



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE MECÁNICA

**PROYECTO TÉCNICO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

TEMA:

**“ANÁLISIS DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE UN MATERIAL
COMPUESTO DE MATRIZ EPOXI REFORZADO CON FIBRA NATURAL Y
SINTÉTICA MEDIANTE TRANSFERENCIA DE RESINA POR INFUSIÓN AL
VACÍO (VARTM)”**

AUTOR: Oscar Augusto Pichucho Baez

TUTOR: Ing. Mg. Juan Gilberto Paredes Salinas

AMBATO – ECUADOR

Agosto - 2023

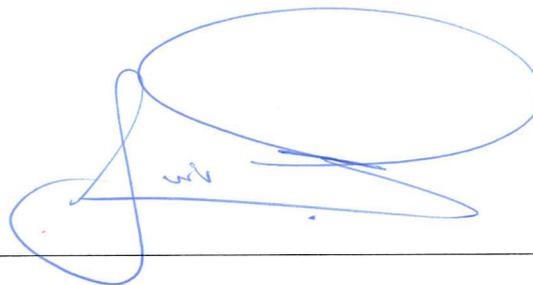
APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Proyecto Técnico, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema “ANÁLISIS DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ EPOXI REFORZADO CON FIBRA NATURAL Y SINTÉTICA MEDIANTE TRANSFERENCIA DE RESINA POR INFUSIÓN AL VACÍO (VARTM)”, elaborado por el Sr. Oscar Augusto Pichucho Baez, portador de la cédula de ciudadanía C.I. 1804884573, 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, agosto 2023

A handwritten signature in blue ink, consisting of several loops and a horizontal line, positioned above a solid horizontal line.

Ing. Juan Gilberto Paredes Salinas, Mg.

TUTOR

AUTORÍA DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Oscar Augusto Pichucho Baez, con C.I. 1804884573 declaro que todos los contenidos y actividades expuestos en el desarrollo del presente proyecto técnico con el tema: “ANÁLISIS DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ EPOXI REFORZADO CON FIBRA NATURAL Y SINTÉTICA MEDIANTE TRANSFERENCIA DE RESINA POR INFUSIÓN AL VACÍO (VARTM)”, así como también los análisis estadísticos, tablas, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, agosto 2023



Oscar Augusto Pichucho Baez

C.I. 1804884573

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que se 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, agosto 2023



Oscar Augusto Pichucho Baez

C.I. 1804884573

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del proyecto Técnico, realizado por el estudiante Oscar Augusto Pichucho Baez de la Carrera de Mecánica bajo el tema “ANÁLISIS DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ EPOXI REFORZADO CON FIBRA NATURAL Y SINTÉTICA MEDIANTE TRANSFERENCIA DE RESINA POR INFUSIÓN AL VACÍO (VARTM)”.

Ambato, agosto 2023

Para constancia firman:



Ing. Vanessa Morales Rovalino MSc.
MIEMBRO CALIFICADOR



Ing. Wilson Henry Vaca Ortega Mg.
MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

A Cesar, Carmen y Ricardo, por todo el apoyo brindado durante mis años de vida; apoyo moral, sentimental e intelectual. Por nunca permitirme rendir y siempre darme ánimo para continuar durante el trajinar de los estudios y el desarrollo personal.

A mis familiares que supieron extenderme apoyo académico y moral para enfrentar las adversidades que representan la formación del estudio.

A los compañeros que el crecimiento me ha dejado, durante mis primeros años de adolescencia, así como a los adquiridos durante esta etapa de formación profesional.

A todas las personas que me brindaron un poco de su buena vibra y aliento para enfrentar los obstáculos e inconvenientes que se presentan durante los años de estudio y en aspectos sociales.

AGRADECIMIENTO

Deseo extender el más grande de los agradecimientos a mi núcleo familiar, conformado por mis padres Cesar y Carmen, así como a mi hermano Ricardo; quienes han sido el pilar en el que siempre me he podido y he sabido apoyar para poder desarrollar mi formación profesional y personal.

A mis docentes, por permitirme compartir de sus conocimientos y ayudarme en mi formación. A mi docente tutor, por ser guía durante este proyecto y poderme guiar en el desarrollo del mismo y, a mis amigos quienes han sido un apoyo innegable durante los años de estudio, lo que ha permitido adquirir experiencias y vivencias muy agradables.

INDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
AUTORÍA DE TRABAJO DE TITULACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
INDICE GENERAL DE CONTENIDOS	viii
INDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
RESUMEN EJECUTIVO	xiii
ABSTRACT	xiv
CAPITULO I	1
MARCO TEÓRICO	1
TEMA	1
1.1 Antecedentes Investigativos	1
1.1.1 Justificación.....	2
1.1.2 Desarrollo del Fundamento Teórico.....	3
1.1.3 Definición de Material Compuesto	3
1.1.4 Importancia de los Materiales Compuestos	4
1.1.5 Clasificación de los materiales compuestos	4
1.1.6 Materiales compuestos reforzados con partículas	4
1.1.7 Materiales compuestos reforzados con fibras	5
1.1.8 Cementos y hormigones	8
1.1.9 Materiales compuestos endurecidos por dispersión	9
1.1.10 Compuestos particulados.....	10
1.1.11 Manufactura de Fibras y Compuestos	11
1.1.12 Estructuras tipo emparedado o sándwich	13
1.1.13 Procesos de producción de materiales compuestos	13
1.1.14 Procesos de Molde Abierto para materiales compuestos de plástico con fibra	13
1.1.15 Procesos de Molde Cerrado para materiales compuestos de plástico con fibra	15
1.1.16 Especificaciones del Proceso de Infusión al Vacío	15

1.2 Objetivos	20
1.2.1 Objetivo general	20
1.2.2 Objetivos específicos.....	20
CAPÍTULO II.....	21
METODOLOGÍA.....	21
2.1 Materiales.....	21
2.2 Métodos	24
2.2.1 Nivel o tipo de investigación.....	24
2.2.1.2 Investigación Descriptiva.....	25
2.2.1.3 Investigación Bibliográfica.....	25
2.2.1.4 Investigación Aplicativa	25
2.3 Operacionalización de Variables	26
2.3.1 Variable Independiente: Material compuesto de matriz epoxi con refuerzo de fibra natural y sintética.	26
2.3.2 Variable Dependiente: Proceso de obtención de material compuesto por infusión al vacío.	27
2.3.3 Matriz de combinaciones de categorías	28
2.4 Generación de casos de estudio y aplicación de método de obtención.....	28
2.5 Adquisición de materia prima.....	29
2.6 Determinación de las propiedades de fibra.....	30
2.6.1 Determinación de cantidad de matriz en función de la fibra.....	32
2.6.2 Determinación de la densidad del material compuesto.....	34
2.6.3 Preparación de elementos conformantes de probetas.....	36
2.6.4 Acondicionamiento de planchas.....	39
2.6.5 Curado y corte de Probetas.....	40
2.7 Ensayo de tracción de probetas de material compuesto	43
CAPÍTULO III	46
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	46
3.1 Tabulación e interpretación de resultados.....	46
3.1.1 Análisis de tiempo de infusión/humectación	46
3.1.2 Fichas de recolección de datos de tiempo de infusión/humectación.....	46
3.1.3 Análisis del peso de la probeta	48
3.1.4 Fichas de recolección de datos de probetas ensayadas a tracción	49
3.2 Análisis y discusión de los resultados.....	81
3.2.1 Análisis de resultados Individuales	82
3.2.2 Análisis de resultados del ensayo a tracción por caso.....	83

3.2.3	Análisis de resultados de carácter global	91
3.2.4	Gráficas comparativas del Ensayo a Tracción.....	92
	CAPÍTULO IV	102
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	102
4.1	Conclusiones	102
4.2	Recomendaciones	104
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	105
	ANEXOS	108
	Anexo 1: Ficha técnica de Resina Aeropoxy, otorgada por el fabricante	108
	Anexo 2: FICHA TÉCNICA Máquina Universal de ensayos Shimadzu AGS-X SERIES 50 kN	110
	Anexo 3: Ficha técnica de Cámara Termográfica Series EX de FLIR.....	111
	Anexo 4: Standard Test Method for Tensile properties of Polymer Matrix Composite Materials. ANEXO 1 (ASTM D3039)	113

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Aplicaciones de compuestos, endurecidos por dispersión	10
Tabla 2 Materiales utilizados.....	21
Tabla 3 Variable independiente: Material compuesto de matriz epoxi con refuerzo de fibra natural y sintética.	26
Tabla 4 Variable Dependiente: Proceso de obtención de material compuesto por infusión al vacío.	27
Tabla 5 Matriz de combinaciones de casos de estudio.....	28
Tabla 6 Matriz de experimentación de casos de estudio.	29
Tabla 7 Densidad Fibra de chambira, tejida	32
Tabla 8 Cantidades requeridas de Resina y Endurecedor.....	33
Tabla 9 Densidades de conformantes del material compuesto.....	35
Tabla 10 Densidad calculada del material compuesto.....	36
Tabla 11 Elaboración y preparación de elementos para conformado de material compuesto.....	36
Tabla 12 Tratamiento del curado de probetas	40
Tabla 13 Datos obtenidos de ensayo de tracción.....	44
Tabla 14 Análisis de tiempos de proceso de Infusión/Humectación de probetas.	47
Tabla 15 Análisis de pesos inicial y final de probetas.....	48
Tabla 16 Ficha técnica del material compuesto, caso 1 a tracción.....	49
Tabla 17 Ficha técnica del material compuesto, caso 2 a tracción.....	53
Tabla 18 Ficha técnica del material compuesto, caso 3 a tracción.....	57
Tabla 19 Ficha técnica del material compuesto, caso 4 a tracción.....	61
Tabla 20 Ficha técnica del material compuesto, caso 5 a tracción.....	65
Tabla 21 Ficha técnica del material compuesto, caso 6 a tracción.....	69
Tabla 22 Ficha técnica del material compuesto, caso 7 a tracción.....	73
Tabla 23 Ficha técnica del material compuesto, caso 8 a tracción.....	77
Tabla 24 Análisis de tiempos de mojado total y salida de excedente de probetas realizadas.	81
Tabla 25 Recopilación de datos de Ensayos de Tensión aplicado a los distintos casos de material compuesto.....	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Densidad de tejido de fibra.	31
Figura 2 Placas acondicionadas de material compuesto.....	39
Figura 3 Máquina universal de ensayos a tracción de la Universidad Técnica de Ambato	43
Figura 4 Diagrama de barras de variación del tiempo de ensayo promedio por cada caso.	92
Figura 5 Diagrama telaraña comparativo del tiempo de ensayo de cada caso.	93
Figura 6 Diagrama de barras de Carga Máxima aplicada promedio por cada caso.	93
Figura 7 Diagrama telaraña comparativo de la carga máxima aplicada en cada caso.....	94
Figura 8 Diagrama de barras de variación del esfuerzo de fluencia por cada caso.	94
Figura 9 Diagrama de barras del esfuerzo máximo a la tracción por cada caso.....	95
Figura 10 Diagrama telaraña comparativo del análisis de esfuerzo de fluencia y esfuerzo máximo a la tracción de cada caso.	96
Figura 11 Diagrama telaraña comparativo del módulo de elasticidad de cada caso.	97
Figura 12 Diagrama telaraña comparativo del Esfuerzo Máximo a la Tracción y el Módulo de elasticidad de cada caso.	97
Figura 13 Diagrama de barras de variación del porcentaje de elongación promedio por cada caso.....	98
Figura 14 Diagrama telaraña comparativo del porcentaje de elongación de cada caso. .	98

RESUMEN EJECUTIVO

La generación de nuevos materiales compuestos que presenten buenas características mecánicas, para distintas necesidades del usuario, es importante para mejorar las características de producción de los comercios locales y hasta nacional. También se debe tener en cuenta que muchas veces, que este cambio debe ser necesariamente amigable con el medio ambiente y generar la mayor cantidad de producto, aprovechando el mínimo de recursos necesarios; esto maximiza producciones y ganancias.

En este trabajo se presenta la caracterización del proceso que debe llevarse a cabo para generación de laminados de material compuesto, con distintas parametrizaciones, elaborado con base en una matriz de resina epoxi, reforzada con fibras naturales de Chambira, en distintas direcciones, y fibra sintética, netamente de tejido plano de fibra de vidrio, mediante el proceso de Infusión al Vacío, realizado con una bomba de vacío. Teniendo en cuenta que pueden darse variaciones en el proceso de conformado de dicho material, así como en ciertas puntualidades de los elementos conformantes. Posteriormente, se verificó las propiedades adquiridas de cada uno de los casos, mediante un análisis de los tiempos de producción, los pesos antes y después del proceso de conformado y un ensayo de tracción, hecho bajo los parámetros de la norma ASTM D3039, la cual nos proporciona las características que deben analizarse de cada probeta ensayada, esto con el fin de verificar las cualidades adquiridas, así como una comparación posible de los usos que puede tener el material.

PALABRAS CLAVE: Resina Epoxi, Fibra de Chambira, Infusión al vacío, Ensayo de Tracción, ASTM D3039

ABSTRACT

The generation of new composite materials that present good mechanical characteristics, for different user needs, is important to improve the production characteristics of local and even national businesses. It should also be taken into account that many times, this change must necessarily be friendly to the environment and generate the greatest amount of product, taking advantage of the minimum necessary resources; this maximizes productions and profits.

This paper presents the characterization of the process that must be carried out to generate composite material laminates, with different parameterizations, made based on an epoxy resin matrix, reinforced with natural Chambira fibers, in different directions, and synthetic fiber, purely flat fiberglass fabric, through the Vacuum Infusion process, carried out with a vacuum pump. Bearing in mind that there may be variations in the forming process of said material, as well as in certain punctualities of the conforming elements. Subsequently, the acquired properties of each of the cases were verified, through an analysis of the production times, the weights before and after the forming process and a tensile test, made under the parameters of the ASTM D3039 standard, which provides us with the characteristics that must be analyzed of each tested specimen, this in order to verify the acquired qualities, as well as a possible comparison of the uses that the material may have.

KEY WORDS: Epoxy Resin, Chambira Fiber, Vacuum Infusion, Tensile Test, ASTM D3039

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

TEMA

“ANÁLISIS DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ EPOXI REFORZADO CON FIBRA NATURAL Y SINTÉTICA MEDIANTE TRANSFERENCIA DE RESINA POR INFUSIÓN AL VACÍO (VARTM).”

1.1 Antecedentes Investigativos

Botero, Romo, Méndez y González mencionan en su trabajo, denominado **“DESARROLLO DE UN MATERIAL COMPUESTO ULTRALIGERO PARA CONSTRUIR LA PLATAFORMA DE UNA MESA VIBRADORA”** que los materiales ultraligeros son aplicables en la construcción de mesas vibratoras, con la finalidad de reducir el peso y optimizar la calidad del equipo, así como su capacidad, permitiendo conocer las técnicas de fabricación que se adapten mejor a los recursos disponibles y a las necesidades. Esto proyecta la facilidad de aplicación y uso de materiales compuestos para distintas necesidades. [1]

A partir del desarrollo de materiales ligeros en las décadas anteriores, se alcanzó la propuesta de uso en la construcción de una cimentación para una mesa vibratoria hidráulica unidireccional con una capacidad de carga de 1 tonelada y un rango de frecuencia de 0,4 Hertz hasta 4.0 Hz para uso en el Laboratorio Geotécnico del Instituto de Ingeniería de la UNAM. [1]

Por lo tanto, se busca reemplazar la tradicional base rígida de acero por una fabricada en madera y materiales compuestos a base de Kevlar, para reducir el peso y mejorar la condición de las unidades hidráulicas en laboratorios industriales. Para esto se realizó un experimento que describe las propiedades de compresión y corte de materiales compuestos seleccionados bajo carga monótona creciente. El propósito de este estudio fue determinar las proporciones apropiadas y técnicas de producción que mejor se adapte a los recursos y necesidades existentes. [1]

Para Ngo, T. D., en el trabajo llamado **“INTRODUCTION TO COMPOSITE MATERIALS”** los materiales compuestos han desempeñado un papel importante a lo largo de la historia humana, desde albergar a las primeras civilizaciones hasta posibilitar futuras innovaciones y ofrecen muchos beneficios, específicamente de sus propiedades. Los compuestos han impregnado nuestra vida cotidiana, como productos que se utilizan en construcciones, aplicaciones médicas, petróleo, gas, transporte, deportes, aeroespacial y muchos más. Algunas aplicaciones, como los cohetes espaciales, probablemente no despegarían sin materiales compuestos. [2]

La clave existente entre los materiales compuestos es la resistencia a la corrosión, la flexibilidad del diseño, la durabilidad, el peso ligero y la resistencia mecánica a la tracción.

Dentro del trabajo efectuado por Guerrero R. y Bustos F., llamado **“SELECCIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA VACUUM BAGGING (ENVASADO AL VACÍO) PARA EL CONFORMADO DE MATERIALES COMPUESTOS EN EL LABORATORIO DE MATERIALES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO”** se llega a determinar las composiciones ideales del material compuesto, construido conjuntamente con el sistema de vacío y permite definir las cantidades específicas de espesor y tiempo para un alcance ideal en la obtención del material compuesto. [3]

Los parámetros del sistema de envasado al vacío para una probeta de 250x300mm se obtuvieron con una bomba de vacío de $\frac{3}{4}$ HP con 2 Pa de vacío definitivo y esto genera la succión suficiente para cubrir la muestra con resina epoxi en un periodo de 37 a 58 min. Asimismo, sugiere perfeccionamientos en la construcción del sistema de vacío en la máquina entregada, esto con el fin de disminuir la cantidad de pérdidas en resinas y catalizadores. [3]

1.1.1 Justificación

El desarrollo de diferentes métodos de prototipado de fabricación de partes de vehículos, favorecen significativamente a la reducción de tiempos de fabricación de autopartes. [4] Las cuales tomaron en cuenta las ya existentes como son: estereolitografía (SLA), modelado por

deposición fundida (FDM), sinterización selectiva por láser (SLS), etc., que favorecen significativamente a la reducción de tiempos fabricación de autopartes. [4]

Así también el análisis del uso y aplicación de fibras naturales como el jute, el bambú, abacá, etc., como refuerzo para materiales compuestos utilizados en la fabricación de autopartes de vehículos [5], favorece a la utilización de fibras naturales como reemplazo de las fibras sintéticas presentes en el vehículo y además el beneficio de reducción de peso del automóvil y su bajo costo.

1.1.2 Desarrollo del Fundamento Teórico

1.1.3 Definición de Material Compuesto

Se puede definir a un material compuesto como una combinación de distintos materiales, estos se realizan con la finalidad de mejora de las características de los componentes individuales de dicho material. Últimamente han alcanzado mayor desarrollo de la industria y tienen distintas aplicaciones. [6]

En esencia, este tipo de materiales son aquellos que están constituidos por componentes atómicos diferentes y distintivos, presentados con una estructura que los separa y permite la fusión y mejora de propiedades y características, ya que ningún material debe influir en la estructura física del otro involucrado. [7]

Este tipo de materiales son generados con la finalidad de que la combinación de propiedades, obtenida bajo un proceso único, resalte las características del material, como también las propiedades conocidas y estudiadas en la industria de la ciencia de los materiales. Así tenemos ejemplos conocidos dentro de la industria de la construcción. [8]

Poseer el conocimiento acerca de las propiedades de las fases involucradas en la generación del material compuesto, es importante con el objeto de definir las fases continua y dispersa, que tiene el material generado. [8]

1.1.4 Importancia de los Materiales Compuestos

Desde el punto de vista ingenieril, la generación de materiales compuestos representa un significativo avance, ya que permite la combinación de propiedades de otros materiales y esto se ve reflejado en un aumento de las características positivas de dichos materiales, asimismo, en las condiciones de producción. [9]

1.1.5 Clasificación de los materiales compuestos

Teniendo en cuenta el criterio basado en la microestructura de la fase dispersa, se distinguen tres grupos de materiales compuestos: [9]

- 1) Reforzados con partículas.
- 2) Reforzados con fibras.
- 3) Compuestos estructurales.

También, hay una clasificación adicional de los materiales compuestos, basada en la naturaleza de la matriz. Así tenemos: [9]

- 1) De matriz metálica (MMC)
- 2) De matriz cerámica (CMC)
- 3) De matriz polimérica (PMC)

Siendo los últimos los que tienen un mayor desarrollo tecnológico.

