción (vacío), que conforma una bomba de vacío que es conectada al punto de salida (los puntos de salida dependen mucho de los puntos de entrada), como se puede observar en la Fig.22.
- 8) Colocar la funda de vacío, haciéndole al molde hermético cuando se lo sella por completo con Tacky tape (cinta chicle), para que el momento de encender la bomba al vacío, ésta absorba todo el aire existente debido a la diferencia de presiones entre todo el sellado del molde y el aire que está a una presión atmosférica, como efecto de esto se obtendrá un molde totalmente comprimido, permitiendo que la resina empieza a correr, como se observa en la Fig.22. [43].

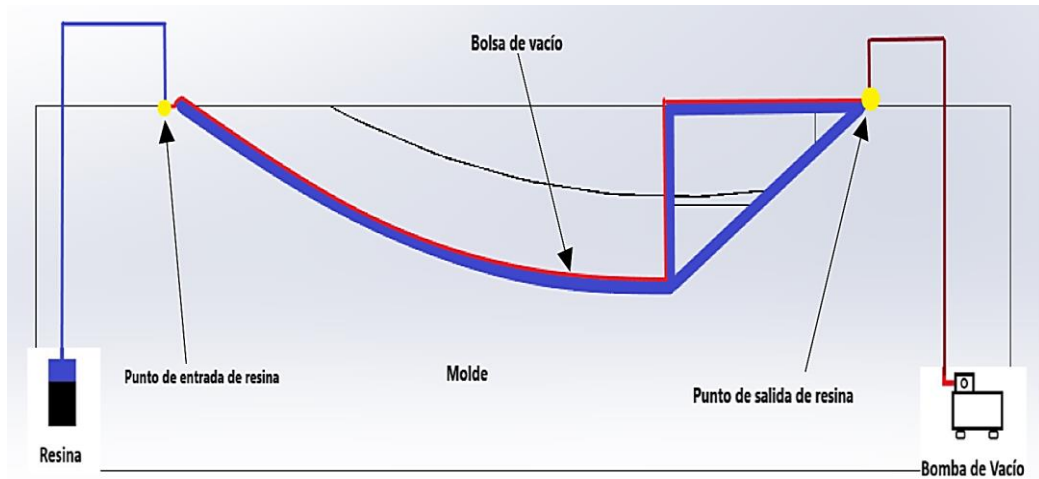


Figura 22. Sistema de vacío.

Nota: Revisar constantemente el sistema para asegurarse que no existe ninguna fuga.

- 9) Abrir el punto de ingreso de la resina, impregnando toda la estructura para que la resina pase a través de la fibra del material de refuerzo debido a la diferencia de presiones y la resina empieza a correr por todo el molde, como se observa en la Fig.23. Continuando el proceso hasta que la resina logre fluir por todo el molde, indicando que el laminado está finalizado, para después pasar al proceso de curado [43].

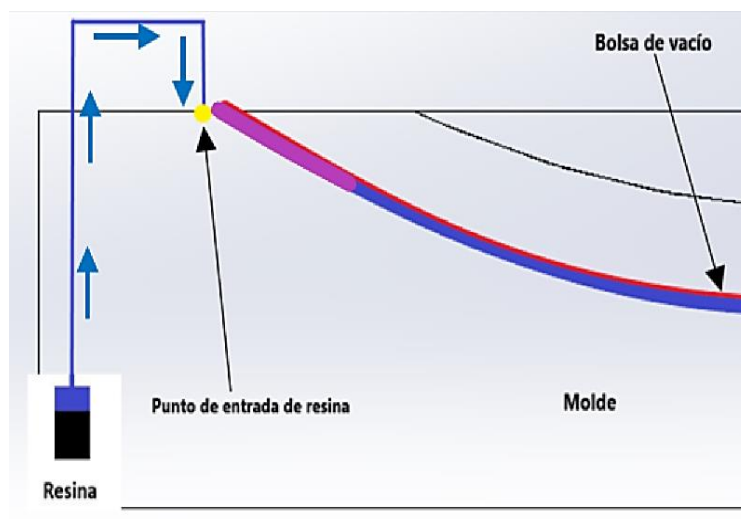


Figura 23. Entrada de resina.

- 10) El proceso de curado natural es durante 24 horas a temperatura ambiente y después de desmoldar el componente o accesorio, en un horno industrial curar de 30° a 80°C por mínimo 2 horas.

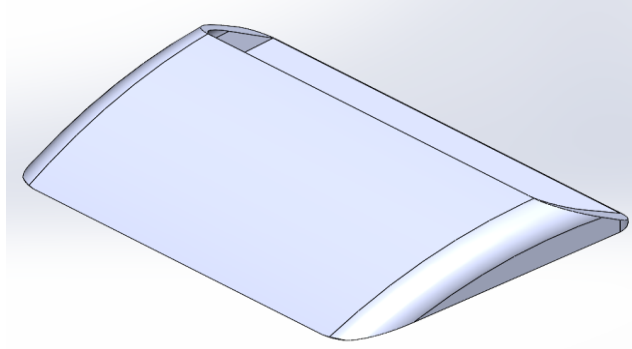


Figura 24. Proceso de desmoldeo y curado finalizado.

1.3.7.1. Características principales

- Este proceso permite un mejor acabado de componentes o accesorios que se quieren fabricar, además de brindar un conformado reforzado, permitiendo que las propiedades mecánicas del resultado sean mucho más altas [35].
- Ideal para el conformado/laminado de componentes o accesorios con diferentes formas o grandes.
- Brinda una reducción de materia prima la cual al ser realizada a mano tiende a desperdiciarse, siendo una gran pérdida para la empresa o compañía [35].
- Reducción considerable de sustancias volátiles en general que se emiten los compuestos orgánicos ya que es un proceso de moldeo cerrado.

1.3.7.2. Flujo del fluido de la resina

La resina es un fluido tixotrópico dependiente del tiempo y cuando corre por telas de refuerzo y por ende de la fibra también, se la considera como un flujo no newtoniano, debido a que la resina se debe mezclar con un endurecedor para su reacción endurecedora, además su viscosidad llega a cambiar cuando una fuerza es aplicada y por lo general en los refuerzos que se utiliza junto con los materiales compuestos son compuestos por hilos, los cuales ocasionan que los mismos refuerzos sean porosos y sean heterogéneos, además el flujo de la resina se rige con el lecho de fibras que son moldeadas por la Ley de Darcy [35].

1.3.7.3. Parámetros que intervienen en el proceso de infusión al vacío

Los parámetros importantes que se deben tomar en cuenta para este proceso son:

a. Ley de Darcy

Esta ley facilita el cálculo matemático del avance que va a tener el flujo de la resina, la misma que se asocia con la velocidad del flujo y el gradiente de presiones al interior del medio poroso. La ley ayuda a la optimización de variables que llegan a intervenir en la estructura del proceso, como es el tiempo de llenado y el grado de vacío y las ubicaciones de los puntos de ingreso, salida y ventilación. La Ecuación 1, indica las variables que intervienen en esta ley [37].

$$V = -\frac{K}{\mu} * \frac{\partial P}{\partial x} \quad (1)$$

Donde:

V = velocidad de la resina

μ = viscosidad de las resina

ΔP = gradiente de presión

$[K]$ = permeabilidad de la fibra

b. Gradiente de presión

Para el cálculo se debe saber que es la diferencia de presiones que se va a tener al momento de realizar el proceso, las presiones que se tomarán en cuenta serán la inicial y la presión en el punto más bajo del molde, obteniendo el siguiente análisis [35].

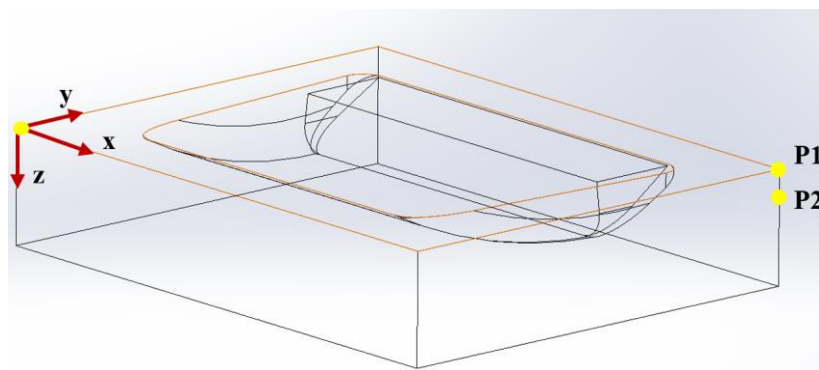


Figura 25. Puntos de presiones a analizar.

Debido a que el fluido tendrá las mismas propiedades para todo el molde se tomaran en cuenta dos condiciones, que son:

- a) El fluido será imprescindible es decir que la densidad no va a variar.

b) La temperatura es constante [44].

La presión de la atmosfera es igual a uno, $P_{atm} = 1atm$ entonces partiendo de eso:

$$P = \rho gh \quad (2)$$

Donde:

$\rho = \text{densidad}$

$g = \text{gravedad}$

$h = \text{altura}$

Partiendo de la Ec.2, la presión va a variar solamente con respecto a z que será la altura y tenemos un diferencial.

$$\frac{dP}{dz} = -\rho g$$

Nota: El signo necesario representa la dirección al componente vertical z [44].

Entonces se despejó el diferencial (dz), se deberá integrar la ecuación:

$$\text{Gradiente} \leftarrow \Delta P = dP = -\rho g dz$$

También se puede representar con ΔP , entonces como el análisis se lo va a realizar con dos presiones se tomarán en cuenta que la diferencia de presiones será $P1$ y $P2$.

$$\int_{P1}^{P2} dP = - \int_{z1}^{z2} \rho g dz$$

$$P2 - P1 = -\rho g \int_{z1}^{z2} dz$$

$$P2 - P1 = -\rho g(z2 - z1)$$

Entonces, z_1 es el punto de origen por ende es cero y que z_2 va hacia abajo por ende es negativo.

$$P2 - P1 = -\rho g(-z_2)$$

$$P2 - P1 = \rho g z_2$$

Finalmente tienen $P1 = 1atm$, entonces tendremos:

$$P_2 = P_1 + \rho g z_2 \quad (3)$$

Es importante tener en cuenta que en el proceso de VARTM (Vacuum Assisted Resin Transfer Molding) por sus siglas en el inglés o proceso de infusión al vacío se debe tomar en cuenta los cambios de espesores del refuerzo con relación a la presión de la resina que se va a utilizar, la variación de la permeabilidad y la porosidad con relación a la fracción de volumen de la fibra. En la Ec. 4, se presenta la fórmula de la Ley de Darcy modificada bajo los parámetros del flujo de la resina [2] [44].

$$\Delta * \left(\frac{h(x,t) * K(h)}{h_0(x) * u} * \Delta P \right) = \frac{h(x,t)}{h_0(x)} \quad (4)$$

Donde:

$K(h)$ = permeabilidad dependiendo el espesor h

$h(x,t)$ = espesor del refuerzo dependiendo de la posición x y el tiempo (t)

$h_0(x)$ = espesor inicial del refuerzo

Cuando se lamina con fibras tejidas que son considerada como un refuerzo heterogéneo por ende se producen poros de diferentes tamaños, como se puede observar en la figura

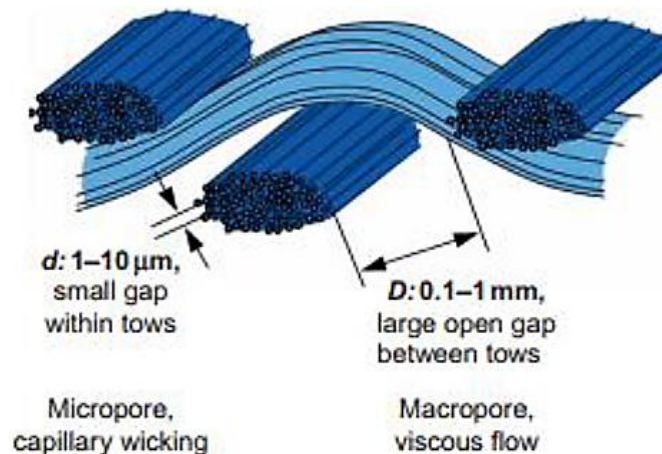


Figura 26. Características sobre los tamaños de poros en fibras de refuerzo [35].

Es importante tener en cuenta que para la diferencia de presiones que tomará en cuenta la presión del ambiente la misma que es 1 atm y la presión de compactación, teniendo como resultado la Ec.5.

$$\Delta P = P_1 - P_2 \quad (5)$$

c. Permeabilidad del material/refuerzo (K)

Es una medida la cual indicará la facilidad con la que el fluido transcurrirá a través de la fibra tejida, bajo la influencia de la diferencia de presiones, una vez obtenida la presión de compactación y la velocidad en la dirección X, ya se puede llegar a calcular el valor de permeabilidad el cual tendrá como unidad (m²), partiendo de la Ley de Darcy, brindando una fórmula que relaciona la velocidad y la presión de compactación, como se puede observar en el Ec. 1, [35].

$$V = -\frac{K}{\mu} * \frac{\partial P}{\partial x} \rightarrow K = \frac{V * \mu * L}{\Delta P} \quad (6)$$

Donde:

V = velocidad de la resina

K = permeabilidad de la fibra

μ = viscosidad de la resina

L = distancia entre el canal de entrada y salida de la resina

ΔP = diferencia de presiones

Condiciones:

- Si la permeabilidad de los refuerzos es alta, la fluidez de la resina será más rápida.
- Si la permeabilidad es menor o baja, la resina tiende a generar más resistencia a la fluidez [1] [44].
- Es medible en estado saturado (impregnación en estado líquido para después calcular la variación de presiones y velocidades de flujo) y no saturado (una vez seca la preforma es colocada en el molde, para después anotar los datos de la distancia del frente que tiene el flujo) [1].

d. Fracción de volumen de la fibra

Se trata de una relación la misma entre el volumen de la fibra y el volumen total de toda la estructura del accesorio o componente. Esta fracción intervendrá de forma directa en las propiedades mecánicas del resultado final. La resistencia a la tracción,

cizallamiento y compresión de las estructuras en materiales compuestos es directamente proporcional a la fracción de volumen de la fibra [35].

En el proceso de infusión la fracción máxima teórica que se utiliza para la compactación de un laminado está dada y limitada por el 50-60% [35], pero la fracción real tiende a ser inferior al límite teórico por la misma intervención de las diferencias de espesores que se encuentran dentro del molde cerrado, es por esa razón que es recomendable utilizar una relación del 60/40 para un proceso de infusión al vacío, siendo el 60% del volumen del material (fibra) y el 40% de resina [35].

e. Velocidad de laminado

Para obtener la velocidad a la que fluirá la resina por el laminado se deberá tener en cuenta la distancia entre el tope de entrada y salida de la resina y el tiempo final que la resina tarda en pasar por todo el conformado, como estos datos son conocidos se puede llegar a calcular analíticamente la velocidad final con la Ec. 7.

$$v = \frac{d}{t} \quad (7)$$

Donde:

d = distancia entre el tope de entrada y salida de resina

t = tiempo final del laminado

Condiciones

- La velocidad baja cuando aumenta el carbonato de calcio (CaCO_3).
- Cuando mayor es la cantidad de CaCO_3 en la resina, la permeabilidad del esfuerzo de la fibra ya sea de vidrio o carbono es menor.
- La velocidad de laminado depende de la viscosidad de la resina Epoxy, debido a la permeabilidad que tendrán las capas del laminado y por el gradiente de presión el mismo que actuara sobre la resina de infusión.

f. Tiempo de laminado

Es el tiempo que se tarda la resina en recorrer por todo el molde, este se irá tomando desde que la resina empieza a fluir con el molde el cual tendrá la forma que se laminará,

hasta el momento que la resina llega al tope con la manguera de absorción de resina o también llamada trampa de resina [44].

g. Presión de compactación

Basada principalmente en la presión atmosférica ya que sirve para que se produzca la presión de compactación contra las fibras y los materiales complementarios para el laminado, es decir que la diferencia de presiones entre la de vacío y atmosférica son necesarias para comprimir la fibra con la resina, y que la misma fluya por todo el molde, es importante tener en cuenta que ésta presión tiene que ser constante y es un dato que se obtiene en el momento que se está realizando el laminado, el vacuómetro marca este valor [44] [7].

Nota: Cuando esta presión se mantiene constante durante todo el proceso, quiere decir que no existió ninguna fuga en todo el sistema, sin embargo, se debe estar pendiente para que si en un caso cae la presión se debe encender la bomba de vacío.

1.3.7.4. Kit de infusión al vacío

Es importante que todo el sistema de infusión al vacío conste con los siguientes materiales que se detallas a continuación, para obtener un laminado lo más compactado posible [45]:

1. Deposito para recoger el sobrante de resina con manómetro de vacío
2. Válvulas
3. Conectores o topes para las mangueras de entrada y salida de resina
4. Mangueras
5. Recipientes donde se realizarán las mezclas correspondientes (vaso de precipitación)
6. Bomba de vacío de alto rendimiento
7. Guantes de látex, mascarilla, gafas.
8. Cinta sellante (Butilo)
9. Manguera espiral para la salida de la resina
10. Funda de vacío

11. Plee ply
12. Adhesivo en spray
13. Malla distribuidora

1.3.6. Obtención de la cantidad de resina con respecto al peso de la fibra

Es importante calcular la cantidad de resina que se va a utilizar para que de esa manera no exista una pérdida de recursos, además la cantidad de endurecedor va en relación con la cantidad de resina que se va a utilizar [15].

- a. Fórmula para calcular la cantidad de resina en gramos (g) [15]

$$C_R = \frac{100}{27} * P_{fibra} \quad (8)$$

- b. Fórmula para calcular la cantidad de endurecedor en gramos (g) [15]

$$C_E = \frac{27}{127} * P_{fibra} \quad (9)$$

Donde:

P_{fibra} = peso de la fibra (g)

1.4. Objetivos

Objetivo general

Diseñar y construir un componente automotriz bajo el proceso de infusión al vacío con material compuesto de matriz polimérica.

Objetivos específicos

- Elaborar un molde automotriz para la obtención de un componente igual, mediante la realización del proceso de infusión al vacío.
- Construir el accesorio automotriz externo de material compuesto de matriz polimérica con fibra sintética.
- Obtener los parámetros que intervienen en el proceso de infusión al vacío para la obtención del componente automotriz.
- Realizar ensayos de tracción-flexión del accesorio externo obtenido.



CAPÍTULO II





METODOLOGÍA

2.1. Materiales





Para la parte constructiva del proyecto técnico se utilizan diversos materiales como se muestra en la Tabla 7.






Tabla 7. Descripción de materiales.

NOMBRE	DETALLE	FOTOS
Fibra de carbono	<p>Dimensiones: 1.27 m de ancho y 1 m de largo</p> <p>Tipo: 3K Twill Quintum (3000 filamentos por hebra de hilo).</p> <p>Peso: 200 g/m² tejida</p> <p>Tejido más utilizado en la industria automotriz, marina, aeronáutica, aeroespacial, etc.</p> <p>Esta fibra facilita el moldeo en geometrías complejas que se deseen laminar.</p> <p>Al pasar la resina las fibras tienden a humectarse rápidamente.</p>	
Fibra de vidrio	<p>FIBERGLASS (americana) de 2 oz/yarda cuadrada, 38" de ancho, 0.10 mm de espesor, tejida.</p> <p>32 x 38 tejido liso</p> <p>Este tejido es fácil de manejar y además proporciona un excelente acabado. Es altamente adherente y cura a una barrera protectora transparente.</p> <p>Compatibilidad de resina 241, tela de 2 oz, es compatible con resinas de poliéster, vinil éster y epoxi.</p>	


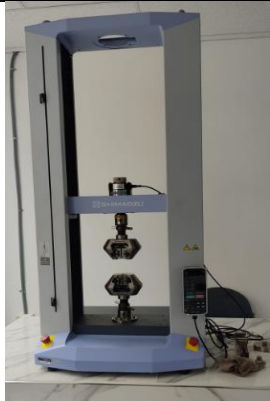

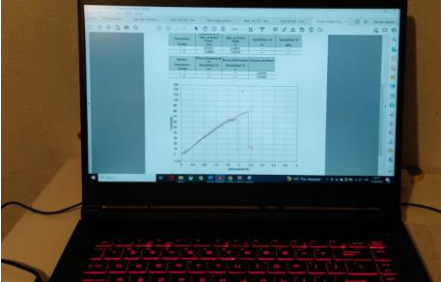

NOMBRE	DETALLE	FOTOS
Resina epoxi	<p>Marca: Aeropoxy Resina: PR2032 Endurecedor: PH3660 Una cantidad de 1 galón Contiene una densidad de $\rho = 1.16 \text{ g/cm}^3$</p>	
Bomba de vacío	<p>QEQUALITY UTA Modelo: QVP-600 Potencia: 0.75 HP Caudal: $8.2 \text{ m}^3/\text{h}$ Equipo que extrae gases del interior de diferentes sistemas o recipientes, tuberías o de diferentes lugares donde se necesite reducir la presión interior de un sistema.</p> <p>Bomba de vacío de CIDFAE Marca: AINSA Potencia: 9 HP Diseñada específicamente para el área de materiales compuestos, con un sensor el mismo que mantiene una presión de compactación constante durante todo el proceso, permitiendo un laminado uniforme. Este sistema consta con sensores los cuales al detentar una caída de presión en el proceso de laminado se enciente y mantiene la presión de compactación,</p>	 <p style="text-align: center;">UTA</p>  <p style="text-align: center;">CIDFAE</p>
Absorbedor de resina con un vacuómetro	<p>Recipiente donde se recolectará la resina sobrante, dejando el laminado sin excesos de resina, además se podrá ir inspeccionado la presión de compactado que sea constante en el vacuómetro</p>	 <p style="display: flex; justify-content: space-around;"> UTA CIDFAE </p>

NOMBRE	DETALLE	FOTOS
	<p>el cual mide presión relativa negativa, teniendo en cuenta que si baja la presión existen fugas de aire.</p>	
<p>Manguera de entrada y salida de resina</p>	<p>Serán conectadas a las válvulas principales de la bomba al recipiente recolector, sistema y recipiente con resina y una entre la bomba de vacío y el recolector.</p>	
<p>Tomas de vacío</p>	<p>Soportes donde irán incrustadas las mangueras al sistema para que tengan mucha más precisión al momento de insertar la resina y absorber la resina y zonas específicas.</p>	
<p>Sellante (taki tape)</p>	<p>Masilla de cierre para bolsas de vacío con resistencia térmica de hasta 140 °C. Rollo de 12 mm x 2.5 mm x 15 m lineales. Puede ser utilizada para toda superficie y moldes. Utilizada para el sellado a partir de un cierre hermético entre la bolsa de vacío y la superficie cualquier molde composite. Pueden ser empleadas para unir 2 bolsas de vacío e incluso para sellar particiones en moldes.</p>	
<p>Vaso de precipitación</p>	<p>Recipiente donde permanecerá la resina epoxi ya preparada con el endurecedor para que empiece el laminado.</p>	

NOMBRE	DETALLE	FOTOS
Manguera de distribución	Manguera anillada, la cual se colocará en un extremo de todo el laminado unida con el tope y la manguera de ingreso de resina, para que la resina se distribuya de manera uniforme.	
Peel ply	Tejido de 100% poliamida de alta temperatura para adaptar sobre los laminados conformados con resinas termoestables y fibras de refuerzo con el fin de obtener superficies curadas rugosas, una vez separado del laminado curado. Ancho del rollo: 100 cm Gramaje: 80 gr/m ² Temperatura máxima de trabajo: 185 °C.	
Malla distribuidora	Permite que la resina se distribuya y se observa de manera uniforme por todo el sistema.	
Bolsa para vacío	Se caracteriza por tener la elasticidad más alta de todos los films de nylon y está diseñada para el curado de piezas hasta 120 °C, laminadas con cualquier tipo de fibra, con geometrías complejas, ya que se adapta y se adhiere a cualquier tipo de forma. Está recomendada para la fabricación de piezas con resina epoxi, poliéster, vinil éster y BMI. Esta bolsa no se ve afectada por entornos muy secos y conserva su elasticidad	

NOMBRE	DETALLE	FOTOS
	previniendo roturas y fugas de vacío que afectarían a la calidad de la pieza.	
Cera	Ayuda en la limpieza y que desmoldeo del laminado final, aislando toda la superficie.	
Waype	Facilita en la limpieza de toda el área en donde se va a trabajar, superficies y molde.	
Alcohol	Facilita la limpieza de toda la aérea de trabajo, para que no existan escorias acumuladas.	
Balanza digital	Facilita las cantidades exactas de la cantidad de resina y endurecedor que anteriormente ya se calculan.	
Pinzas	Permiten en cerrado completo del sistema al momento de colocarlas en las mangueras de entrada y salida de reina.	

NOMBRE	DETALLE	FOTOS
Madera/molde	<p>Bloque de madera de laurel para la elaboración del molde del accesorio automotriz.</p> <p>Molde curado en su totalidad, pasando por el proceso de maquinado, lijado y pulido, así también aplicado una capa de cera desmoldante blanca y desmoldante líquido.</p>	
Fresa CNC	<p>Donde se maquina el molde de madera del accesorio externo automotriz con ayuda técnica del Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana (CIDFAE), en el área de construcción y maquinado, para poder laminar mediante el proceso de infusión al vacío.</p>	
Adhesivo en aerosol	<p>Cuando un lamiado tiene más de una capa, es importante utilizar un adhesivo al momento de colocar la siguiente capa de fibra para obtener una mejor compactación al momento de que la resina fluya.</p> <p>Marca: ECO-MIST/Alba Chem</p> <p>Tipo: Adhesive</p> <p>N°: 1782</p>	

NOMBRE	DETALLE	FOTOS
Cortadora laser	Maquina utilizada para el corte y obtención de las probetas del laminado con fibra de vidrio y fibra de carbono, de acuerdo con las dimensiones que indican las normas ASTM.	
Maquina universal para ensayos	Maquina donde se realizarán las pruebas de Tracción, Flexión de las probetas obtenidas.	
Horno de curado	Maquina donde se curarán los laminados para activar todas las microestructuras del material, y termine por compactarse el material compuesto, teniendo en cuenta que una temperatura adecuada de curado es de 30 a 80 grados centígrados mínimo por 2 horas en materiales compuestos con fibras sintéticas o naturales.	
Computadora	Equipo indispensable para el desarrollo del proyecto técnico y la visualización de los resultados obtenidos en las pruebas de tracción, flexión.	
Equipo de protección	<p>Son indispensables en todo el proceso ya sea de maquinado y laminado, ya que puede ocurrir algún accidente durante el proceso.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mandil • Guantes de látex e industriales 	

NOMBRE	DETALLE	FOTOS
	<ul style="list-style-type: none"> • Casco • Gafas • Mascarilla 	

2.2. Métodos

El trabajo de investigación se realizó en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad “Técnica de Ambato”, además se utilizaró los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, como es el de Desarrollo e Innovación, en el área de materiales compuestos, para el desarrollo de la construcción, estudio y pruebas. Se obtuvo un enfoque mixto es decir cuantitativo y cualitativo. Cuantitativo debido a que se considera en su mayoría práctico, ya que se realizó un laminado del accesorio automotriz y parámetros que intervienen en el proceso como la velocidad, presión, tiempo, peso, tamaños, etc., y cualitativo debido al estudio de las propiedades de los tipos de resinas, fibras, etc.

El diseño del accesorio automotriz se tomó en cuenta en los diferentes modelos que existen en el mercado sobre capos de entrada de flujo de aire y tomando en cuenta las medidas promedio de autos en general se obtuvo un diseño universal con medidas que estándares, estos accesorios podrán ser utilizadas para cualquier carrocería, el molde se realizó de acuerdo al diseño del accesorio para el proceso de fresado CNC, con apoyo técnico del Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana (CIDFAE), para la laminación que se utilizó fibras de carbono por medio del proceso de infusión al vacío, además se utilizó la bomba de vacío, la misma que se encuentran en el laboratorio de Innovación y Desarrollo de la FICM y en los laboratorios de materiales compuestos en CIDFAE en la base de Quito, a diferencia de la resina, cintas, filtro film perforado, agente endurecedor y fibras se adquirió fuera de la institución [37] [46].

Los beneficios que brinda el proceso de infusión son los laminados uniformes con acabados lisos y resistentes, teniendo un menor contacto de los obreros con las resinas las cuales pueden llegar a ser perjudiciales para la salud con el pasar del tiempo. Se evitó el desperdicio de resina y fibras, salpicaduras y componentes o accesorios impregnados de resina [47] [48].

La fibra que se utilizó para este conformado fue la fibra de carbono para el capó de entrada de flujo de aire y fibra de vidrio para un laminado plano y como matriz, las resinas las cuales son muy importantes para este proceso que es la resina poliéster que se utilizará para laminados rectos para el entendimiento del proceso y pruebas y la epoxi para la laminación del accesorio automotriz debido a su elevado costo económico, no puede existir errores al momento del conformado original [49].

Como resultados finales se obtuvo los parámetros principales del proceso como la velocidad, el tiempo de laminado, cantidades justas de resina para un cierto tamaño de molde y presión a la que se debe realizar la infusión, para un accesorio o componente automotriz el cual se obtendrá como resultado final con una buena distribución de la resina por toda la zona del molde en el tiempo de conformado [50].

A continuación, también se redactan los métodos que se aplicaran en este proyecto técnico.

2.2.1. Bibliográfico

Utilizado durante todo el proceso del proyecto técnico debido a que se estuvo constantemente recopilando información de fuentes verídicas o confiables como fue de libros, artículos científicos, tesis, páginas web, enciclopedias, incluso videos sobre el proceso que se aplicó, etc., gracias a los mismos se pudo obtener las bases principales y conceptos en general para la realización del trabajo.

2.2.2. Experimental

Es uno de los métodos de gran utilidad en el desarrollo de todo el trabajo técnico, ya que para el entendimiento de cómo funcionaba el sistema de infusión al vacío y el orden que debía tener las fibras, los materiales complementarios, mangueras, bomba, resina, sellado de todo el sistema, etc., se hicieron varias pruebas de funcionamiento, y se comprobó la manera en la que debían ir todos los materiales, además se utilizó resina poliéster para las pruebas ya que no se podía tener errores en el lamiado real con la resina epoxi debido a su alto costo económico de la misma.

En el trabajo técnico se utiliza un molde de madera con dimensiones de $410 \times 380 \times 55 \text{ mm}^3$, con un accesorio automotriz externo con dimensiones de $337 \times 280 \times 50 \text{ mm}^3$.

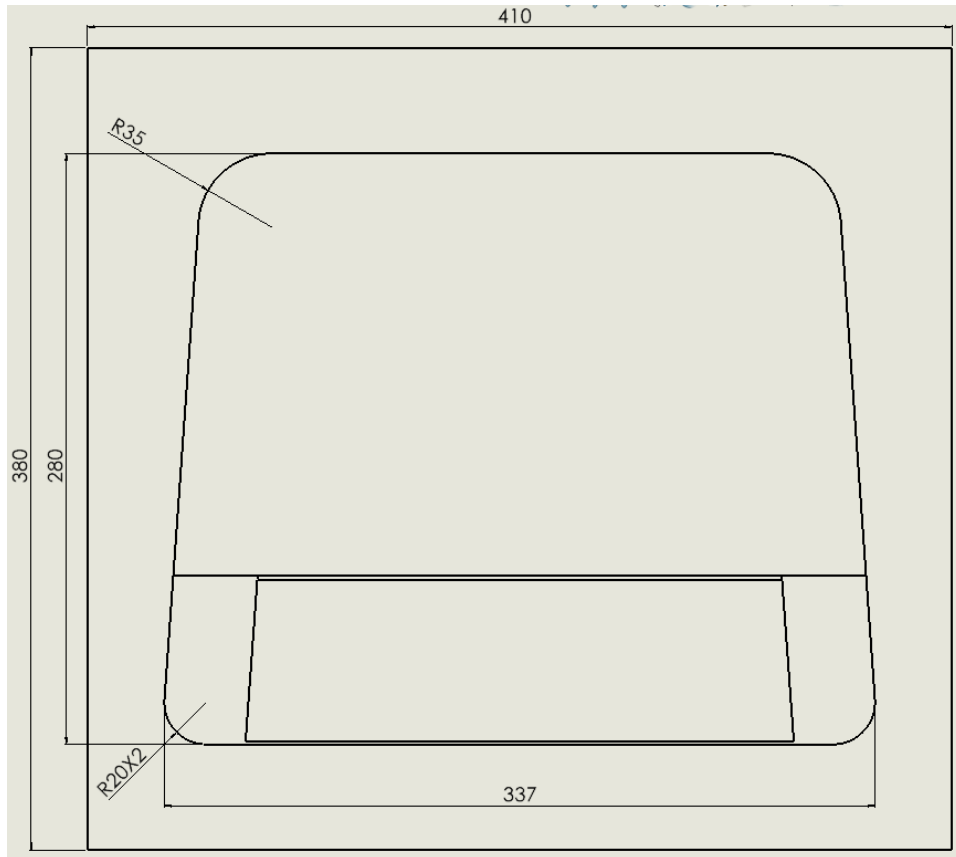


Figura 27. Dimensiones del accesorio externo automotriz y molde de madera.

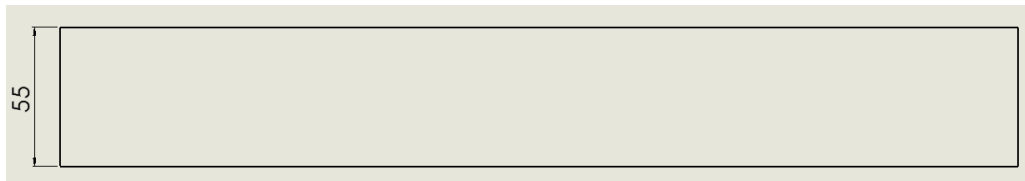


Figura 28. Altura total del bloque con la cavidad del accesorio automotriz.



Figura 29. Altura total del accesorio automotriz.

2.2.3. Cuantitativo

Por este método se logró obtener los valores del tiempo de laminado, velocidad de llenado, presión de compactación y permeabilidad de manera analítica, para después comprobar con los parámetros de la laminación real, para ser analizados y descritos los resultados finales.

2.2.4. Descripción de etapas

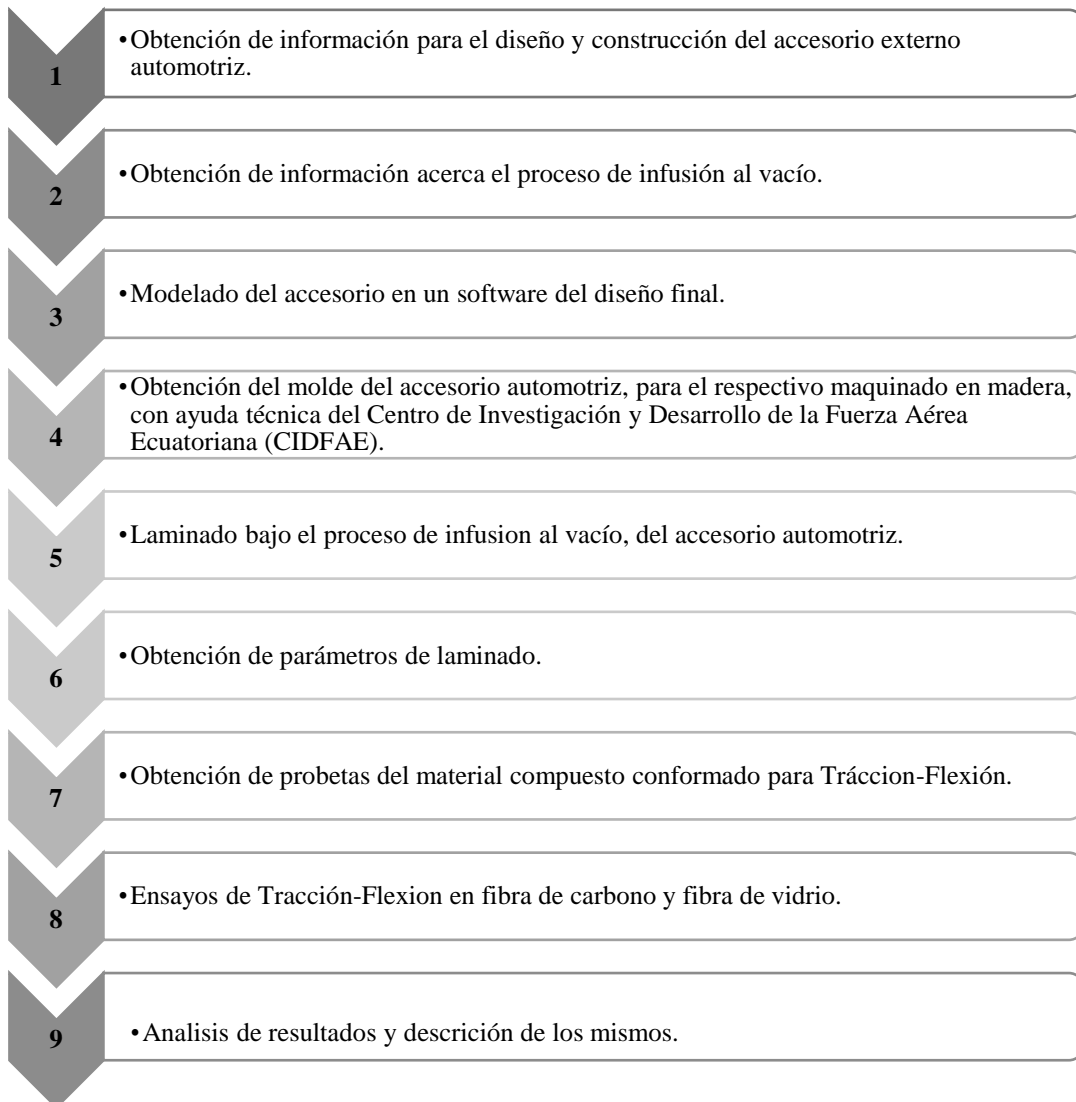
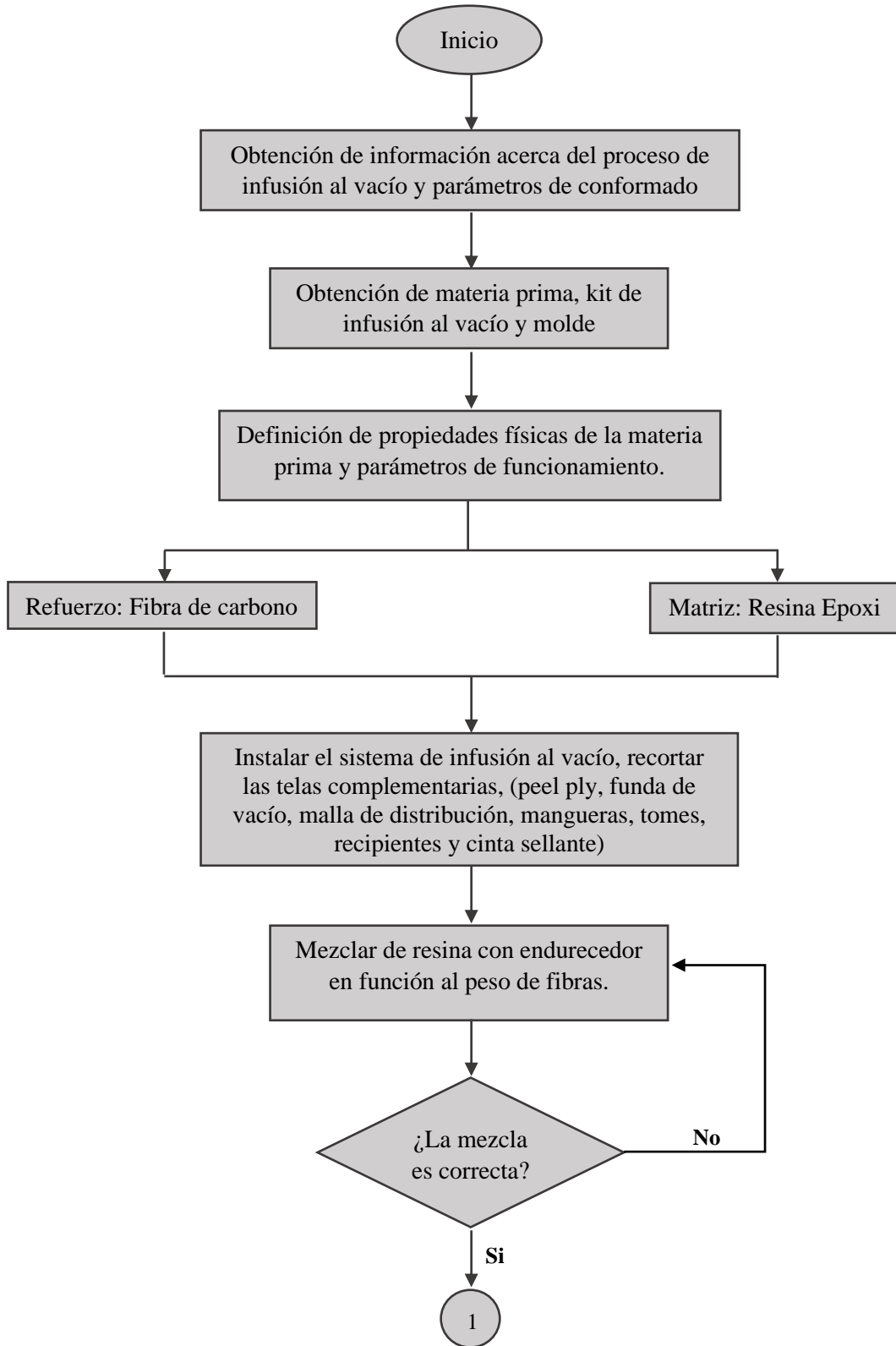


Diagrama 1. Etapas principales del proyecto técnico.

2.3. Diagrama de flujo del proyecto técnico



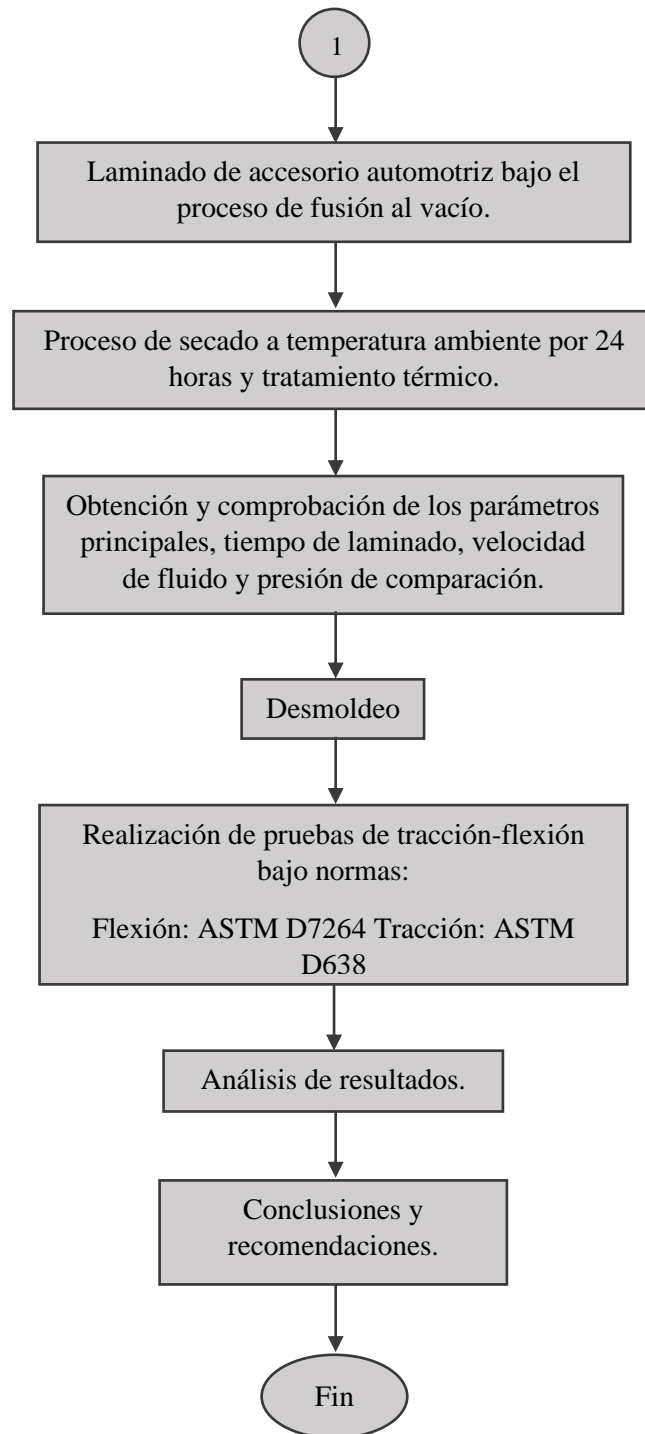


Diagrama 2. Proceso general del proyecto técnico.

2.4. Diagrama de flujo de la obtención del molde

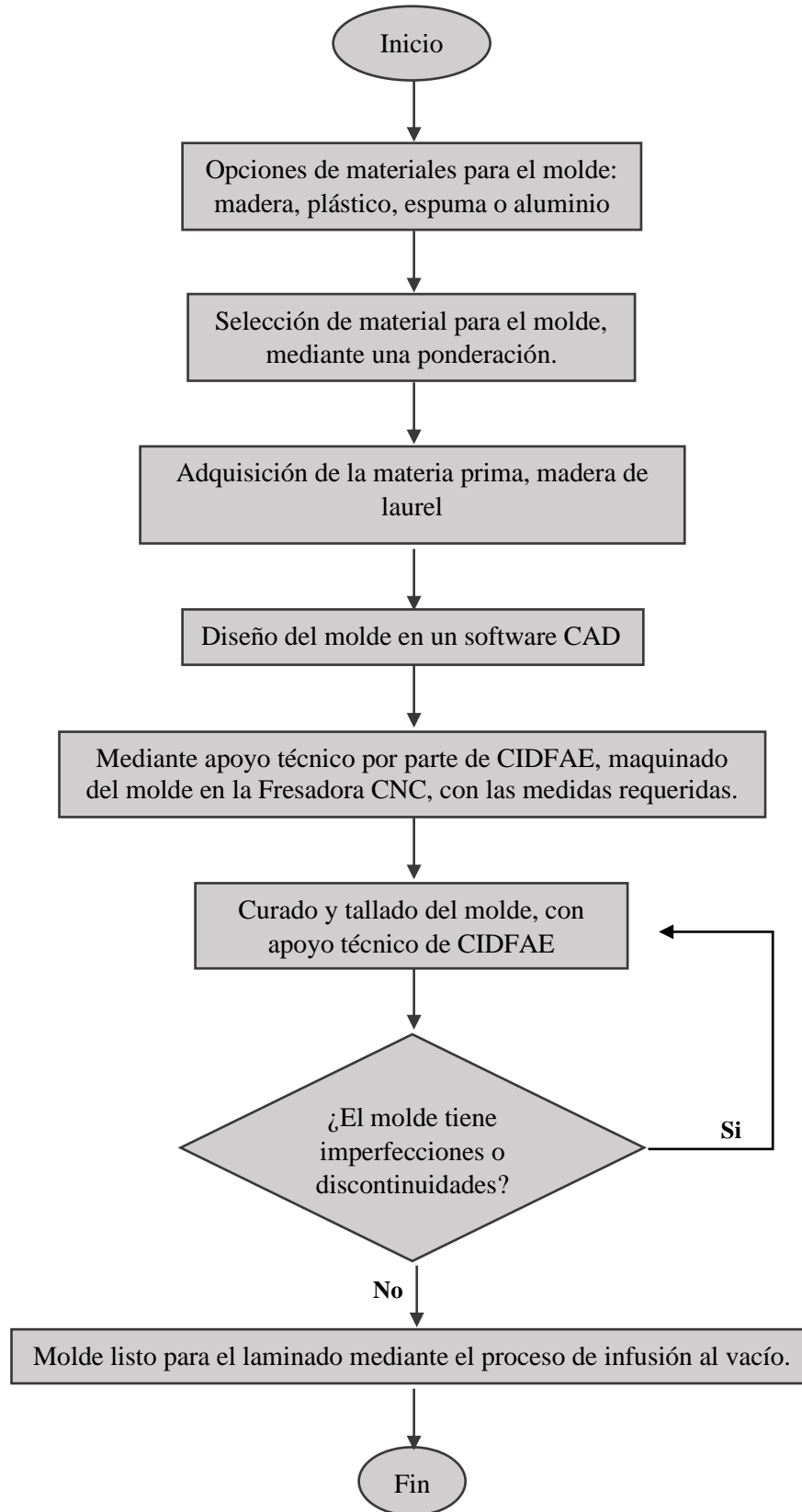
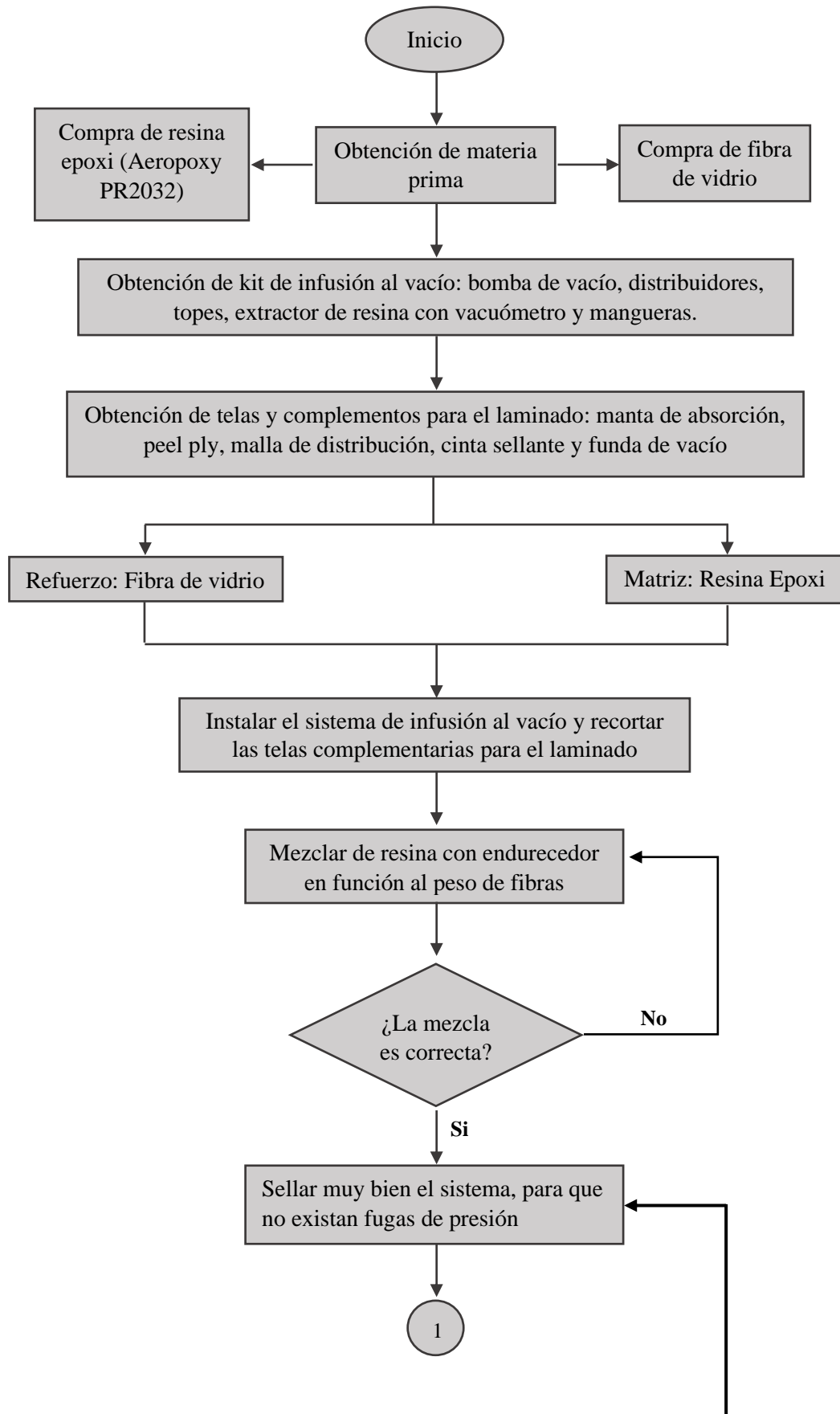


Diagrama 3. Proceso de obtención del molde.

2.5. Diagrama de flujo del proceso de infusión al vacío



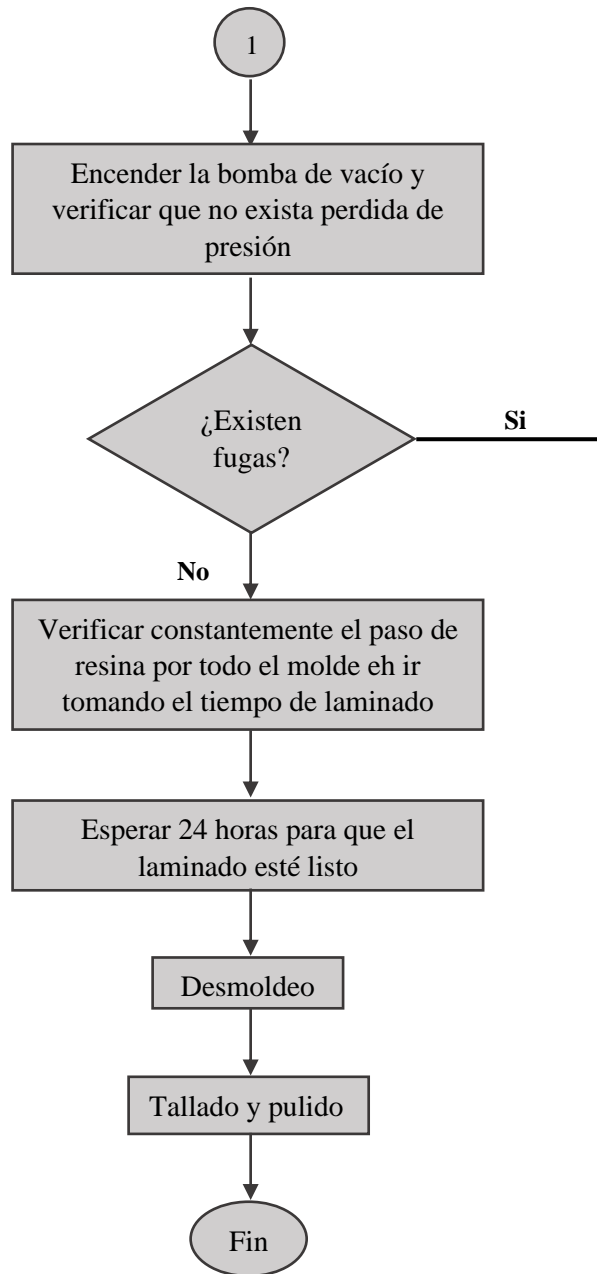


Diagrama 4. Proceso de laminado por infusión al vacío.

2.6. Operacionalización de variables

2.6.1. Variable independiente

Tabla 8. Variable independiente con material compuesto conformado por el proceso de infusión al vacío.