1.1.6 Materiales compuestos reforzados con partículas

Del mismo modo, este tipo de materiales tienen una clasificación, la cual es aquellos reforzados por partículas grandes y otros generados por dispersión. Los primeros son definidos bajo las interacciones que existen entre la matriz y las partículas. [9]

Existe el caso mayormente conocido de los materiales compuestos reforzados por partículas grandes, el cual es el hormigón. Dentro del cual las partículas que se encuentran es arena o

grava, dentro de una matriz cerámica que es compuesta de silicatos y aluminatos hidratados. [9]

Se conoce que la manera más efectiva para reforzamiento está dada cuando las partículas tienen un menor tamaño y están distribuidas de una manera más homogénea dentro de la matriz. [9]

Este tipo de materiales tiene una significativa aplicación en herramientas usadas para realizar cortes en aceros endurecidos por cementación, debido a que este tipo de partículas contribuye a la dureza del material y permite soportar los esfuerzos mecánicos a los cuales es sometido durante el proceso de corte. [9]

1.1.7 Materiales compuestos reforzados con fibras

Este tipo de materiales compuestos son conocidos por las características que presentan en cuanto a sus propiedades, ya que son significativamente altas y esto sirve de beneficio para los múltiples usos que esto puede representar. [9]

Sin embargo, se debe tener en cuenta que un factor determinante para las propiedades, es el tamaño o longitud de las probetas que sean utilizadas en los ensayos, ya que las variaciones de los tamaños de las probetas representan un cambio en la resistencia mecánica, principalmente, esto debido a que la probabilidad de encontrar defectos en la escala macro-microscópica disminuye, por lo que también lo hace la probabilidad de aparición de grietas y fracturas. [9]

Para generar un material compuesto con las mejores características posibles, es necesario que las fibras con las que va a ser elaborado tengan el menor diámetro posible; esto desde el punto de vista de las propiedades mecánicas. Sin embargo, teniendo en cuenta diámetros muy pequeños que puede generar problemas de salud, debido a partículas fibrosas en suspensión, que son perjudiciales. Asimismo, es importante tener en cuenta la dirección en la que las fibras son localizadas, ya que esto también varía el grado de las propiedades que se verán presentadas en la generación del material compuesto. [9]

En cuanto a materiales que son altamente convenientes, desde el punto de vista de las propiedades, son las matrices poliméricas del tipo de poliéster insaturadas o resinas epoxi. Ambas presentan ventajas en la producción de materiales compuestos reforzados con fibras y son utilizadas en altas temperaturas, en comparación con las que son elaboradas con una matriz de resina poliéster. [9]

Para las fibras, se debe tener en cuenta también, las características que aportan en la generación del material compuesto y como estos dos se relacionan. A continuación, se presenta una lista de las fibras que son utilizadas con una base de resinas epoxi y poliéster: [9]

Fibra de vidrio

Es la más común con resinas de poliéster. Se encuentra en dos variedades, conocidas como la normal (Vidrio E) y de alta resistencia (Vidrio S). Las composiciones del estado químico, y por lo tanto sus propiedades, son la característica por la que llevan ese nombre. [9]

Las aplicaciones que se le da en la industria, tenemos su uso en carrocerías, recipientes y la industria del transporte en general. Los estudios de aplicación de esta fibra con otras matrices continúan, en la actualidad. [9]

Mayormente utilizadas en refuerzos de compuestos estructurales y de bombeo. Proporcionan características como alta relación entre resistencia y peso, estabilidad dimensional, resistencia a distintas condiciones ambientales, buenas propiedades eléctricas, facilidad de elaboración y un costo relativamente bajo. [7]

Fibra de carbono

Es elaborada con matriz de resina epoxi y cuenta con tres variantes las cuales son, de alta resistencia, intermedio y de alto módulo. [9]

Las aplicaciones de este tipo de fibra son variadas ya que es muy útil en situaciones que factores críticos de rigidez, resistencia y bajo peso. Muy utilizada en industrias que requieren disminución de peso del producto final. [9]

La limitación del uso de este tipo de fibras es relativamente alta, por lo que su uso es limitado en muchas industrias, es especialmente usado en la industria aeroespacial, en el conformado de las aeronaves. [7]

El proceso de producción de fibras de carbono, se lo realiza en tres etapas, las cuales son: [7]

- 1) Estabilización
- 2) Carbonización
- 3) Grafitización

En cada una de estas etapas, las fibras atraviesan debidos procesos que ayudan a la mejora de sus características y permite alcanzar propiedades de resistencia altas. [7]

Fibra de polímeros

Una de las más comunes, dentro de esta clasificación, es la fibra de poliarámda y el nombre comercial más utilizado es el Kevlar49®, también existe el Kevlar29®. Ambas con propiedades y aplicaciones específicas dentro de la industria. Las dos elaboradas con matriz epoxi. [9]

A pesar de las aplicaciones específicas de este tipo de fibra, se han realizado pruebas que permiten su uso en otras aplicaciones como en equipos deportivos, barcos y otras aplicaciones. [9]

Otra fibra conocida, de poliarámda, es el nomex®, que es menos resistente, pero tiende a presentar mayor número de deformaciones plásticas y no presentar fracturas, usado en trajes espaciales y de bomberos. [9]

Los materiales de refuerzo pueden provenir de distintos materiales. En una revisión histórica se conoce el uso de paja para reforzar ladrillos de barro. Asimismo, en estructuras de concreto, el refuerzo es con varillas de acero; en aplicaciones de transporte se tiene la fibra de vidrio con una matriz polimérica, etc.

Fibra de aramida

Es el nombre conocido de las fibras de poliamida aromática, que son presentadas en dos tipos conocidos como kevlar 29, que tiene aplicaciones en cuerdas, cables y para protección

balística; y el kevlar 49, que es utilizado en la industria aeroespacial, marítima, automotriz y de otro tipo industrial. [7]

Las propiedades más importantes que presenta los materiales realizados con este tipo de fibra son algunos como el peso liviano, la elevada resistencia y la rigidez, la resistencia a daños, la resistencia a la fatiga y a la ruptura por tensión. [7]

Fibra de Chambira

Conocidos varios tipos de fibra de chambira, tenemos:

Astrocaryum chambira, es una gran palma solitaria; crece en bosques primarios, así como en vegetación secundaria y áreas abiertas en las tierras bajas amazónicas occidentales y las laderas de las estribaciones andinas orientales en Ecuador, en el oeste de Brasil y se extiende a las regiones norte y centro-oriental de Perú. [10]

Astrocaryum jauari, es una gran palma cespitosa ribereña que produce varios tallos desde su base; se encuentra comúnmente a lo largo de la mayoría de los ríos de la cuenca del Amazonas. [10]

Astrocaryum standleyanum, es una palma solitaria de tamaño mediano, crece más comúnmente en bosques tropicales de tierras bajas en suelos mal drenados a lo largo de la vertiente del Pacífico desde Costa Rica hasta las tierras bajas del Pacífico del oeste de Colombia y Ecuador. [10]

Estas tres especies desarrollan hojas irregulares, es decir, se agrupan irregularmente y se orientan en varias direcciones. [10]

Astrocaryum perangustatum, es una palma de tallo corto y hojas grandes, las pinnas están dispuestas regularmente en un plano; es endémica de los valles sub andinos centrales (Millán, 2006), donde crece tanto en el sotobosque forestal como en áreas abiertas. [10]

1.1.8 Cementos y hormigones

Se conoce el antecedente de este tipo de material compuesto, al adobe, desde el tiempo de los egipcios; los cuales utilizaban esta mezcla moldeada, de fibra de paja en una matriz de

arcilla, mezclados con agua. En la actualidad, el componente estructural más importante y mayormente utilizado es el hormigón. [9]

Es un material formado por elementos cerámicos que poseen una alta resistencia a la compresión, más que a la tensión. Así mismo se puede generar más elementos de carácter compuesto, realizando un refuerzo con barras de acero, lo que genera el conocido hormigón armado y este es un elemento fundamental durante la construcción de la estructura básica de columnas de cualquier edificación. [9]

Una de las ventajas que representa el uso del hormigón, es la flexibilidad de diseño ya que puede ser vertido en su estado inicial, y adquirir la forma que lo contiene; además es barato, presenta resistencia al fuego, alta dureza. Así también, entre las desventajas que se puede conocer, se tiene la baja resistencia a la tensión, ductilidad baja, como también problemas de contracción y dilatación frente a las variaciones de temperatura. [9]

Se tiene también, otro elemento conocido, como es el alquitrán o bitumen, que es un elemento que proviene de una destilación fraccionada de petróleo y es usado como aglutinante en la producción de asfalto; que es un compuesto de agregado, que suele ser arena o grava fina y alquitrán. [9]

1.1.9 Materiales compuestos endurecidos por dispersión

Este tipo de materiales compuestos pueden ser más débiles que aleaciones producidas de manera tradicional, por envejecimiento. Pero la resistencia se reduce de manera gradual, si existe un incremento en la temperatura, debido a que los compuestos no se ablandan por circunstancias como envejecimiento. La resistencia a la fluencia lenta o termofluencia es mayor que en metales y aleaciones. [8]

Existen varios ejemplos de materiales producidos por dispersión, en los que se verifica un incremento en las propiedades positivas. Siempre y cuando el dispersoide no reaccione químicamente con la matriz. Así tenemos la alúmina (Al_2O_3) que no se disuelve en aluminio y permite la obtención de un material eficaz, endurecido por dispersión. [8]

A continuación, se presenta una tabla de aplicaciones de algunos materiales compuestos, endurecidos por dispersión. [8]

Tabla 1 Aplicaciones de compuestos, endurecidos por dispersión [8].

Sistema	Aplicaciones
Ag-CdO	Materiales para contactos eléctricos
Al-Al ₂ O ₃	Posible uso en reactores nucleares
Be-BeO	Reactores aeroespaciales y nucleares
Co-ThO ₂ , Y ₂ O ₃	Posible uso en materiales magnéticos resistentes a la fluencia lenta
Ni-20% Cr-ThO ₂	Componentes de motores de turbina
Pb-PbO	Rejillas para batería
Pt-ThO ₂	Filamentos, componentes eléctricos
W-ThO ₂ , ZrO ₂	Filamentos, calefactores

Fuente: [8]

1.1.10 Compuestos particulados

Son un tipo de compuestos diseñados para generar composiciones poco comunes, en lugar de mejorar la resistencia. Estos abarcan partículas gruesas en gran cantidad, lo cual no genera un bloqueo eficiente hacia la mezcla refractaria. [8]

Regla de las mezclas

Esta es una relación que permite predecir con exactitud ciertas propiedades de un compuesto particulado, basada en la densidad del compuesto, la densidad de los constituyentes y las fracciones volumétricas de cada uno de ellos. [8]

Carburos cementados

Consiste en un compuesto de matriz metálica con partículas cerámicas duras dispersas. Existe un tipo de carburo, conocido, que es el WC o carburo de tungsteno, el cual combinado con

polvo de cobalto y comprimido en preformas de polvo compactado, mejora la tenacidad del material y permite una buena resistencia al impacto. [8]

Abrasivos

Los discos de rectificado obtienen tenacidad mediante la unión de partículas abrasivas en una matriz vítrea o polimérica, las cuales, al desgastarse, se desprenden o fracturan y existen nuevas superficies de corte. [8]

Contactos eléctricos

Existen varios materiales compuestos específicos, utilizados en la producción de contactos eléctricos de interruptores y relevadores, estos deben caracterizarse por una buena resistencia al desgaste y conductividad eléctrica, proporcionando cualidades que generen buen enlace y arco eléctrico. [8]

Polímeros

La obtención de compuestos poliméricos con características ideales para la producción ingenieril, se basa en agregar rellenos y extensores, que son compuestos particulados. [8]

Esto se realiza con el fin de requerir menor cantidad de polímero puro, debido al coste de producción, además que se puede mejorar las propiedades como elevación de la conductividad térmica o incremento de dureza y resistencia al desgaste. Así existen distintos modos de mejoramiento de estas propiedades y obtención de otras especiales. [8]

1.1.11 Manufactura de Fibras y Compuestos

Producir un compuesto reforzado con fibras, se da bajo un proceso, que se detalla a continuación: [8]

1. Fabricación de las fibras

Existen muchos métodos de obtención de fibras, para la elaboración de materiales compuestos, como por ejemplo tenemos: [8]

- Procesos de estirado o trefilado, en fibras metálicas, de vidrio y otras poliméricas.
- Deposición química de vapor (DQV), en el caso de fibra de boro y de manera similar con fibras de SiC.
- Carbonización o pirolización de un filamento orgánico, para elaboración de fibras de carbono.

2. Distribución de las fibras

Para generar la fibra, es necesario una distribución de los filamentos en forma de hilos o mechas, que puede contener varios de estos en cada fibra. La orientación de estas fibras dentro del compuesto se la encuentra al azar o aleatoria, de manera frecuente. Una distribución en forma de estera o tela, es posible para compuestos de matriz polimérica, las cuales pueden contener fibras sin tejer orientadas al azar y sujetas por resina polimérica. [8]

3. Producción del Compuesto

Existen distintos métodos que son utilizados para producir elementos compuestos. Entre los principales, tenemos la elaboración mediante la mezcla de las fibras en una matriz líquida o plástica, de compuestos reforzados con fibras cortas, para posteriormente utilizar técnicas como el moldeo por inyección o el vaciado, dependiendo del tipo de matriz. [8]

Otro tipo de proceso, es el método de aspersion, usado en compuestos con matriz polimérica, donde las fibras cortas se mezclan con resina rociada en un molde y se curan. [8]

Así también, hay técnicas especiales para compuestos con fibras continuas unidireccionales, en estera o en tejido. Este tipo de técnicas permite una obtención de material con características idóneas, por ejemplo, para elaboración de carrocerías de automóviles o camiones con fibra de vidrio. [8]

El moldeo por bolsa es una técnica usada mediante la introducción de gases a alta presión o en vacío, lo cual provoca que las capas individuales se junten de manera adecuada, durante el curado. [8]

Se tiene también, el enrollado de filamentos, alrededor de una forma específica o mandril, lo cual permite, posteriormente, formar una figura sólida. Se puede impregnar la resina en el filamento durante o después del enrollado, como también, el filamento puede estar sumergido

en la resina de manera previa. Este método es usado para la producción de componentes como recipientes a presión o piezas fundidas para motores a reacción. [8]

Los compuestos más difíciles de producir son aquellos con matriz metálica y fibras continuas, en los cuales también se puede aplicar procesos de vaciado o colado, incluso varios procesos de compactación en estado sólido. [8]

1.1.12 Estructuras tipo emparedado o sándwich

Este tipo de materiales están constituidos por capas delgadas de material de recubrimiento ligadas a un material de relleno ligero. El compuesto presenta propiedades de resistencia o rigidez, a pesar de que ninguno de sus componentes presente estas características. [8]

Se conoce un ejemplo de este tipo de estructuras, como es las láminas de cartón corrugado, el cual presenta un núcleo de papel en forma de canales, unido a una capa lisa a ambos lados. La combinación de ambos, genera un material rígido, aunque de manera individual, no presenten esta característica. [8]

1.1.13 Procesos de producción de materiales compuestos

1.1.14 Procesos de Molde Abierto para materiales compuestos de plástico con fibra

Entre los principales métodos para la producción de materiales compuestos de plástico con fibra, mediante molde abierto, se tienen los que se enuncian a continuación: [7]

Proceso de colocación manual de capas

Este procedimiento es el más sencillo para la producción de piezas reforzadas con fibra. Se coloca, de manera manual, capas de fibra y resina en un molde abierto. Posteriormente, se aplica el refuerzo de fibra mediante un cepillo o por aspersion, mediante rodillos o escurridores, con el fin de expulsar aire atrapado. Es un método muy utilizado para trabajos en embarcaciones, así también en construcción. [7]

Proceso de aspersión

Es usado de manera similar a la colocación manual de capas. El hilado de hebra continua se realiza mediante un proceso combinado de triturador y pistola de aspersión, para depositarlo en conjunto con la resina y catalizador, se expulsa el aire posteriormente y se impregna la resina en las fibras de refuerzo. Para el curado, se lo realiza a temperatura ambiente o mediante una aplicación moderada de calor. [7]

Proceso de bolsa de vacío en autoclave

Este proceso es usado en la producción de laminados de alto rendimiento, por lo general con sistemas epóxicos y refuerzo de fibra. Las aplicaciones de este tipo de compuestos tienen una importancia característica en aplicaciones de carácter aeroespacial y aeronáutico. Se debe analizar los pasos que se requieren para la consecución de este tipo de proceso y obtención de materiales. [7]

1. Se coloca sobre una superficie horizontal, una lámina delgada y larga de material, que puede ser epóxico con fibras de carbono pre impregnado.
2. Se forma un laminado, mediante la colocación de trozos de la lámina pre impregnada, unos sobre otros. Estos pueden colocarse en distintas direcciones.
3. Se introducen en una bolsa de vacío tanto el molde como el laminado, para extraer el aire atrapado en el interior del laminado.
4. Finalmente, se introduce la bolsa en una autoclave para el curado de la resina.

Posterior a este proceso, se separa el compuesto del molde, para continuar con algún proceso de acabado.

Proceso de embobinado del filamento

Este proceso es utilizado para producir cilindros huecos de alta resistencia. Se realiza mediante un baño de resina a la fibra y posteriormente se enrolla, a un mandril que es curado a temperatura ambiente o en un horno a altas temperaturas. Esto genera elementos con

resistencia extremadamente alta a la tensión. Así son fabricados tanques de almacenamiento de productos químicos y combustibles, entre otros. [7]

1.1.15 Procesos de Molde Cerrado para materiales compuestos de plástico con fibra

Existen varios métodos de este tipo, de los cuales se presentan los siguientes: [7]

Moldeo por compresión e inyección

Usados en la producción de grandes volúmenes de plásticos reforzados con fibras. Son de los más importantes en este tipo de procesos. Aquí el refuerzo de fibra se mezcla con la resina antes del procesado. [7]

Proceso del compuesto para moldeo de placas (CMP)

Este tipo de proceso es utilizado para la producción de elementos plásticos reforzados con fibra, en la industria automotriz, como uno de los más novedosos. Permite alcanzar excelentes propiedades de resistencia mecánica, con base en el control de la resina. [7]

Proceso de pultrusión continua

Es utilizado para fabricar elementos que tengan la sección transversal constante, como perfiles y vigas. Permite lograr una alta concentración de fibras, mediante impregnación de resina y posterior contacto con acero caliente para formar el producto terminado. [7]

1.1.16 Especificaciones del Proceso de Infusión al Vacío

El proceso de moldeo de resina asistido por vacío, conocido por sus siglas en inglés VARTM, es un proceso de molde cerrado que es capaz de fabricar piezas de polímero reforzado con fibra (FRP) de alto rendimiento y a gran escala con un bajo costo de herramientas. [11]

Para la elaboración de laminados compuestos por infusión al vacío debe tenerse en cuenta ciertos pasos principales, los cuales deben llevarse con cuidado, para generar un material con las mejores características posibles, así tenemos: [11]

1. Preparación del molde

Se debe preparar el molde que se utilizará para dar forma al material compuesto. El molde se limpia y se aplica un agente desmoldante o una capa de liberación para facilitar la extracción del material una vez que se ha curado. [12]

2. Preparación y ubicación de fibras de refuerzo

Las fibras de refuerzo, como la fibra de vidrio o la fibra de carbono, se cortan y se disponen en la forma y patrón deseados dentro del molde. Estas fibras proporcionarán la resistencia y rigidez al material compuesto. [12]

3. Preparación de la resina

Se prepara la resina que se utilizará para impregnar las fibras. La resina se puede mezclar con endurecedores u otros aditivos según las especificaciones del material compuesto que se está fabricando. [12]

4. Sellado del sistema

Se instala una lámina de sellado alrededor del molde para crear una barrera hermética. Se asegura que no haya fugas de aire durante el proceso de vacío. [12]

5. Inyección de la resina

Una vez que se ha creado el vacío dentro del sistema, se inyecta la resina en el molde a través de puertos o entradas estratégicamente ubicados. La resina fluye a través del tejido seco y se impregna en las fibras de refuerzo, llenando los espacios vacíos y eliminando el aire. [12]

6. Curado

Completada la infusión de resina, el material compuesto se deja curar y endurecer según las instrucciones del fabricante. El tiempo de curado varía según el tipo de resina y las condiciones ambientales. [12]

7. Desmolde y acabado

Una vez que el material compuesto ha curado por completo, se retira del molde. A menudo, se requiere un proceso adicional de acabado, como lijado o recorte, para obtener la forma y el acabado final deseado. [12]

El objetivo principal del modelado de infusión de resina es predecir el flujo de fluidos y confirmar que la fabricación será exitosa dentro de la vida útil de la resina, sin dejar puntos secos ni vacíos en la pieza. Además, el modelado de infusión puede ayudar con el diseño y desarrollo de una estrategia de fabricación, particularmente para la ubicación de entradas, salidas y medios de distribución que mejoran el flujo. [13]

Para llevar a cabo el proceso de producción de un material compuesto, es necesario la caracterización del mismo, permitiendo generar ciertas características como permeabilidad, simulación de flujo, presión, entre otras. [13]

Existen varios parámetros clave que influyen en la calidad del producto final después del proceso de infusión. A continuación, se mencionan algunos posibles parámetros: [14]

Tiempo de inyección de la resina: El tiempo necesario para inyectar completamente la resina en el molde puede afectar la distribución de la misma dentro del componente. [14]

Presión de inyección: La presión aplicada durante la inyección de la resina puede influir en la velocidad y uniformidad de impregnación de las fibras de refuerzo. [14]

Temperatura de la resina: La temperatura de la resina líquida utilizada en el proceso de VARTM puede afectar su viscosidad y fluidez, así como su capacidad para impregnar las fibras de refuerzo de manera adecuada. [14]

Vacío aplicado: El nivel de vacío aplicado durante el proceso de VARTM es fundamental para ayudar a la distribución y eliminación de bolsas de aire en el molde, lo que contribuye a una mejor calidad del componente final. [14]

Diseño del molde: El diseño del molde utilizado en el proceso de VARTM, incluyendo la geometría y las características del sistema de inyección de resina, puede afectar la eficiencia y uniformidad de la impregnación. [14]

Proporción de refuerzo-resina: La relación entre la cantidad de fibra de refuerzo y la cantidad de resina utilizada puede influir en las propiedades mecánicas y el rendimiento del material compuesto resultante. [14]

También es posible centrarse en otros tipos de producción de moldeo por vacío, en la cual se proponen los desafíos asociados con el proceso de IRTM, la cual es un proceso de infusión asociada a un molde, y las estrategias propuestas para mejorar la calidad y la eficiencia. Esto podría incluir la optimización de parámetros de proceso, el desarrollo de nuevos materiales o técnicas de impregnación, y la consideración de aspectos como la eliminación de burbujas de aire y la mejora de la adhesión entre el refuerzo y la matriz. [15]

Estos detalles son típicos en las revisiones que se centran en el proceso de infusión de resina (IRTM) y ofrecen una visión general de los aspectos clave abordados en dichos estudios. Sin embargo, ten en cuenta que la información específica puede variar según el alcance y los objetivos del artículo en cuestión. [15]

La adopción de este tipo de técnicas de fabricación para materiales compuestos reforzados con textiles, se fomenta de acuerdo a la demanda de cierto tipo de industrias, como la aero estructural, la cual permite generar una alternativa sofisticada a los métodos tradicionales de desarrollo de piezas, esto se ve reflejado en las reducciones significativas de tiempo y costos de producción. [16]

También se tiene claro que el objetivo de generar este tipo de procesos debe tenerse un enfoque de estudio, el cual aborde desafíos para la aplicación industrial de dichos compuestos, teniendo así: [17]

1. Modelar los fenómenos más significativos en el procesamiento de flujo para mejorar la capacidad de simulación.
2. Desarrollar herramientas para caracterizar piezas compuestas y predecir sus propiedades finales en uso.
3. Utilizar esas herramientas de caracterización para optimizar el proceso de infusión de resina.