Concepto	Categoría	Indicadores	Especificación	Herramientas
Material compuesto con matriz polimérica, resina epoxi reforzada con fibra de vidrio y carbono	Material compuesto	Capas de fibra de vidrio y carbono tejida	Bajo: -90°C Medio: 0°C Alto: 90°C	Bibliografía Normas ASTM
		Temperatura de laminado	Ambiente entre 20°C y 25°C	Conformado o laminado mediante proceso de infusión al vacío
		Fracciones volumétricas	$CR = \frac{100}{127} * P_f$ $CE = \frac{27}{127} * P_f$	Área de materiales compuestos de CIDFAE y ESPOCH
	Orientación de capas	Fibra de carbono: 0° Fibra de vidrio: 0°	Ambiente	Laboratorios de la FICM Horno de curado
	Proceso	infusión al vacío	Combinaciones	Softwares CAD

2.6.2. Variable de propiedades mecánicas

Tabla 9. Variables dependientes de propiedades mecánicas

CONCEPTO	CATEGORÍA	DIMENSIONES	ESPECIFICACIONES	PREGUNTAS	HERRAMIENTAS
Para la caracterización y pruebas de cualquier material compuesto nos regimos bajo las normas ASTM	Propiedades mecánicas	Flexión	Carga máxima	¿Cuál es la carga máxima aplicada?	Recolección de datos Máquina universal para ensayos Flexión: ASTM D7264
			Esfuerzo máximo	¿Cuál es la resistencia máxima a la flexión que tiene el material?	
			Módulo de elasticidad	¿Cuál es el módulo de elasticidad?	
		Deformación máxima	¿Cuál será el porcentaje de deformación?		
		Tracción	Fuerza de rendimiento o límite de elasticidad	¿Cuál será la fuerza de rendimiento?	Recolección de datos Máquina universal para ensayos Norma ASTM D638
			Resistencia a la tensión	¿Cuál será la resistencia a la tensión?	
Punto de fluencia	¿Cuál será el punto de fluencia?				

2.6.3. Matriz de colocación de las fibras

En base al análisis de las variables independientes y dependientes es importante realizar una matriz donde se detalla cuantas capas fueron utilizadas para el laminado tanto con la fibra de carbono como con la fibra de vidrio y el proceso con el que fueron lamiados.

Tabla 10. Número de capas de las fibras para el conformado.

FIBRA DE CARBONO TEJIDA								
Casos	Capa 1	Capa 2	Capa 3	Capa 4	Proceso	Tipo de ensayo	Cantidad unitaria	Total
1	Fibra de carbono 45 °	Fibra de carbono 45 °	Fibra de carbono 45 °	Fibra de carbono 45 °	Infusión al vacío	Tracción	4	7
	Fibra de carbono 45 °	Fibra de carbono 45 °	Fibra de carbono 45 °	Fibra de carbono 45 °					Infusión al vacío	Flexión	3
FIBRA DE VIDRIO TEJIDA								
1	Fibra de vidrio (0-90) °	Fibra de vidrio (0-90) °	Fibra de vidrio (0-90) °	Fibra de vidrio (0-90) °	Infusión al vacío	Tracción	4	8
	Fibra de vidrio (0-90) °	Fibra de vidrio (0-90) °	Fibra de vidrio (0-90) °	Fibra de vidrio (0-90) °					Infusión al vacío	Flexión	4
Total							15	

2.7. Obtención de materia prima

La fibra de carbono y vidrio fueron el refuerzo principal de la práctica para el accesorio automotriz y laminado plano respectivamente, estos materiales se adquirieron de varias empresas distribuidoras de fibra de carbono, vidrio o kevlar tejidos, pero en este caso se adquirió de la empresa ubicada en la ciudad de Quito Jev Soluciones.

Como matriz se utilizó la resina Epoxi de la marca Aeropoxy PR2032 junto con el endurecedor de la misma marca PH3660 que se adquirió del Ingeniero Daniel Núñez dueño de SIMA AUTOMOTRIZ.

Para pruebas y el laminado principal los materiales que fueron utilizados fueron facilidades por parte de CIDFAE en Ambato y en el laboratorio de Investigación y

Desarrollo de CIDFAE ubicado en la ciudad de Quito en las instalaciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE).

A continuación, en la Tabla 11, se detallan las propiedades del endurecedor y la resina.

Tabla 11. Propiedades principales de la resina y endurecedor.

DETALLE	ESPECIFICACIONES
Resina	AEROPOXY
Gravedad específica	1.15 g/cm ³
Viscosidad @25°C,	1.65 Pa*s
Color	Lt. Amber
Endurecedor	AEROPOXY
Tiempo de trabajo	1 hora
Color	Light Amber
Gravedad específica	1.11 g/cm ³
Densidad	1.65 g/cm ³

Para el proceso de laminado, se utilizó el kit de infusión al vacío que se encuentra disponible en las instalaciones del Centro de investigación y Desarrollo de la Fuerza Área (CIDFAE), en el área de materiales compuestos y en el laboratorio de CIDFAE ubicado en la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE) en la ciudad de Quito-Sangolquí y por último el kit de infusión al vacío que se encuentra en el Laboratorio de Innovación y Desarrollo de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, de la Universidad “Técnica de Ambato”, en el área de materiales compuestos.

2.8. Propiedades físicas de las fibras utilizadas en el proyecto técnico

2.8.1. Fibra de vidrio

La fibra que se utilizó para el conformado tiene una densidad de 2.4 g/cm³

Fracción volumétrica se toma de trabajos con la misma temática de laminados una fracción de 60/40 es decir 60% de matriz y 40% de refuerzo, teniendo en cuenta que en este proyecto técnico se va a utilizar la resina AEROPOXY.

En las especificaciones se tiene como recomendaciones la utilización del 50/50, es decir 50% de resina y 50% de endurecedor y lo mismo aplica para el laminado con fibra de carbono.

Características principales

- Su peso neto es de 2oz/yarda²
- Tipo de tejido: 0-90° tejido liso apretado
- Marca: FIBERGLASS (americana)
- Espesor total de la fibra: 0.1 mm
- Fácil de manipularlo, excelente para moldes con formas complejas, con curvaturas, contornos, superficies, etc.
- Terminado/acabado: alto
- Excelente compatibilidad con resina epoxi, vinilester y poliéster.
- Densidad: 2.4 g/cm³ Tipo S.

2.8.2. Fibra de carbono

Características principales

- La fibra de carbono es fácil para moldear de forma transversal y su textura es suave
- La orientación que se utilizara en el proyecto técnico es una fibra a 45°
- El tipo de fibra de carbono o tamaño de hebra: 3K
- Es una fibra tejida, el cual es el indicado para laminados ya sean planos o con alguna forma específica.
- Sirve para realizar reparaciones con resina poliéster o epoxi.
- Utilizada en bruto para la fabricación de componentes o accesorios en los sectores como: automotriz, marítima, aeronáutica, aeroespacial, mecánico industrial, etc.
- Su resistencia a la tracción es de 4440 MPa.
- SARGA/Twill

- Tiene una densidad de 1.79 g/cm³

2.9. Cálculos

2.9.1. Cantidad de resina y endurecedor en función al peso

a. Fibra de carbono

Para la fibra de carbono con la que fue laminada el accesorio automotriz, se tomó en cuenta las dimensiones del molde que fueron de (41X38X5.5)cm, lo cual se realizaron 4 cortes de (45x45)cm de fibra de carbono tejida 3K, además se tomó en cuenta la profundidad que tenía molde del accesorio que es de 5 cm, obteniendo de datos un peso total de 164 g, con lo cual ya nos permite realizar los respectivos cálculos y obtener las cantidades exactas de resina haciendo uso de la Ec. 8 y endurecedor haciendo uso de la Ec. 9., y preparar la mezcla para le lamiando. De esa manera no existirán pérdidas o desperdicio de insumos.

Datos:

$$P_f = 164 \text{ g}$$

Cantidad de resina

$$C_R = \frac{100}{127} * 164 \text{ g}$$

$$C_R = 129.13 \text{ g}$$

Cantidad de endurecedor

$$C_E = \frac{27}{127} * 164 \text{ g}$$

$$C_E = 34.87 \text{ g}$$

Para realizar la comprobación de que las cantidades obtenidas están correctas, se realiza una suma de los dos datos, los cuales darán como resultado el valor total del peso inicial de la fibra.

$$P_f = C_R + C_E$$

$$P_f = (129.13 + 34.87)g$$

$$P_f = 164 \text{ g}$$

b. Fibra de vidrio

Para la fibra de vidrio solamente se realizó un laminado plano del cual se obtuvieron las probetas para los respectivos ensayos, realizando un laminado de (25x25) cm con el mismo número de capas. Obteniendo de datos un peso total de 22.12 g, con lo cual ya nos permite realizar los respectivos cálculos y obtener las cantidades exactas de resina haciendo uso de la Ec. 8 y endurecedor haciendo uso de la Ec. 9., y preparar la mezcla para el laminado. De esa manera no existirán pérdidas o desperdicio de insumos.

Datos:

$$P_f = 22.12 \text{ g}$$

Cantidad de resina

$$C_R = \frac{100}{127} * 22.12 \text{ g}$$

$$C_R = 17.42 \text{ g}$$

Cantidad de endurecedor

$$C_E = \frac{27}{127} * 22.12 \text{ g}$$

$$C_E = 4.70 \text{ g}$$

Para realizar la comprobación de que las cantidades obtenidas están correctas, se realiza una suma de los dos datos, los cuales darán como resultado el valor total del peso inicial de la fibra.

$$P_f = C_R + C_E$$

$$P_f = (17.42 + 4.70) \text{ g}$$

$$P_f = 22.12 \text{ g}$$

2.9.2. Permeabilidad en función de la velocidad de fluido

La permeabilidad es el siguiente parámetro importante para el conformado de componentes mediante el proceso de infusión al vacío ya que mediante la velocidad de fluido se obtiene el resultado de facilidad que le da la fibra a la resina para que fluya por la misma, teniendo en cuenta que mientras más elevada sea la permeabilidad es mucho mejor el paso de la resina, presentando una porosidad alta la cual proporciona más canales del flujo de resina, para estos cálculos se aplicaran las Ec. (5), (6) y (7), tanto para la fibra de carbono y vidrio.

a. Fibra de carbono

Datos:

$$d = 280 \text{ mm} \rightarrow 0.28 \text{ m}$$

$$t = 50 \text{ min} \rightarrow 3000 \text{ s}$$

$$P_2 = 67730 \text{ Pa}$$

$$\mu_{resina} = 1.65 \frac{N}{m^2} \cdot s$$

$$P_1 = 101325 \text{ Pa}$$

Velocidad de laminado (m/s)

$$v = \frac{0.28 \text{ m}}{3000 \text{ s}}$$

$$v = 9.33 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$

Gradiente de presión (Pa)

$$\Delta P = (101325 - 67730) \text{ Pa}$$

$$\Delta P = 33595 \text{ Pa}$$

Permeabilidad (m²)

$$K = \frac{\left(9.333 \times 10^{-5} \frac{m}{s}\right) * \left(1.65 \frac{N}{m^2} \cdot s\right) * (0.28 \text{ m})}{33595 \text{ N/m}^2}$$

$$K = 1.28 \times 10^{-9} \text{ m}^2$$

b. Fibra de vidrio

$$d = 200 \text{ mm} \rightarrow 0.20$$

$$t = 60 \text{ min} \rightarrow 3600 \text{ s}$$

$$P_2 = 64340 \text{ Pa}$$

$$\mu_{resina} = 1.65 \frac{N}{m^2} \cdot s$$

$$P_1 = 101325 \text{ Pa}$$

Velocidad de laminado (m/s)

$$v = \frac{0.20 \text{ m}}{3600 \text{ s}}$$

$$v = 5.56 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$

Gradiente de presión (Pa)

$$\Delta P = (101325 - 64340) \text{ Pa}$$

$$\Delta P = 36985 \text{ Pa}$$

Permeabilidad (m²)


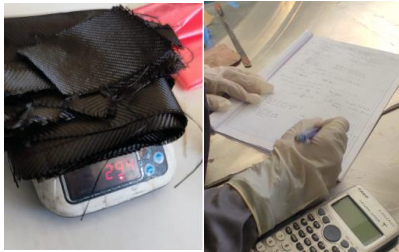

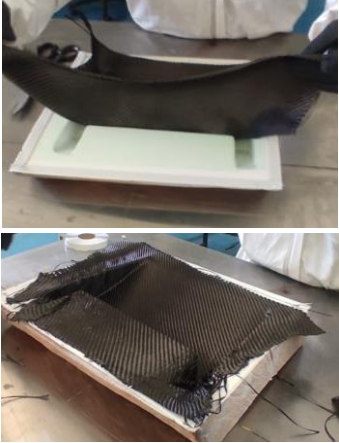
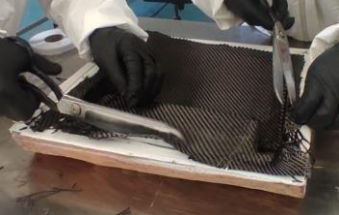
$$K = \frac{\left(5.556 \times 10^{-5} \frac{m}{s}\right) * \left(1.65 \frac{N}{m^2} \cdot s\right) * (0.20 \text{ m})}{36985 \text{ N/m}^2}$$



$$K = 4.96 \times 10^{-10} \text{ m}^2$$

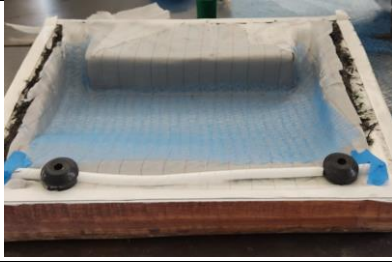


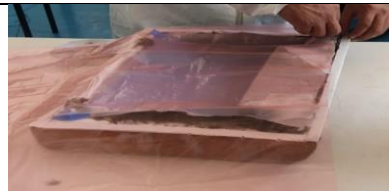



2.10. Proceso de obtención del accesorio automotriz bajo el proceso de infusión al vacío



2.10.1. Proceso de preparación y lamiendo


Tabla 12. Proceso de lamiendo, infusión al vacío.

PROCESO	DESARROLLO	FOTOS
1	Cortar la fibra en base a las dimensiones del molde y la profundidad, para optimizar recursos. 50X50 cm	
2	Pesar la fibra para poder realizar los cálculos anteriormente obtenidos, teniendo en cuenta que de acuerdo con los conocimientos adquiridos por parte de CIDFAE 3 capas de fibra de carbono se puede obtener 1mm de espesor, haciéndole un lamiendo rígido y fijo.	
3	Colocar el Butilo (cinta plegable) en los filos del molde, sin levantar el adhesivo superior.	
4	Colocar la primera capa en el molde con mucho cuidado y moldear la fibra para que se adhiera toda la forma del accesorio, especialmente en todas las esquinas que son las más difíciles de cubrir.	
5	Cortar los pequeños excesos de fibra que van quedando al molde de terminar el moldeo con la fibra.	

PROCESO	DESARROLLO	FOTOS
6	Colocar una capa de adhesivo en aerosol para que la siguiente capa pueda quedar fija, es importante saber que el adhesivo no llega a causar ningún cambio en el resultado final o en la estructura del accesorio o componente que se lamina, solamente sirve para poder mantener la forma con las fibras fijas y colocar la segunda capa, tercera y cuarta repitiendo el proceso.	
7	Mantener lo más fijas posibles las capas para que el laminado salga uniforme. Cuatro capas de fibra de vidrio colocadas, colocando finalmente una capa de adhesivo en aerosol, para sellar todas las capas.	
8	Colocar la capa del Pell-Ply para aislar la fibra con los demás complementos del sistema, de igual manera dándole la forma del accesorio en el molde, para que el resultado y accesorio final sea uniforme.	
9	Montar el sistema al vacío, teniendo en cuenta que donde que se desea más resistencia es en la parte realzada del accesorio, colocando la toma de entrada de resina en la parte de bajada del molde.	
10	Colocar la malla de distribución, dándole la forma de igual manera, para que la resina pueda distribuirse correctamente por todo el molde. La malla de distribución también permite que la resina fluya más rápido por el molde.	


PROCESO	DESARROLLO	FOTOS
		
11	<p>Montaje del sistema de infusión al vacío, trampa de resina y las mangueras de ingreso y salida de resina, al igual que la manguera principal que conecta con la bomba de vacío.</p>	 
12	<p>Colocar la funda de vacío, la misma que cerrada todo el sistema para que no existan caídas de presión de compactación, la cual permitirá el corrido de la resina.</p>	 
13	<p>Encender el sistema y extraer todo el aire en exceso, para que en el momento que se ingrese la resina no exista bombas de aire en el laminado final.</p>	 

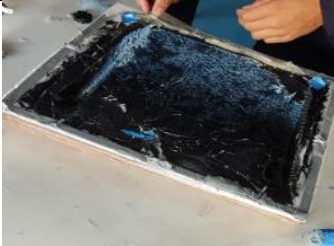




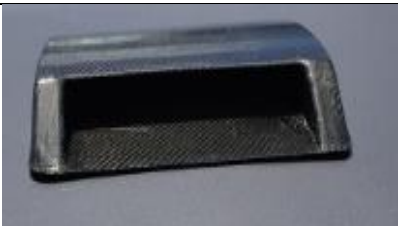
PROCESO	DESARROLLO	FOTOS
14	<p>Salida de resina, teniendo mucho cuidado de que no entre aire al sistema, es decir, mantener siempre las mangueras dentro de la resina ya preparada y el momento que se termine la resina cerrar muy bien las mangueras de ingreso de resina.</p>	
15	<p>Observar siempre la presión de compactación, la cual debe ser constante durante todo el proceso, ya que si existe una caída de presión el laminado puede salir con imperfecciones y burbujas ya sean de acumulación o aire.</p> <p>El laminado fue realizado en el laboratorio de Materiales Compuestos de CIDFAE, el cual tienen una bomba industrial de vacío, la misma que tiene sensores que al momento de detentar una caída de presión se enciende automáticamente, manteniendo la presión constante en todo el proceso. Obteniendo una presión de compactación de 67,73 kPa, el segundo parámetro que se deseaba obtener en el presente proyecto técnico.</p>	

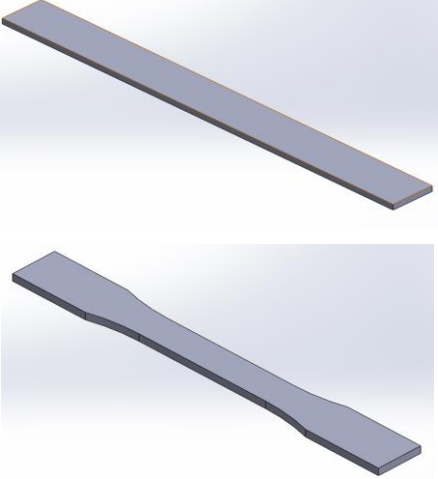
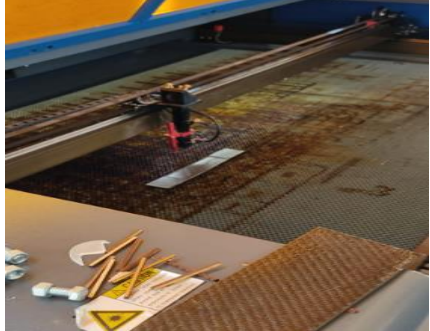




PROCESO	DESARROLLO	FOTOS
16	<p>Tomar el tiempo desde el momento que sale la resina y empieza a fluir.</p> <p>Observar constantemente el corrido de la resina, si es posible ir marcando distintas zonas para observar la llegada de la resina y tomar los tiempos, hasta cuando finalice el lamiendo, ya que el tiempo de lamiendo es uno de los parámetros que se están buscando en el proyecto técnico.</p> <p>Tardándose 60 min en el laminado total. Laminado finalizado.</p>	

2.10.2. Proceso de desmoldeo y obtención de probetas

Tabla 13. Proceso de desmoldeo y obtención de probetas para ensayos de tracción y flexión.

PROCESO	DESARROLLO	FOTOS
1	<p>Sacar todo el sistema de vacío, es decir, mangueras, topes, funda de vacío, malla distribuidora y plee ply.</p>	

PROCESO	DESARROLLO	FOTOS
2	Desmoldar el accesorio laminado con ayuda de espátulas ya sean de madera o metal, con mucho cuidado para no causar fracturas.	
3	Cortar las partes sobrantes del accesorio para que obtenga una forma mucho más exacta, con ayuda Técnica de CIDFAE, en el Área de corte, de Materiales Compuestos.	
4	Pulir el accesorio con lijas gruesas y finalmente una lija fina, para que no queden sobresalidos en el accesorio y después pasar un waype con alcohol para obtener un acabado brillante.	
5	Dejar 1 hora a temperatura ambiente para que el accesorio empiece a curarse.	
6	En el horno colocar el accesorio por 2 horas a 80°C, para finalizar con el proceso de curado, de igual manera el laminado plano conformado con fibra de vidrio.	
7	Accesorio externo automotriz finalizado, pulido, cortado y curado.	

PROCESO	DESARROLLO	FOTOS
8	<p>Diseño de las probetas en un software CAD, con las dimensiones y especificaciones dadas en las normas ASTM tanto para flexión como para tracción, tomando en cuenta que las probetas deben ser obtenidas de zonas rectas del accesorio.</p>	
9	<p>Cortar las probetas con la Cortadora Laser CO2 con una potencia de 80 Watts.</p>	
10	<p>Obtención de probetas de Fibra de carbono a) Flexión, b) Tracción</p> <p>Obtención de probetas de Fibra de vidrio a) Flexión, b) Tracción</p>	<p>a)</p>  <p>b)</p>  <p>a)</p>  <p>b)</p> 

2.11. Parámetros principales para la realización de los ensayos

La realización de los ensayos en materiales es muy importante para la determinación de sus propiedades que se lograron obtener mediante el proceso de infusión al vacío el mismo que en la carrera de Ingeniería Mecánica solamente ha sido aplicado con laminados planos, ahora se desea obtener los resultados con el proceso en un laminado que tiene una forma particular.

2.11.1. Tracción

El objetivo principal es la determinación del esfuerzo máximo a la tracción, el módulo de elasticidad y el porcentaje de elongación, el mismo que al aplicar una fuerza axial progresiva en el centro de la probeta a ensayar se terminará cual es el punto de ruptura. Este proceso se realizará en la máquina universal de ensayos aplicando la Norma ASTM D638 caso Tipo I.

Además, es importante saber que para obtener de forma analítica las propiedades mecánicas se deben aplicar varias fórmulas, que se muestran a continuación.



Figura 30. Máquina Universal para ensayos.

Propiedades para el ensayo de tracción

- a. Resistencia a la tracción (*MPa*)

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (9)$$

Donde:

$P = \text{Fuerza aplicada (N)}$

$A = \text{Área de la sección transversal (m}^2\text{)}$

b. Deformación por tracción

$$\varepsilon_i = \frac{\delta_i}{L_g} \quad (10)$$

Donde:

$\varepsilon_i = \text{deformación máxima}$

$\delta_i = \text{desplazamiento del cabezal móvil (mm)}$

$L_g = \text{longitud calibrada (mm)}$

c) Módulo de elasticidad (Young)

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (11)$$

Donde:

$\sigma = \text{Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)}$

$\varepsilon = \text{elongación del material}$

d) Ductilidad (%)

$$\% \text{ deformación} = \frac{l_f - l_0}{l_0} \quad (12)$$

Donde:

$l_0 = \text{longitud inicial (mm)}$

$l_f = \text{longitud final (mm)}$

2.11.2. Flexión

El objetivo principal de este tipo de ensayo es la determinación de la rigidez a la flexión y las propiedades a la resistencia, teniendo en cuenta que las propiedades varían de

acuerdo con la superficie de la probeta, el espesor, las condiciones ambientales y la velocidad a la que es aplicada la fuerza [15].

Los ensayos fueron realizados en la Máquina Universal de ensayos aplicando la norma ASTM D7264, para obtener el esfuerzo máximo de deflexión, el módulo de elasticidad y la deflexión máxima, con las fórmulas que se muestran a continuación.



Figura 31. Ensayo de flexión en la máquina de ensayos Universal.

Propiedades para ensayo de flexión

- a. Resistencia a la flexión (módulo de ruptura)

$$\sigma_{flexión} = \frac{3PL}{2bh} \quad (13)$$

Donde:

$\sigma_{flexión}$ = Esfuerzo maximo de flexion (MPa)

P = Fuerza (N)

L = distancia de luz (mm)

b = Ancho de la probeta (mm)

h = Espesor de la probeta (mm)

2.11.3. Tipos de fallos en probetas

Los tipos de fallos son las zonas en las que la probeta se llega a fracturar o romper por completo, estos fallos son redactados en la Norma ASTM D3039 para tracción y la Norma D7264 para flexión.

Los tipos de fallos se identifican en los ensayos de tracción ya que estas probetas son sometidas a una carga axial a tensión hasta llegar a una fractura y flexión ya que es un ensayo utilizado para la verificación o control de calidad de un material, determinando la resistencia que tienen las fibras. En la Fig. 32, se muestran los tipos de fallos que sufre una probeta cuando se fractura a tensión.

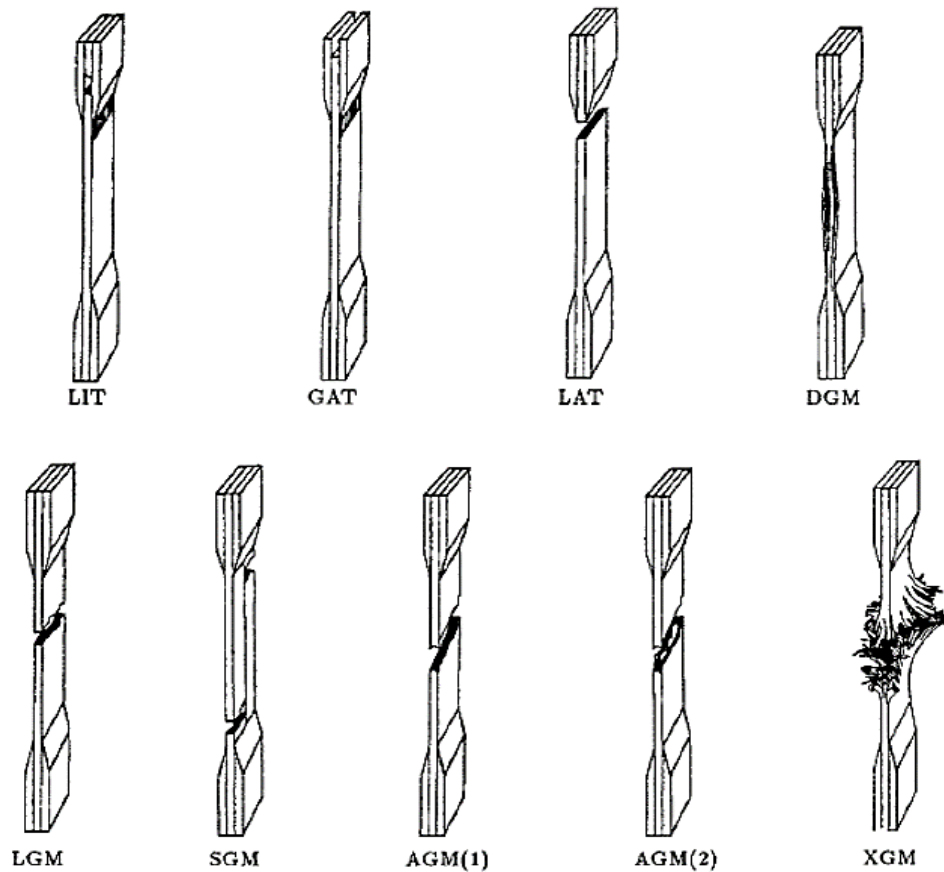


Figura 32. Tipos de fallos en una probeta [20].

En la Tabla 14, se muestran las tres secciones en las que se redactan los códigos de fallos que se puede presentar en una probeta ensayada hasta llegar a la fractura por tensión.

Tabla 14. Códigos de fallos en una probeta a tracción. Norma ASTM D3039 [20].

Primer Carácter		Segundo Carácter		Tercer Carácter	
Tipo de falla	Código	Área de falla	Código	Localización de falla	Código
Angular	A	Dentro del agarre/lengüeta	I	Abajo	B
Borde de laminación	D	Empuñadura/pestaña	A	Arriba	T
Agarre/pestaña	G	<1W desde agarre/pestaña	W	Izquierda	L
Lateral	L	Galga	G	Derecha	R
Multi-modo largo	M(xyz)	Múltiples áreas	M	Media	M
División larga	S	Varios	V	Varios	V
Explosión	X	Desconocido	U	Desconocido	U
Otro	O				

De igual forma existen los tipos de fallos para los ensayos a flexión dividida con tres códigos, que indican que tipo de falla, el área y la localización que puede existir una fractura o rotura como se muestra en la Tabla 15.

Tabla 15. Códigos de fallos en ensayos sometidos a flexión. Norma ASTM D7264 [19].

Primer carácter		Segundo carácter		Tercer carácter	
Tipo de falla	Código	Área de falla	Código	Localización de falla	Código
Tensión	T	En la punta de carga	A	Parte superior	T
Compresión	C	Entre las puntas de carga	B	Parte inferior	B
Pandeo	B	Entre la punta de soporte	S	Izquierda	L
Corte interlaminar	S	Entre carga y punta del soporte	L	Derecha	R
Modo múltiple	M(xyz)	Desconocido	U	Mitad	M
Otro	O			Varios	V
				Desconocido	U

En la Tabla 16, se muestra que en la norma también se redacta y especifica una descripción general de los tipos de fallos que se pueden dar en las probetas ensayadas a flexión.

Tabla 16. Códigos de fallos generales para ensayos a flexión [19].

Tipo de falla	Especificación de falla
A	Fisura o grieta producida en la zona o parte frontal de la probeta.
B	Grietas que penetran la parte frontal y todo el espesor.
C	Fractura en varias partes.
D	Atraviesa el espesor de la probeta, llegando a la ruptura total.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Interpretación y tabulación de resultados del proceso de infusión al vacío y ensayos realizados

Recopilación de datos obtenidos en el proceso de laminado bajo el proceso de infusión al vacío del accesorio automotriz y la obtención de probetas del mismo accesorio de material compuesto de matriz polimérica con fibra de carbono y fibra de vidrio, con el fin de obtener los parámetros principales del proceso y su resistencia.

En este apartado se mostrarán los resultados obtenidos tanto en el proceso de laminado como en las pruebas realizadas bajo flexión y tracción, adicionalmente se redactaron los parámetros los cuales son muy importantes al realizar un laminado bajo el proceso de infusión al vacío, cuando se desea obtener una componente o accesorio con formas complejas o diferentes.

3.1.1. Descripción de diseño de cubierta de flujo de aire

Se obtuvo un promedio de 1.53 metros de ancho de un auto se toman en cuenta que los accesorios de entrada de flujo de aire en el mercado tienen dimensiones entre 25 a 30 cm de largo; 15 a 20 cm de ancho y de 3 a 5 cm de alto, además al ser accesorios decorativos deben tener el espesor mínimo de 1.5mm para que la cinta pueda adherirse al accesorio y al capo.

Tomando en cuenta los tres diseños existentes en el mercado se diseñó un molde de cubierta de flujo de aire con las siguientes medidas y rasgos físicos los cuales fueron modelados en un software CAD, haciendo un diseño de forma universal con medidas de 337 mm de ancho, 280 mm de largo y 50mm de altura.

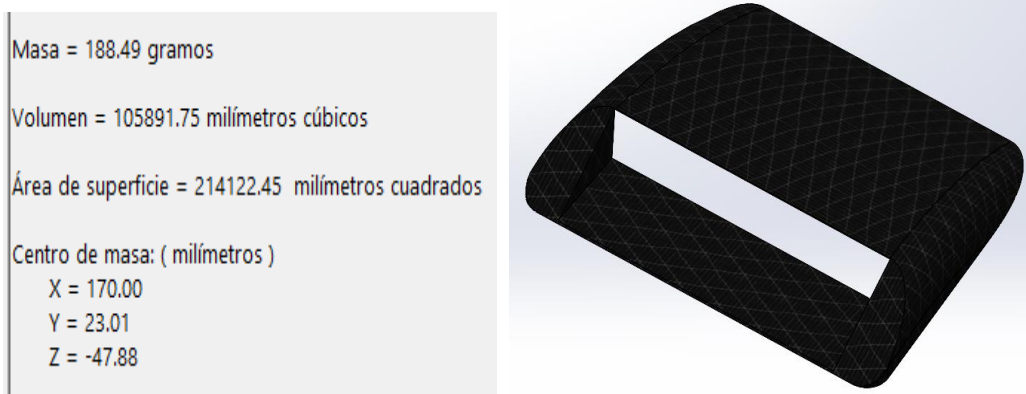


Figura 33. Diseño oficial del proyecto técnico.

3.1.2. Análisis de tiempos de laminado

Para la obtención del primer parámetro que es el tiempo es importante tomar en cuenta las especificaciones del tiempo de curado de las resinas que viene redactado en la ficha técnica de cada resina.

Para el presente proyecto técnico se utilizó la Resina AEROPOXY, la misma que tiene un tiempo de curado de 60 minutos máximo, este tiempo se transforma en el base para el lamiando, además el tiempo variará dependiendo la forma del molde y la viscosidad de la resina y principalmente la preparación de la resina con el endurecedor ya que si no están las cantidades exactas, no se solidificará, dándole un acabado pegajoso si no está la cantidad exacta de endurecedor (falta de endurecedor) o el fluido se solidificará o curará en un tiempo muy corto (exceso de endurecedor).

Durante los dos laminados realizados, el tiempo de laminado es tomado desde que instante que el fluido sale de la manguera espiral.



En la siguiente Tabla 17., se muestra los resultados obtenidos acorde a los tiempos de laminado, tanto de la fibra de carbono como de la fibra de vidrio.

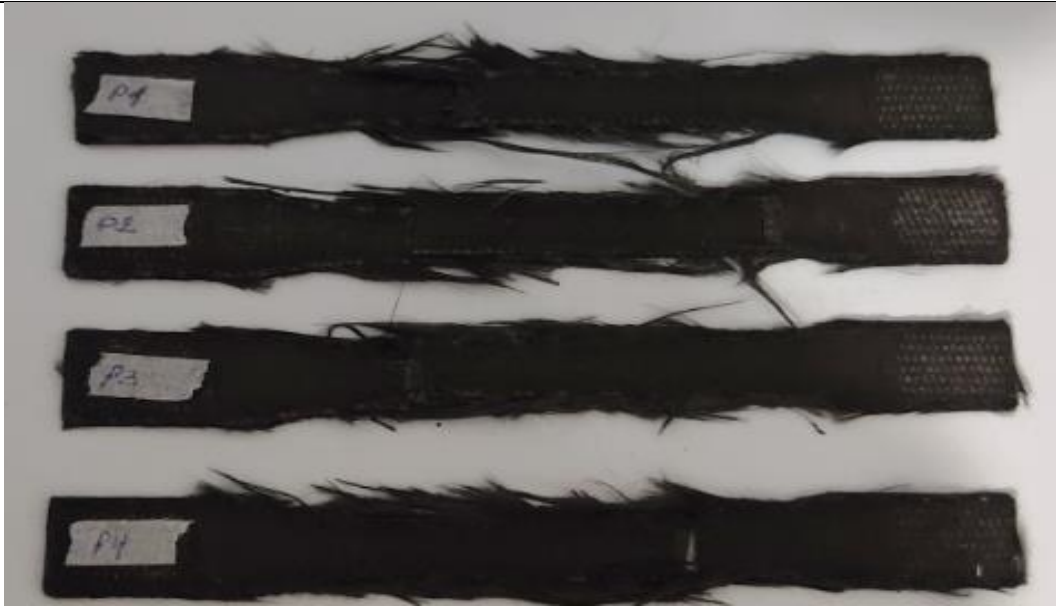
Tabla 17. Análisis de tiempos y obtención del parámetro final.

Fecha	Tipo de fibra	Peso de fibras (g)	Resina (g)	Meck (g)	Peso total (g)	Proceso	Tiempo inicial (Hora)	Intervalo de encendido y apagado de bomba de vacío	Presión (In.Hg)	50% Tiempo medio	100% Tiempo final	Tiempo (min)
12 Sep	Fibra de carbono	164	129.13	34.9	293.13	Infusión al vacío	11:27	30 min	20	11:45	12:27	50
11 Oct	Fibra de vidrio	22.12	17.42	4.70	39.54	Infusión al vacío	10:19	5 min	19	10:30	11:19	60

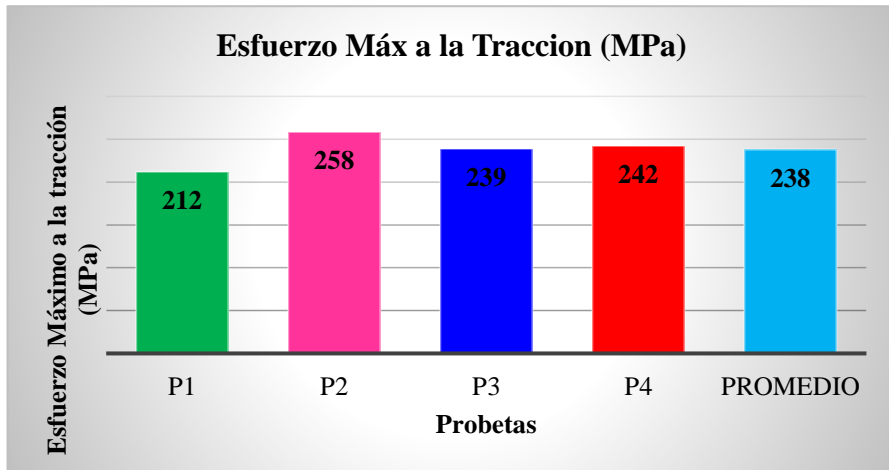
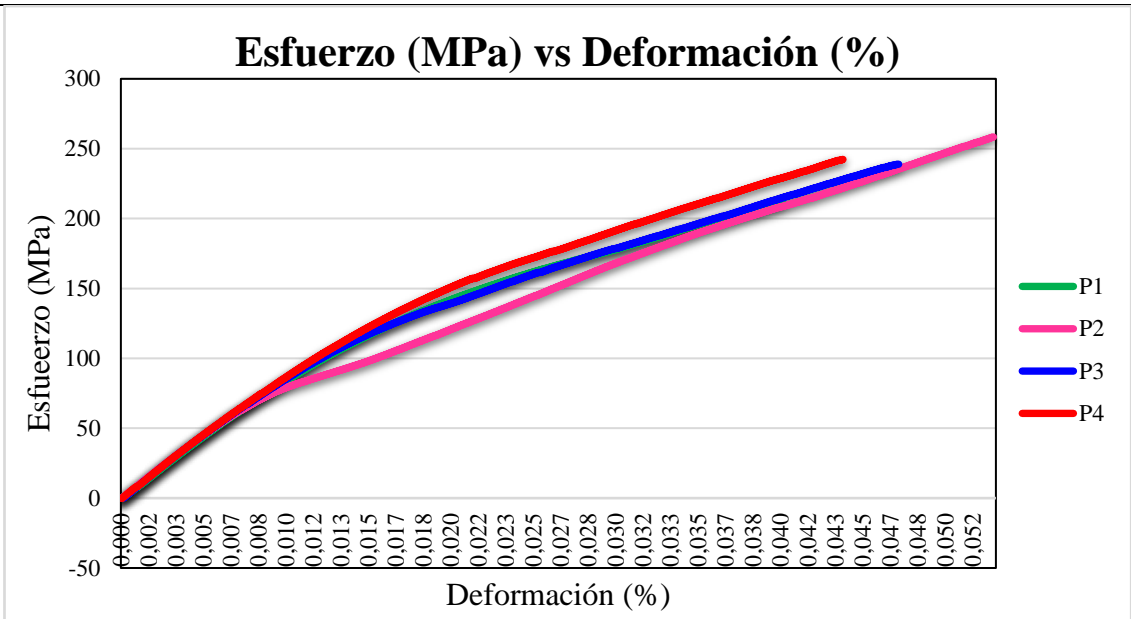
3.1.3. Fibras técnicas de probetas ensayadas a tracción

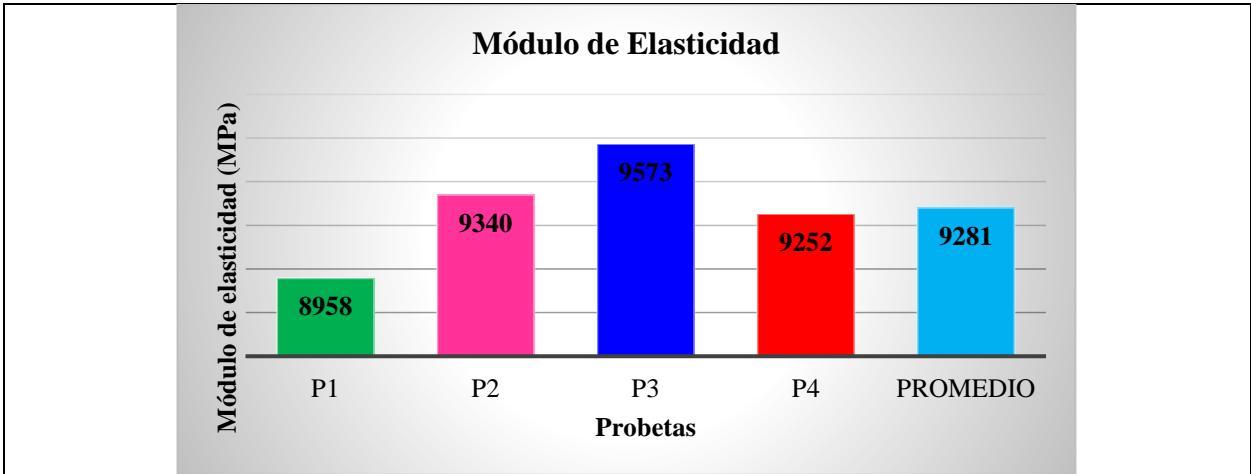
Tabla 18. Ficha técnica del material compuesto de fibra de carbono, Prueba 1.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA						
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS						
TRACCIÓN ASTM D638						
DATOS INFORMATIVOS						
Tipo de estudio:	Proyecto Técnico		Codificación:	PI-IN		
Fecha de ejecución:	25/10/2023		Equipo:	Máquina Universal de ensayos Shimadzu AGS-X SERIES 50 kN		
Realizado por:	Tenorio Cabezas Vanessa Estefania		Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		
Lugar:	Universidad Técnica de Ambato – Laboratorio de Innovación y Desarrollo, Área de ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Ambato-Ecuador					
PARÁMETROS DE ENSAYO						
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D638	Número de probetas:	4	
Marca:	Aeropoxy PR2032	Dimensiones (mm):	165*19*e	Peso de la matriz (g):	129.13	
Refuerzo:	Fibra de carbono	Temperatura de curado (°C):	80 °C	Estratificación:	Infusión al vacío	
Orientación de la fibra:	45°	Orden de capas:	FC+FC+FC+FC	Espesor promedio (mm):	1.6	
Peso de la fibra (g):	164	Velocidad de ensayo:	5 mm/min	Tiempo de curado:	2h en horno	
RESULTADOS						
Nº PROBETAS	Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Deformación	Desplazamiento máximo (mm)	Tipo de fallo evaluado
1	4241.9	211.329	8925	4.019	2.009	LGM
2	5168.35	257.484	9306	5.295	2.647	LAB
3	4779.88	238.131	9538	4.718	2.359	LGT
4	4845.86	241.418	9219	4.381	2.190	LAB
PROMEDIO	4758.99	237.09	9247	4.60	2.30	.
PROBETAS ENSAYADAS						



GRÁFICAS







OBSERVACIÓN

- La matriz y el refuerzo fueron compatibles durante todo el proceso brindando un acabado uniforme.
- Como resultados principales se obtuvo un Módulo de elasticidad de 9281 MPa y un Esfuerzo Máximo de 238 MPa.
- Las probetas 2 y 4 obtuvieron el mismo fallo el cual fue LAB, es decir fallo lateral en la parte interior de la probeta.
- EL tipo de fallos obtenidos en las probetas 1 y 2 son de tipo LGM (fallo lateral en la zona media) y LGT (fallo en la zona superior de la probeta).
- Los tipos de fallos fueron analizados de acuerdo con las especificaciones la norma ASTM D3039, para tracción.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	237.95	Elaborado por:	Sta. Tenorio Estefanía
% Elongación:	4.60	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Módulo de elasticidad (MPa):	9280.65	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Carga máxima (N):	4758.99	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

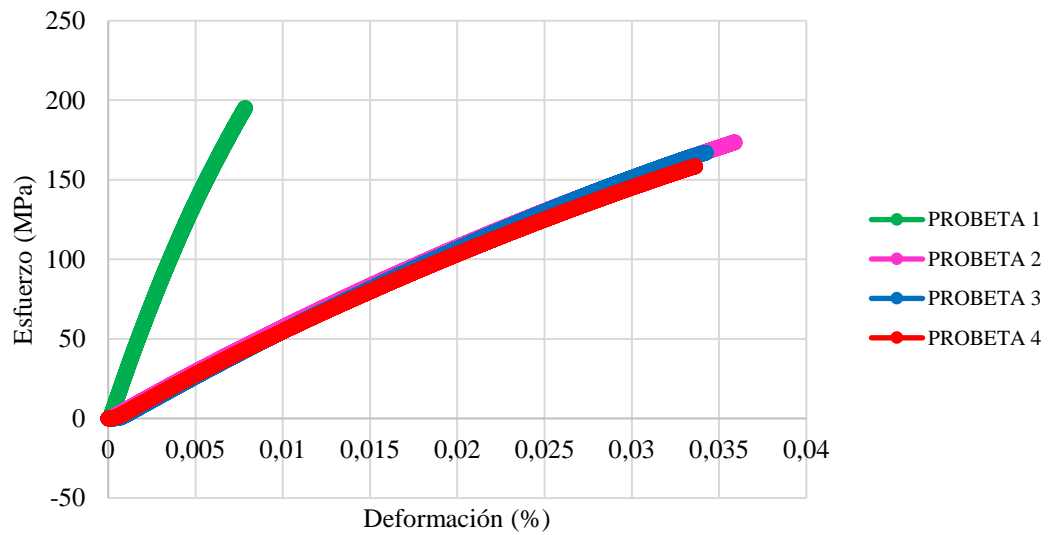
Tabla 19. Ficha técnica de material compuesto de fibra de vidrio, prueba 2.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA							
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS							
TRACCIÓN ASTM D638							
DATOS INFORMATIVOS							
Tipo de estudio:	Proyecto Técnico		Codificación:	P2-IN			
Fecha de ejecución:	25/10/2023		Equipo:	Máquina Universal de ensayos Shimadzu AGS-X SERIES 50 kN			
Realizado por:	Tenorio Cabezas Vanessa Estefania		Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.			
Lugar:	Universidad Técnica de Ambato – Laboratorio de Innovación y Desarrollo, Área de ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Ambato-Ecuador						
PARÁMETROS DE ENSAYO							
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D638	Número de probetas:	4		
Marca:	Aeropoxy PR2032	Dimensiones (mm):	165*19*e	Peso de la matriz (g):	17.42		
Refuerzo:	Fibra de carbono	Temperatura de curado (°C):	80 °C	Estratificación:	Infusión al vacío		
Orientación de la fibra:	0° - 90°	Orden de capas:	FV+FV+FV+FV	Espesor promedio (mm):	0.45		
Peso de la fibra (g):	22.12	Velocidad de ensayo:	5 mm/min	Tiempo de curado:	2h en horno		
RESULTADOS							
N° PROBETAS	Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación	Desplazamiento (mm)	Tipo de fallo evaluado	
1	1098.43	195.276	6189.88	3.925	1.962	LAT	
2	976.825	173.658	6060.44	3.590	1.795	LAB	
3	939.775	167.071	5929.80	3.423	1.712	GAT	
4	891.304	158.454	5782.07	3.364	1.682	LAT	
PROMEDIO	976.58	173.62	5990.55	3.58	1.79		
PROBETAS ENSAYADAS							

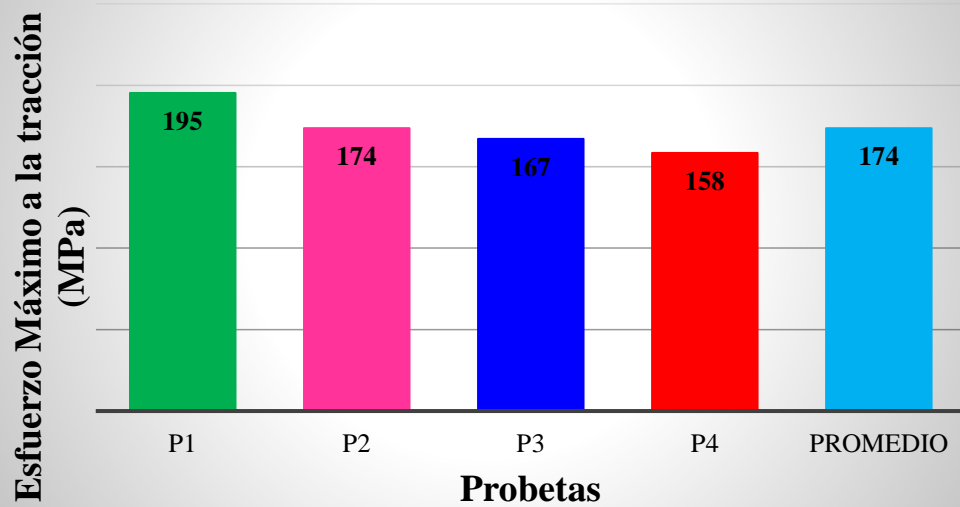


GRÁFICAS

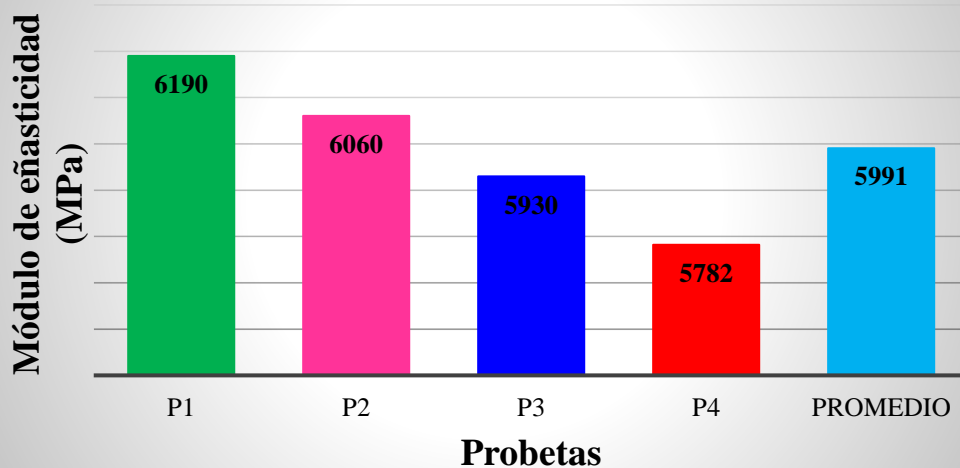
Esfuerzo (MPa) vs Deformación (%)



Esfuerzo Máx a la Tracción (MPa)



Módulo de elasticidad (Mpa)




OBSERVACIÓN

- La matriz con el refuerzo se compactó perfectamente, mediante el proceso de infusión al vacío, pero al ser la fibra de vidrio mucho más fina, las 4 capas que fueron compactadas solamente se obtuvo un espesor de 0.45 mm, haciendo que el material compuesto sea flexible y frágil, llegando a la fractura con un Esfuerzo Máximo de Tracción de 174 MPa, con un Módulo de Elasticidad de 5991MPa.
- Los fallos obtenidos en las probetas 1 y 4 fueron LAT lo cual significa que existió un fallo en la zona lateral superior.
- Las probetas 2 tuvo un tipo de fallo LAB el cual es un fallo lateral en la parte interior de la probeta.
- La probeta 3 tuvo un fallo GAT, el cual es un fallo en la parte superior del agarre de la probeta.
- Los tipos de fallos fueron analizados de acuerdo con las especificaciones la norma ASTM D3039, para tracción.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	173.615	Elaborado por:	Sta. Tenorio Estefanía
% Elongación:	1.788	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Módulo de elasticidad (MPa):	5990.548	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Carga máxima (N):	976.584	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

3.1.4. Fichas técnicas de probetas ensayadas a flexión

Tabla 20. Ficha técnica del material compuesto con fibra de carbono, prueba 1.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA			
		FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS			
FLEXIÓN ASTM D7264					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Proyecto Técnico	Codificación:	P1-IN-FV		
Fecha de ejecución:	30/10/2023	Equipo:	Máquina Universal de ensayos Shimadzu AGS-X SERIES 50 kN		
Realizado por:	Tenorio Cabezas Vanessa Estefanía	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		
Lugar:	Universidad Técnica de Ambato – Laboratorio de Innovación y Desarrollo, Área de ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Ambato-Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D638	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxy PR2032	Dimensiones (mm):	127*12.5*e	Peso de la matriz (g):	129.13
Refuerzo:	Fibra de carbono	Temperatura de curado (°C):	80 °C	Estratificación:	Infusión al vacío

Orientación de la fibra:	45°	Orden de capas:	FC+FC+FC+FC	Espesor promedio (mm):	1.6
Peso de la fibra (g):	164	Velocidad de ensayo:	2 mm/min	Tiempo de curado:	2h en horno

RESULTADOS

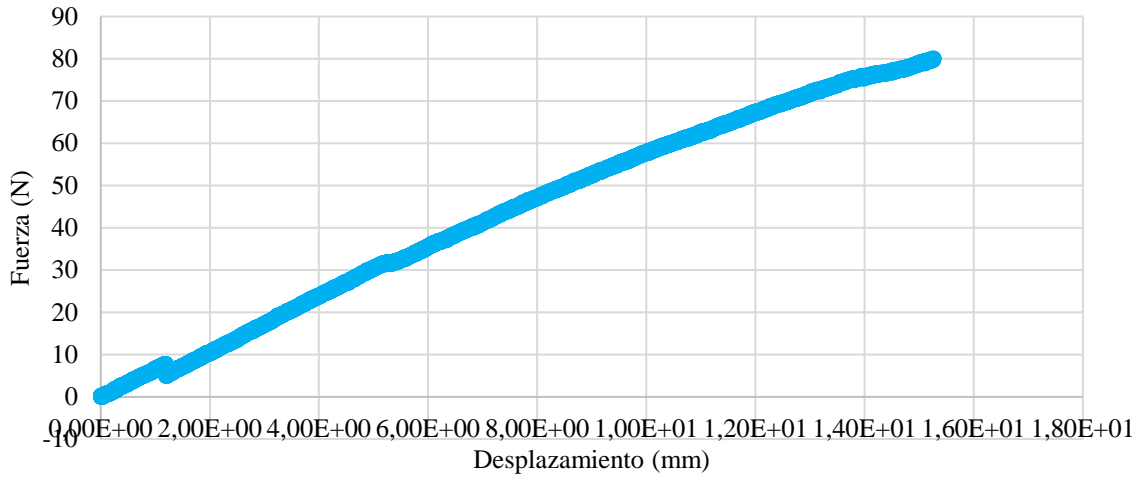
N° PROBETAS	Carga máxima (N)	Esfuerzo de Flexión (MPa)	Flecha Máxima (mm)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Deformación	Tipo de fallo evaluado
1	80.7603	340.708	15.513	24053.24	1.839	BSM
2	66.5267	280.660	12.958	25354.2	1.536	BSM
3	52.1580	220.042	11.987	20972.2	1.421	BSM
PROMEDIO	66.48	280.47	13.49	23459.88	1.60	