En comparación con otro tipo de procedimiento, los materiales realizados bajo infusión al vacío neto generalmente tienen una vida útil más larga. La mayor ventaja es la flexibilidad

geométrica obtenida mediante la incorporación de técnicas prestadas de la industria textil. Dentro del proceso existe una compensación entre los costos de producción y la complejidad geométrica del elemento a realizarse, por lo que el procedimiento de infusión neta puede alcanzar mayor complejidad y es sustancialmente más barato. [17]

Se debe recalcar, también que las propiedades mecánicas adquiridas por los materiales compuestos realizados bajo este tipo de proceso, demuestran un potencial para fabricación de materiales resistentes a altas temperaturas, de acuerdo a las diferentes características que presentan los elementos conformantes del material compuesto, y estas pueden afectar la calidad y propiedades. [18]

El proceso de infusión debe realizarse adoptando un medio de distribución de resina, diseñado específicamente para el caso con el que se va a trabajar, así también la película de embolsado al vacío. Para limitar el aumento de viscosidad debido a la reacción y mantener la viscosidad adecuadamente baja, el proceso de infusión al vacío debe controlarse en aspectos de temperatura y presión, así como el posterior curado en un horno de tratamiento térmico en condiciones industriales estándar. [19]

También se debe tener en cuenta que, aunque se prefiere el moldeo por transferencia asistido por vacío (VARTM) para la fabricación de piezas compuestas medianas y grandes debido a sus herramientas sencillas y su bajo costo, la calidad de la pieza dictada por las tolerancias dimensionales, el contenido de vacíos y las propiedades mecánicas suele ser baja debido a las limitaciones inherentes del proceso. [20]

Existen modificaciones del proceso VARTM convencional, mediante la presurización externa de un molde calentado para aumentar la fracción de volumen de fibra y mejorar las propiedades mecánicas de los laminados. Aplicando, durante el llenado posterior, varios niveles de presión externa en una cámara de presión montada en la parte superior del molde. Así se observó que el VARTM presurizado conducía a laminados con menos del 1 % de contenido de huecos. Además, la fracción de volumen de fibra y la resistencia a la flexión aumentaron un 25 % y un 13 % con respecto al VARTM no presurizado, respectivamente, lo que demuestra el potencial para fabricar compuestos de calidad considerablemente superior mediante VARTM presurizado. [21]

También existen distintos propósitos en la producción de elementos con la técnica de moldeo por transferencia de resina asistida por vacío (VARTM), como es aquella asistida con pulverización catódica con magnetrón de película de cobre, para fabricar compuestos de kenaf con función de protección contra interferencias electromagnéticas; la cual aumenta en valores que denotan alrededor del 99% en sus valores de decibelios y generan mejoras para dicho material. [22]

Para validar las propiedades adquiridas mediante el proceso de transferencia de resina asistida por vacío (VARTM) mediante ensayos destructivos, se especifica que los resultados muestran aumentos considerables en resistencias tanto a flexión, en comparación con otro tipo de muestras hechas bajo otros procedimientos, lo cual indica que existen mejoras de este tipo de compuestos para ser utilizados como una alternativa comercial. [23]

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Analizar el proceso de obtención de un material compuesto de matriz epoxi reforzado con fibra natural y sintética mediante transferencia de resina por infusión al vacío (VARTM).

1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar los parámetros adecuados del proceso de infusión, para la obtención de probetas para realizar ensayos mecánicos.
- Analizar el comportamiento del material compuesto cuando es sometido a distintos tipos de esfuerzos.
- Evaluar las propiedades obtenidas del material compuesto y enfocar la utilidad que pueden tener en distintos campos de la industria.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1 Materiales

En la tabla 2.1, que se presenta a continuación, se enumera y se presenta una descripción sobre los materiales y equipos utilizados. Asimismo, en la tabla 2.2 se presentan los consumibles utilizados en la elaboración de este proyecto.

Tabla 2 Materiales utilizados

Descripción de equipos		
Nombre de Equipo	Descripción	Imagen
Computador	Equipo utilizado mayoritariamente en el desarrollo del presente proyecto técnico.	
Fibra de chambira	Fibra natural extraída de la palma <i>Astrocaryum chambira</i> .	

<p>Resina Aeropoxy PR2032 / PH3663</p>	<p>Resina sintética utilizada en aplicaciones aeronáuticas.</p> <p>Marca: Aeropoxy Resina PR2032 Endurecedor PH3660</p> $\rho = 1.16 \frac{g}{cm^3}$	
<p>Bomba de vacío</p>	<p>Marca: QEQUALITY</p> <p>Modelo: QVP – 600</p> $P = 0.75 \text{ HP}$ $Q = 4.8 \frac{pie^3}{min}$	
<p>Trampa de resina</p>	<p>Trampa proporcionada por el sistema de vacío perteneciente a la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.</p>	

<p>Cinta sellante de vacío (Butilo)</p>	<p>Utilizada para la adhesión del film evitando las fugas indeseables.</p>	
<p>Láminas sintéticas para proceso de vacío</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Pell Ply - Manta de Absorción (Breather) - Bolsa de vacío 	
<p>Balanza electrónica</p>	<p>Utilizada para facilitar el manejo de cantidades de fibra y matriz</p>	

Cortadora Láser	Equipo utilizado para el corte de las probetas utilizadas en ensayos de tracción	
Máquina universal de ensayos a tracción	Equipo necesario para verificar las propiedades adquiridas del material compuesto	

Fuente: Autor

2.2 Métodos

2.2.1 Nivel o tipo de investigación

El desarrollo del presente proyecto técnico se lleva a cabo teniendo en cuenta los niveles de investigación detallados en las siguientes líneas.

2.2.1.1 Investigación Exploratoria

Este nivel es tomado en cuenta, dentro de la presente investigación, debido a que los estudios realizados con esta fibra natural son nuevos y debe tenerse en cuenta ciertas variaciones, tanto del material base, siendo la orientación de las fibras, también la cantidad de hilos por fibra; así como la cantidad del material de refuerzo y condiciones de conformado del material compuesto, esto nos permite generar el material con las condiciones ideales para producción.

2.2.1.2 Investigación Descriptiva

También es tomado en cuenta el nivel de investigación descriptiva, debido a que los resultados de los ensayos realizados, con el fin de verificar las propiedades del material y evidenciar las características adecuadas para llevar a cabo el proceso de obtención de dicho material, se evidencian mediante mediciones de resistencia usando indicadores establecidos en la maquinaria utilizada para realizar dichos ensayos.

2.2.1.3 Investigación Bibliográfica

La base para el desarrollo del presente documento se lo realizar mediante la recolección de información presente en documentos de carácter científico, así como de fuentes verificadas de tesis, artículos y páginas web certificadas. Estas relacionadas de manera directa e indirecta con la generación de materiales compuestos, así como de la caracterización de sus propiedades.

2.2.1.4 Investigación Aplicativa

Con el fin de proporcionar una alternativa de mejora al proceso de producción o generación de este material compuesto, es también una base con la que se elabora este proyecto técnico. Existen muchos factores que pueden tomarse en cuenta durante el desarrollo de producción del material compuesto; los cuáles deben ser analizados para presentar la opción más acertada durante un proceso de producción.

2.3 Operacionalización de Variables

2.3.1 Variable Independiente: Material compuesto de matriz epoxi con refuerzo de fibra natural y sintética.

Tabla 3 Variable independiente: Material compuesto de matriz epoxi con refuerzo de fibra natural y sintética.

Concepto	Categoría	Ítem	Herramientas	
Material compuesto de matriz epoxi con refuerzo de fibra natural y sintética.	Tipo de fibras	1. Fibra sintética (Vidrio)	Referencias bibliográficas	
		2. Fibra Natural (Chambira)		
	Orientación de capas	a. 0°		Equipos de conformado de materiales por infusión al vacío
		b. 45°		
		c. -45°		
	Proceso de obtención	i. Infusión neta	Horno de Curado	
		ii. Humectación		

Fuente: Autor

2.3.2 Variable Dependiente: Proceso de obtención de material compuesto por infusión al vacío.

Tabla 4 Variable Dependiente: Proceso de obtención de material compuesto por infusión al vacío.

Concepto	Categoría	Dimensiones	Ítem	Herramientas
Proceso de obtención de material compuesto por infusión al vacío.	Parámetros del proceso de obtención de probetas	Tiempo de proceso de infusión	¿Cuánto tiempo tarda en mojar la probeta completa?	Recolección de datos in situ
			¿Cuánto tiempo tarda en empezar a sacar el excedente de resina?	Recolección de datos in situ
		Peso probeta	¿Cuál es el peso inicial y final de las capas de conformado y probeta?	Toma de valores Balanza electrónica
		Ensayo de Tracción	¿Cuál es la carga máxima aplicada?	Recolección de datos Maquina universal de tracción Norma ASTM D3039 – Anexo 1
			¿Qué resistencia máxima a la tracción tendrá el material?	
			¿Cuál será el módulo de elasticidad?	
			¿Cuál será el porcentaje de elongación?	

Fuente: Autor

2.3.3 Matriz de combinaciones de categorías

Con base en las categorías analizadas dentro del análisis de las variables dependiente e independiente, es posible realizar una matriz de casos requeridos para el estudio e implementación del proceso, la cual se presenta a continuación:

Tabla 5 Matriz de combinaciones de casos de estudio.

Casos	Capa 1	Capa 2	Capa 3	Proceso
1	Fibra Natural (0°)	Fibra Sintética (Tejido Plano)	Fibra Natural (0°)	Infusión neta
2	Fibra Natural (0°)	Fibra Sintética (Tejido Plano)	Fibra Natural (45°)	
3	Fibra Natural (45°)	Fibra Sintética (Tejido Plano)	Fibra Natural (45°)	
4	Fibra Natural (45°)	Fibra Sintética (Tejido Plano)	Fibra Natural (-45°)	
5	Fibra Natural (0°)	Fibra Sintética (Tejido Plano)	Fibra Natural (0°)	Humectación
6	Fibra Natural (0°)	Fibra Sintética (Tejido Plano)	Fibra Natural (45°)	
7	Fibra Natural (45°)	Fibra Sintética (Tejido Plano)	Fibra Natural (45°)	
8	Fibra Natural (45°)	Fibra Sintética (Tejido Plano)	Fibra Natural (-45°)	

Fuente: Autor

2.4 Generación de casos de estudio y aplicación de método de obtención

Para la elaboración de los casos pertinentes de estudio, es pertinente elaborar una matriz experimental que permite tomar en consideración las consideraciones representativas para definir el proceso idóneo de elaboración de probetas del material compuesto de matriz epoxi, reforzado con fibra natural y sintética.

Tabla 6 Matriz de experimentación de casos de estudio.

Orden Estadístico	Orden Corrida	OC1	OC2	OC3	Proceso
5	1	0°	F.S. Tejido plano	0°	Humectación
6	2	0°	F.S. Tejido plano	45°	
7	3	45°	F.S. Tejido plano	45°	
8	4	45°	F.S. Tejido plano	-45°	
2	5	0°	F.S. Tejido plano	45°	Infusión neta
3	6	45°	F.S. Tejido plano	45°	
4	7	45°	F.S. Tejido plano	-45°	
1	8	0°	F.S. Tejido plano	0°	

Fuente: Autor

2.5 Adquisición de materia prima

- Fibra de Chambira

Esta es una fibra natural obtenida en los bosques tropicales de la región amazónica del Ecuador, específicamente en las provincias de Napo y Pastaza, posterior a la obtención del material, debe obtenerse fibras del haz de chambira y realizar un tejido, lo cual fue realizado en la localidad de Salasaca, en Pelileo – Tungurahua.

- Resina Epoxi (Aeropoxy PR2032 – PH 3660)

Este tipo de insumo requerido para la elaboración del material compuesto es traído mediante importación con la ayuda del Ing. Ludwin Daniel Núñez Barriga, representante de la empresa SIMA AUTOMOTRIZ, localizado en la ciudad de Ambato.

- Elementos sistema de vacío

Para la obtención de los elementos restantes, necesarios para el proceso de infusión al vacío se obtienen por medio del contacto con JEV SOLUCIONES EN INGENIERÍA, en específico con el Ing. Franklin Rojas.

Los insumos necesarios para complementar el proceso son:

- Tejido pelable (Pell ply)
- Manta de Absorción (Breather)
- Bolsa de Vacío

Otros elementos como son la manguera para distribución de la resina, la malla de infusión, la manguera en espiral y los cauchos usados como boquillas se adquieren en medios locales de la ciudad como en ferreterías y locales comerciales.

2.6 Determinación de las propiedades de fibra

Los tamaños de las probetas sometidas al proceso de infusión al vacío de este trabajo tienen un área estándar de 32x18 cm, que permiten un mejor tratamiento de cada una de las mismas y mejor comodidad para el trabajo.

A continuación, es necesario determinar ciertas características de cada una de las probetas, como es la densidad de cada lámina de la fibra natural, definida por la relación entre su masa y el volumen que abarca, así:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Ec. 2.1

Donde:

$$\rho = \text{densidad} \left(\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right)$$

$$m = \text{masa (gr)}$$

$$v = \text{volumen (cm}^3\text{)}$$

Para este procedimiento, se requiere el uso de elementos como un vaso de precipitación de 600 ml, y una balanza electrónica en gramos. La variable que se tiene en cuenta es la cantidad de masa de fibra y un volumen constante de 350 ml, esto permite verificar la variación del volumen y a continuación se presenta los cálculos de densidad de fibra tejida, mediante tablas:



Figura 1 Densidad de tejido de fibra.

Tabla 7 Densidad Fibra de chambira, tejida

Densidad de Fibra de chambira, tejida					
Muestra	Masa (gr)	Volumen (cm³)		Variación	Densidad (gr/cm³)
		Inicial	Final		
1	6.4	350	352.5	2.5	2.56
2	5.6	350	355	5	1.12
3	5.3	350	360	10	0.53
Promedio					1.40333

Fuente: Autor

La densidad obtenida, mediante este método, teniendo en cuenta la variación obtenida con la fibra de chambira tejida presenta los datos de 2.56 gr/cm^3 , 1.12 gr/cm^3 y 0.53 gr/cm^3 , lo cual representa un valor promedio de 1.4033 gr/cm^3 ; el cual será utilizado en este estudio para los cálculos necesarios que requieran de este valor.

2.6.1 Determinación de cantidad de matriz en función de la fibra

La cantidad de resina, utilizada como matriz en la generación del material compuesto, es necesaria determinarla mediante el cálculo, de acuerdo al peso de cada caso a estudiar, esto se realiza bajo recomendación del fabricante, que especifica realizarlo en una proporción de 100 partes de resina, por 27 partes de catalizador, la cual relacionada con el dato del peso, presenta las siguientes ecuaciones:

$$C. R. = \frac{100}{127} * P. F. \quad \text{Ec. 2.2}$$

$$C. E. = \frac{27}{127} * P. F. \quad \text{Ec. 2.3}$$

En donde, tenemos:

C. R: Cantidad de resina (g)

C. E: Cantidad de endurecedor (g)

P. F: Peso de la fibra (g) [24]

Para este caso de estudio, es necesario hacer una corrección de las relaciones, en función del procedimiento de aplicación de la matriz en el conjunto de fibras, de refuerzo y para elaboración del proceso de obtención del material compuesto, esto añade un factor multiplicativo para la cantidad de resina requerida, con el fin de aumentar dicha cantidad, debido a la considerable densidad de la fibra natural. Por consiguiente, las relaciones se establecen de la siguiente manera:

$$C.R. = (2.3) \frac{100}{127} * P.F. \quad Ec. 2.2$$

$$C.E. = \frac{27}{127} * P.F. \quad Ec. 2.3$$

Así también un factor a considerar es la temperatura de curado de las probetas en un horno de tratamiento térmico, posterior al proceso de infusión. El análisis realizado en [24] evidencia un mejor desempeño de las probetas a realizarse, con una temperatura de curado de 60°, bajo la cual están realizadas las probetas para este estudio.

Con base en las ecuaciones planteadas y los datos recopilados, se presenta los datos a continuación:

Tabla 8 Cantidades requeridas de Resina y Endurecedor

Co mb.	Re f.	Orientación de las capas			Temp. Curad o (°C)	Peso de la fibra (g)	Cantidad de resina (g)	Cant. de endurece dor (g)	Proceso de conform ado
		C1	C2	C3					
1	CH	0°	F.S. Tejido Plano	0°	60	68,4	107.937008	12.6708661	Infusión neta
2	CH	0°	F.S. Tejido Plano	45°	60	62,0	83.3070866	9.77952756	
3	CH	45°	F.S. Tejido Plano	45°	60	60.7	109.204724	12.819685	
4	CH	45°	F.S. Tejido Plano	- 45°	60	64.8	102.322835	12.011811	

5	CH	0°	F.S. Tejido Plano	0°	60	59.6	112.283465	13.1811024	Humecta ción
6	CH	0°	F.S. Tejido Plano	45°	60	46.0	109.929134	12.9047244	
7	CH	45°	F.S. Tejido Plano	45°	60	60.3	117.354331	13.776378	
8	CH	45°	F.S. Tejido Plano	- 45°	60	56.5	123.874016	14.5417323	

Fuente: Autor

2.6.2 Determinación de la densidad del material compuesto

La siguiente relación permite realizar el cálculo de la densidad del material compuesto, así:

$$\rho_c = f_f * \rho_f + f_R * \rho_R \quad \text{Ec. 2.4}$$

Siendo así:

$\rho_c =$ Densidad calculada del material compuesto (g/cm3)

$f_f =$ Fracción volumétrica de la fibra (%)

$\rho_f =$ Densidad de la fibra (g/cm3)

$f_R =$ Fracción volumétrica de la resina (%)

$\rho_R =$ Densidad de la resina (g/cm3) [24]

A continuación, es necesario el cálculo de la densidad del material compuesto, para lo cual es necesario conocer los datos referentes a la densidad de la Resina Epoxi, así también de la Fibra de Chambira CH, las cuales se presentan así.

Tabla 9 Densidades de conformantes del material compuesto.

DENSIDAD	UNIDADES $\left(\frac{g}{cm^3}\right)$
Resina Aeropoxy	1.16
Fibra de Chambira	1.403

Fuente: Autor

También, es pertinente conocer los pesos tanto del material compuesto y de la fibra de chambira, lo cual es una ayuda para calcular la fracción volumétrica de cada componente, esto se realiza mediante el uso de relaciones, como se presenta a continuación:

$$P_C = P_f + P_R \quad \text{Ec. 2.5}$$

En donde P_C es el peso calculado del material compuesto en gramos, mientras que P_f y P_R son los pesos de los componentes, la fibra de chambira y la matriz o resina, respectivamente.

A continuación, e necesario el cálculo de las fracciones volumétricas de la fibra y resina, calculadas mediante una regla de tres:

$$f_f = \frac{P_f * 100\%}{P_C}$$

$$f_R = \frac{P_R * 100\%}{P_C}$$

A partir de estos cálculos, se puede elaborar la tabla que se presenta a continuación, en la cual especifica los valores obtenidos y la densidad calculada del material; teniendo en cuenta que valores como el peso de la fibra y el peso de la resina ya están establecidos en tablas, con anterioridad del presente documento.

Tabla 10 Densidad calculada del material compuesto.

Casos	Peso Fibra	Peso Resina	Peso M. Compuesto	F. Vol. Fibra	F. Vol. Resina	Densidad Compuesto
1	68.4	123.874	192.274	0.35574229	0.64425770	1.25
2	62.0	112.283	174.283	0.35574229	0.64425770	1.25
3	60.7	109.929	170.629	0.35574229	0.64425770	1.25
4	64.8	117.354	182.154	0.35574229	0.64425770	1.25
5	59.6	107.937	167.537	0.35574229	0.64425770	1.25
6	46.0	83.307	129.307	0.35574229	0.64425770	1.25
7	60.3	109.205	169.505	0.35574229	0.64425770	1.25
8	56.5	102.323	158.823	0.35574229	0.64425770	1.25

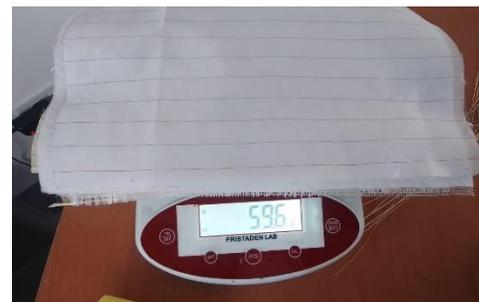
Fuente: Autor

2.6.3 Preparación de elementos conformantes de probetas

Tabla 11 Elaboración y preparación de elementos para conformado de material compuesto.