PROBETAS ENSAYADAS

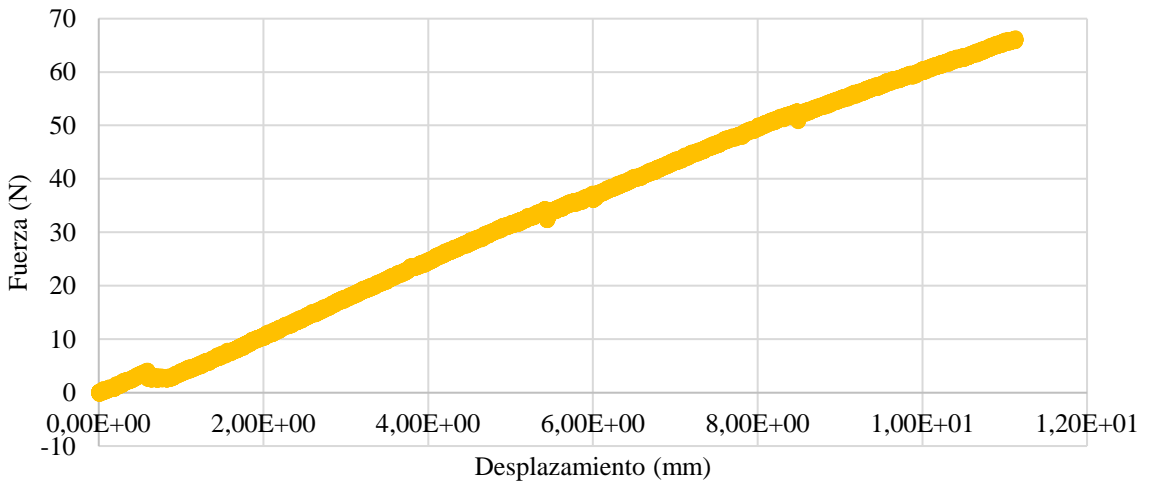


GRÁFICAS

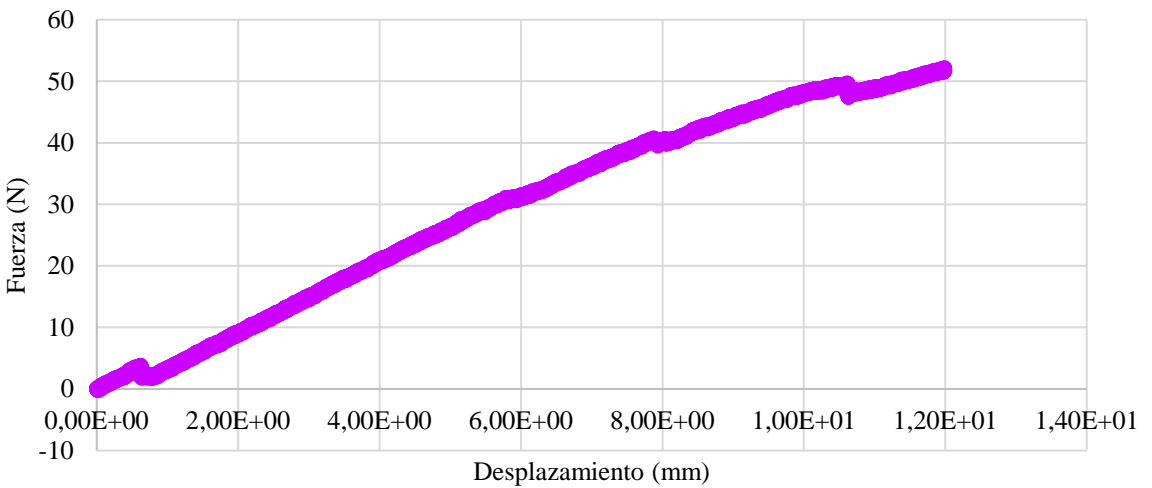
Fuerza vs Desplazamiento (Probeta 1)



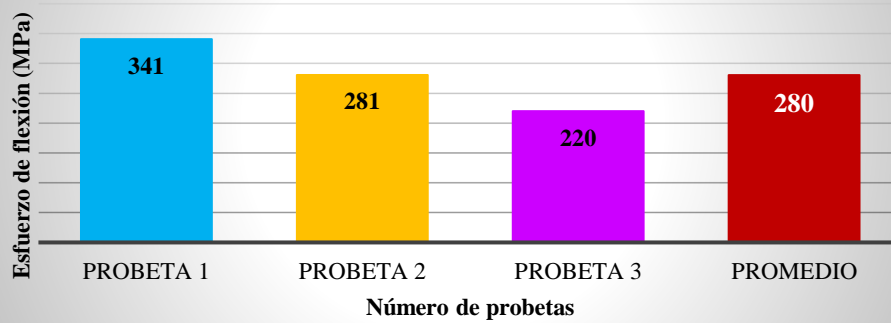
Fuerza vs Desplazamiento (Probeta 2)



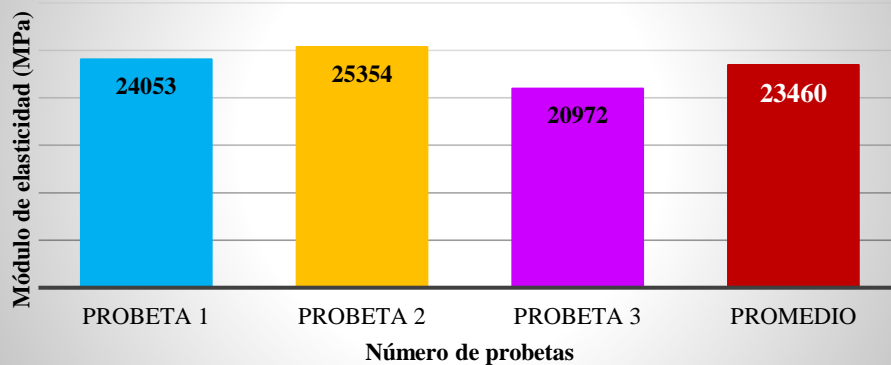
Fuerza vs Desplazamiento (Probeta 3)



Esfuerzo Máximo de Flexión



Módulo de Elasticidad





OBSERVACIÓN

- El fallo que se da en todas las pruebas ensayadas es de tipo BSM el cual se trata de que el fallo está en la punta de carga, con una falla profunda es decir que el material se fisuro en la zona media.
- Los tipos de fallos fueron analizados de acuerdo con las especificaciones la norma ASTM D7264, para flexión.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de flexión (MPa):	280.05	Elaborado por:	Sta. Tenorio Estefanía
% Elongación:	1.60	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Módulo de elasticidad (MPa):	23459.88	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Carga máxima (N):	66.48	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Tabla 21. Ficha Técnica de material compuesto con fibra de vidrio, prueba 2.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA						
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS						
FLEXIÓN ASTM D7264						
DATOS INFORMATIVOS						
Tipo de estudio:	Proyecto Técnico	Codificación:	P1-IN-FV			
Fecha de ejecución:	30/10/2023	Equipo:	Máquina Universal de ensayos Shimadzu AGS-X SERIES 50 kN			
Realizado por:	Tenorio Cabezas Vanessa Estefania	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.			
Lugar:	Universidad Técnica de Ambato – Laboratorio de Innovación y Desarrollo, Área de ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Ambato-Ecuador					
PARÁMETROS DE ENSAYO						
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D638	Número de probetas:	4	
Marca:	Aeropoxy PR2032	Dimensiones (mm):	127*12.7*e	Peso de la matriz (g):	17.42	
Refuerzo:	Fibra de carbono	Temperatura de curado (°C):	80 °C	Estratificación:	Infusión al vacío	
Orientación de la fibra:	0-90°	Orden de capas:	FV+FV+FV+FV	Espesor promedio (mm):	0.45	
Peso de la fibra (g):	22.12	Velocidad de ensayo:	2 mm/min	Tiempo de curado:	2h en horno	
RESULTADOS						
N° PROBETAS	Carga máxima (N)	Esfuerzo de Flexión (MPa)	Flecha Máxima (mm)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Deformación	Tipo de fallo evaluado
1
2
3
4
Promedio
PROBETAS ENSAYADAS						



GRÁFICAS

No existen gráficas representativas de los valores que se desean obtener ya que el material compuesto ensayado obtuvo una flexibilidad total.

OBSERVACIÓN

El material compuesto con fibra de vidrio con 4 capas, se le considera extremadamente flexible, debido a sus características de la probeta, además al tener un espesor de 0.45, el material tuvo la capacidad de deformarse sin llegar a la fractura, dentro de los límites establecidos por el ensayo y la capacidad máxima de la máquina ensayadora universal.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	-	Elaborado por:	Sta. Tenorio Estefanía
% Elongación:	-	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Módulo de elasticidad (GPa):	-	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Carga máxima (N):	-	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

3.2. Análisis y discusión de los resultados

3.2.1. Diseño de molde

En la Tabla 22, se detalla cómo se realizó el molde para montar el sistema de infusión al vacío.

Tabla 22. Resultados del proceso de fabricación del molde.

Material de molde	Se utilizó madera de Laurel debido a sus propiedades resistentes y que no se llega a pandear durante el proceso de maquinado, cuando el laurel este seco llega producirse ciertas fisuras las mismas que no impiden el paso del herramienta o no avanzan durante el proceso de maquinado.
Proceso de fabricación	Se aplicó el proceso de fresado CNC, debido a que para maquinar madera fue mucho más fácil que otro proceso, además si obtuvo un acabado con mínimas imperfecciones, las mismas que fueron pulidas y trabajadas en el proceso de curado del molde.

3.2.2. Parámetros principales del proceso de infusión al vacío

En la Tabla 23, se muestran los tres parámetros principales que se deberán tomar en cuenta en el momento que se pone en marcha un conformado bajo este proceso.

Estos parámetros son para un proceso ya sea plano o con una forma establecida.

Tabla 23. Parámetros principales para el proceso de infusión al vacío para formas complejas.

Tipo de laminado	Fibra	Capas	Tiempo (min)	Distancia de laminado (mm)	Presión de compactación (Pa)	Velocidad (mm/min)	Permeabilidad por m ²
Accesorio automotriz	Carbono	4	50	280	67727.57	5.6	1.28X10 ⁻⁹
Laminado plano	Vidrio	4	60	200	64341.2	3.33	4.96X10 ⁻¹⁰
OBSERVACIONES							

- Como resultados se obtuvieron factores de permeabilidad en dirección del eje (X), los cuales entre la fibra de carbono y la de vidrio están dentro del rango de 10⁻⁹ a 10⁻¹⁰ por m².
- Los tiempos de llenado se obtuvieron durante el proceso del lamiando, pero también se lo puede obtener bajo la Ley de Darcy, los cuales son muy cercanos a los tiempos reales.

- La presión de compactación se la puede obtener durante el laminado ya que se verá reflejado en el vacuómetro, es importante saber que esta presión debe ser constante, para un resultado uniforme.
- La permeabilidad que se obtuvo en los dos tipos de laminados indica que las fibras utilizadas tienen una capacidad suave y rápida para que la resina atraviese por toda la estructura sin alterar la composición de estas.

3.2.2.1. Discusión del proceso de infusión al vacío

El factor que más destaca en este proceso es la Permeabilidad, la cual representa la capacidad que tiene una fibra para que un fluido pase por la misma. Al observar que el recorrido o avance de la resina es mucho más rápido en la fibra de carbono que en la de vidrio, se entiende que la permeabilidad también es mayor donde $K = 1.28 \times 10^{-9}$ por m^2 para la fibra de carbono y $K = 4.96 \times 10^{-10}$ por m^2 para la fibra de vidrio, indicando que la fibra de carbono 3K con un tejido de 1 a 1 y un ángulo de tejido a 45° , presenta mayor porosidad la misma que proporciona más canales de flujo de resina al momento de realizar un laminado bajo el proceso de infusión al vacío, así también logrando un menor tiempo de laminado el cual fue de 50 minutos para 280 cm de laminado con una forma específica y compleja, a comparación con la fibra de vidrio la cual obtuvo un tiempo de laminado de 60 minutos para 200 cm de laminado plano, los dos laminados con la misma cantidad de capas que fueron 4.

3.2.3. Resultados generales de las pruebas mecánicas Tracción-Flexión

En las Tablas 24, 25 y 26, se detallan los resultados de las propiedades mecánicas a tracción y flexión del material, bajo el proceso de infusión al vacío.

Tabla 24. Propiedades mecánicas generales de ensayos a tracción.

FIBRA DE CARBONO				
Factores	Propiedades mecánicas de tracción			
	Esfuerzo Máx a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación	Desplazamiento máx (mm)
Probeta 1	212.10	8957.66	4.02	2.01
Probeta 2	258.42	9340.18	5.30	2.65
Probeta 3	238.99	9572.72	4.72	2.36
Probeta 4	242.29	9252.05	4.38	2.19
PROMEDIO	237.95	9280.65	4.60	2.30

Tabla 25. Propiedades mecánicas generales de ensayos a flexión.

FIBRA DE CARBONO				
Factores	Propiedades mecánicas de flexión			
	Esfuerzo Máx (MPa)	Flecha Máx (mm)	Módulo de flexión (MPa)	% Deformación
Probeta 1	340.71	15.51	24053.4	1.84
Probeta 2	280.66	12.96	25354.2	1.54
Probeta 3	220.04	12.00	20972.2	1.42
PROMEDIO	280.47	13.49	23459.93	1.60

Tabla 26. Propiedades mecánicas generales de ensayos a tracción.

FIBRA DE VIDRIO				
Factores	Propiedades mecánicas de tracción			
	Esfuerzo Máx a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación	Desplazamiento Máx (mm)
Probeta 1	195.28	6189.88	3.93	1.96
Probeta 2	173.66	6060.44	3.59	1.80
Probeta 3	166.30	5929.80	3.43	1.71
Probeta 4	158.45	5782.07	3.36	1.68
PROMEDIO	173.62	5990.55	3.58	1.79

Es importante describir que no se obtuvieron resultados ni valores de los ensayos aplicados a flexión con la fibra de vidrio debido a que el material compuesto que se obtuvo con 4 capas, se le considera extremadamente flexible, debido a sus características de la probeta, además al tener un espesor de 0.45mm, el material tuvo la capacidad de deformarse sin llegar a la fractura, dentro de los límites establecidos por el ensayo y la capacidad máxima de la maquina ensayadora universal.

Como resultados principales nos podemos dar cuenta que al realizar las pruebas de Tracción de la fibra de carbono y la fibra de vidrio se obtuvo un Esfuerzo Máximo de 237.95 MPa para la fibra de carbono y 173.62 MPa para la fibra de vidrio lo que indica que las 4 capas de fibra de carbono al ser mucho más densas que la fibra de vidrio y al obtener un espesor de 1.6mm, logró soportar el 31% más que la fibra de vidrio.

En la Tabla 27., se presentan los valores finales o promedios de los ensayos a tracción, obtenidos tanto de la fibra de carbono como de la fibra de vidrio, y poder observar la variación de resultados a pesar de que el proceso de conformado fue el mismo.

En todas las propiedades mecánicas que se obtuvieron en los ensayos la fibra de carbono llega a ser más resistente que la fibra de vidrio a pesar de que los dos laminados fueron conformados con los mismos parámetros de infusión al vacío, pero la característica o propiedades que llega a cambiar tanto las propiedades mecánicas es la densidad de la fibra y la orientación.

Tabla 27. Resultados de ensayos a tracción con fibra de carbono y fibra de vidrio.

PROPIEDAD MECÁNICA	FIBRA DE CARBONO	FIBRA DE VIDRIO
Esfuerzo Máx a la tracción (MPa)	237.95	173.62
Módulo de elasticidad (MPa)	9280.65	5990.55
Elongación (%)	4.60	3.58
Desplazamiento máx (mm)	2.30	1.79

En la Tabla 28., se presentan los valores finales de los ensayos a flexión obtenidos bajo el proceso de infusión al vacío, tanto de la fibra de carbono como de la fibra de vidrio.

En esta prueba se pudieron obtener valores con la fibra de vidrio, pese que laminado fue bajo los mismos parámetros de conformado, es decir que el laminado con fibra de vidrio obtuvo un espesor de 0.45mm, dando como característica principal un material compuesto extremadamente flexible y frágil a la vez.

Tabla 28. Resultados de ensayos a flexión con fibra de carbono y fibra de vidrio.

PROPIEDAD MECÁNICA	FIBRA DE CARBONO	FIBRA DE VIDRIO
Esfuerzo Máx (MPa)	280.47	-
Flecha Máx (mm)	13.49	-
Módulo de flexión (MPa)	23459.93	-
% Deformación	1.60	-

3.2.4. Comparación de resultados del proceso de infusión al vacío

En la siguiente Tabla 29., se muestra la comparación y aplicación de procesos de laminados mediante infusión al vacío.

Tabla 29. Parámetros de comparación de procesos de infusión al vacío.

Proyecto Técnico	Proyecto Técnico Externo
No se utilizó manta de absorción	Se utilizó manta de absorción
No se utilizó rodillo de distribución	Se utilizó rodillo de distribución o manual
No se utilizó bolsa sin perforar	Se utilizó bolsa sin perforar
Se utilizó adhesivo en spray	No se utilizó adhesivo
Se utilizó desmoldante	Se utilizó desmoldante

- El proceso y la técnica que se utiliza para un laminado, depende mucho del operario o persona que lo va a realizar de acuerdo a los conocimientos necesarios, pero existen algunos parámetros que para este tipo de proceso no puede cambiar, como es la utilización de la manta de absorción, la cual no debe ser utilizada en este proceso ya que al ser gruesa y tener la capacidad de absorber el exceso de resina o cualquier otro tipo de fluido, solo va a retrasar el proceso y tiempo de laminado, para esa función se tiene la trampa de resina, es decir el contenedor y la manguera de salida de resina incorporado en el sistema, además al frenar la fluides se puede correr el riesgo de sobrepasar el tiempo de curado natural de la resina lo que causaría que el lamiando no se complete y sea uniforme. La manta de absorción es recomendada para procesos de laminado manual.
- La utilización de adhesivo en spray no es obligatoria, pero si se lo recomienda cuando se trata de un laminado con más de 2 capas de fibras ya que ayudará al momento de moldear las fibras en el molde que se desea laminar o incluso para laminados planos, ayudando que las capas de fibras se queden fijas entre ellas.
- El uso de desmoldante entre la base del molde o mesa de laminado es muy importante eh indispensable, ya que en el momento del desmoldeo las fibras y resina no se quede pegada en el mismo causando fracturas leves o graves.

3.2.5. Comparación de resultados de pruebas de tracción

- a. En la Tabla 30, se realizó una comparación de resultados entre un laminado externo y comercial y el laminado realizado en el presente proyecto técnico, por medio del proceso de infusión al vacío, pero el laminado externo utilizaron también un proceso semi manual en el cual realizaron un rodillo de aluminio

para ayudar a fluir mucho más rápido a la resina y las mismas características utilizadas que son 4 capas de fibra de carbono, con una orientación de 45 °, un tiempo de curado de 2 horas y resina epoxi.

Tabla 30. Comparación de resultados de pruebas de tracción.

PROBETA PROYECTO TÉCNICO			PROBETA EXTERNA (COMERCIAL)		
Esfuerzo Máx a la Tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deformación (mm)	Esfuerzo Máx a la Tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deformación (mm)
212.10	8957.66	2.01	424.92	2044.28	0.83
258.42	9340.18	2.65	70.80	400.32	1.79
238.99	9472.72	2.36	105.42	428.08	1.64
242.29	9252.05	2.19	326.27	1298.24	0.10
237.95	9280.65	2.30	231.85	1067.73	1.09

En el Diagrama 5., se muestra el comportamiento de las propiedades del conformado de la fibra de carbono y el laminado de la fibra de vidrio, obteniendo como resultado una gráfica en la cual el Módulo de Elasticidad de la fibra de carbono es mucho mayor que la de vidrio, mejorando su elasticidad longitudinal gracias a las características que se pudo obtener con el proceso de infusión al vacío y propiedades de la fibra de carbono, con una densidad de 1.79 g/cm³ y una orientación de 45°.

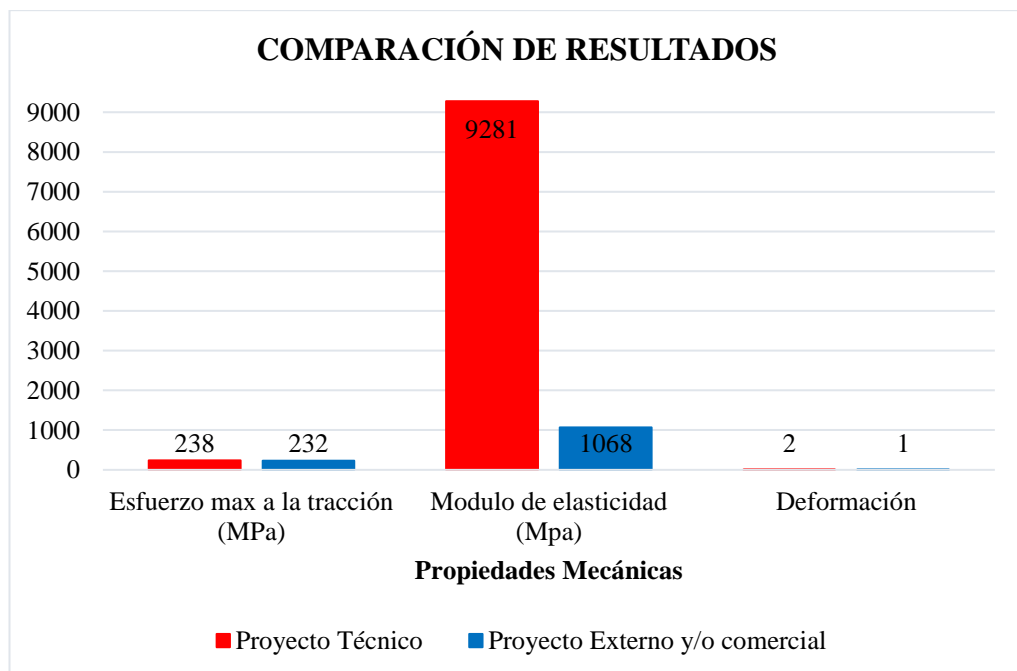


Diagrama 5. Comportamiento de propiedades entre fibra de carbono y fibra de vidrio.

Muchos de los resultados con los cuales se llegó a comparar el laminado del presente proyecto técnico, se tiene en cuenta que al realizarse el lamiendo mediante el proceso de infusión al vacío, tiene una gran ventaja, la cual es la compactación con la que se laminada, considerando uno de los parámetros más importantes del proceso, ya que existe una pérdida de presión, la resina o fluido ya no correrá por el molde con la misma uniformidad e impregnación.

Los datos fueron obtenidos del Trabajo de Fin de Master, con el tema: Caracterización de laminados de fibra de carbono-epoxi reforzados [51].

- b. En la Tabla 31, se realiza otra comparación con los resultados obtenidos en las pruebas mecánicas por tracción, de igual manera con las mismas características que la del presente proyecto técnico, es decir, mediante un proceso de infusión al vacío, 4 capas de fibra de carbono, pero en este caso tienen diferente posición de fibras y resina epoxi.

Tabla 31. Comparación de datos entre proyecto técnico y proyecto técnico externo.

Proyecto Técnico		Proyecto Técnico Externo	
Orientación de fibra (°)	Esfuerzo Máximo a la Tracción (MPa)	Orientación de fibra (°)	Esfuerzo Máximo a la Tracción (MPa)
45	212.10	0-90	236.60
45	258.42	0-90	209.21
45	238.99	0-90	294.83
45	242.29	0-90	198.90
PROMEDIO	237.95	PROMEDIO	209.89

Como se puede observar los resultados obtenidos, se tiene que el Esfuerzo Máximo a la Tracción del presente proyecto técnico es de 237.95 MPa y el valor del Esfuerzo Máximo a la Tracción del proyecto Técnico externo tiene un valor de 209.88 MPa, lo que se puede decir que al tener las mismas características y una orientación de la fibra para el laminado influye mucho, ya que al tener una orientación de 45° de inclinación le proporciona al laminado mayor resistencia, además la técnica del laminado y la presión de comparación, obteniendo así una mayor resistencia en nuestro accesorio externo automotriz.

Los valores obtenidos para la comparación de resultados, se tomó del Proyecto Técnico con el tema: “Evaluación del daño en laminados de fibra de carbono y vidrio por impacto de baja velocidad mediante cañón neumático” [52].

En el Diagrama 6., se muestra el comportamiento de las propiedades de los dos proyectos técnicos, lo cual la probeta 1 es la que mayor esfuerzo a la tracción obtuvo, con un valor de 236.597 MPa.

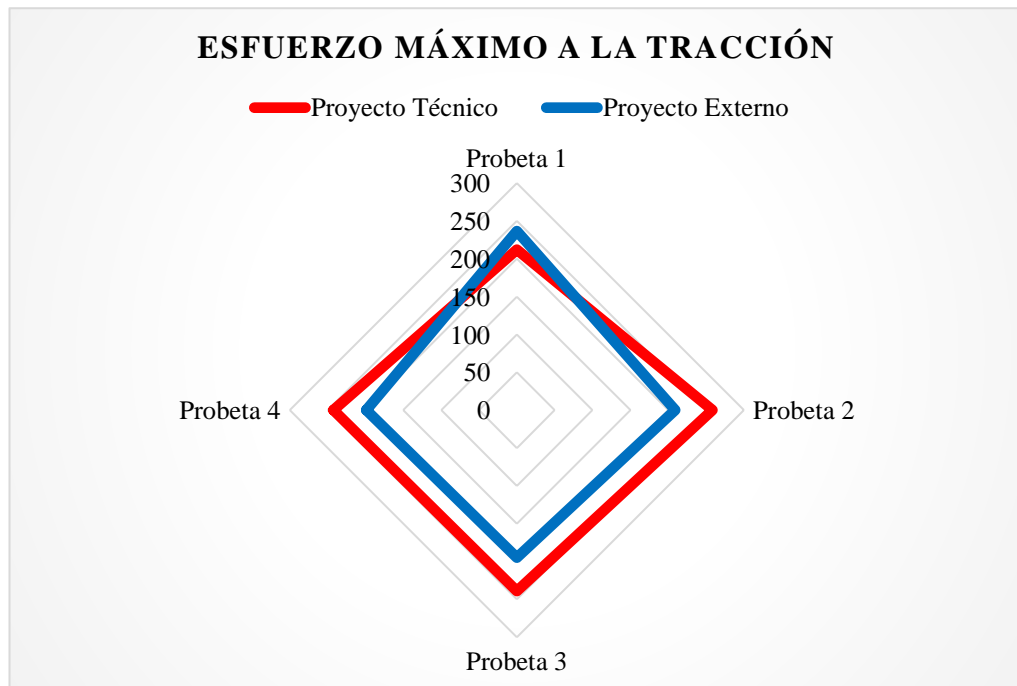


Diagrama 6. Comportamiento mecánico de resultados.

- c. En la Tabla 32, se realiza una tercera comparación que se tiene entre un conformado mediante un proceso de infusión al vacío con fibra de carbono y resina epoxi, con un orden del kit como: fibra+peel-ply+malla de distribución, el cual fue el orden utilizado en el presente trabajo. El proceso de laminado tuvo un tiempo de curado de 1 hora a 80 °C, con una orientación de la fibra de 0-90°.

Tabla 32. Comparación de resultados entre proyecto técnico y proyecto técnico externo.

Proyecto Técnico			Proyecto Técnico Externo		
Orientación de fibra (°)	Esfuerzo Máximo a la Tracción (MPa)	Módulo de Young (MPa)	Orientación de fibra (°)	Esfuerzo Máximo a la Tracción (MPa)	Módulo de Young (MPa)
45	212.10	52.77	0-90	234.91	50.65
45	258.42	48.80	0-90	218.63	43.63
45	238.99	50.66	0-90	228.53	44.39
45	242.29	55.31	0-90	244.58	50.77
PROMEDIO	237.95	51.69	PROMEDIO	231.66	47.34

El parámetro principal de los ensayos fueron los mismos, es decir que la velocidad del ensayo fue de 2 mm/min. Como resultado se obtuvo un promedio de Esfuerzo a la Tracción de 237.95 MPa en el proyecto técnico y un Esfuerzo a la Tracción de 231.66 MPa en el proyecto externo, indicando que las probetas ensayadas de nuestro proyecto técnico son más resistentes con un 2.64% mayor, así también se obtuvo un Módulo de Young de 51.69 MPa 47.34 MPa, demostrando que el material compuesto laminado en el presente proyecto técnico tiene mayor elasticidad longitudinal, siendo mayor con un 8.42%.

Los valores obtenidos para la comparación de resultados, se tomó del Proyecto de Fin de Grado con el tema: “Infusión con vacío e infusión con autoclave para la fabricación de elementos en material compuesto” [44].

En el Diagrama 7., nos podemos dar cuenta que las propiedades entre el proyecto técnico y el proyecto externo no se dispersan mucho, ya que tanto en el Esfuerzo Máximo a la Tracción los dos laminados llegan a ser resistentes.

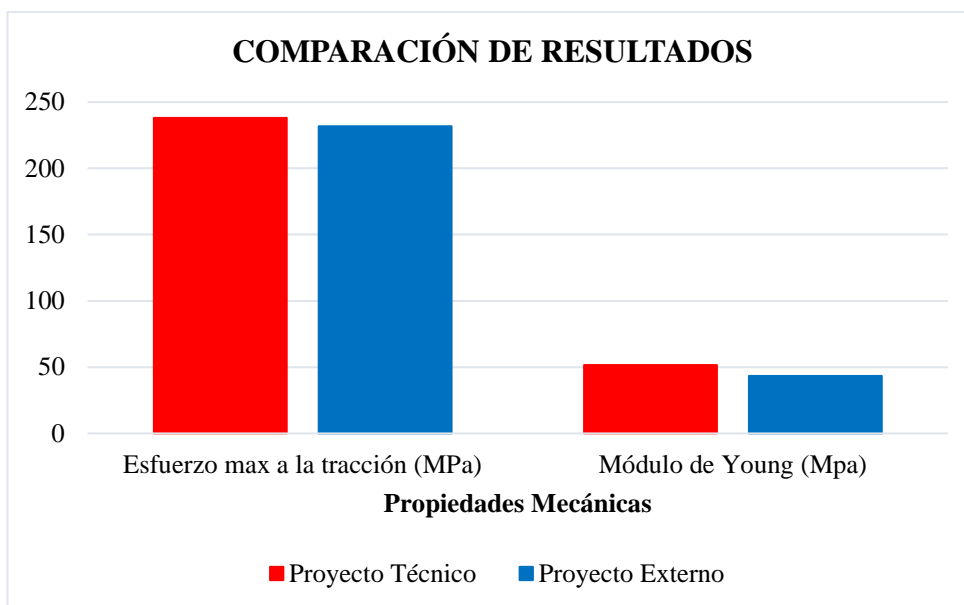


Diagrama 7. Comportamiento de propiedades mecánicas de Proyecto Técnico y Proyecto Externo.

3.3. Análisis económico

Para el análisis económico y presupuesto invertido en el presente proyecto técnico, se tomará en cuenta todos los materiales utilizados tanto para el conformado del molde y el laminado en su totalidad.

3.3.1. Costo de insumos

En estos costos se redacta todos los materiales que son de libre comercialización, es decir que los obtenemos ya fabricados, consultando o guiándonos de catálogos en el mercado, sin necesidad de maquirarlos o diseñarlos.

Tabla 33. Costos de insumos.

Denominación	Cantidad	Dimensiones (mm)	Costo unitario (\$)	Costo total (\$)
Inserto plano para madera	1	4F-R3X12X6X100L	34.30	34.30
Inserto plano para madera	1	6X40X100L FRESA de CARBURO HKS	29.95	29.95
Topes o trampas	6	Ø10X20h	0.20	1.20
Manguera de sistema	2 metros	Ø10X2000L	1.80	3.60

Manguera de sistema	2 metros	Ø20X1000L	3.40	6.80
Manguera de sistema	2 metros	Ø5X1000L	0.90	1.80
TOTAL:				77.65

3.3.2. Costos de materia prima

En la Tabla 33., se detalla la materia prima la cual es conseguida en bruto es decir que se necesita cortar o procesarla, para convertirla en el objeto que se requiere mediante un proceso de corte, mecanizado, muchos casos estos materiales se los consigue en grandes cantidades (cajas o a partir de un metro).

Tabla 34. Costo de materia prima en general.

Denominación	Cantidad	Material	Dimensiones (mm)	Costo unitario (\$)	Costo total (\$)
Bloque de madera	1	Laurel	50X50X50	40	40
Pasta de curado para madera	3.17 kg	Pasta	Galón	27	27
Gel desmoldante	3.78 kg	PVA Release Film	Galón	7.80	7.80
Lijas para pulido	1 metro	Varios	200X200	2	2
Fibra de carbono 3K	3 metros	Carbono tejido	1270AX1000L 3000 filamentos por hebra de hilo	87	261
Fibra de vidrio	2 metros	Vidrio tejido	965.2AX1000L 0.1016 Espesor Tejido liso	30	60
Butilo (chicle)	15 metros	Masilla de cierre	12X2.5X15000	30	30

Pell Ply (Tejido pelable)	2 metros	Poliamida	1000AX1000L Gramaje: 80g/m ²	8.50	17
Funda de vacío (Bagging Film)	3 metros	Nylon	1220AX1000L	15	45
Adhesivo en spray No. 1782	340 g	ECO-MIST ADHESIVE	Recipiente	12.70	12.70
Malla de distribución	3 metros	Nylon	500AX1000L	46.80	140.40
Resina Epoxi (AEROPOXY)	3.78 kg	Varios (Polímero)	Galón de resina y endurecedor	500	500
TOTAL:					1142.90

3.3.3. Costo de maquinado

En la Tabla 35 y 36., se determina cual es el valor por la utilización del mecanizado por hora que se realizó para el molde en la Fresa CNC y la verificación del número de horas que se deben emplear para el conformado, además se detalla el costo de la utilización del sistema al vacío para el proceso de laminado.

Tabla 35. Costo por horas.

HORA POR MÁQUINA (\$)		
FRESA CNC	RECTIFICADORA	SISTEMA DE INFUSIÓN
26.50	15	20

Tabla 36. Costos de maquinado y laminado por cada proceso.

Máquina	Cantidad	Horas			Costo Total (\$)
		Fresa CNC	Rectificadora	Sistema de infusión	
Molde automotriz	1	27	6	-	805.5
Accesorio Automotriz	1	-	-	1	20
Laminado plano	1	-	-	1	20
TOTAL:					845.5

3.3.4. Costos por tratamiento térmico

En la Tabla 37., se detalla el costo del tratamiento terminado que de igual forma se utilizó en el presente proyecto técnico tanto para el molde como para el accesorio automotriz laminado y laminado plano.

Tabla 37. Costos de tratamiento térmico.

Tratamiento Térmico	Horas	Costo por hora (\$)	Costo Total (\$)
Molde	2	5.70	11.40
Laminado plano	2	5.70	11.40
Accesorio Automotriz	2	5.70	11.40
TOTAL:			34.20

3.3.5. Costo de mano de obra

Para el conformado y construcción del accesorio y molde es importante contar con mano de obra calificada y especializada en las áreas como es la de maquinado y materiales compuestos, entonces, por medio de una investigación y relación al salario básico en el Ecuador se tiene que el costo aproximado por hora es de \$2.80, pero en procesos de maquinado y procesos de infusión al vacío los costos por mano de obra es el 50% o más aproximadamente, esto depende mucho de la empresa.

Tabla 38. Costo por mano de obra.

Proceso	Costo/Hora (\$)	Costo Total (\$)
Maquinado	5	165
Laminado	5	50
TOTAL:		215

3.3.6. Costo total de fabricación total

En la Tabla 39., se detallan los costos totales de cada uno de los apartados en los que se dividieron todos los costos, para saber cuál es el costo final del Proyecto Técnico.

Tabla 39. Costo total de fabricación.

COSTOS	Costo Total (\$)
Insumos	77.65
Materia Prima	1142.90

Maquinado	845.5
Tratamiento Térmico	34.5
Mano de obra	215
TOTAL:	2315.55

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Se elaboró un molde automotriz con madera, se utilizó un bloque de laurel seco con dimensiones de (41X38X5.5) cm, mediante un proceso de Fresado, en el cual se utilizó un Software CAD para el diseño del accesorio, teniendo como base un modelo universal de entrada y salida de flujo de aire, el molde se lijó y se pulió hasta obtener un acabado lo más uniforme y liso posible, posteriormente de un curado con gel coal y desmoldante líquido.
- Se laminó el accesorio automotriz mediante el proceso de infusión al vacío en su totalidad, tanto de la fibra de carbono (capo de entrada de flujo de aire) como de la fibra de vidrio (laminado plano), teniendo en cuenta el orden de los complementos del sistema como es el butilo o cinta plegable en los filos del molde o zona de laminado, encerado del molde o base plana, adhesivo líquido o en aerosol, capas de las fibras, pell ply, malla distribuidora, manguera de distribución en el área analizada, topes de fijación para mangueras de distribución, funda de vacío, mangueras de entrada y salida de resina conectadas al recipiente con la mezcla preparada y trampa de extracción, respectivamente.
- Se obtuvo los parámetros principales de este proceso, los cuales son, la presión de compactación, velocidad de laminado, tiempo de laminado, permeabilidad de las fibras para saber si la fibra tiene una porosidad alta o baja, obteniendo de esa forma como resultados una presión de compactación de $P_c = 67727.57 Pa$ para el laminado del accesorio automotriz con una área de $0.214 m^2$ con fibra de carbono , una velocidad de laminado de $V_{carbono} = 9.33 \times 10^{-5} m/s$, un tiempo de laminado de $50 min$ y una permeabilidad de $K = 1.28 \times 10^{-9} m^2$ indicando que el tipo de fibra utilizado contine canales de paso de resina separados, los cuales permiten un buen paso de resina, así también en el laminado plano de fibra de vidrio se presenta una presión de

compactación de $P_c = 643441.2 \text{ Pa}$, una velocidad de laminado de $V_{\text{vidrio}} = 5.56 \times 10^{-5} \text{ m/s}$, un tiempo de laminado de 60 min y una permeabilidad de $K = 64341.2 \times 10^{-10} \text{ m}^2$ indicando que tipo el de fibra utilizado contine canales de paso de resina mucho más unidos o apretados, los cuales causan una retención del paso de fluido, alargando el tiempo de laminado y disminuyendo la velocidad de laminado pese a la distancia de conformado.

- Se realizó los ensayos de tracción-flexión del accesorio externo automotriz, obteniendo como resultados en los ensayos de tracción un Esfuerzo Máximo de 237.95 MPa , un módulo de elasticidad de 9280.65 MPa , Carga Máxima de 4758.99 N y un desplazamiento de 2.30 mm , así también en los ensayos de flexión se obtuvo como resultados un Esfuerzo Máximo de 280.47 MPa , Flecha Máxima de 13.486 mm , un Módulo de Elasticidad de 23459.90 MPa , soportando una Carga Máxima de 66.48 N . En los ensayos realizados con el lamiando con fibra de vidrio en tracción se obtuvo Un esfuerzo Máximo de 173.62 MPa , un Módulo de Elasticidad de 5990.55 MPa , un Desplazamiento de 1.80 mm y soporta una carga de 976.56 N y en los ensayos de flexión no se obtuvieron datos específicos ya que las probetas las mantener un espesor de 0.45 mm el material compuesto resulto ser altamente flexible, llegando al punto máximo de los límites establecidos por la norma de ensayos y capacidad máxima de la máquina de ensayos universal.
- Se comprobó que las propiedades mecánicas de un material compuesto dependen completamente de la orientación de las fibras, comparando así los resultados obtenidos en el presente proyecto técnico con un proyecto técnico externo y/o comercial dando como resultados que en el Accesorio Automotriz se obtiene un Esfuerzo Máximo a la Tracción de 237.95 MPa con una orientación de 45 grados , teniendo más resistencia que 231.85 MPa , ya que la orientación con la que fue realizada la laminación fue de 0 y 90 grados en la segunda comparación de resultados con otro Proyecto Técnico Externo se obtuvo un Esfuerzo Máximo a la Tracción de 209.89 MPa y con el tercer Proyecto Externo y/o comercial el mismo que obtuvo como resultado un Esfuerzo Máximo a la Tracción de 231.66 MPa , por las mismas condiciones que fue la aplicación del kit de infusión al vacío, y el orden del kit de infusión.

- Las normas que se utilizaron para los ensayos de Tracción y Flexión fueron la ASTM D638 y ASTM D7264, respectivamente, en las cuales se detalla tanto las dimensiones de las probetas como cada uno de los parámetros que se deben tomar en cuenta en el momento de realizar los ensayos como son la velocidad, y distancia entre mordazas o luz, además para el reconocimiento y estudio de tipos de fallos se utilizó la norma ASTM D3039 y ASTM D7264.
- Se realizó un análisis económico de todo el proyecto, dividiendo el presupuesto en cinco ámbitos: insumos con un total de \$77.65, materia prima con un total de \$1142.90, maquinado con un total de \$845.5, tratamiento térmico con un total de \$34.5 y mano de obra con un total de \$215, obteniendo una inversión final de \$2315.55 en el conformado general entre el molde y el laminado del accesorio externo automotriz (cubierta de ventilación de entrada de flujo de aire), bajo el proceso de infusión al vacío.
- Se analizó que la inversión total del trabajo técnico es elevada debido al costo de las fibras y resinas, teniendo en cuenta que si el proceso es utilizado para una producción en serie sería mucho más viable en relación a costo-beneficio recuperando lo invertido al conformar 50 unidades con un valor de \$46.31 c/u, pero con un molde realizado en metal como por ejemplo aluminio, de esta manera se disminuiría el costo al público, ya que un capó de entrada de flujo de aire en el mercado normalmente tiene un costo de \$52.

4.2. Recomendaciones

- Al diseñar un molde y conformarlo es importante tener en cuenta el grado de inclinación en los bordes y áreas con formas rectas, se recomienda un grado de inclinación mínimo de 10.
- Para el proceso de infusión al vacío es importante realizarlo con resinas que sean de viscosidad baja (líquida), para que no existan estancamientos y sobrepase el tiempo de curado marcado en las fichas técnicas de las resinas, causando una cristalización temprana.
- La selección de los puntos de entrada y salida de resina tienen que ser colocados, teniendo en cuenta que, si se desea reforzar ciertas zonas del componente independientemente de la forma o geometría compleja, esa zona se la deja al final es decir en la parte de donde saldrá la resina, de esa manera se podrá minimizar el desperdicio de resina y acelerar el tiempo de laminado.
- Para el corte de las fibras se toma en cuenta las medidas del contorno del molde o mesa donde se laminará, ya que es importante dejar un sobrante que es en donde irán los topes de entrada y salida de resina y mangueras, además al momento del desmoldeo ningún laminado quedará perfecto por ello que lo pasa por un proceso de pulido y así no se afectará en las dimensiones del accesorio o componente.
- El tiempo de curado del laminado es de 24 horas en el sistema completamente cerrado a temperatura ambiente 25°C, después del desmoldeo se recomienda curarlo en un Horno a 80 °C por lo mínimo 2 horas.
- Calibrar y verificar los parámetros de la ensayadora universal, si se utiliza las normas ASTM D638 se utiliza una velocidad de 5 m/s y una distancia entre mordazas de 115 mm, para tracción y se utiliza la norma ASTM D7264 se utiliza una velocidad de mínimo 2 m/s y una distancia de la luz máximo de 80mm, además en este ensayo se toma en cuenta que la distancia de apoyos debe tener el 10% de la distancia total en cada extremo.
- Tomar el tiempo de laminado y si la bomba de vacío no contiene sensores de presión, estar pendiente de que la presión de comparación no disminuya, así

también tener cuidado con el recipiente y las mangueras de entrada de resina o cualquier otro tipo de fluido, ya que si estas salen del recipiente o se termina el fluido e ingresa aire, el laminado tendrá discontinuidades y causará una pérdida de presión.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Nuno. C. Correia, A. Long, F. Robitaille, C. D. Rudd, y S. G. Advani, «Analysis of the vacuum infusion moulding process», *Science Direct*, School of Mechanical, Materials, Manufacturing Engineering and Management, University of Nottingham, NG7 2RD Nottingham, UK and Department of Mechanical Engineering, Center for Composite Materials, University of Delaware, Newark, DE 19716, USA, p. 13, 22 de marzo de 2005.
- [2] S. Rajkumar, «Vacuum Infusion Molding of Natural Fibre Reinforced Biobased Resin Composite», A thesis submitted in conformity with the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, University of Toronto, Toronto, 2016.
- [3] A. X. Arias Perez, J. S. Velez Salazar, A. M. Jorque Rea, y R. P. Toasa Jimenes, «Materiales compuestos y su aplicación en partes automotrices: Revisión», *Polo del Conocimiento*, vol. 70, n.º 09, pp. 596-622, 1 de septiembre de 2022.
- [4] M. Moncayo Theurer, J. Rodriguez, Alcívar, López, Soriano, y Villacis, «Las fibras de carbono como una alternativa para reforzamiento de estructuras», *Universidad Autónoma de Yucatán*, vol. 20, n.º 1, pp. 57-62, 24 de noviembre de 2016.
- [5] D. Lascano, J. Valcácer, R. Balart, L. Quiles-Carrillo, y T. Boronat, «Fabricación de materiales compuestos de alto rendimiento medioambiental con resina epoxi de origen renovable y núcleos ligeros permeables para infusión asistida por vacío», *Ingenius*, n.º 23, pp. 62-73, 9 de diciembre de 2019.
- [6] R. A. Cevallos Bedón, «Trazabilidad de materiales biodegradables con fibra de yute mediante infusión en aplicaciones de construcción y mantenimiento», Proyecto de investigación, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, 2022.
- [7] Y. Á. Dávila Montaña y M. Hernández Pérez, «Aplicación del método RTM en la elaboración de piezas aeronáuticas», Tesis de grado, Instituto Politécnico Nacional, México DF, 2007.
- [8] M. A. D. Kennedy, «Development of Cost Effective Composites using Vacuum Processing Technique», Tesis de grado, Universidad de Ohio, Ohio, 2018.
- [9] O. H. Ruiz Abanto y E. E. Medina Reaño, «Estudio de la velocidad de llenado de molde, en El proceso de inyección de resina asistida por Vacío para compuestos de matriz poliéster», Tesis, Universidad Nacional De Trujillo, Trujillo-Perú, 2016.
- [10] S. W. Chuquitarco Taco, «“Optimización de respuestas múltiples (DOE/MSR) de propiedades mecánicas del material híbrido de matriz epoxi reforzada con fibra sintética (vidrio) y natural (chambira)”», Trabajo Experimental, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2022.
- [11] A. O. Garzón Posada, D. A. Landínez Téllez, J. Roa Rojas, y J. Ramos Barrado, «Materiales compuestos de matriz polimérica usados para el blindaje de interferencia

electromagnética», *Universidad Militar Nueva Granada*, vol. 27, n.º 1, pp. 07-08, 2017.

[12] B. E. Gavilanes Medina, «“Optimización-msr del material compuesto de matriz epoxi reforzado con fibra natural de chambira (*astrocaryum*), mediante infusión de resina al vacío y su incidencia en las propiedades mecánicas”», Proyecto Técnico, Universidad Técnica de Ambato, Ambato.

[13] J. D. Trejos Taborda, «Propiedades mecánicas de una matriz de poliéster reforzada con fibra de coco comparadas con la misma matriz reforzada con fibra de vidrio», Proyecto Técnico, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, 2014.

[14] Yuridia, «Tipos de fibra de vidrio», Tipos de fibra de vidrio. Accedido: 31 de agosto de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.plaremesa.net/tipos-de-fibra-de-vidrio/>

[15] J. M. Plasencia Tercero, «Optimización bajo metodología de superficie de respuesta (MSR) del material compuesto de matriz Epoxi reforzado con fibra de Chambira (*Astrocaryum*) y su incidencia en las propiedades mecánicas», Trabajo Experimental, Universidad Técnica de Ambato, Ambato.

[16] D. Iglesias Gíao, «Curado de Termoestables: Estudio Cinético», Trabajo Fin de Grado, Universidad de La Coruña, España, 2017.

[17] A. Besednjak Dietrich, *Materiales compuestos Procesos de fabricación de embarcaciones*. en Aula politècnica, no. 100. Barcelona: Edicions UPC, 2005.

[18] J. L. Dávila *et al.*, *Nuevos Materiales: Aplicaciones Estructurales e Industriales*, Primera. Quito: imprefep, 2011.

[19] M. D. Telenchana Flores, «Análisis numérico/experimental de los componentes del material compuesto alternativo de matriz epoxi reforzada con fibras sintéticas utilizado para la fabricación y reparación de superficies de vuelo en las aeronaves del CIDFAE.», Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2020.

[20] ASTM INTERNATIONAL, «Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials». International Harmonization of Composite Materials, 1997.

[21] «¿Qué es un Ensayo de Tracción?», Metalinspec. Accedido: 7 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.blog.metalinspec.com.mx/post/que-es-el-ensayo-de-traccion>

[22] J. E. Díaz Vaz, «Anatomía de madera de *Laurelia sempervirens* (R. et Pav.) TUL.», *Universidad Austral de Chile*, vol. 9, n.º 2, pp. 123-124, 17 de mayo de 1989.

- [23] «Madera de Laurel: Características y Usos», Maderame. Accedido: 31 de agosto de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://maderame.com/enciclopedia-madera/laurel/>
- [24] L. C, «Impresión 3D o mecanizado CNC: ¿Cuál es mejor para el prototipaje?», 3Dnatives. Accedido: 17 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.3dnatives.com/es/impresion-3d-o-mecanizado-cnc-160420182/>
- [25] E. Santos De la Cruz, «Proceso de producción por embutición», *id*, vol. 2, n.º 1, pp. 16-20, 1999.
- [26] «Beneficios del estampado de embutido profundo», Stewart EFI. Accedido: 17 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://www.stewartefi.com/es/beneficios-del-estampado-de-embutido-profundo>
- [27] «Características de las Impresoras 3D», Las características de esta novedosa forma de generación de productos de diseño. Accedido: 17 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://ude.edu.uy/caracteristicas-de-las-impresoras-3d/>
- [28] E. Mondragón Tenorio, «Más ventajas y desventajas de la impresión 3D», BBVA.CH. Accedido: 17 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.bbva.ch/noticia/mas-ventajas-y-desventajas-de-la-impresion-3d/>
- [29] «¿Qué es el fresado con CNC y cuáles son sus ventajas?», eonsi Industrial Development. Accedido: 18 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <file:///C:/Users/User/Downloads/descarga.htm>
- [30] LAB-LOB, «El Fresado CNC», Fresado CNC. Accedido: 18 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.lab-lob.com/2020/12/el-fresado-cnc.html>
- [31] S. I. Solís Santamaría, T. M. Solís Santamaría, H. G. Lasluisa Naranjo, y E. D. Albán Andrade, «Evolución y utilidad del mecanizado CNC en el diseño industrial», *INGENIAR*, vol. 6, n.º 11, pp. 42-55, ene. 2023, doi: <https://doi.org/10.46296/ig.v6i11.0083>.
- [32] G. Tehuitzil, «Proceso de embutido», GoConqr. Accedido: 17 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.goconqr.com/mapamental/24756183/proceso-de-embutido>
- [33] D. F. Betancourt, «Cómo hacer el análisis de alternativas de un proyecto + ejemplo práctico.», *Ingenio Empresa*, Sitio Web, 12 de enero de 2017. Accedido: 17 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.ingenioempresa.com/analisis-de-alternativas/>
- [34] A. M. Besednjak, «Apuntes de Métodos de producción con materiales compuestos», *UPCommons. Portal de acceso abierto al conocimiento de la UPC*, Universitat Politècnica de Catalunya, pp. 01-07, 2011.

- [35] D. J. Jiménez Pereira, «Prototipado del Guardachoque Delantero del Vehículo Chevrolet Aveo, Mediante la Optimización del Proceso de Moldeo por Transferencia de Resina Asistida por Vacío VARTM, Empleando Materiales Compuestos Híbridos», Experimental, investigativo, práctico, Universidad Particular Internacional SEK, SEK.
- [36] C. C. Group, «Vacuum Infusion», The vacuum infusion process. Accedido: 17 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.creativecompositesgroup.com/what-is-frp/vacuum-infusion>
- [37] E. Alcudia Zacarías, J. Paz, A. Abúndez Pliego, y M. L. Paz González, «Influencia del método de infusión de resina en las propiedades de un compuesto laminado polimérico», *CONGRESO INTERNACIONAL ANUAL DE LA SOMIM2015*, vol. XXI, n.º 2, p. 10, 2015.
- [38] B. M. MAPFRE, «Guía de medidas de coches por segmento -canalMOTOR», Blog Motor MAPFRE. Accedido: 25 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.motor.mapfre.es/coches/noticias-coches/guia-medidas-coches-segmento/>
- [39] N. Ortuya, «Medidas de un auto: ¿Por qué conviene conocerlas? - Autofact», Descubre la importancia de saber las medidas de tu auto. Accedido: 25 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.autofact.cl/blog/comprar-auto/caracteristicas/medidas-auto>
- [40] HUAWAICO, «Cubierta De Ventilación Para Capó, Entrada De Flujo De Aire», Mercado Libre. Accedido: 25 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-1285770705-cubierta-de-ventilacion-para-capo-entrada-de-flujo-de-aire-_JM
- [41] «Simulador Entrada De Aire Capot Universal», Mercado Libre. Accedido: 25 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-630112449-simulador-entrada-de-aire-capot-universal-_JM
- [42] CN GLOBAL SELECCTION COR, «Cubierta De Entrada De Aire Universal Decorativa Para Capó D», Mercado Libre. Accedido: 25 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-1378478891-cubierta-de-entrada-de-aire-universal-decorativa-para-capo-d-_JM
- [43] J. G. Zamudio Herrera, «Diseño del sistema de infusión de resina para la fabricación de aspas utilizadas en un aerogenerador de 30 kw», Ingeniería, CIATEQ. A.C., Querétaro, 2020.
- [44] Á. M. Muñoz, «Infusión con vacío e infusión con autoclave para la fabricación de elementos en material compuesto», Proyecto Fin de Grado, Escuela Técnica Superior de Ingeniería-Universidad de Sevilla, Sevilla, 2021.

- [45] «Sistema Profesional de Infusión de vacío». 2023. Accedido: 28 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.kitcarbono.com/productos/view/VACPRO1-Sistema-Profesional-de-Infusion-de-vacio>
- [46] W. D. Revelo Zavala y J. L. Tapia Morales, «Obtención y caracterización de materiales compuestos de matriz poliéster reforzados con tejidos y no tejidos de fibra de cabuya mediante infusión al vacío», Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2021.
- [47] J. G. Zamudio Herrera, «Diseño del sistema de infusión de resina para la fabricación de aspas utilizadas en un Aerogenerador de 30 kw», Tesis, CIATEQ. A.C., Querétaro, 2020.
- [48] F. Troche, «Proceso de infusión al vacío (materiales compuestos)», prezi.com. Accedido: 20 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://prezi.com/xonhnf1bx5qj/proceso-de-infusion-al-vacio-materiales-compuestos/>
- [49] J. G. Anchatuña León y V. H. Loachamín Navarrete, «Construcción de un prototipo de cubre neumático mediante moldeo ligero por transferencia de resina de compuestos», Tesis previa a la obtención de grado de magister en diseño, producción y automatización, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2015.
- [50] B. E. Gavilanes Medina, «“Optimización-msr del material compuesto de matriz Epoxi reforzado con fibra natural de chambira (astrocaryum), mediante infusión de resina al vacío y su Incidencia en las propiedades mecánicas”», Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2022.
- [51] O. Redondo Herrero, «Caracterización de laminados de fibra de carbono-epoxi reforzados con oxido de grafeno», Trabajo Fin de Máster, Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales, 2014.
- [52] G. Victorino Aguilar, «Evaluación del daño en laminados de fibra de carbono y vidrio por impacto de baja velocidad mediante cañón neumático», Tesis de grado, Centro Nacional de Tecnologías Aeronáuticas, 2018.

ANEXOS

Anexo 1. Ficha Técnica de Resina epoxi.