N° Actividad	Fotografía
1. Elaboración de Tejido de Fibras de Chambira.	

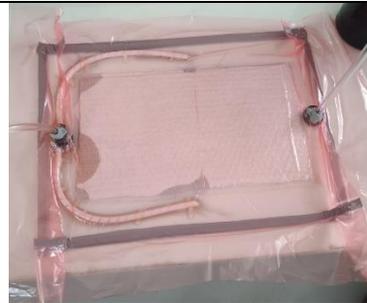
2. Señalización y recorte de probetas y elementos conformantes del proceso.



3. Preparación y pesaje de la matriz de resina epoxi.

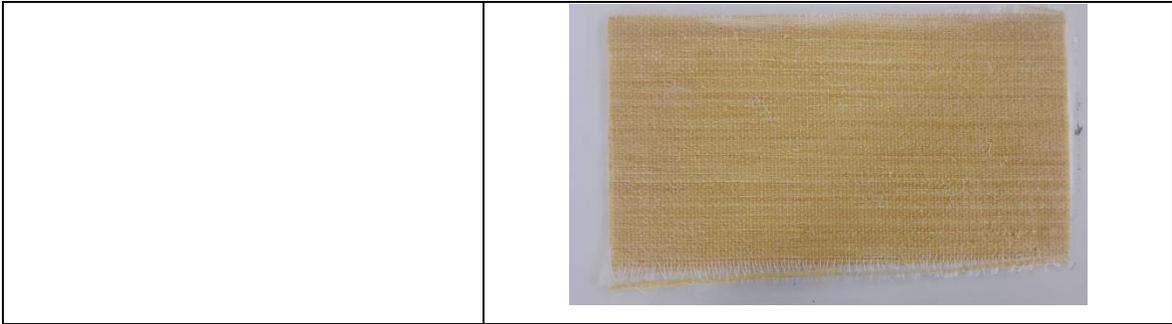


4. Ubicación de láminas y aplicación del sistema de vacío.



5. Desmolde de probeta, pasado 24 a 48 horas.





Fuente: Autor

2.6.4 Acondicionamiento de planchas

Para este procedimiento es necesario realizar el curado de las probetas, el cual se debe realizar a 60 °C en un horno de tratamiento térmico, el cual es determinado bajo la optimización del proceso, dado bajo los parámetros estudiados en [24], así:

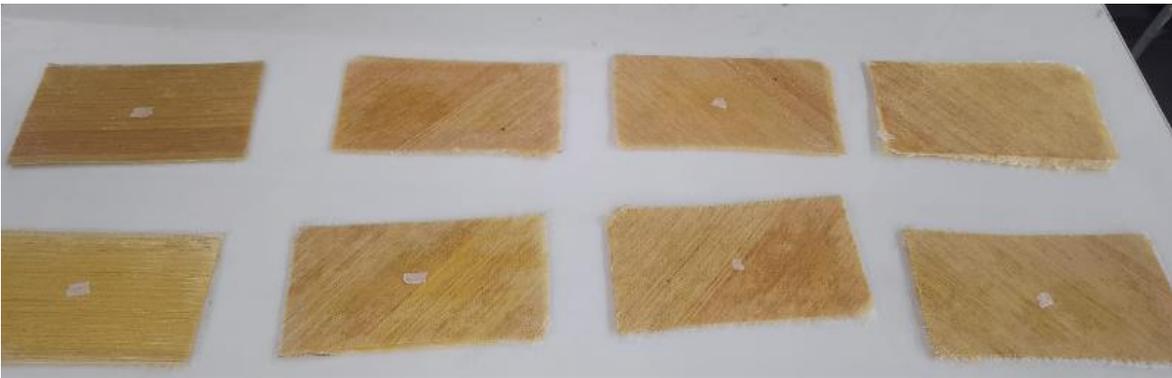
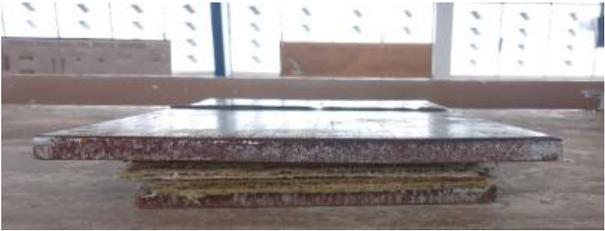
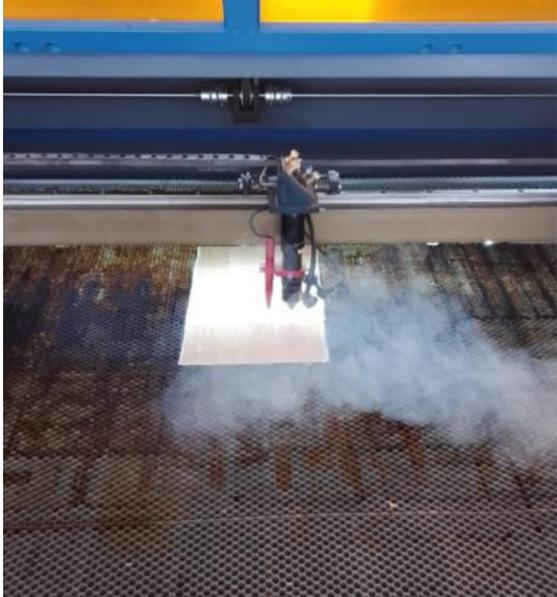


Figura 2 Placas acondicionadas de material compuesto.

2.6.5 Curado y corte de Probetas

Tabla 12 Tratamiento del curado de probetas

Ítem	Actividad	Descripción	Ilustración
1	Sujeción de todas las probetas	Situarse todas las probetas de material compuesto dentro del horno, con pesos para evitar pandeo.	
2	Pre curado de probetas	Realizar un curado de todas las probetas, con 60 °C por un periodo de 2 horas y dejar enfriar 24 horas con el horno apagado.	
3	Curado en horno	Tener en cuenta el parámetro definido de 60 °C para el curado de las probetas.	

4	Verificación de temperatura	Comprobar la temperatura alcanzada por el horno, mediante el uso de una cámara termográfica.	
4	Corte	Realizar el corte de las probetas con máquina de corte láser, de acuerdo a las dimensiones establecidas de 25x250 mm.	

5	Preparación	Adecuar las probetas recortadas, mediante la aplicación de refuerzo en los extremos con lija de agua, grano 80, para posterior ensayo de tracción.	
---	-------------	--	--

Fuente: Autor

Después de haber realizado el proceso de composición de probetas y el análisis de la variación de las características, es posible generar una codificación de los casos a estudiarse, considerando las inclinaciones de las capas de fibra natural, además del proceso de conformado y la temperatura de curado de cada probeta; esta codificación enlista a cada una de las probetas de la siguiente manera:

Caso 1: C1/0-0/I

Caso 2: C2/0-45/I

Caso 3: C3/45-45/I

Caso 4: C4/45-(-45)/I

Caso 5: C5/0-0/H

Caso 6: C6/0-45/H

Caso 7: C7/45-45/H

Caso 8: C8/45-(-45)/H

2.7 Ensayo de tracción de probetas de material compuesto

Para una visualización más completa de los resultados de mejora en el proceso de obtención de probetas elaboradas con material compuesto, realizado con matriz epoxi y reforzado con fibra de chambira, es necesario realizar algún tipo de ensayo destructivo, con el fin de verificar las propiedades adquiridas durante el proceso de elaboración.

Con este fin, el ensayo elegido es el ensayo de tracción, el cual permite aplicar una fuerza progresiva en el material hasta incitar a su ruptura y obtener datos que permiten caracterizar al material, con mayor especificidad.



Figura 3 Máquina universal de ensayos a tracción de la Universidad Técnica de Ambato

a) Datos obtenidos mediante la aplicación del ensayo de tracción

Tabla 13 Datos obtenidos de ensayo de tracción

PROPIEDAD	FORMULA	ESPECIFICACIÓN
Carga Máxima (N)	F [N]	Dato verificado mediante la aplicación del ensayo.
Esfuerzo Máximo a la tracción (MPa) Resistencia a la tracción	$\sigma = \frac{P}{A}$	σ : Resistencia a la Tracción (MPa) A: Área de la sección transversal P: Fuerza aplicada
Módulo de elasticidad (MPa)	$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$	E: Módulo de Elasticidad o Young (MPa) σ : Resistencia a la Tracción (MPa) ε : Elongación del material
% Elongación	$\% \text{ elongación} = \frac{l_f - l_0}{l_0}$	Lf: Longitud final L0: Longitud inicial

Fuente: Autor

a) Nomenclatura de fallos de ensayos de tracción

Tabla 14 Nomenclatura de tipos de fallo en ensayo e tracción según la norma ASTM D3039. [25]

Nomenclatura de la norma ASTM D3039					
Primer símbolo		Segundo símbolo		Tercer símbolo	
Modo de fallo	Código	Área de fallo	Código	Localización de fallo	Código
Angular	A	Agarre interior/pestaña	I	Al fondo	B
Delaminación del borde	D	Al agarre a la pestaña	A	Parte superior	T
Agarre pestaña	G	I W de agarre de pestaña	W	Izquierda	L
Lateral	L	Calibrar	G	Derecha	R

Tabla 14 Nomenclatura de tipos de fallo en ensayo e tracción según la norma ASTM D3039. [25] (continuación)

Modo múltiple	M (xyz)	Varias áreas	M	Medio	M
División longitudinal	S	Varios	V	Varios	V
Explosivo	X	Desconocido	U	Desconocido	U
Otro	O	-	-	-	-

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Tabulación e interpretación de resultados

La recopilación de los datos obtenidos en el análisis del proceso de obtención de probetas de material compuesto de matriz epoxi reforzado con fibra natural y sintética mediante transferencia de resina por infusión al vacío, arrojan datos de análisis, con el fin de obtener mejoras en la producción de dicho material.

Así, se puede considerar tabulaciones en cuanto a las variables consideradas en el estudio, como son el tiempo de infusión/humectación, el peso de la probeta, homogeneidad en cuanto a porosidad y un análisis de datos obtenidos mediante el uso de ensayos de tracción, los cuales se detallan a continuación:

3.1.1 Análisis de tiempo de infusión/humectación

Para efecto de este análisis, se ha considerado que tenemos dos tipos de conformado de material, los cuales son por infusión neta y por humectación. En el primero se toma en cuenta la hora inicial del proceso, también el aparente alcance total de la probeta mojada y el momento en que empieza a salir el excedente de resina, teniendo en cuenta que en ciertas probetas existen variaciones de configuración, en cuanto a la distribución de la resina.

3.1.2 Fichas de recolección de datos de tiempo de infusión/humectación

Con base en la toma de datos realizados durante el proceso de elaboración de las probetas se pudo elaborar una tabla que detalla los tiempos y características tomadas en cuenta para una mejor producción de dichos elementos; la cual se detalla a continuación:

Tabla 15 Análisis de tiempos de proceso de Infusión/Humectación de probetas.

Fecha	Codificación	Peso fibras (g)	Resina (gr)	End. (gr)	Peso total (gr)	Proceso Utilizado	Inicio (Hora)	Intervalo ON/OFF Bomba	Salida Exc.	Mojado	Fin
13 jun	C1/0-0/I	68.4	135.0	3.0	138.0	Humectación	16:57	2min/1min	17:30	17:29	17:47
12 jun	C2/0-45/I	62.0	172.0	10.0	128.0	Humectación	12:33	2min/1min	13:08	13:20	13:20
12 jun	C3/45-45/I	60.7	245.8	18.0	263.8	Humectación	16:40	2min/1min	17:00	17:20	17:20
14 jun	C4/45-(-45)/I	63.2	100.0	26.4	126.4	Humectación	16:50	2min/1min	-	17:37	17:37
6 jun	C5/0-0/H	59.6	51.1	6.0	57.1	Infusión neta	9:43	2min/1min	-	10:19	10:19
7 jun	C6/0-45/H	46.0	103.1	10.0	113.1	Infusión neta	4:45	2min/1min	-	5:57	5:57
9 jun	C7/45-45/H	60.3	143.6	6.8	153.4	Infusión neta	11:31	2min/1min	11:43	12:24	12:24
9 jun	C8/45-(-45)/H	56.5	104.5	10.0	114.5	Infusión neta	4:23	2min/1min	4:25	4:46	4:46

Fuente: Autor

Durante el proceso de elaboración de probetas, se consideró el orden de los casos de acuerdo a la comodidad del uso de la resina, ya que, al ser un recurso limitado, es necesario aprovechar al máximo la cantidad, así como evitar desperdicio de la misma; por lo que se inició con los casos hechos por medio del proceso de humectación, de acuerdo a su numeración y posteriormente los de infusión neta.

Es necesario comentar que el procedimiento del caso 8 en la cual el tiempo de infusión es menor; así como en el caso 6 que tiene mayor duración; ambos casos estudiados mediante el procedimiento de Infusión neta.

3.1.3 Análisis del peso de la probeta

Para este análisis, se consideró el peso inicial de las capas de conformado del material compuesto y el peso del material final, así también de la variación que esta toma de datos implica, teniendo en cuenta que durante el procedimiento ocurre el paso de resina a través de la fibra, Así tenemos:

Tabla 16 Análisis de pesos inicial y final de probetas.

Codificación	Peso inicial (g)	Peso solo fibras (g)	Peso probeta final (g)
C1/0-0/I	68.4	42.3	134.7
C2/0-45/I	62.0	43.8	116.8
C3/45-45/I	60.7	42.9	120.3
C4/45-(-45)/I	63.2	43.9	83.2
C5/0-0/H	59.6	42.3	64.2
C6/0-45/H	46.0	42.6	92.9
C7/45-45/H	60.3	42.5	98.9
C8/45-(-45)/H	56.5	42.9	97.4

Fuente: Autor

Por esto, se puede tomar en consideración para el estudio que el caso que presentó un mayor aumento de peso en cuanto a el peso inicial con el peso final de la probeta, es el primer caso realizado bajo el procedimiento de infusión neta; así también el que presenta menor diferencia de pesos es el caso número 5, el cual fue realizado bajo el procedimiento de humectación, previo a aplicar el sistema de vacío.

3.1.4 Fichas de recolección de datos de probetas ensayadas a tracción

Tabla 17 Ficha técnica del material compuesto, caso 1 a tracción.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA 					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
TRACCIÓN ASTM D3039					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Proyecto Técnico		Codificación:	C1/0-0/I	
Fecha de ejecución:	03/07/2023		Equipo:	Máquina Universal de ensayos Shimadzu AGS-X SERIES 50 kN	
Realizado por:	Oscar Augusto Pichucho Baez		Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.	
Lugar:	Universidad Técnica de Ambato – Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Ambato-Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxy PR2032	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz (g):	123.874016
Refuerzo:	Fibra natural (chambira)	Temperatura de curado (°C):	60 °C	Estratificación:	Infusión al vacío

) y sintética (vidrio)				
Orientación de la fibra:	0° - 0°	Orden de capas:	CH+V+C H	Espesor promedio (mm):	3.26
Peso de la fibra (g):	68.4	Velocidad de ensayo:	2 mm/min	Tiempo de curado:	2h en horno

RESULTADOS

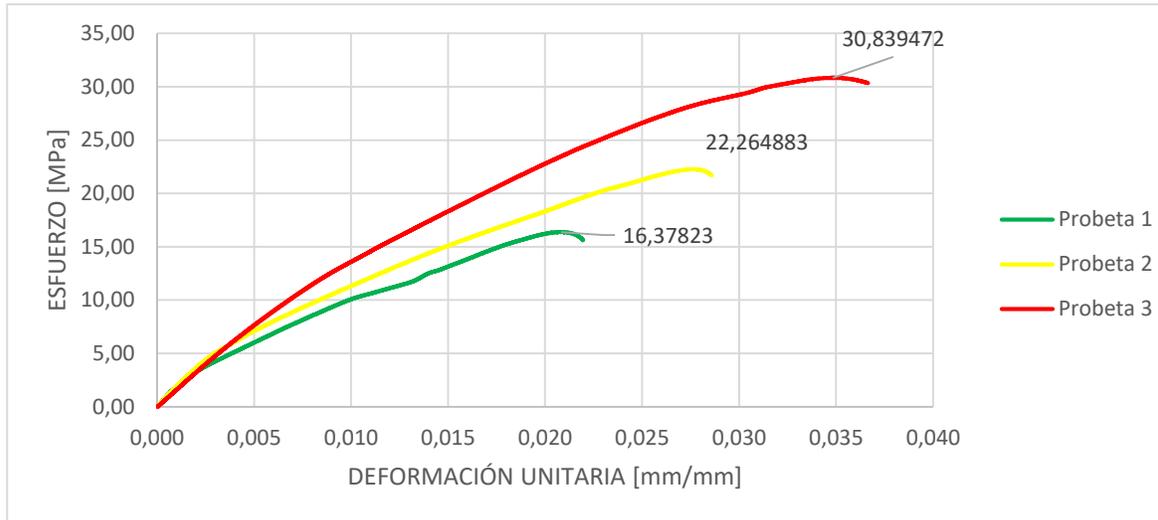
N° PROBETAS	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (GPa)	% Elongación	Tipo de fallo evaluado
1	1334.83	2.37	16.38	1.60	3.13	LAT
2	1814.59	5.12	22.65	1.47	4.15	LGM
3	2513.42	7.09	30.84	1.25	5.22	LAT
Promedio	1887.61	4.86	23.29	1.44	4.17	

PROBETAS ENSAYADAS

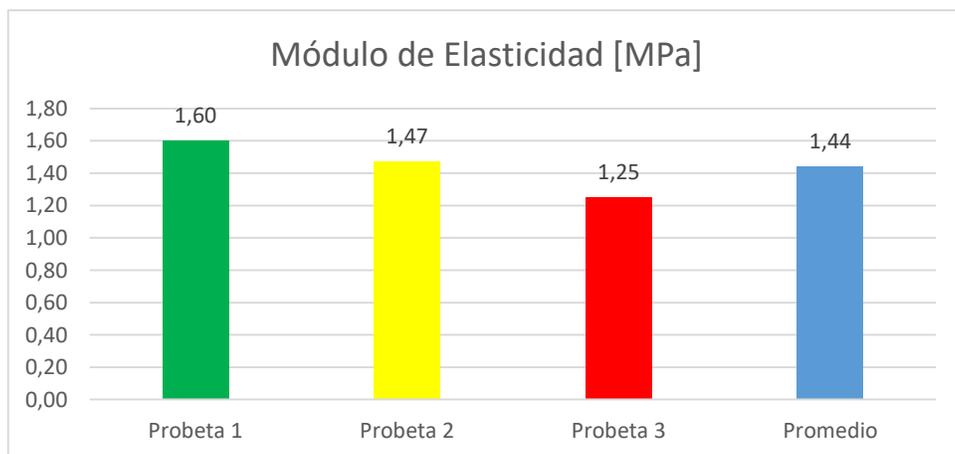
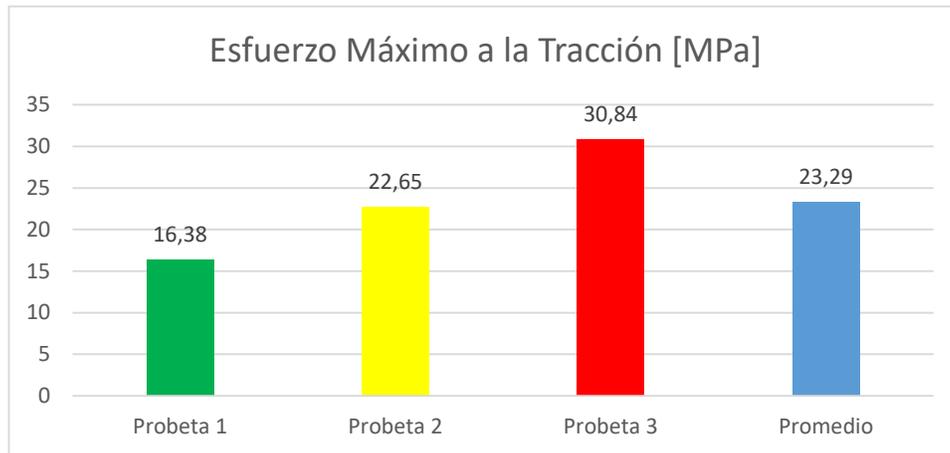


GRÁFICAS

- Curva Esfuerzo – Deformación Unitaria



- Esfuerzo Máximo a la Tracción y Módulo de elasticidad



OBSERVACIÓN			
<ul style="list-style-type: none"> - El Esfuerzo Máximo a la Tracción promedio de este caso es 23.29 MPa. - El acople de los componentes de matriz y refuerzo de material compuesto proporcionan un módulo de elasticidad semejante para todo el compuesto, con un valor promedio de 1.44 MPa. - Las fallas presentes en las probetas son de tipo LAT y LGM, las cuales evidencian un tipo de fallo lateral en la zona superior y un fallo lateral en la zona media, respectivamente. 			
Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	23.29	Elaborado por:	Sr. Oscar Pichucho
% Elongación:	4.17	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Módulo de elasticidad (GPa):	1.44	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Carga máxima (N):	1887.61	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: Autor

Tabla 18 Ficha técnica del material compuesto, caso 2 a tracción.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA 					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
TRACCIÓN ASTM D3039					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Proyecto Técnico		Codificación:	C2/0-45/I	
Fecha de ejecución:	20/06/2023		Equipo:	Máquina Universal de ensayos Shimadzu AGS-X SERIES 50 kN	
Realizado por:	Oscar Augusto Pichucho Baez		Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.	
Lugar:	Universidad Técnica de Ambato – Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Ambato-Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxy PR2032	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz (g):	112.28346 5
Refuerzo:	Fibra natural (chambira)	Temperatura de curado (°C):	60 °C	Estratificación:	Infusión al vacío

) y sintética (vidrio)				
Orientación de la fibra:	0° - 45°	Orden de capas:	CH+V+C H	Espesor promedio (mm):	3.41
Peso de la fibra (g):	62.0	Velocidad de ensayo:	2 mm/min	Tiempo de curado:	2h en horno

RESULTADOS

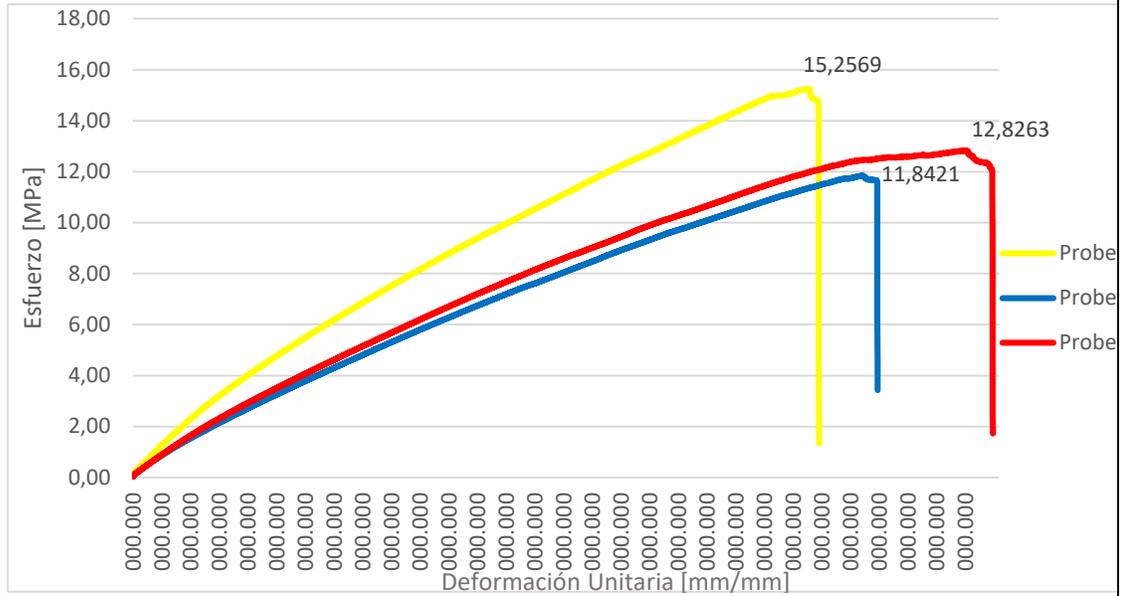
N° PROBETA S	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticida d (GPa)	% Elongació n	Tipo de fallo evaluado
1	1300.65	3,53	15,26	0.95	3.38	AGM1
2	1009.54	1,46	11,84	0.66	3.65	LAT
3	1093.44	1.68	12,83	0.67	4.16	LAT
Promedio	1134.54	2.22	13.31	0.76	3.73	

PROBETAS ENSAYADAS

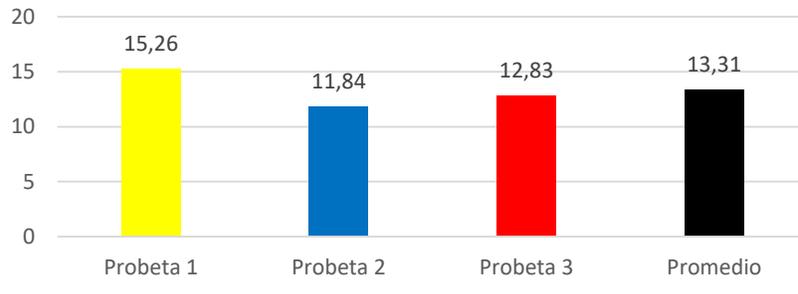


GRÁFICAS

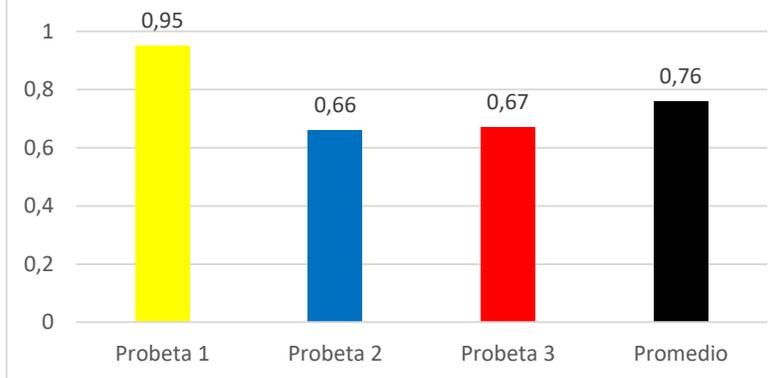
- Curva Esfuerzo – Deformación Unitaria



Esfuerzo Máximo a la Tracción [MPa]



Módulo de Elasticidad [MPa]



OBSERVACIÓN			
<ul style="list-style-type: none"> - No existe una variación tan representativa en cuanto a los valores de módulo de elasticidad y esfuerzo máximo de tracción, por lo cual se puede deducir a que el conformado está realizado uniformemente. - Los fallos que se ven representados en este caso son AGM1, el cual refiere a un daño angular en la zona media de la probeta, y LAT cerca de la zona superior. 			
Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	13.31	Elaborado por:	Sr. Oscar Pichucho
% Elongación:	3.73	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Módulo de elasticidad (GPa):	0.76	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Carga máxima (N):	1134,54	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: Autor

Tabla 19 Ficha técnica del material compuesto, caso 3 a tracción.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA 					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
TRACCIÓN ASTM D3039					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Proyecto Técnico		Codificación:	C3/45-45/I	
Fecha de ejecución:	20/06/2023		Equipo:	Máquina Universal de ensayos Shimadzu AGS-X SERIES 50 kN	
Realizado por:	Oscar Augusto Pichucho Baez		Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.	
Lugar:	Universidad Técnica de Ambato – Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Ambato-Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxy PR2032	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz (g):	112.28346 5
Refuerzo:	Fibra natural (chambira)	Temperatura de curado (°C):	60 °C	Estratificación:	Infusión al vacío

	y sintética (vidrio)				
Orientación de la fibra:	0° - 45°	Orden de capas:	CH+V+CH	Espesor promedio (mm):	3.41
Peso de la fibra (g):	62.0	Velocidad de ensayo:	2 mm/min	Tiempo de curado:	2h en horno

RESULTADOS

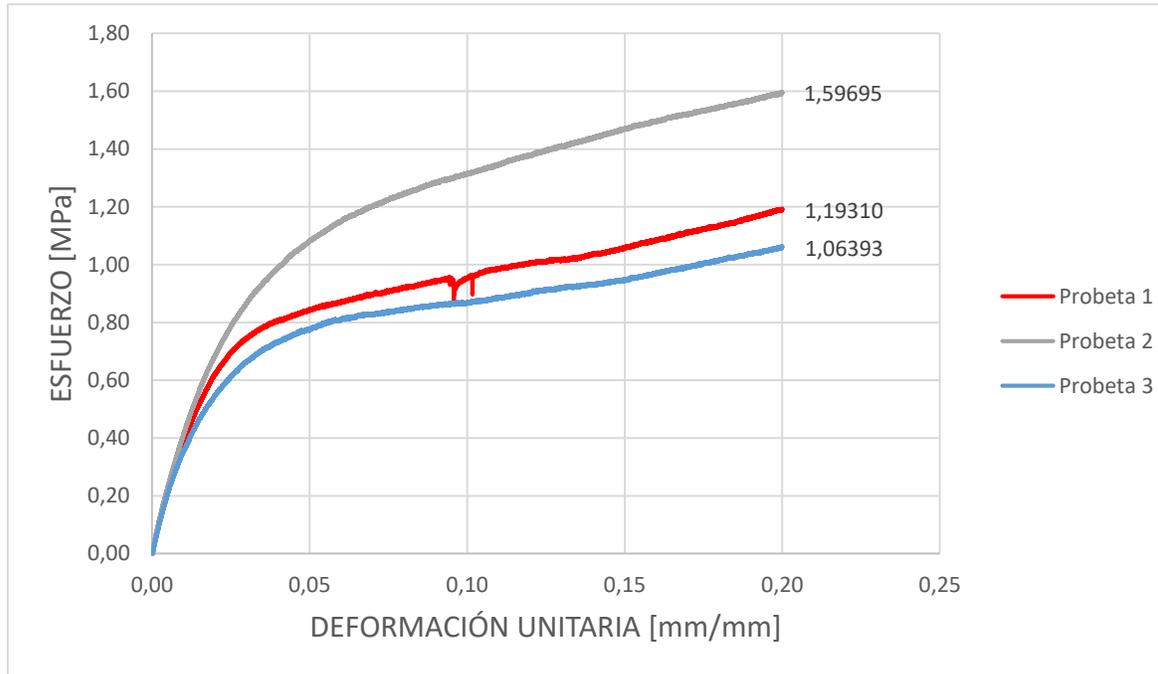
N° PROBETAS	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (GPa)	% Elongación	Tipo de fallo evaluado
1	98.73	0.012	1.93	0.03	95.02	LGM
2	132.15	0.013	1.56	0.03	93.02	LAT
3	88.04	0.012	1.07	0.02	97.76	LAT
Promedio		0.012	1.52	0.02	95.57	

PROBETAS ENSAYADAS

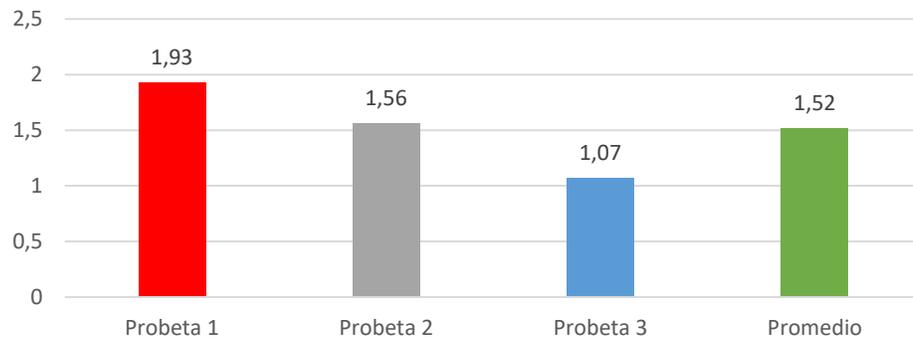


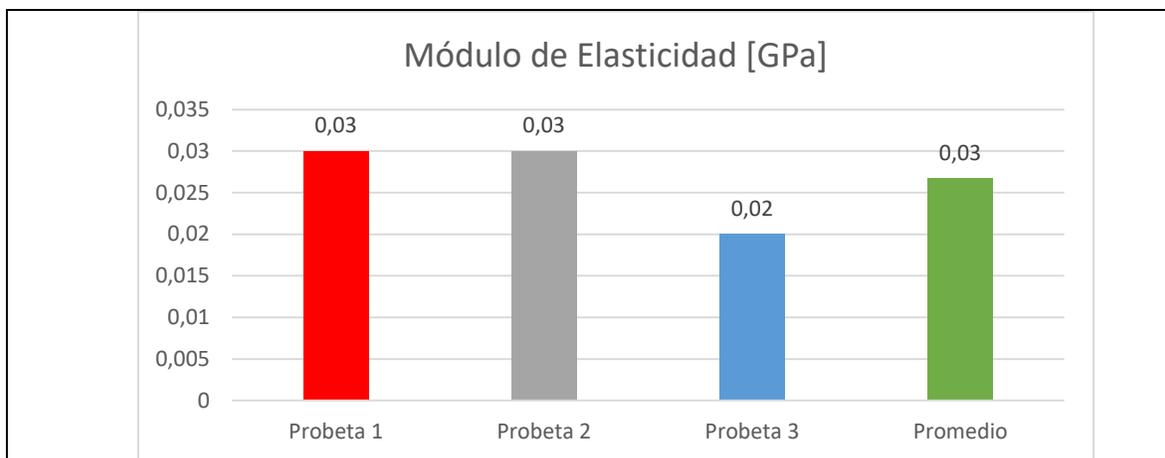
GRÁFICAS

- Curva Esfuerzo – Deformación Unitaria



Esfuerzo Máximo a la Tracción [MPa]





OBSERVACIÓN

- Se puede evidenciar un incremento en la resistencia a la tracción de una de las probetas de este caso, la cual es inversamente proporcional al módulo de elasticidad, en contraste con las otras probetas.
- Presentan casos de fallas LGM y LAT, lateralmente en la zona media y en la zona superior, respectivamente.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	1.52	Elaborado por:	Sr. Oscar Pichucho
% Elongación:	95.57	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Módulo de elasticidad (GPa):	0.03	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Carga máxima (N):	106.31	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: Autor

Tabla 20 Ficha técnica del material compuesto, caso 4 a tracción.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA 					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
TRACCIÓN ASTM D3039					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Proyecto Técnico		Codificación:	C4/45-(-45)/I	
Fecha de ejecución:	20/06/2023		Equipo:	Máquina Universal de ensayos Shimadzu AGS-X SERIES 50 kN	
Realizado por:	Oscar Augusto Pichucho Baez		Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.	
Lugar:	Universidad Técnica de Ambato – Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Ambato-Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxy PR2032	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz (g):	117.354331
Refuerzo:	Fibra natural (chambira) y	Temperatura de curado (°C):	60 °C	Estratificación:	Infusión al vacío

	sintética (vidrio)				
Orientación de la fibra:	45° - (-45°)	Orden de capas:	CH+V+C H	Espesor promedio (mm):	1.88
Peso de la fibra (g):	64.8	Velocidad de ensayo:	2 mm/min	Tiempo de curado:	2h en horno

RESULTADOS

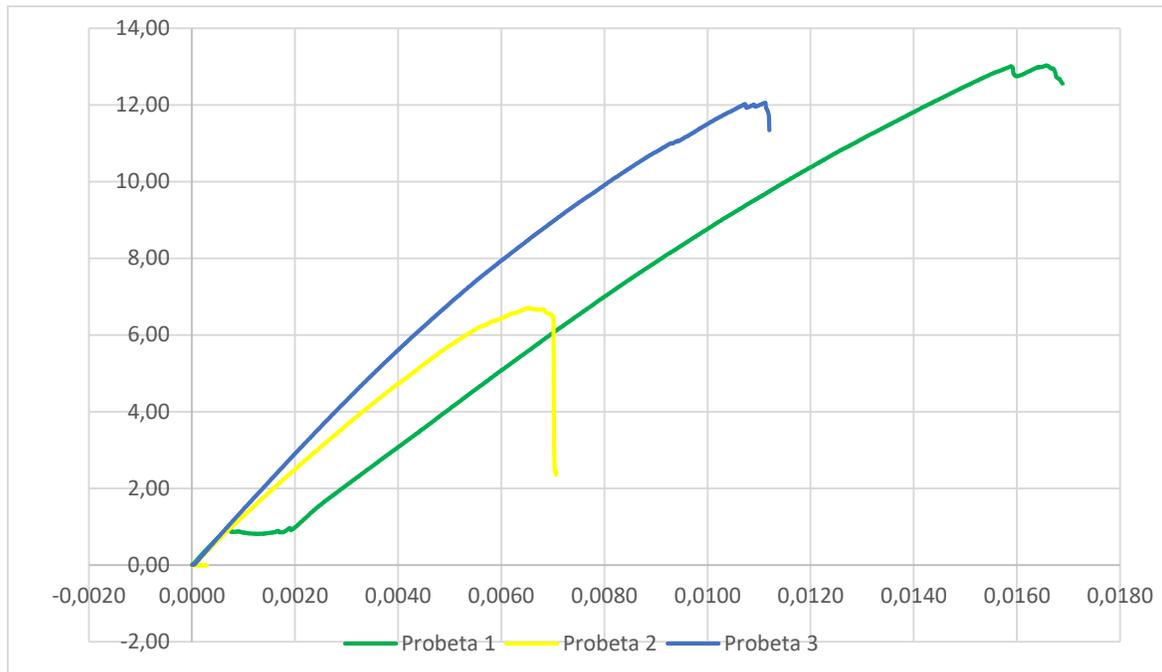
N° PROBETAS	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (GPa)	% Elongación	Tipo de fallo evaluado
1	612.40	0.970	13.03	0.45	2.48	LAT
2	315.28	6.23	6.71	0.62	0.98	LAT
3	566.60	12.02	12.05	0.67	1.67	LAT
Promedio	498.10	6.41	10.60	0.58	1.71	

PROBETAS ENSAYADAS

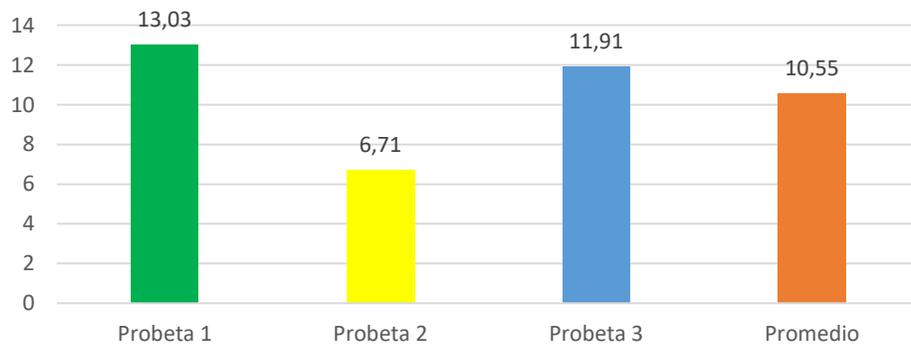


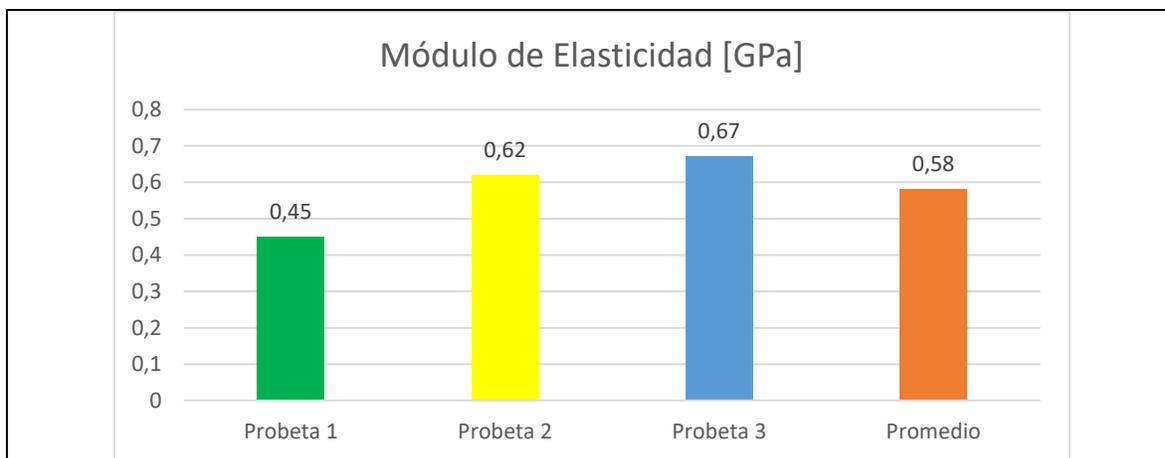
GRÁFICAS

- Curva Esfuerzo – Deformación Unitaria



Esfuerzo Máximo a la Tracción [MPa]





OBSERVACIÓN

- La resistencia a la Tracción o esfuerzo máximo es relativamente semejante en las 3 probetas de este caso.
- Se evidencian tipos de fallo LAT en todas las probetas, cerca de la zona de agarre superior.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	10,55	Elaborado por:	Sr. Oscar Pichucho
% Elongación:	1.71	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Módulo de elasticidad (GPa):	0.58	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Carga máxima (N):	498.09	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: Autor

Tabla 21 Ficha técnica del material compuesto, caso 5 a tracción.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
TRACCIÓN ASTM D3039					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Proyecto Técnico	Codificación:	C5/0-0/H		
Fecha de ejecución:	20/06/2023	Equipo:	Máquina Universal de ensayos Shimadzu AGS-X SERIES 50 kN		
Realizado por:	Oscar Augusto Pichucho Baez	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.		
Lugar:	Universidad Técnica de Ambato – Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Ambato-Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropox y PR2032	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz (g):	107.937008
Refuerzo:	Fibra natural (chambir a) y sintética (vidrio)	Temperatura de curado (°C):	60 °C	Estratificación:	Infusión al vacío - Humectación

Orientación de la fibra:	0° - 0°	Orden de capas:	CH+V+CH	Espesor promedio (mm):	2.32
Peso de la fibra (g):	59.6	Velocidad de ensayo:	2 mm/min	Tiempo de curado:	2h en horno