★ ★

NEW HARDENER

PR2032
Laminating Resin
For Composite Parts

★

DESCRIPTION

PR2032 is a medium viscosity, unfilled, light amber laminating resin that is designed for structural production applications. When used with the three hardeners listed here, the combinations provide excellent wet-out of fiberglass, carbon and aramid fibers. Special additives have been incorporated into these products to promote chemical adhesion to fabrics made with these fibers. Typical applications include aircraft and sail plane skins and structural components, auto bodies, radomes and prototype parts.

Hardeners PH3660, PH3663 and PH3665 are the standard production hardeners for fabricating composite parts. PH3660 has a one hour working time, PH3663 has 90 minutes, and PH3665 has been developed to provide a longer working time for larger and/or more complicated laminates when needed. All three of these hardeners will cure completely at room temperature without additional heat.

★ PH3663 is a newer addition to the AEROPOXY line that offers some unique characteristics for certain uses. The mixed viscosity of the system when using PH3663 is considerably lower than the other laminating hardeners. This allows easy penetration of thicker fabrics during hand lay-up, and provides a good system for the infusion process. Also, even though it has a working time 50% longer than PH3660, it cures in essentially the same time as PH3660. Cured properties with the PH3663 maintain the high standard set by the AEROPOXY line.

PH3630 is a faster setting hardener that can be used for patching and repairs, and smaller laminates. PH3630 has a similar viscosity to PH3660 and PH3665, so handling will be similar, except for the faster cure.

These products can be considered low toxicity materials that have minimum hazard potential when used properly and in a clean and responsible manner. PR2032 does not contain any hazardous diluents or extenders. Hardeners PH3660, PH3663, PH3665 and PH3630 do not contain methylene dianiline (MDA), or other potentially harmful aniline derivatives. Neither the resin nor the hardeners will crystallize in normal shipping and storage conditions, including refrigerated storage. Both components have excellent moisture resistance, for minimal problems in high humidity environments.

PRODUCT SPECIFICATIONS

	PR2032	PH3630	PH3660	PH3663	PH3665	ASTM Method
Color	Lt. Amber	Amber	Amber	Lt. Amber	Amber	Visual
Viscosity, @ 77°F, centipoise	1,650 cps	150-175 cps	190-200 cps	35 cps	200-250 cps	D2392
Specific Gravity, gms./cc	1.15	0.96	0.96	0.97	0.95	D1475
Mix Ratio, By Wt.		30 minutes	1 hour	90 minutes	2 hours	PTM&W
Pot Life, 4 fl. Oz. Mass @ 77°F		100 : 27 By Weight, or 3 to 1 By Volume		100 : 25 By Weight	100 : 27 By Wt, or 3 to 1 By Vol.	D2471

HANDLING and CURING

PH3660, PH3663 and PH3665 are the hardeners typically used to fabricate high performance composite parts. PH3660 has a one hour working time, and can be used for all sizes of parts using the contact layup method of fabrication. If the vacuum bagging technique is being used, PH3660 should only be used for smaller parts. Hardener PH3665 has a longer working time that is useful for vacuum bagging larger parts before the resin has gelled. PH3663 falls between these two hardeners, and can be used for parts somewhat larger than would be produced with PH3660, while maintaining a faster cure than with PH3665. In any case, with either of these three hardeners, plan to allow the laminate to cure at least 24 hours, at a minimum of 72°F, before moving the structure. This can be accelerated by applying heat after the resin has gelled. Be careful using heat guns and lamps, as they tend to concentrate heat, producing localized hot spots which can damage the epoxy. These systems can be cured at ambient temperatures, or given an elevated temperature cure. The higher the curing temperature, the higher the resulting service temperature. With a higher temperature cure, a safe service temperature over 200°F can be obtained.

Hardener PH3630 will cure completely at room temperature, and does not require a heat cure. It is intended for fast repairs or additions to a primary structure, and for parts that will be exposed to lower service temperatures. All primary structures should be fabricated with PH3660, PH3663 or PH3665 to take advantage of their longer work life and better service temperature capabilities.

PR2032 Laminating Resin For Composite Parts, Page 2

TYPICAL MECHANICAL PROPERTIES



	PR2032 PH3630	PR2032 with PH3660				PR2032 PH3663	PR2032 PH3665	ASTM Method
		Neat Resin (Unreinforced)	With Fiberglass	With Graphite	With Kevlar			
Mix Ratio	100 : 27 By Weight, or 3 to 1 By Volume					100 : 25 By Weight	100:27 By Wt. 3 to 1 By Vol.	PTM&W
Pot Life, @ 77°F	30 minutes	1 hour				1.5 Hour	2 hours	D2471
Color	Lt. Amber	Light Amber				Light Amber	Lt. Amber	Visual
Mixed Viscosity, @77°F, cps	800-875 cps	900 - 950 cps				440 cps	925-975 cps	D2393
Cured Hardness, Shore D	88 Shore D	88 Shore D				87 Shore D	87 Shore D	D2240
Specific Gravity, grams, cc	1.16	1.11				1.109	1.12	D1475
Density, lb./cu. Inch	.0420	.0401				.0401	.0410	D792
Specific Volume, cu. in./lb.	23.8	25.0				24.96	24.4	D792
Tensile Strength, psi ⁽¹⁾	45,350 psi	9828 psi	45,170 psi	75,640 psi	45,400 psi	40,010 psi	45,870 psi	D638
Elongation at Break, % ⁽¹⁾	1.91 %	1.90 %	1.96 %	0.91 %	1.31 %	1.67 %	1.98 %	D638
Tensile modulus, psi ⁽¹⁾	2,800,000 psi	418,525 psi	2,620,000 psi	8,170,000 psi	3,770,000 psi	2,647,520 psi	2,520,000 psi	D638
Flexural Strength, psi ⁽¹⁾	68,167 psi	16,827 psi	62,285 psi	96,541 psi	34,524 psi	65,461 psi	66,667 psi	D790
Flexural Modulus, psi ⁽¹⁾	2,770,000 psi	462,910 psi	2,560,000 psi	6,480,000 psi	2,500,000 psi	2,639,766 psi	3,050,000 psi	D790
Glass Transition Temp, T _g	194°F	196°F				194°F	194°F	TMA
Thermal Coef. of Expansion Range:	3.7 x 10 ⁻⁵ in./in./°F	4.3 x 10 ⁻⁵ in./in./°F				4.14 x 10 ⁻⁵ in./in./°F	4.15 x 10 ⁻⁵ in./in./°F	D696

⁽¹⁾ Fiberglass Properties Derived with A 10 Ply Laminate, Hand Lay-up, Style 181 Glass Fabric, 55% Glass Content;
Graphite Properties with a 10 Ply Laminate of 5.6 oz. 3K Fabric; and Kevlar Properties with A 10 Ply Laminate of 5 oz. Kevlar

PACKAGING WEIGHTS



	Quart Kit	Gallon Kit	Pail Kit	Drum Kit
PR2032	2.25 lb.	7.5 lb.	48 lb.	500 lb.
PH3630, PH3660 or PH3665	.66 lb.	2 lb.	13 lb.	135 lb.
PH3663	.6 lb.	1.9 lb.	12 lb.	126 lb.
Kit	2.9 lb.	2.85 lb.	9.5 lb.	61 lb.
			60 lb.	635 lb.
				626 lb.

SAFETY and HANDLING

PTM&W AEROPOXY epoxy products are made from raw materials carefully chosen to minimize or even eliminate toxic chemicals, and therefore offer the user high performance products with minimum hazard potential when properly used. Generally, the PTM&W AEROPOXY epoxy resins and hardeners will present no handling problems if users exercise care to protect the skin and eyes, and if good ventilation is provided in the work area. However, all epoxy resins and hardeners can be irritating to the skin, and prolonged contact may result in sensitization; and breathing of mist or vapors may cause allergic respiratory reaction, especially in highly sensitive individuals. As such, avoid contact with eyes and skin, and avoid breathing vapors. Wear protective rubber apron, clothing, gloves, face shield or other items as required to prevent contact with the skin. In case of skin contact, immediately wash with soap and water, followed by a rinse of the area with vinegar, and then a further wash with soap and water. The vinegar will neutralize the hardener and lessen the chances of long term effects. Use goggles, a face shield, safety glasses or other items as required to prevent contact with the eyes. If material gets into the eyes, immediately flush with water for at least 15 minutes and call a physician. Generally, keep the work area as uncluttered and clean as possible, and clean up any minor spills immediately to prevent accidental skin contact at a later time. Keep tools clean and properly stored. Dispose of trash and empty containers properly. Do not use any of these types of products until Material Safety Data Sheets have been read and understood.

AEROPOXY PR2032 w-4 Hardeners Bulletin / ZW-38 / 062408-C2



PTM&W Industries, Inc.

10640 S. Painter Avenue Santa Fe Springs, CA 90670-4092
 562-946-4511 800-421-1518 FAX: 562-941-4773
 Visit Us At: www.aeropoxy.com Send Questions To: info@aeropoxy.com

Anexo 2. Ficha técnica e la fibra de vidrio.



3k

Tejido de Fibra de Carbono

Tejido de fibra de carbono Twill

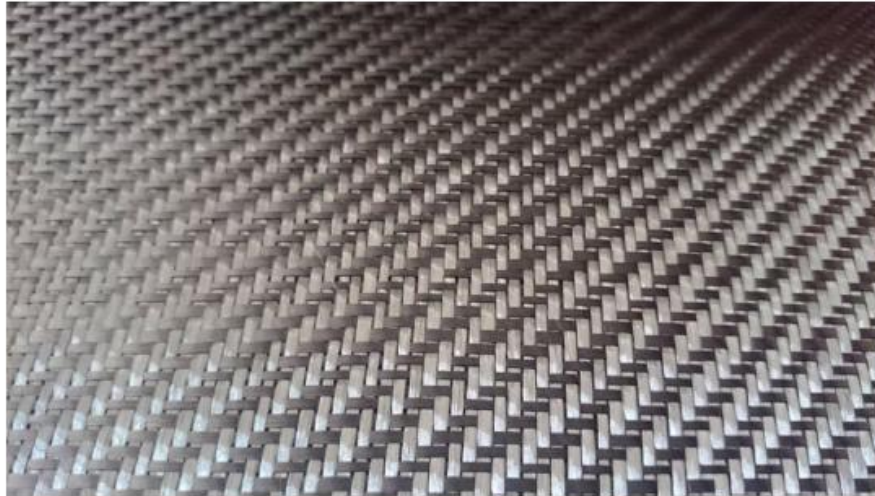
El tejido de fibra de carbono 3K twill es el tejido más popular en la industria de automóviles, aplicaciones marinas, aeroespaciales y deportivas. El tejido de fibra de carbono twill ofrece una mayor adaptación en geometrías complejas y una ligera ventaja en la humectación de la resina. Este tejido puede reforzar cualquier proyecto y al mismo tiempo añadir un peso mínimo, con sólo tres capas son comúnmente utilizadas para producir piezas no estructurales.

Este tejido de fibra de carbono maximiza las propiedades de resistencia con nuestra resina epoxica Q1 (sistema de infusión o RTM) y con la resina epoxica Q2 (sistema con brocha).

Ancho: 1,27m de ancho
Peso: 198 gr/m² (5.9 Oz)
Tejido: Twill
Tamaño de hebra: **3k**

Propiedades	Unidad U.S.	Unidad S.I.
Resistencia a la tracción		
3k	644ksi	4,440Mpa
6k	644ksi	4,440Mpa
12k	790ksi	5,445 Mpa
Módulo de tensión	33.5 Msi	231 Gpa
Alargamiento de rotura		
3k	1.80%	1.80%
6k	1.70%	1.70%
12k	1.70%	1.70%
Densidad	0.0647 lb/in ³	1.79g/cm ³

Clave: FC3KT50



www.quintum.com.mx

Anexo 3. Ficha técnica de maquina universal de ensayos SERIE 50 kN.

AGS-50kNX		AGS-100kNX		AGS-300kNX	
Table Top Type		AGS-100kNX		Floor Type	
AGS-50kNXD		100kN		AGS-300kNX	
50kN				300kN	
Direct, high-precision, constant-rate strain control using non-backlash precision ball-screw drive					
Within $\pm 0.5\%$ indicated test force (at 1/500 to 1/1 load cell rating)				Within $\pm 0.5\%$ indicated test force (at 1/250 to 1/1 load cell rating)	
Conforms to EN 10002-2 Grade 0.5, ISO 7500-1 Class 0.5, BS 1610 Class 0.5, and ASTM E4, JIS B7721 Class 0.5 **					
Within $\pm 1\%$ indicated test force (at 1/500 to 1/1 load cell rating)					
Conforms to EN 10002-2 Grade 1, ISO 7500-1 Class 1, BS 1610 Class 1, and ASTM E4, JIS B7721 Class 1. **					
Automatic test force calibration: select tensile, compression, or tensile and compression					
0.001 to 800 mm/min (stepless)		1100mm/min		0.001 to 500 mm/min (stepless)	
		$\pm 0.1\%$		550mm/min	
To load cell capacity across entire speed range					
1210mm (745mm, MWG)		1255mm (745mm, MWG)		0.001~200kN / 0.001~500mm/min (entire speed range) 200kN~300kN / 0.001~400mm/min	
425mm				1475mm (535mm, MWG)	
Optical encoder					
Digital display (display resolution: 0.001 mm)					
$\pm 0.1\%$ indicated value or ± 0.01 mm, whichever is larger					
1000Hz max. **					
49 files (PC link: 20 files, standalone controller: 20 files)					
<ul style="list-style-type: none"> Automatic reading of load cell characteristic values Test force display, stress display, stroke display, position display External analog output (2 channel) External analog input (2 channel) ** External digital input (2 channel) ** Analog recorder (option) output Data/PC (option) output ** 			<ul style="list-style-type: none"> Automatic test force / stress control (Autotuning) Automatic strain control (Autotuning) ** Test force auto-zeroing Test force auto-calibration Break detection, auto-return Load cell overload detection Touch-load detection function 		
Load Cell (with CAL cable), Power cable (5 m), turning rod, cable clamps, instruction manual					
<p>W718xD641xH1633mm 260kg</p>		<p>W945xD725xH2164mm 525kg</p>		<p>W945xD725xH2164mm 675kg</p>	
Single phase AC200-230V 50/60Hz 4.0kVA		400V model Three phases AC380-440V 50/60Hz 4.5kVA		200V model A three phase AC200-230V 50/60Hz 5.5kVA	
				400V model Three phases AC380-440V 50/60Hz 5.5kVA	
				200V model A three phase AC200-230V 50/60Hz 7.5kVA	
Supply voltage fluctuations within $\pm 10\%$ of the set value.					
D-class (100 Ω max.) grounding resistance.		C-class (10 Ω max.) grounding resistance.		D-class (100 Ω max.) grounding resistance.	
Temperature: 5 °C to 40 °C; Humidity: 20% to 80% (no condensation)					
Floor vibrations: frequency 10 Hz max., amplitude 5 μ m max.					

**S Data/PC (option) and TRAPEZIUM X) TRAPEZIUM LITE X can not be used together.
* Values stated in this catalog are based on measurements conducted according to separately defined inspection standards.
** Windows/Windows Vista/Windows XP is a registered trademark in the United States and other countries of Microsoft Corporation.

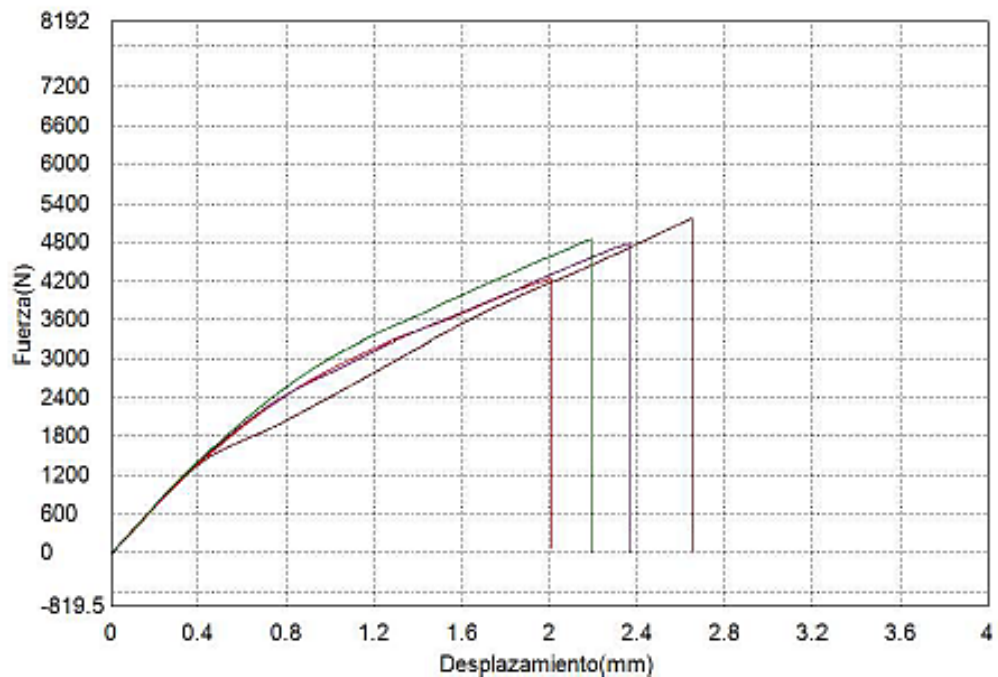
Anexo 4. Informe final de ensayos a tracción con Fibra de Carbono.

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	traccion.xtas	Nombre de metodo de ensayo	traccion ASTM D638.xmas
Fecha de informe	11/6/2023	Fecha de ensayo	10/4/2023
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Traccion
Velocidad	5mm/min	Forma	Plana
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	4

Nombre Parametros Unidad	Elastico_Devided 10 Intervalos: GPa	Rotura_Fuerza Sensibilidad 10 N	Rotura_Tension Sensibilidad 10 N/mm2	Rotura_Desplazamiento Sensibilidad 10 mm
1_1	8.95766	4241.90	212.095	2.00933
1_2	9.34018	5168.35	258.418	2.64741
1_3	9.57272	4779.88	238.994	2.35907
1_4	9.25205	4845.86	242.293	2.19073

Nombre Parametros Unidad	Rotura_Deformacion Sensibilidad 10 %	Max_Fuerza Calc. at Entire Areas N	Max_Tension Calc. at Entire Areas N/mm2	Max_Desplazamiento Calc. at Entire Areas mm
1_1	4.01865	4241.90	212.095	2.00933
1_2	5.29483	5168.35	258.418	2.64741
1_3	4.71814	4779.88	238.994	2.35907
1_4	4.38145	4845.86	242.293	2.19073

Nombre Parametros Unidad	Max_Deformacion Calc. at Entire Areas %
1_1	4.01865
1_2	5.29483
1_3	4.71814
1_4	4.38145



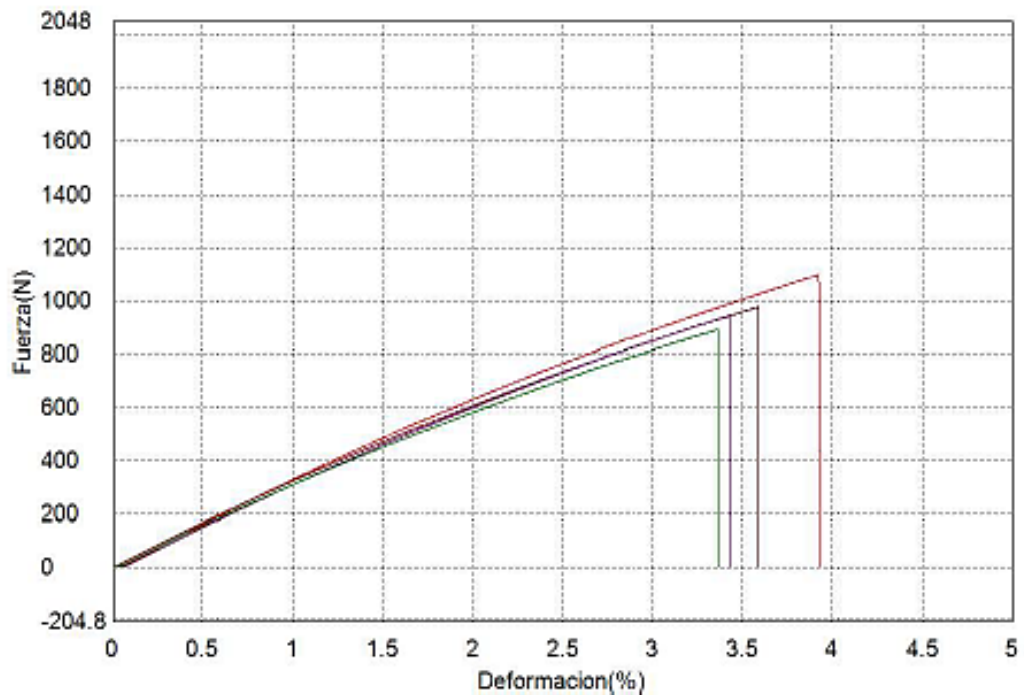
Anexo 5. Informe final de ensayos a tracción con Fibra de vidrio.

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	Pruebas de Traccion Fibra de vidrio.xtas	Nombre de metodo de ensayo	traccion ASTM D638.xmas
Fecha de informe	11/6/2023	Fecha de ensayo	10/19/2023
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Traccion
Velocidad	1mm/min	Forma	Plana
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	4

Nombre Parametros Unidad	Elastico_Devided 10 Intervalos: GPa	Rotura_Fuerza Sensibilidad 10 N	Rotura_Tension Sensibilidad 10 N/mm2	Rotura_Desplazamiento Sensibilidad 10 mm
1_1	6.18988	1098.43	195.276	1.96241
1_2	6.06044	976.825	173.658	1.79501
1_3	5.92980	935.411	166.295	1.71298
1_4	5.78207	891.304	158.454	1.68214

Nombre Parametros Unidad	Rotura_Deformacion Sensibilidad 10 %	Max_Fuerza Calc. at Entire Areas N	Max_Tension Calc. at Entire Areas N/mm2	Max_Desplazamiento Calc. at Entire Areas mm
1_1	3.92483	1098.43	195.276	1.96241
1_2	3.59003	976.825	173.658	1.79501
1_3	3.42596	939.775	167.071	1.71165
1_4	3.36429	891.304	158.454	1.68214

Nombre Parametros Unidad	Max_Deformacion Calc. at Entire Areas %
1_1	3.92483
1_2	3.59003
1_3	3.42330
1_4	3.36429



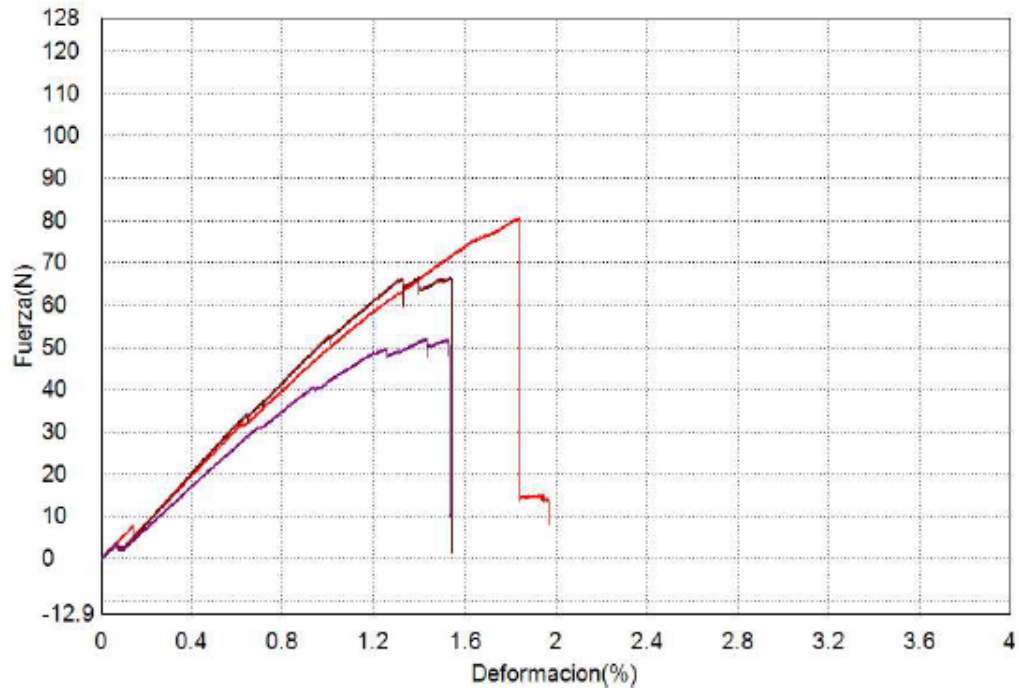
Anexo 6. Informe final de ensayos a flexión con Fibra de Carbono.

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	Prueba Flexion.xtas	Nombre de metodo de ensayo	flexion 3 puntos.xmas
Fecha de informe	11/6/2023	Fecha de ensayo	10/4/2023
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Flexión 3 ptos.
Velocidad	1mm/min	Forma	Plana
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	3

Nombre Parametros	M.Elastico Fuerza 10 – 20 N Unidad GPa	Elastico_Devided 10 Intervalos: Unidad GPa	Max_Fuerza Calc. at Entire Areas Unidad N	Max_Tension Calc. at Entire Areas Unidad MPa
1_1	24.0534	23.9996	80.7603	340.708
1_2	25.3542	25.3504	66.5267	280.660
1_3	20.9722	20.8757	52.1580	220.042

Nombre Parametros	Max._Desplazamiento Calc. at Entire Areas Unidad mm	Max._Deformacion Calc. at Entire Areas Unidad %	Rotura_Fuerza Sensibilidad 10 Unidad N	Rotura_Tension Sensibilidad 10 Unidad MPa
1_1	15.5127	1.83854	--	--
1_2	12.9583	1.53580	--	--
1_3	11.9873	1.42072	--	--

Nombre Parametros	Rotura_Desplazamiento Sensibilidad 10 Unidad mm	Rotura_Deformacion Sensibilidad 10 Unidad %	Esfuerzo_de_flexion
1_1	--	--	340.708
1_2	--	--	280.660
1_3	--	--	220.042



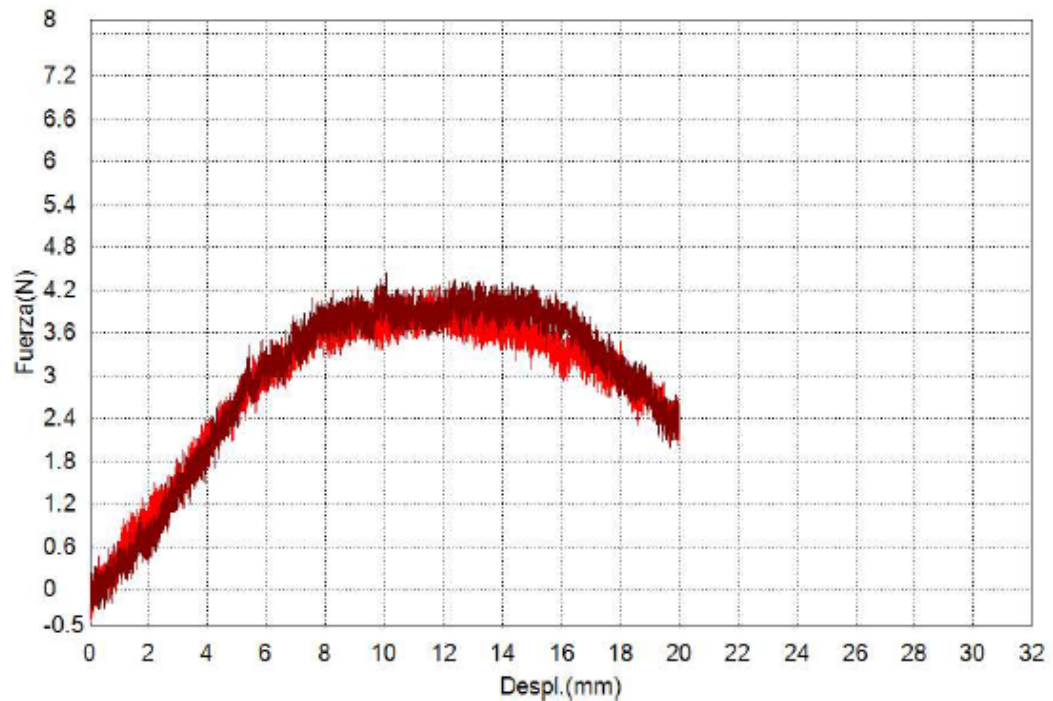
Anexo 7. Informe final de ensayos a flexión con Fibra de vidrio.