RESULTADOS

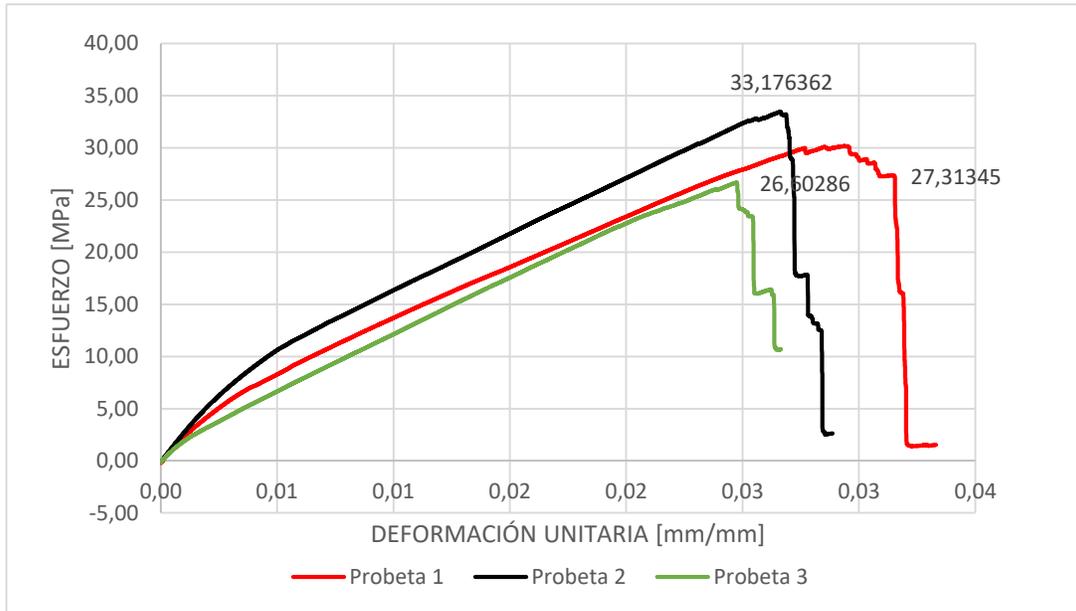
N° PROBETAS	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (GPa)	% Elongación	Tipo de fallo evaluado
1	1750.46	4.74	27,31	1.28	4.41	LAT
2	1941.20	11.24	33.18	1.52	4.00	LAT
3	1547.33	1.94	26.60	0.96	3.71	AGM1
Promedio	1746.33	5,97	29,03	1.25	4.04	

PROBETAS ENSAYADAS

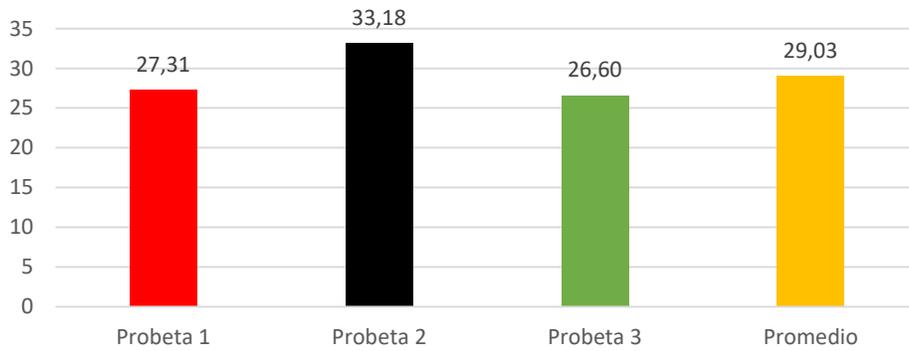


GRÁFICAS

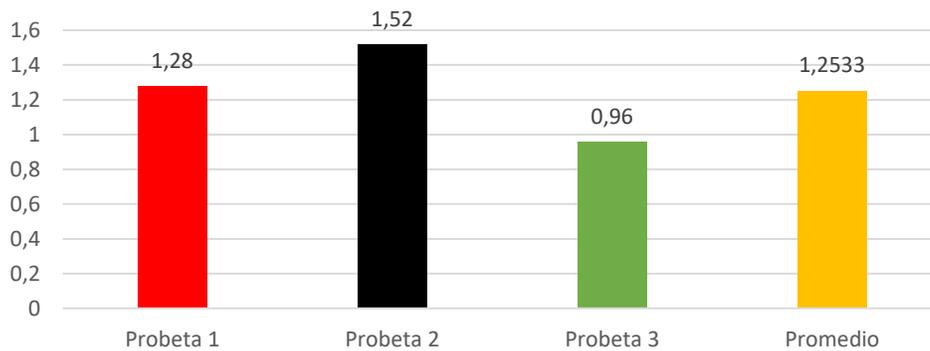
- Curva Esfuerzo – Deformación Unitaria



Esfuerzo Máximo a la Tracción [MPa]



Módulo de Elasticidad [MPa]



OBSERVACIÓN			
<ul style="list-style-type: none"> - Una probeta en particular presenta cualidades distintas a las demás, en cuanto a la resistencia a la tracción, presumiblemente adquiridas en el proceso de conformado del material. - Este caso presenta fallas del tipo LAT, lateral cerca del agarre en la zona superior y AGM1 de manera angular en la zona media de la probeta. 			
Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	29,03	Elaborado por:	Sr. Oscar Pichucho
% Elongación:	4.04	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Módulo de elasticidad (GPa):	1.25	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Carga máxima (N):	1746.33	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: Autor

Tabla 22 Ficha técnica del material compuesto, caso 6 a tracción.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
TRACCIÓN ASTM D3039					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Proyecto Técnico		Codificación:	C6/0-45/H	
Fecha de ejecución:	20/06/2023		Equipo:	Máquina Universal de ensayos Shimadzu AGS-X SERIES 50 kN	
Realizado por:	Oscar Augusto Pichucho Baez		Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.	
Lugar:	Universidad Técnica de Ambato – Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Ambato-Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropo xy PR2032	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz (g):	83.3070866
Refuerzo:	Fibra natural (chambira) y	Temperatura de curado (°C):	60 °C	Estratificación:	Infusión al vacío - Humectación

	sintética (vidrio)				
Orientación de la fibra:	0° - 45°	Orden de capas:	CH+V+C H	Espesor promedio (mm):	2.13
Peso de la fibra (g):	46.0	Velocidad de ensayo:	2 mm/min	Tiempo de curado:	2h en horno

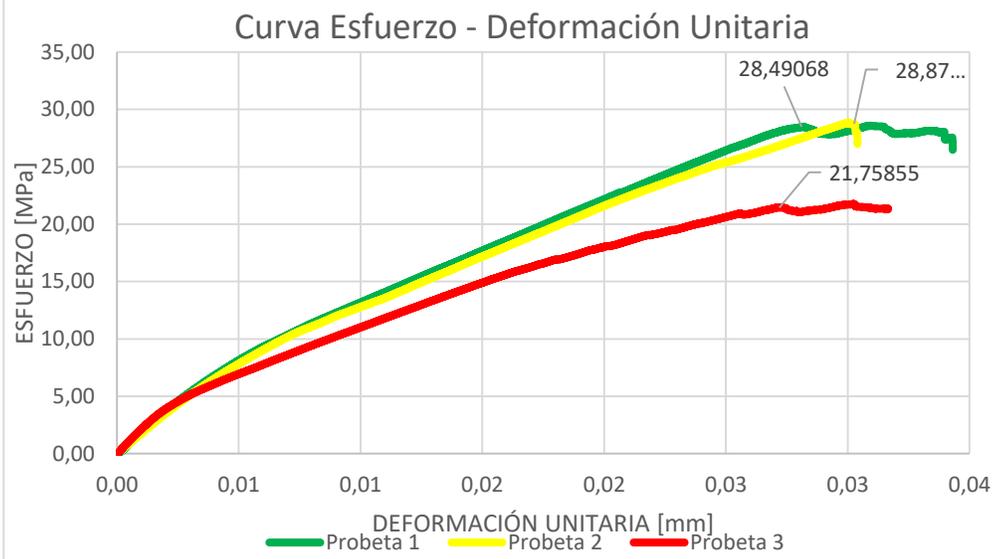
RESULTADOS

N° PROBETAS	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (GPa)	% Elongación	Tipo de fallo evaluado
1	1517.13	5.23	28.49	0.99	4.64	LAT
2	1537.55	7.47	28.87	0.89	4.51	LAT
3	1158.64	3.54	21.76	1.10	4.54	LAT
Promedio	1404.44	5,41	26.37	0.99	4.56	

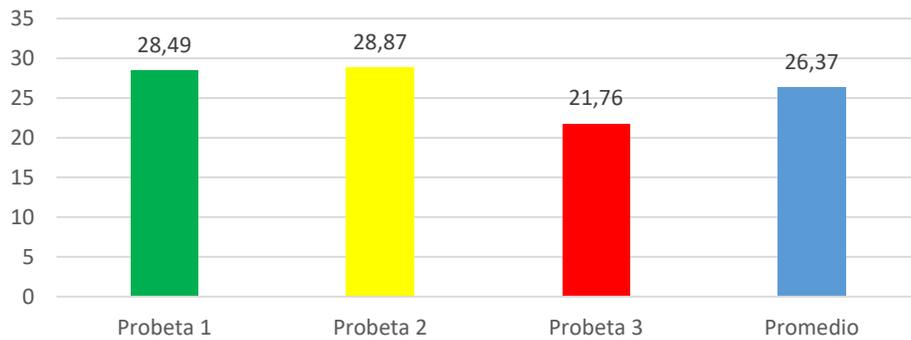
PROBETAS ENSAYADAS



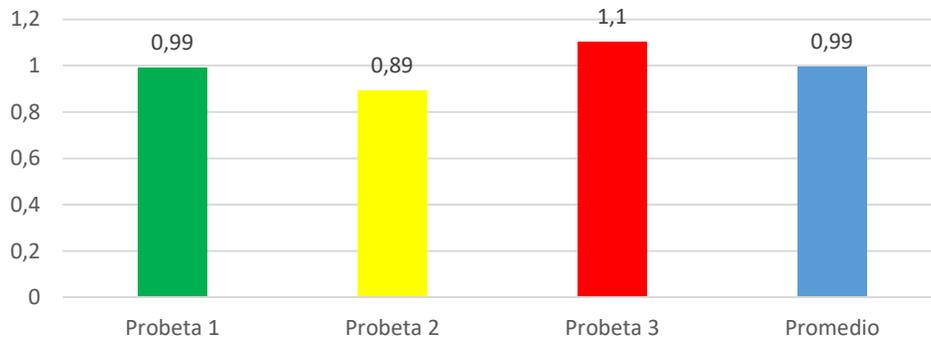
GRÁFICAS



Esfuerzo Máximo a la Tracción [MPa]



Módulo de Elasticidad [MPa]



OBSERVACIÓN			
<ul style="list-style-type: none"> - Las fallas presentes en este caso son de tipo LAT, las cuales generan una separación de las capas conformantes por fallas presumiblemente adquiridas en el proceso inicial de conformado del material. - El módulo de elasticidad, así como la resistencia a la tracción en las 3 probetas no presenta cambios representativos. 			
Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	26.37	Elaborado por:	Sr. Oscar Pichucho
% Elongación:	4.56	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Módulo de elasticidad (GPa):	0.99	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Carga máxima (N):	1404.44	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: Autor

Tabla 23 Ficha técnica del material compuesto, caso 7 a tracción.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
TRACCIÓN ASTM D3039					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Proyecto Técnico		Codificación:	C7/45-45/H	
Fecha de ejecución:	20/06/2023		Equipo:	Máquina Universal de ensayos Shimadzu AGS-X SERIES 50 kN	
Realizado por:	Oscar Augusto Pichucho Baez		Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.	
Lugar:	Universidad Técnica de Ambato – Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Ambato-Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxy PR2032	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz (g):	109.204724
Refuerzo:	Fibra natural (chambira)	Temperatura de curado (°C):	60 °C	Estratificación:	Infusión al vacío

) y sintética (vidrio)				
Orientación de la fibra:	45° - 45°	Orden de capas:	CH+V+CH	Espesor promedio (mm):	3.21
Peso de la fibra (g):	60.3	Velocidad de ensayo:	2 mm/min	Tiempo de curado:	2h en horno

RESULTADOS

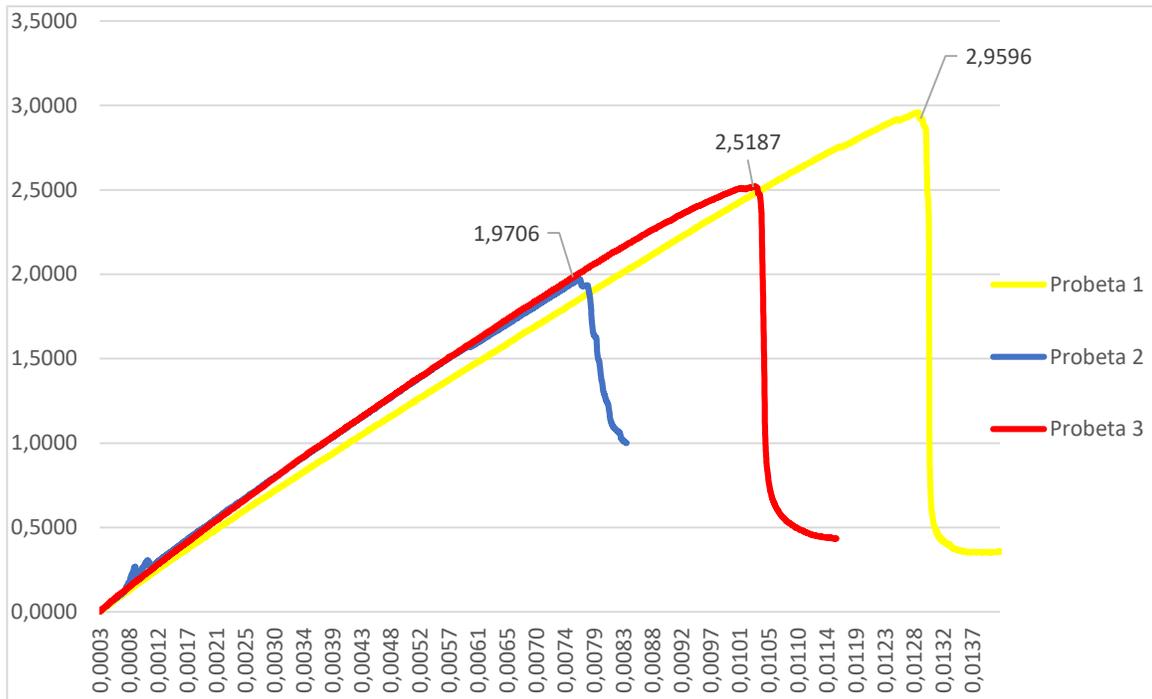
N° PROBETA S	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (GPa)	% Elongación	Tipo de fallo evaluado
1	237.50	2,73	2,96	0.22	1.92	LAT
2	158.14	1,57	1,97	0.27	1.16	LAT
3	202.19	1,97	2,52	0.24	1.53	LAT
Promedio	199.26	2,73	2,48	0.24	1.54	

PROBETAS ENSAYADAS

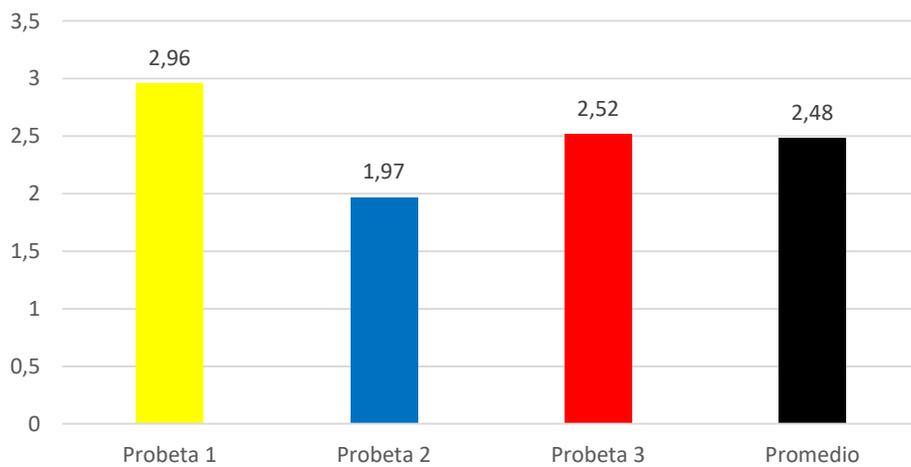


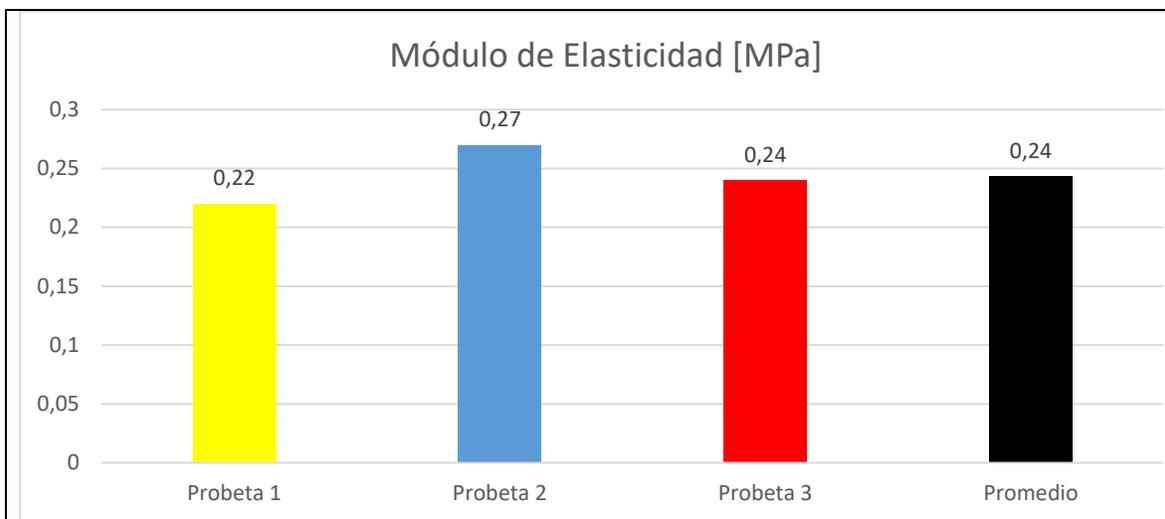
GRÁFICAS

Curva Esfuerzo – Deformación Unitaria



Esfuerzo Máximo a la Tracción [MPa]





OBSERVACIÓN

- Las fallas existentes en las tres probetas estudiadas en el caso presentan fallas tipo LAT, el cual está ligado en el agarre de la zona superior; que puede comenzar desde la zona media.
- La resistencia a la tracción de la 3ra probeta estudiada presenta una ligera variación positiva, respecto a las otras probetas de este caso.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	2.48	Elaborado por:	Sr. Oscar Pichucho
% Elongación:	1.54	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Módulo de elasticidad (GPa):	0.24	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Carga máxima (N):	199.26	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: Autor

Tabla 24 Ficha técnica del material compuesto, caso 8 a tracción.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
TRACCIÓN ASTM D3039					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Proyecto Técnico		Codificación:	C8/45-(-45)/H	
Fecha de ejecución:	20/06/2023		Equipo:	Máquina Universal de ensayos Shimadzu AGS-X SERIES 50 kN	
Realizado por:	Oscar Augusto Pichucho Baez		Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.	
Lugar:	Universidad Técnica de Ambato – Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Ambato-Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxy PR2032	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz (g):	102.322835
Refuerzo:	Fibra natural (chambira) y sintética (vidrio)	Temperatura de curado (°C):	60 °C	Estratificación:	Infusión al vacío

Orientación de la fibra:	45° - (-45°)	Orden de capas:	CH+V+C H	Espesor promedio (mm):	3.16
Peso de la fibra (g):	56.5	Velocidad de ensayo:	2 mm/min	Tiempo de curado:	2h en horno

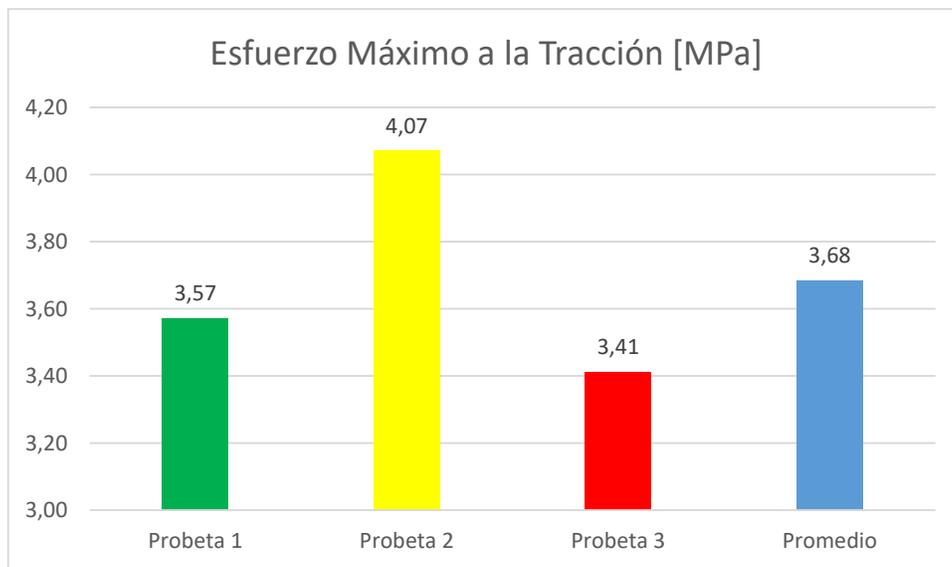
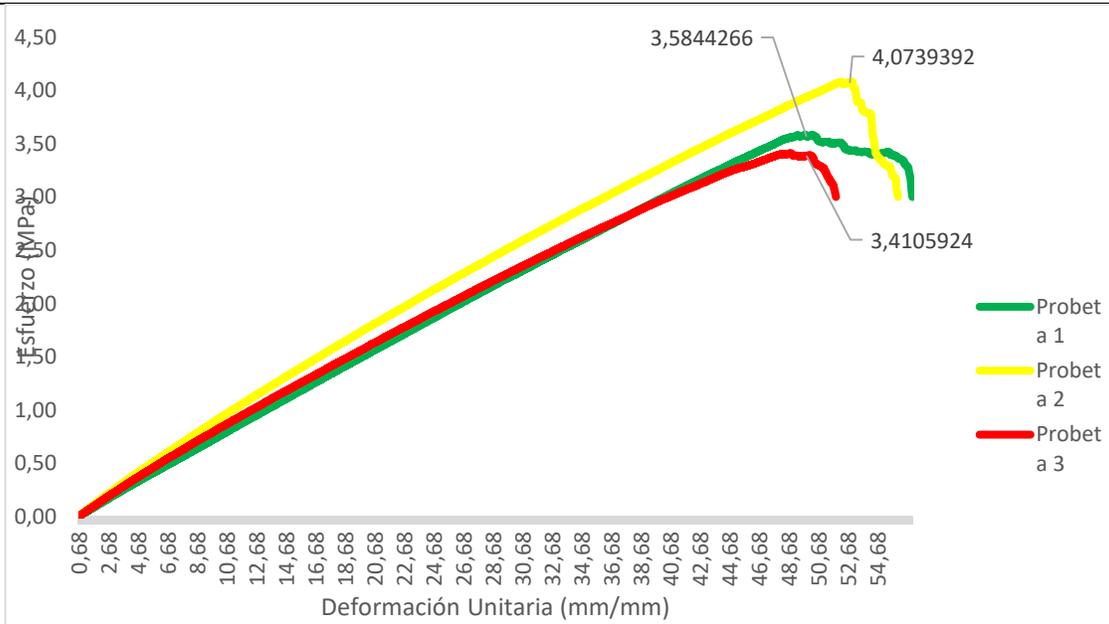
RESULTADOS

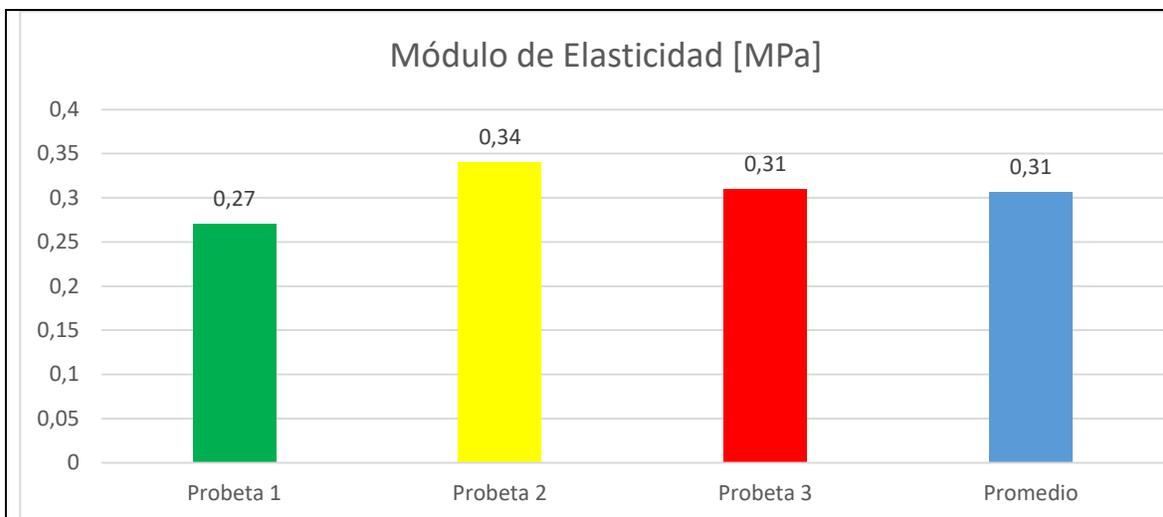
N° PROBETAS	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (GPa)	% Elongación	Tipo de fallo evaluado
1	283.17	0.287	3.57	0.27	1.66	AGM1
2	322.03	0.367	4.07	0.34	1.74	LAT
3	269.44	0,572	3.41	0.31	1.67	LAT
Promedio	291.55	0.41	3.68	0.31	1.69	

PROBETAS ENSAYADAS



GRÁFICAS





OBSERVACIÓN

- La primera probeta estudiada presenta un daño angular en la zona media, conocido como fallo AGM1, a diferencia de las demás probetas que indican un fallo LAT en la zona lateral, cerca de la zona de agarre superior.
- Asimismo, la resistencia a la tracción de la probeta con la que se inició el estudio de este caso, tiene un valor mayor respecto a las demás.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	3.68	Elaborado por:	Sr. Oscar Pichucho
% Elongación:	1.69	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Módulo de elasticidad (GPa):	0.31	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Carga máxima (N):	291.55	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: Autor

3.2 Análisis y discusión de los resultados

Los datos recopilados dentro del análisis del tiempo de infusión/humectación de las probetas destinadas para el caso, permite elaborar la tabla a continuación en la que se evidencia el análisis de los tiempos dados, con un intervalo de uso de la bomba de vacío en el cual permanecía encendida un periodo de 2 minutos y apagada 1 minuto, con el fin de poder distinguir la facilidad de avance de la resina a través de las distintas configuraciones de la fibra.

Tabla 25 Análisis de tiempos de mojado total y salida de excedente de probetas realizadas.

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE TIEMPOS DE INFUSIÓN/HUMECTACIÓN					
CASO DE ESTUDIO	PROC.	HORA INICIO	MOJADO TOTAL	SALIDA EXCEDENTE	HORA FIN
C1/0-0/I	Infusión neta	16:57	32 min	33 min	17:47
C2/0-45/I	Infusión neta	12:33	47 min	35 min	13:20
C3/45-45/I	Infusión neta	16:40	40 min	20 min	17:20
C4/45-(-45)/I	Infusión neta	16:50	47 min	50 min	17:37
C5/0-0/H	Humectación	09:43	36 min	32 min	10:19
C6/0-45/H	Humectación	16:45	1h 12 min	50 min	17:57
C7/45-45/H	Humectación	11:31	53 min	12 min	12:24
C8/45-(-45)/H	Humectación	16:23	23 min	2 min	16:46

Fuente: Autor

A continuación, una comprobación de la cualidad del peso de las probetas, se puede verificar, haciendo referencia a la Tabla 14, ubicada en el apartado 3.1.3 de este documento, la cual señala la observación realizada en cuanto a los datos recopilados, referentes al peso de las cantidades de materiales conformantes del nuevo material previo a la infusión por vacío y el peso de la probeta de 32x18 cm final.

3.2.1 Análisis de resultados Individuales

En la Tabla 26 presente a continuación, se muestran los resultados del ensayo destructivo de tracción en las probetas de los casos estudiados individualmente de cada probeta estudiada, con el fin de identificar las propiedades adquiridas bajo las variaciones de los parámetros del proceso de producción del material compuesto.

Tabla 26 Recopilación de datos de Ensayos de Tensión aplicado a los distintos casos de material compuesto.

CASO	TIEMPO ENSAYO (min)	ESFUERZO MÁXIMO A LA TRACCIÓN (MPa)	MÓDULO DE ELASTICIDAD (MPa)	% ALARG.
C1/0-0/I	8.34	16.28	1600	3.13
	13.99	22.65	1470	4.15
	6.39	30.84	1250	5.22
C2/0-45/I	1.72	15.26	950	3.38
	1.86	11.84	660	3.65
	2.15	12.83	670	4.16
C3/45-45/I	15	1.93	30	95.92
	15	1.56	30	93.02
	15	1.07	20	97.76
C4/45-(-45)/I	2.25	13.03	450	2.48
	1.79	6.71	620	0.98
	5.93	12.05	670	1.67
C5/0-0/H	2.93	27.31	1280	4.41
	3.44	33.18	1520	4.00
	2.07	26.60	960	3.71
C6/0-45/H	3.84	28.49	990	4.64
	2.57	28.87	890	4.51
	3.09	21.76	1100	4.54
C7/45-45/H	9.32	2.96	220	1.92
	5.89	1.97	270	1.16
	6.47	2.52	240	1.53
C8/45-(-45)/H	6.45	3.57	270	1.66
	5.44	4.07	340	1.74
	15	3.41	310	1.67

En síntesis, se puede definir al caso número 3, con capas de fibra natural en orientación de 45° en ambos casos, como el que tiene mayor elongación en las tres probetas estudiadas; así como al segundo caso, con su tercera probeta, como el caso que posee el menor alargamiento, posterior a someterse al ensayo de tracción.

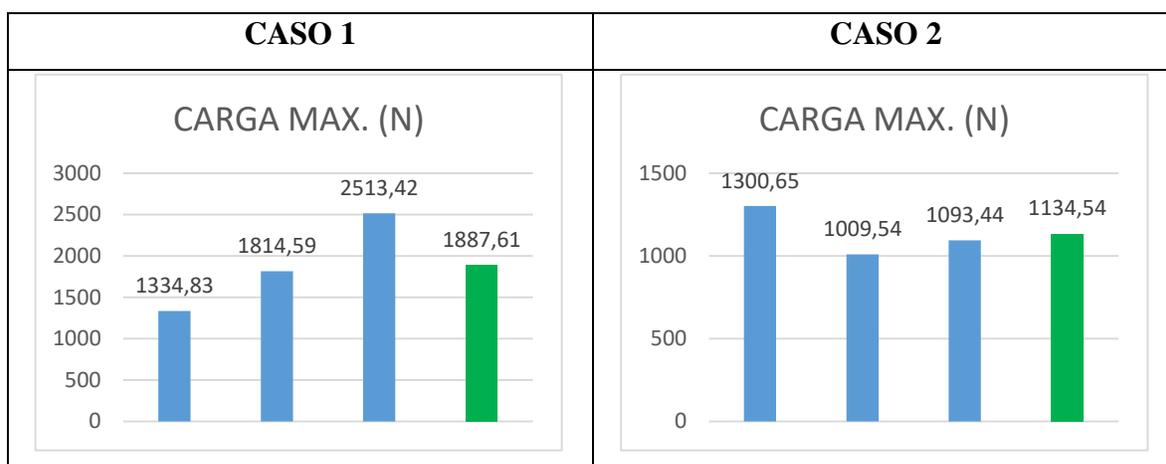
3.2.2 Análisis de resultados del ensayo a tracción por caso

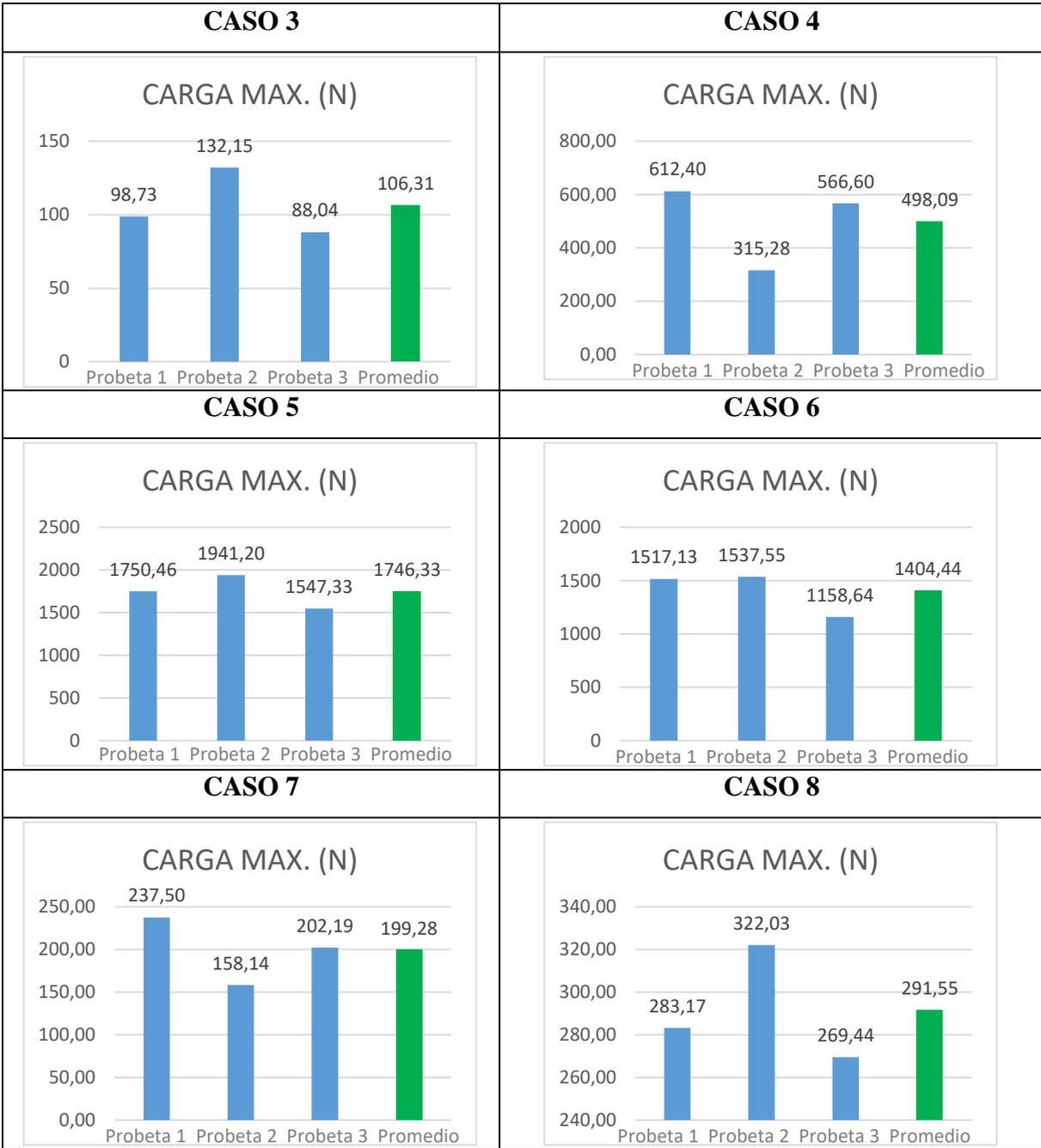
En la elaboración de un análisis comparativo de los distintos casos de conformado del material compuesto hechos con una matriz de resina epoxi, reforzada con fibra natural (chambira) y sintética (vidrio), se puede establecer criterios que permitan la segmentación de los casos en función de las características adquiridas durante el proceso de conformado del material, que se ven reflejadas en las propiedades verificadas mediante el ensayo destructivo a tracción.

Se puede establecer graficas de las características adquiridas, de los distintos casos, así:

CARGA MÁXIMA APLICADA

Tabla 27 Comparación de carga máxima aplicada en los distintos casos de conformado de material.

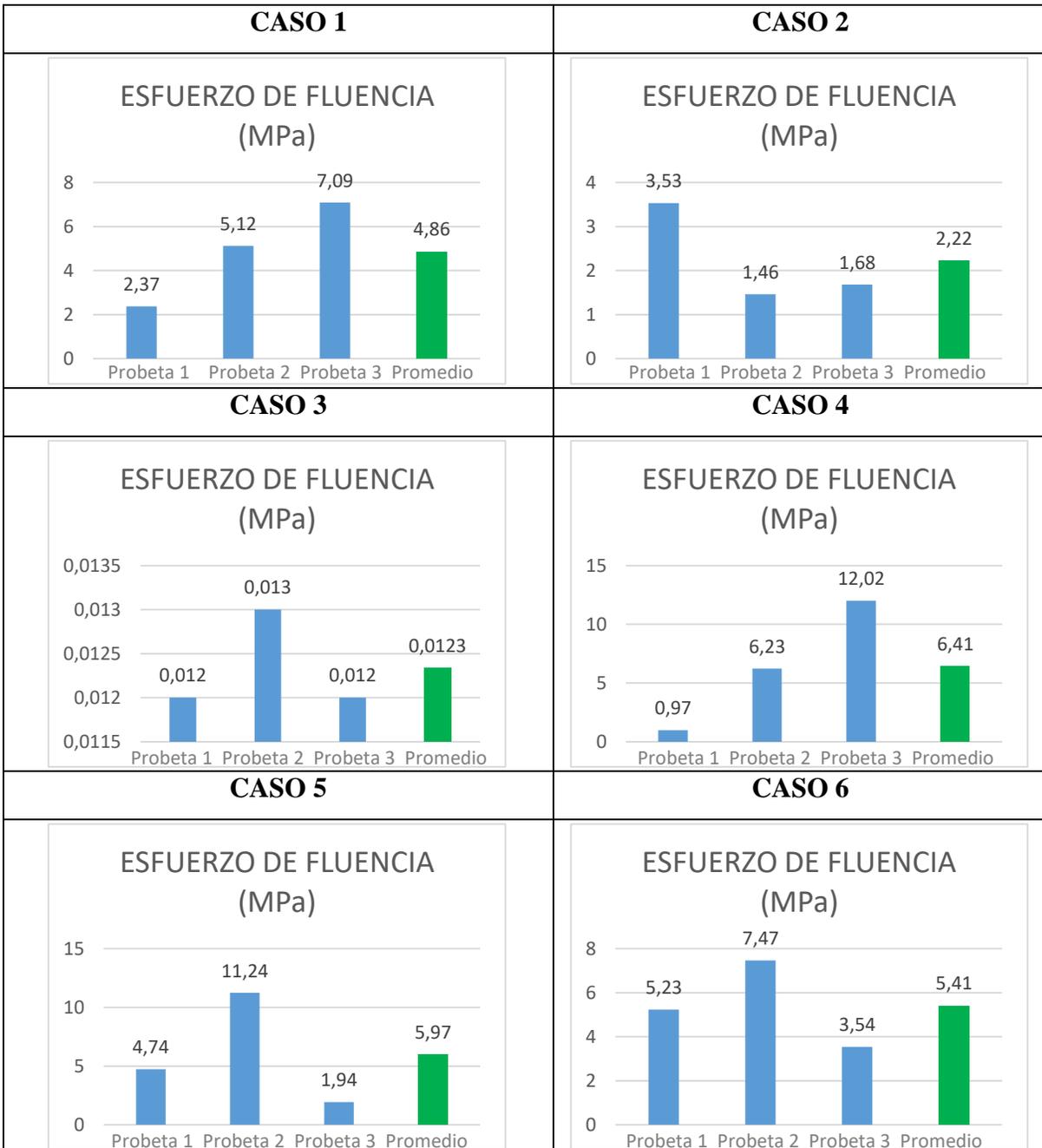


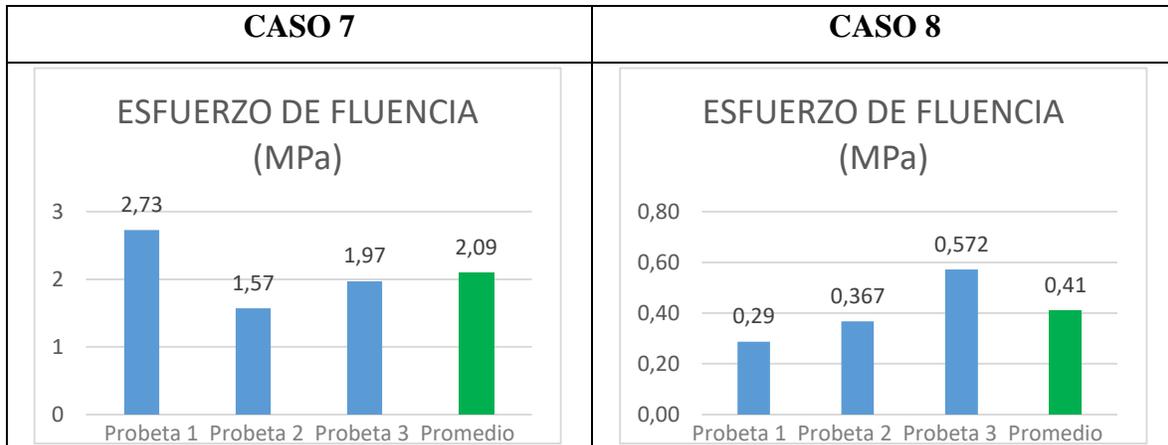


Los datos proporcionados en cuanto a la carga máxima aplicada en cada uno de los casos, evidencia que la mayor de esta se encuentra aplicado en el primer caso C1/0-0/I, que las fibras están direccionadas unidireccionalmente en ambas capas de fibra natural, a 0° con un valor de 1887.61 N; elaborado mediante el procedimiento de infusión neta. Así también, el valor mínimo de carga máxima que se puede aplicar en el compuesto se refleja en el caso 7 C7/45-45/H, con 199.28 N, elaborado bajo el procedimiento de humectación manual.

ESFUERZO DE FLUENCIA

Tabla 28 Comparación de esfuerzo de fluencia en los distintos casos de conformado de material.