Palabra llave	Nombre de producto		
Nombre de archivo de ensayo	Pruebas de flexion Fibra de vidrio.xtas	Nombre de metodo de ensayo	flexion 3 puntos.xmas
Fecha de informe	11/6/2023	Fecha de ensayo	10/19/2023
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Flexión 3 ptos.
Velocidad	2mm/min	Forma	Plana
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	5

Nombre Parametros	M.Elastico Fuerza 10 – 20 N Unidad	Elastico_Devided 10 Intervalos: GPa	Max._Fuerza Calc. at Entire Areas N	Max._Tension Calc. at Entire Areas MPa
1_1	--	7.92372	4.26769	101.160
1_2	--	7.42303	4.43459	105.116

Nombre Parametros	Max._Desplazamiento Calc. at Entire Areas mm	Max._Deformacion Calc. at Entire Areas %	Rotura_Fuerza Sensibilidad 10 N	Rotura_Tension Sensibilidad 10 MPa
1_1	11.8297	1.99626	--	--
1_2	10.0893	1.70257	--	--

Nombre Parametros	Rotura_Desplazamiento Sensibilidad 10 mm	Rotura_Deformacion Sensibilidad 10 %
1_1	--	--
1_2	--	--



Anexo 8. Standard Test Method for Tensile properties of Polymer Matrix Composite Materials. Para la verificación de tipos de fallos (ASTM D3039).



Designation: D 3039/D 3039M – 07

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.

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:²

- D 792 Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement
- D 883 Terminology Relating to Plastics
- D 2584 Test Method for Ignition Loss of Cured Reinforced Resins
- D 2734 Test Methods for Void Content of Reinforced Plastics
- D 3171 Test Methods for Constituent Content of Composite Materials
- D 3878 Terminology for Composite Materials

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 Dec. 15, 2007. Published January 2008. Originally approved in 1971. Last previous edition approved in 2006 as D 3039 – 00(2006).

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.

D 5229/D 5229M Test Method for Moisture Absorption Properties and Equilibrium Conditioning of Polymer Matrix Composite Materials

- E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines
- E 6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing
- E 83 Practice for Verification and Classification of Extensometer Systems
- E 11 Specification for Wire Cloth and Sieves for Testing Purposes
- E 122 Practice for Calculating Sample Size to Estimate, With Specified Precision, the Average for a Characteristic of a Lot or Process
- E 132 Test Method for Poisson's Ratio at Room Temperature
- E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods
- E 251 Test Methods for Performance Characteristics of Metallic Bonded Resistance Strain Gages
- E 456 Terminology Relating to Quality and Statistics
- E 1012 Practice for Verification of Test Frame and Specimen Alignment Under Tensile and Compressive Axial Force Application
- E 1237 Guide for Installing Bonded Resistance Strain Gages

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 dimensions, shown within square brackets: [M] for mass, [L] for length, [T] for time, [θ] for thermodynamic temperature, and [nd] for nondimensional quantities. Use of these symbols is

restricted to analytical dimensions when used with square brackets, as the symbols may have other definitions when used without the brackets.

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

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

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

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

3.3 *Symbols:*

A —minimum cross-sectional area of a coupon.

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

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

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

E —modulus of elasticity in the test direction.

F^u —ultimate tensile strength in the test direction.

F^s —ultimate shear strength in the test direction.

h —coupon thickness.

L_g —extensometer gage length.

L_{min} —minimum required bonded tab length.

n —number of coupons per sample population.

P —force carried by test coupon.

P^f —force carried by test coupon at failure.

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

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

w —coupon width.

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

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

δ —extensional displacement.

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

ϵ —indicated normal strain from strain transducer or extensometer.

σ —normal stress.

ν —Poisson's ratio.

4. Summary of Test Method

4.1 A thin flat strip of material having a constant rectangular cross section is mounted in the grips of a mechanical testing

machine and monotonically loaded in tension while recording the force. The ultimate strength of the material can be determined from the maximum force carried before failure. If the coupon strain is monitored with strain or displacement transducers then the stress-strain response of the material can be determined, from which the ultimate tensile strain, tensile modulus of elasticity, Poisson's ratio, and transition strain can be derived.

5. Significance and Use

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

5.1.1 Ultimate tensile strength,

5.1.2 Ultimate tensile strain,

5.1.3 Tensile chord modulus of elasticity,

5.1.4 Poisson's ratio, and

5.1.5 Transition strain.

6. Interferences

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

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

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

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

7. Apparatus

7.1 *Micrometers*—A micrometer with a 4- to 5-mm [0.16- to 0.20-in] nominal diameter double-ball interface shall be used to measure the thickness of the specimen. A micrometer with a flat anvil interface shall be used to measure the width of the specimen. The accuracy of the instruments shall be suitable

for reading to within 1 % of the sample width and thickness. For typical specimen geometries, an instrument with an accuracy of $\pm 2.5 \mu\text{m}$ [$\pm 0.0001 \text{ in.}$] is adequate for thickness measurement, while an instrument with an accuracy of $\pm 25 \mu\text{m}$ [$\pm 0.001 \text{ in.}$] is adequate for width measurement.

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

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

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

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

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

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

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

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

7.2.5.1 A rectangular alignment coupon, preferably similar in size and stiffness to the test specimen of interest, is instrumented with a minimum of three longitudinal strain gages of similar type, two on the front face across the width

and one on the back face of the specimen, as shown in Fig. 1. Any difference in indicated strain between these gages during loading provides a measure of the amount of bending in the thickness plane (B_x) and width plane (B_z) of the coupon. The strain gage location should normally be located in the middle of the coupon gage section (if modulus determination is a concern), near a grip (if premature grip failures are a problem), or any combination of these areas.

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

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

7.2.5.4 Problems with failures during gripping would be reason to examine bending strains during the gripping process in the location near the grip. Concern over modulus data scatter would be reason to evaluate bending strains over the modulus evaluation force range for the typical transducer location. Excessive failures near the grips would be reason to evaluate bending strains near the grip at high loading levels. While the maximum advisable amount of system misalignment is material and location dependent, good testing practice is generally able to limit percent bending to a range of 3 to 5 % at moderate

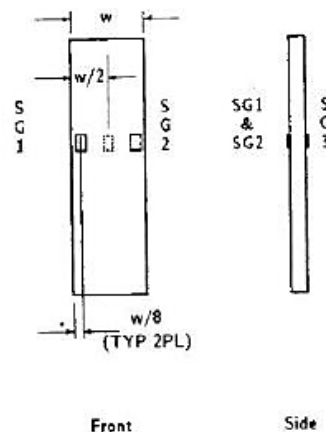


FIG. 1 Gauge Locations for System Alignment Check Coupon

- DRAWING NOTES:**
1. INTERPRET DRAWING IN ACCORDANCE WITH ANSI Y14.5M-1995, SUBJECT TO THE FOLLOWING:
 2. ALL DIMENSIONS IN MILLIMETRES WITH DECIMAL TOLERANCES AS FOLLOWS:

NO DECIMAL	XX	± XX
+	X	± X
+	.X	± .X
 3. ALL ANGLES HAVE TOLERANCE OF $\pm 5^\circ$.
 4. PLY ORIENTATION DIRECTION TOLERANCE RELATIVE TO \square WITHIN $\pm 1^\circ$.
 5. FINISH ON MACHINED EDGES NOT TO EXCEED 1.6 μ (SYMBOLIC IN ACCORDANCE WITH ASA D46.1, WITH ROUGHNESS HEIGHT IN MICROMETRES).
 6. VALUES TO BE PROVIDED FOR THE FOLLOWING, SUBJECT TO ANY RANGES SHOWN ON THE FIELD OF DRAWING: MATERIAL, LAY UP, PLY ORIENTATION REFERENCE RELATIVE TO \square , OVERALL LENGTH, GAGE LENGTH, COUPON THICKNESS, TAB MATERIAL, TAB THICKNESS, TAB LENGTH, TAB BEVEL ANGLE, TAB ADHESIVE.
 7. NO ADHESIVE BUILDUP ALLOWED IN THIS AREA.

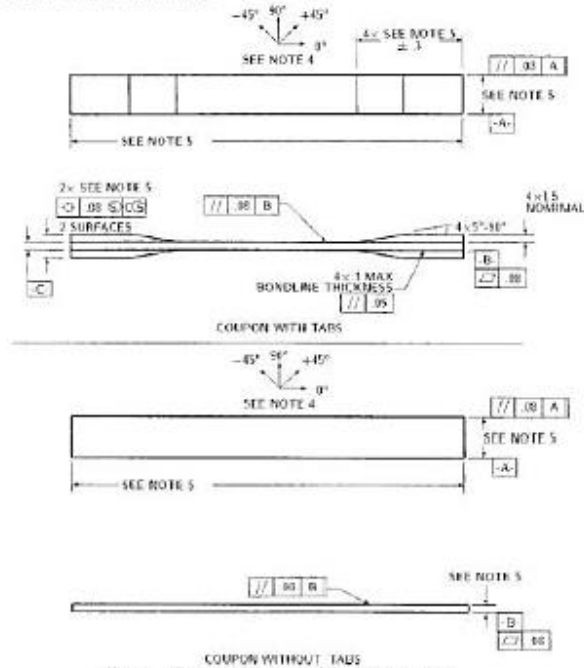


FIG. 2 Tension Test Specimen Drawing (SI)

to aid in transducer selection, calibration of equipment, and determination of equipment settings.

11.1.3 The environmental conditioning test parameters.

11.1.4 If performed, the sampling method, coupon geometry, and test parameters used to determine density and reinforcement volume.

11.2 *General Instructions:*

11.2.1 Report any deviations from this test method, whether intentional or inadvertent.

11.2.2 If specific gravity, density, reinforcement volume, or void volume are to be reported, then obtain these samples from the same panels being tension tested. Specific gravity and density may be evaluated by means of Test Methods D 792. Volume percent of the constituents may be evaluated by one of the matrix digestion procedures of Test Method D 3171, or, for certain reinforcement materials such as glass and ceramics, by the matrix burn-off technique of Test Method D 2584. The void content equations of Test Methods D 2734 are applicable to both Test Method D 2584 and the matrix digestion procedures.

11.2.3 Following final specimen machining and any conditioning, but before the tension testing, determine the specimen

area as $A = w \times h$, at three places in the gage section, and report the area as the average of these three determinations to the accuracy in 7.1. Record the average area in units of mm^2 (in^2).

11.3 *Speed of Testing*—Set the speed of testing to effect a nearly constant strain rate in the gage section. If strain control is not available on the testing machine, this may be approximated by repeated monitoring and adjusting of the rate of force application to maintain a nearly constant strain rate, as measured by strain transducer response versus time. The strain rate should be selected so as to produce failure within 1 to 10 min. If the ultimate strain of the material cannot be reasonably estimated, initial trials should be conducted using standard speeds until the ultimate strain of the material and the compliance of the system are known, and the strain rate can be adjusted. The suggested standard speeds are:

11.3.1 *Strain-Controlled Tests*—A standard strain rate of 0.01 min^{-1} .

11.3.2 *Constant Head-Speed Tests*—A standard head displacement rate of 2 mm/min [0.05 in./min].

- DRAWING NOTES:**
1. INTERPRET DRAWING IN ACCORDANCE WITH ANSI Y14.5M-1912, SUBJECT TO THE FOLLOWING:
 2. ALL DIMENSIONS IN INCHES WITH DECIMAL TOLERANCES AS FOLLOWS:

X	XX	XXX
±.1	±.03	±.01
 3. ALL ANGLES HAVE TOLERANCE OF ± 5°.
 4. PLY ORIENTATION DIRECTION TOLERANCE RELATIVE TO [A] WITHIN ± 5°.
 5. FINISH ON MACHINED EDGES NOT TO EXCEED 14√ (SYMBOLOLOGY IN ACCORDANCE WITH ASA B46.1, WITH ROUGHNESS HEIGHT IN MICROINCHES.)
 6. VALUES TO BE PROVIDED FOR THE FOLLOWING, SUBJECT TO ANY RANGES SHOWN ON THE FIELD OF DRAWING: MATERIAL, LAY-UP, PLY ORIENTATION REFERENCE RELATIVE TO [A], OVERALL LENGTH, GAGE LENGTH, COUPON THICKNESS, TAB MATERIAL, TAB THICKNESS, TAB LENGTH, TAB BEVEL ANGLE, TAB ADHESIVE.
 7. NO ADHESIVE BUILDUP ALLOWED IN THIS AREA.

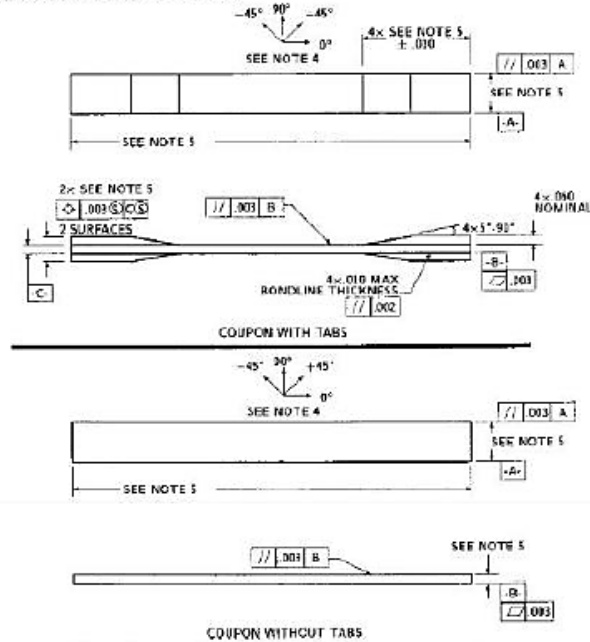


FIG. 3 Tension Test Specimen Drawing (inch-pound)

NOTE 8—Use of a fixed head speed in testing machine systems with a high compliance may result in a strain rate that is much lower than required. Use of wedge grips can cause extreme compliance in the system, especially when using compliant tab materials. In some such cases, actual strain rates 10 to 50 times lower than estimated by head speeds have been observed.

11.4 *Test Environment*—Condition the specimen to the desired moisture profile and, if possible, test under the same conditioning fluid exposure level. However, cases such as elevated temperature testing of a moist specimen place unrealistic requirements on the capabilities of common testing machine environmental chambers. In such cases, the mechanical test environment may need to be modified, for example, by testing at elevated temperature with no fluid exposure control, but with a specified limit on time to failure from withdrawal from the conditioning chamber. Modifications to the test environment shall be recorded. In the case where there is no fluid exposure control, the percentage moisture loss of the specimen prior to test completion may be estimated by placing a conditioned traveler coupon of known weight within the test

chamber at the same time as the specimen is placed in the chamber. Upon completion of the test, the traveler coupon is removed from the chamber, weighed, and the percentage weight calculated and reported.

11.4.1 Store the specimen in the conditioned environment until test time, if the testing area environment is different than the conditioning environment.

11.5 *Specimen Insertion*—Place the specimen in the grips of the testing machine, taking care to align the long axis of the gripped specimen with the test direction. Tighten the grips, recording the pressure used on pressure controllable (hydraulic or pneumatic) grips.

NOTE 9—The ends of the grip jaws on wedge-type grips should be even with each other following insertion to avoid inducing a bending moment that results in premature failure of the specimen at the grip. When using untabbed specimens, a folded strip of medium grade (80 to 150 grit) emery cloth between the specimen faces and the grip jaws (grit-side toward specimen) provides a nonslip grip on the specimen without jaw serration damage to the surface of the specimen. When using tabbed specimens, insert the coupon so that the grip jaws extend approximately

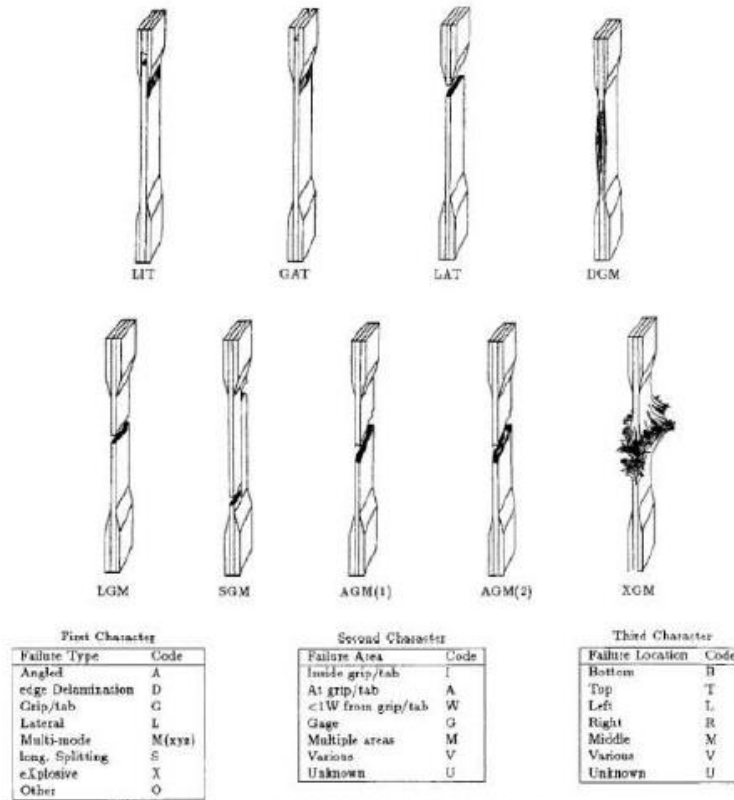


FIG. 4 Tensile Test Failure Codes/Typical Modes

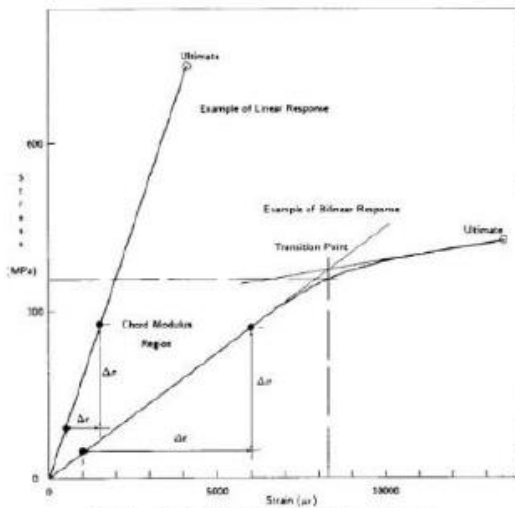


FIG. 5 Typical Tensile Stress-Strain Curves

change in the slope of the stress-strain curve) within the given strain range. If a transition region occurs within the recommended strain range, then a more suitable strain range shall be used and reported.

$$E^{\text{chord}} = \Delta\sigma/\Delta\epsilon \quad (9)$$

where:

- E^{chord} = tensile chord modulus of elasticity, GPa [psi];
- $\Delta\sigma$ = difference in applied tensile stress between the two strain points of Table 3, MPa [psi]; and
- $\Delta\epsilon$ = difference between the two strain points of Table 3 (nominally 0.002).

13.3.2 *Tensile Modulus of Elasticity (Other Definitions)*— Other definitions of elastic modulus may be evaluated and reported at the user's discretion. If such data is generated and reported, report also the definition used, the strain range used, and the results to three significant figures. Test Method E 111 provides additional guidance in the determination of modulus of elasticity.

Anexo 9. Norma ASTM D638 para ensayos de tracción.

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: D638 – 14

Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics¹

This standard is issued under the fixed designation D638; 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 the determination of the tensile properties of unreinforced and reinforced plastics in the form of standard dumbbell-shaped test specimens when tested under defined conditions of pretreatment, temperature, humidity, and testing machine speed.

1.2 This test method is applicable for testing materials of any thickness up to 14 mm (0.55 in.). However, for testing specimens in the form of thin sheeting, including film less than 1.0 mm (0.04 in.) in thickness, ASTM standard D882 is the preferred test method. Materials with a thickness greater than 14 mm (0.55 in.) shall be reduced by machining.

1.3 This test method includes the option of determining Poisson's ratio at room temperature.

NOTE 1—This standard and ISO 527-1 address the same subject matter, but differ in technical content.

NOTE 2—This test method is not intended to cover precise physical procedures. It is recognized that the constant rate of crosshead movement type of test leaves much to be desired from a theoretical standpoint, that wide differences may exist between rate of crosshead movement and rate of strain between gage marks on the specimen, and that the testing speeds specified disguise important effects characteristic of materials in the plastic state. Further, it is realized that variations in the thicknesses of test specimens, which are permitted by these procedures, produce variations in the surface-volume ratios of such specimens, and that these variations may influence the test results. Hence, where directly comparable results are desired, all samples should be of equal thickness. Special additional tests should be used where more precise physical data are needed.

NOTE 3—This test method may be used for testing phenolic molded resin or laminated materials. However, where these materials are used as electrical insulation, such materials should be tested in accordance with Test Methods D229 and Test Method D651.

NOTE 4—For tensile properties of resin-matrix composites reinforced with oriented continuous or discontinuous high modulus >20 -GPa ($>3.0 \times 10^6$ -psi) fibers, tests shall be made in accordance with Test Method D3039/D3039M.

1.4 Test data obtained by this test method have been found to be useful in engineering design. However, it is important to

consider the precautions and limitations of this method found in **Note 2** and **Section 4** before considering these data for engineering design.

1.5 The values stated in SI units are to be regarded as standard. The values given in parentheses are for information only.

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

D229 Test Methods for Rigid Sheet and Plate Materials Used for Electrical Insulation

D412 Test Methods for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers—Tension

D618 Practice for Conditioning Plastics for Testing

D651 Test Method for Test for Tensile Strength of Molded Electrical Insulating Materials (Withdrawn 1989)³

D882 Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting

D883 Terminology Relating to Plastics

D1822 Test Method for Tensile-Impact Energy to Break Plastics and Electrical Insulating Materials

D3039/D3039M Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials

D4000 Classification System for Specifying Plastic Materials

D4066 Classification System for Nylon Injection and Extrusion Materials (PA)

D5947 Test Methods for Physical Dimensions of Solid Plastics Specimens

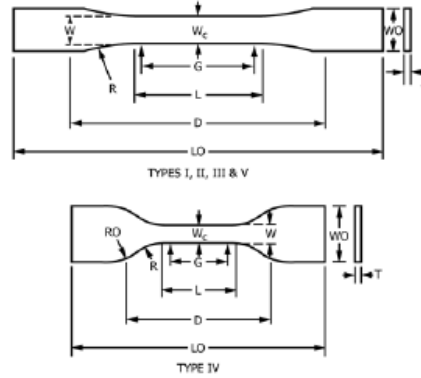
E4 Practices for Force Verification of Testing Machines

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D20 on Plastics and is the direct responsibility of Subcommittee D20.10 on Mechanical Properties. Current edition approved Dec. 15, 2014. Published March 2015. Originally approved in 1941. Last previous edition approved in 2010 as D638 - 10. DOI:

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 The last approved version of this historical standard is referenced on

D638 - 14



Specimen Dimensions for Thickness, T , mm (in.)^A

Dimensions (see drawings)	7 (0.28) or under		Over 7 to 14 (0.28 to 0.55), incl	4 (0.16) or under		Tolerances
	Type I	Type II	Type III	Type IV ^B	Type V ^{C,D}	
W —Width of narrow section ^{E,F}	13 (0.50)	6 (0.25)	19 (0.75)	6 (0.25)	3.18 (0.125)	± 0.5 (± 0.02) ^{B,C}
L —Length of narrow section	57 (2.25)	57 (2.25)	57 (2.25)	33 (1.30)	9.53 (0.375)	± 0.5 (± 0.02) ^C
W_O —Width overall, min ^C	19 (0.75)	19 (0.75)	29 (1.13)	19 (0.75)	...	+ 6.4 (+ 0.25)
W_O —Width overall, min ^C	...	...	...	...	9.53 (0.375)	+ 3.18 (+ 0.125)
L_O —Length overall, min ^H	165 (6.5)	183 (7.2)	246 (9.7)	115 (4.5)	63.5 (2.5)	no max (no max)
G —Gage length ^I	50 (2.00)	50 (2.00)	50 (2.00)	...	7.62 (0.300)	± 0.25 (± 0.010) ^C
G —Gage length ^I	...	...	...	25 (1.00)	...	± 0.13 (± 0.005)
D —Distance between grips	115 (4.5)	135 (5.3)	115 (4.5)	65 (2.5) ^J	25.4 (1.0)	± 5 (± 0.2)
R —Radius of fillet	76 (3.00)	76 (3.00)	76 (3.00)	14 (0.56)	12.7 (0.5)	± 1 (± 0.04) ^C
R_O —Outer radius (Type IV)	...	...	...	25 (1.00)	...	± 1 (± 0.04)

^AThickness, T , shall be 3.2 ± 0.4 mm (0.13 ± 0.02 in.) for all types of molded specimens, and for other Types I and II specimens where possible. If specimens are machined from sheets or plates, thickness, T , shall be the thickness of the sheet or plate provided this does not exceed the range stated for the intended specimen type. For sheets of nominal thickness greater than 14 mm (0.55 in.) the specimens shall be machined to 14 ± 0.4 mm (0.55 ± 0.02 in.) in thickness, for use with the Type III specimen. For sheets of nominal thickness between 14 and 51 mm (0.55 and 2 in.) approximately equal amounts shall be machined from each surface. For thicker sheets both surfaces of the specimen shall be machined, and the location of the specimen with reference to the original thickness of the sheet shall be noted. Tolerances on thickness less than 14 mm (0.55 in.) shall be those standard for the grade of material tested.

^BFor the Type IV specimen, the internal width of the narrow section of the die shall be 6.00 ± 0.05 mm (0.250 ± 0.002 in.). The dimensions are essentially those of Die C in Test Methods D412.

^CThe Type V specimen shall be machined or die cut to the dimensions shown, or molded in a mold whose cavity has these dimensions. The dimensions shall be:

- $W = 3.18 \pm 0.03$ mm (0.125 ± 0.001 in.),
- $L = 9.53 \pm 0.08$ mm (0.375 ± 0.003 in.),
- $G = 7.62 \pm 0.02$ mm (0.300 ± 0.001 in.), and
- $R = 12.7 \pm 0.08$ mm (0.500 ± 0.003 in.).

The other tolerances are those in the table.

^DSupporting data on the introduction of the L specimen of Test Method D1822 as the Type V specimen are available from ASTM Headquarters. Request RR:D20-1038.

^EThe tolerances of the width at the center W_c shall be $+0.00$ mm, -0.10 mm ($+0.000$ in., -0.004 in.) compared with width W at other parts of the reduced section. Any reduction in W at the center shall be gradual, equally on each side so that no abrupt changes in dimension result.

^FFor molded specimens, a draft of not over 0.13 mm (0.005 in.) is allowed for either Type I or II specimens 3.2 mm (0.13 in.) in thickness. See diagram below and this shall be taken into account when calculating width of the specimen. Thus a typical section of a molded Type I specimen, having the maximum allowable draft, could be as follows:

^GOverall widths greater than the minimum indicated are used for some materials in order to avoid breaking in the grips.

^HOverall lengths greater than the minimum indicated are used for some materials to avoid breaking in the grips or to satisfy special test requirements.

^ITest marks or initial extensometer span.

^JWhen self-tightening grips are used, for highly extensible polymers, the distance between grips will depend upon the types of grips used and may not be critical if maintained uniform once chosen.

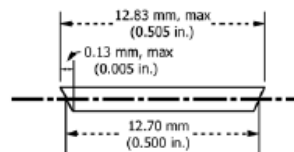


FIG. 1 Tension Test Specimens for Sheet, Plate, and Molded Plastics