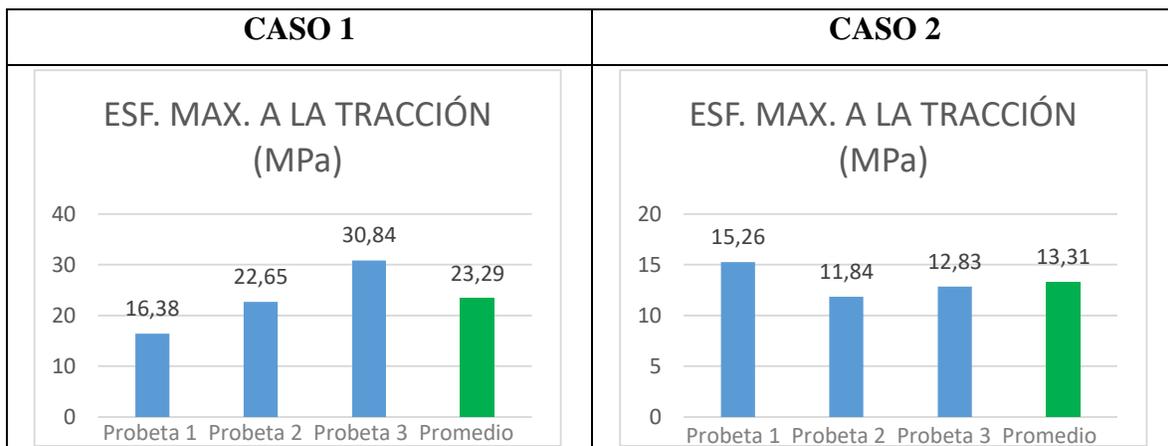


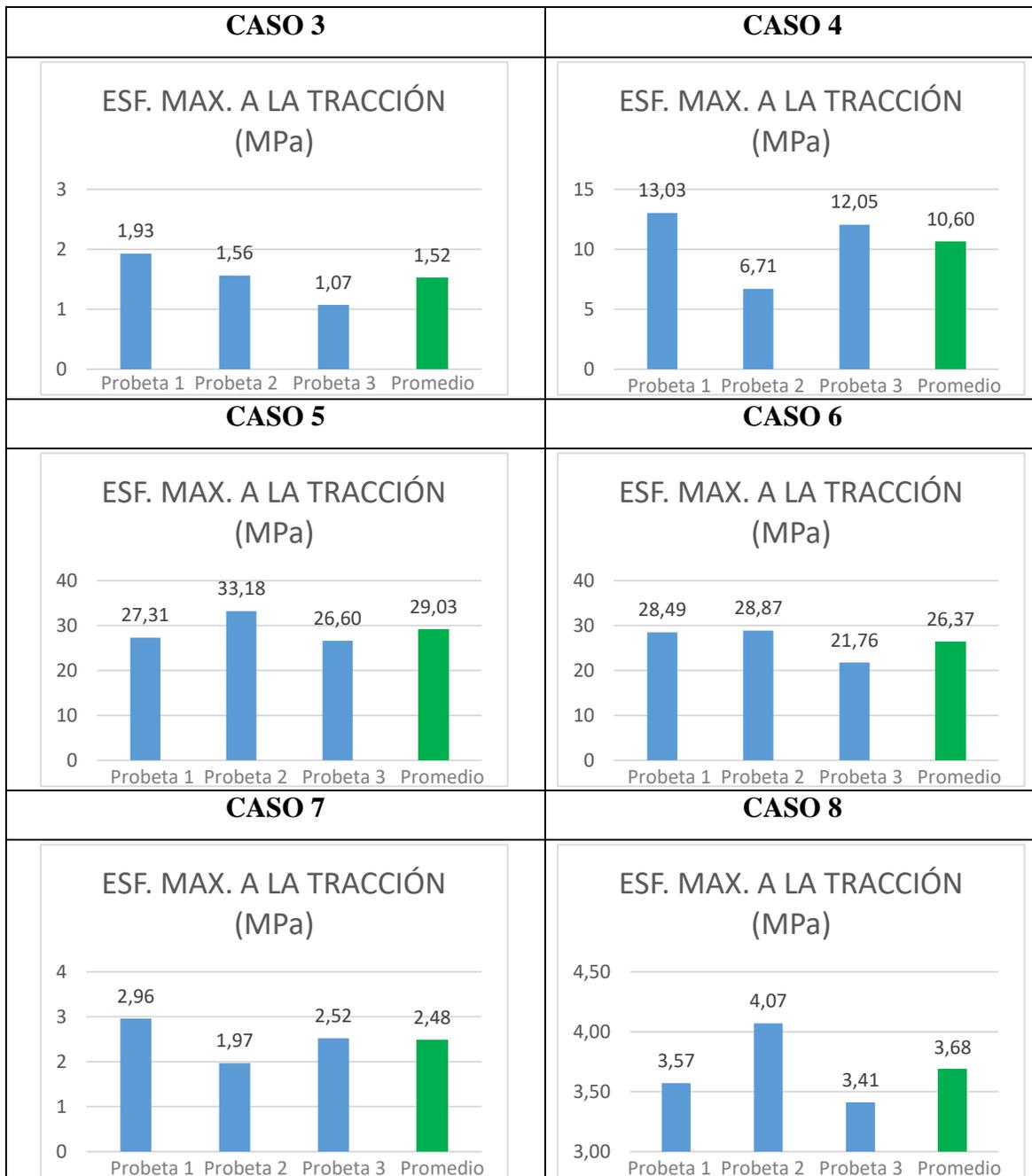


El esfuerzo de fluencia presente en cada uno de los casos si presenta variaciones, en cuanto a la orientación de las fibras respecta, tenemos el mayor esfuerzo de fluencia en el primer caso con un valor de 26.68 MPa y el menor esfuerzo en el caso 7, con un valor de 2.82 MPa; teniendo en cuenta que este caso es aquel realizado por proceso de humectación manual.

ESFUERZO MÁXIMO A LA TRACCIÓN

Tabla 29 Comparación de esfuerzo máximo de tracción en los distintos casos de conformado de material.

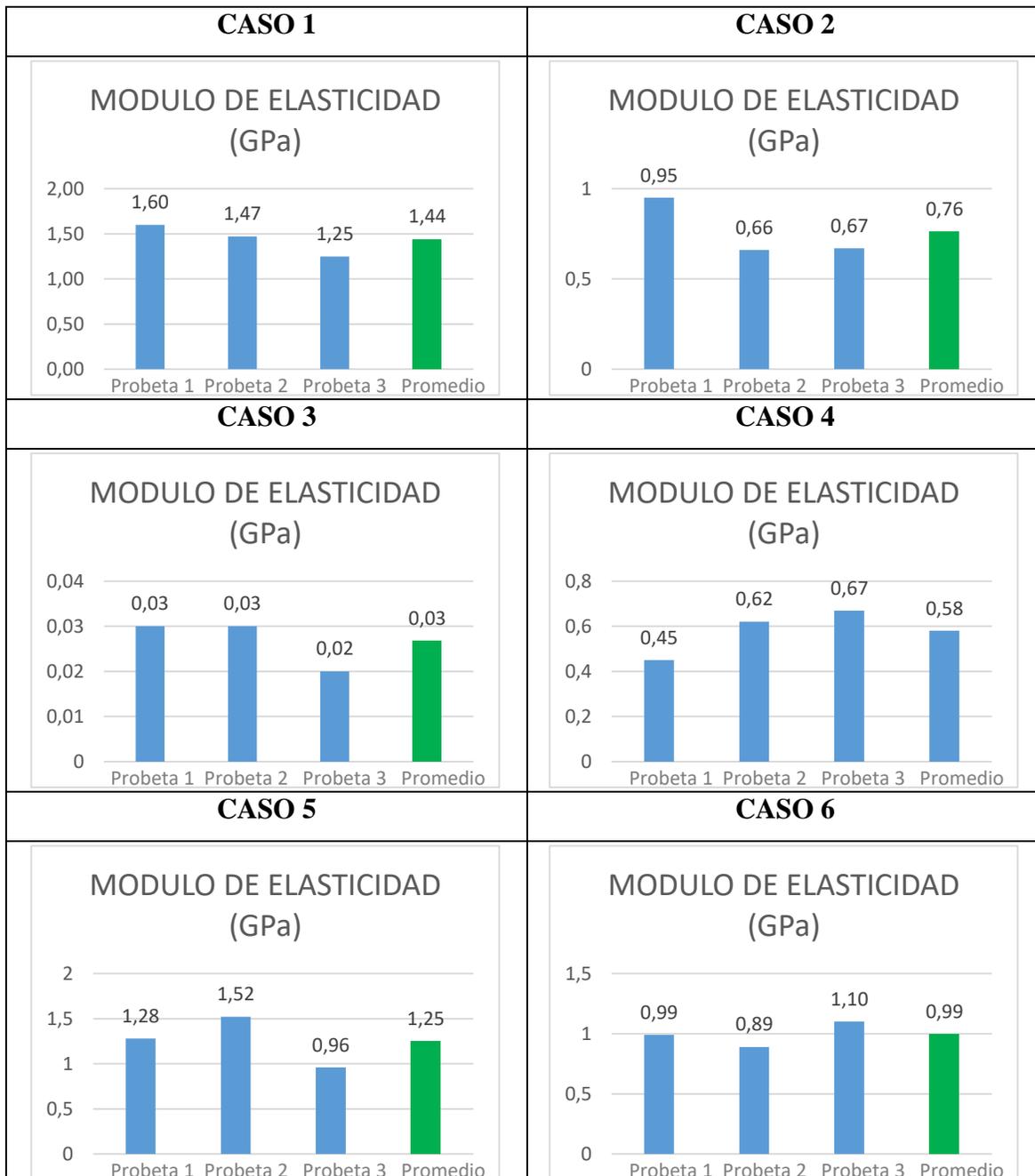


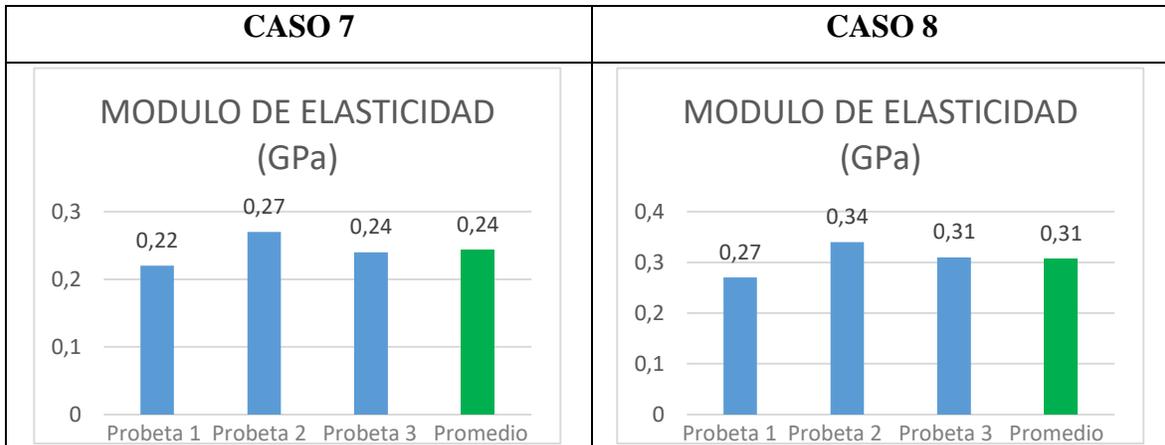


La propiedad de resistencia a la tracción del material, reflejada también mediante el esfuerzo máximo a la Tracción, en MPa, está presente con su valor máximo en el caso 8 con un valor de 30.30 MPa y el valor mínimo se encuentra en las probetas del caso 4 con un valor de 2.14 MPa, configuración realizada por proceso de infusión neta.

MÓDULO DE ELASTICIDAD

Tabla 30 Comparación de módulo de elasticidad en los distintos casos de conformado de material.

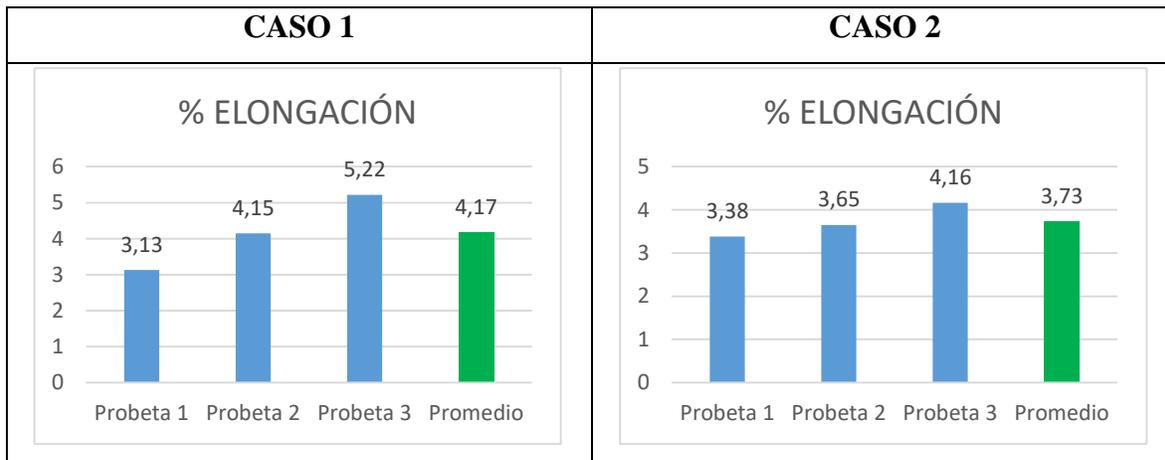


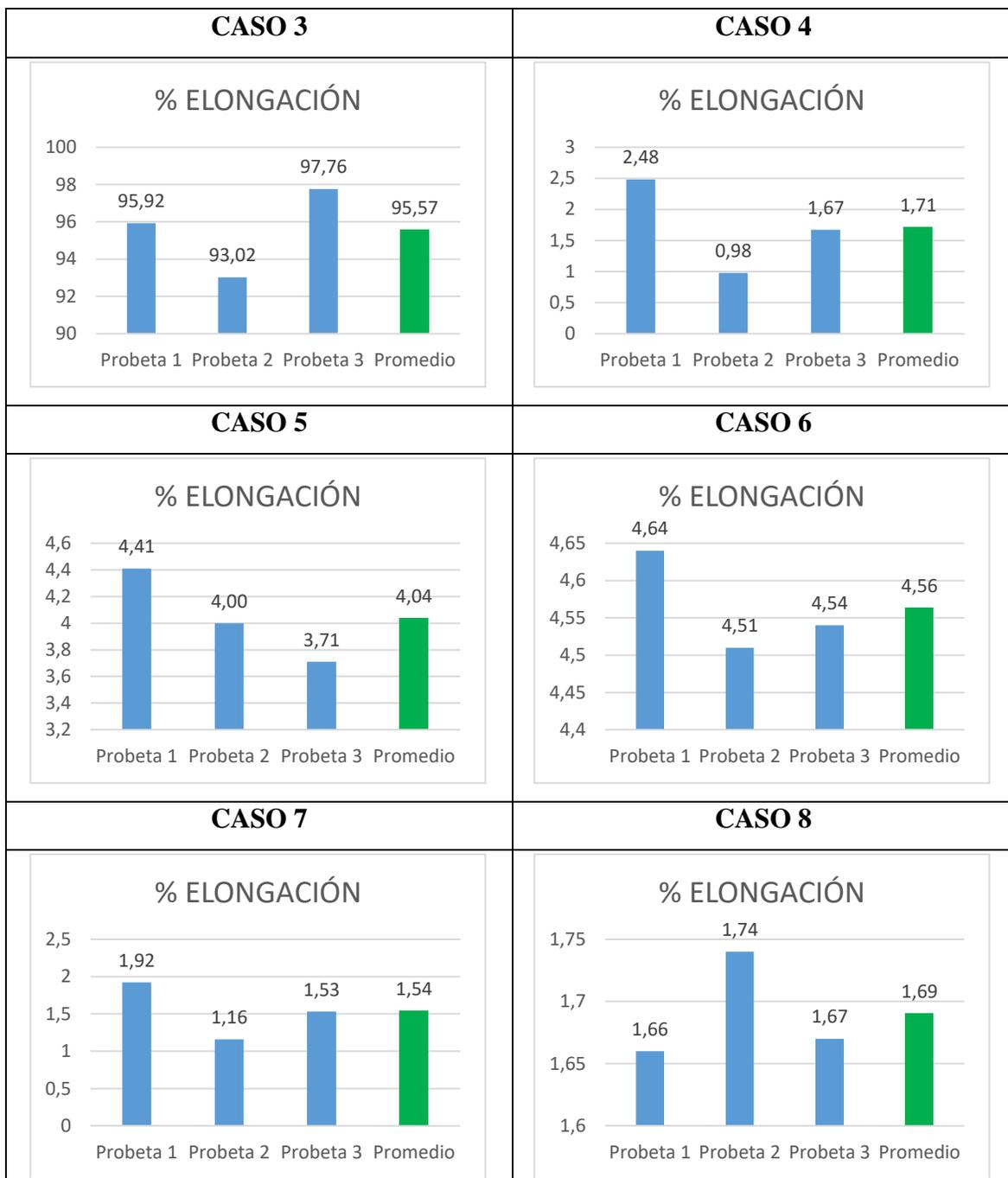


Los valores generados de módulo de elasticidad presentan cierta dispersión de datos, presentando el valor mínimo del mismo en el caso 3, con un valor de 0.03 GPa y un valor máximo de 1.44 GPa en el primer caso, ambos casos realizados mediante el procedimiento de infusión neta.

PORCENTAJE DE ELONGACIÓN

Tabla 31 Comparación de porcentaje de elongación en los distintos casos de conformado de material.





Los datos de porcentaje de elongación proporcionados no muestran una gran variación de los mismos, a diferencia del tercer caso, en el que se presentó un alargamiento bastante significativo; con un valor de 4.56% en su valor máximo y 1.54% en el valor mínimo de porcentaje de elongación del material compuesto. El caso que tiene la mayor elongación se

realizó bajo el procedimiento de infusión neta y en contraste, el caso con el menor porcentaje, mediante humectación manual

3.2.3 Análisis de resultados de carácter global

Se realiza un análisis de cada caso, basándose en datos promedio de cada una de las probetas ensayadas, los cuales arrojan la información presente en la tabla a continuación mostrada:

Tabla 32 Resultados de Análisis de Ensayo de tracción, por caso de estudio.

CASO	TIEMPO ENSAYO (min)	ESFUERZO MÁXIMO A LA TRACCIÓN (MPa)	MÓDULO DE ELASTICIDAD (MPa)	% ALARG.
C1/0-0/I	9.57	23.29	1440.00	4.17
C2/0-45/I	1.91	13.31	760.00	3.73
C3/45-45/I	15	1.52	26.67	95.57
C4/45-(-45)/I	3.32	10.60	580.00	1.71
C5/0-0/H	2.81	29.03	1253.33	4.04
C6/0-45/H	3.17	26.37	993.33	4.56
C7/45-45/H	7.23	2.48	243.33	1.54
C8/45-(-45)/H	8.96	3.68	306.67	1.69

Con base en estos datos, es posible generar ciertas deducciones que permiten una mejor caracterización del material. Así tenemos que el caso que tarda más en su producción es el tercer caso, con ambas capas de fibra natural orientadas a 45° y con un proceso de Infusión Neta, como también el caso con el menor tiempo de producción, al segundo, realizado con las capas de fibra natural orientadas a 0° y bajo el mismo procedimiento.

En contraste con esto el caso más tardado de producción es el que menor resistencia a la tracción presenta, así también tiene el segundo menor módulo de elasticidad y porcentaje de alargamiento.

Al poseer un % de alargamiento muy elevado, el tercer caso, considerado anómalo, queda fuera del análisis de los datos, por lo que el mayor valor considerado es del caso número 6, con un valor de 4.56% y al menor, el caso 8 con 1.69%.

3.2.4 Gráficas comparativas del Ensayo a Tracción

Para generar un análisis global de cada una de las propiedades adquiridas por medio del ensayo de tracción se establece diagramas que permitan visualizar la variación de las propiedades de acuerdo a cada una de los distintos parámetros tomados en cuenta para los casos de producción de material compuesto, así:

- Tiempo de ensayo

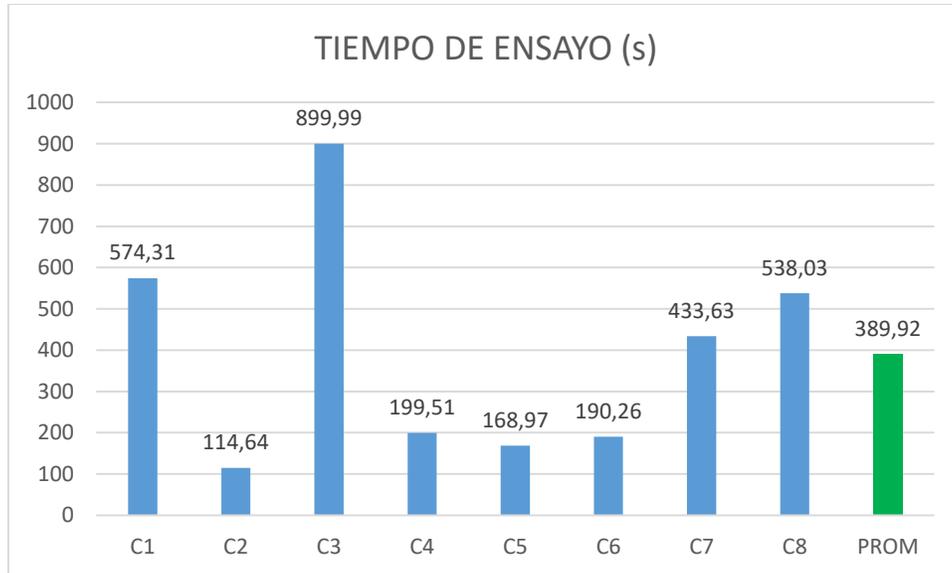


Figura 4 Diagrama de barras de variación del tiempo de ensayo promedio por cada caso.

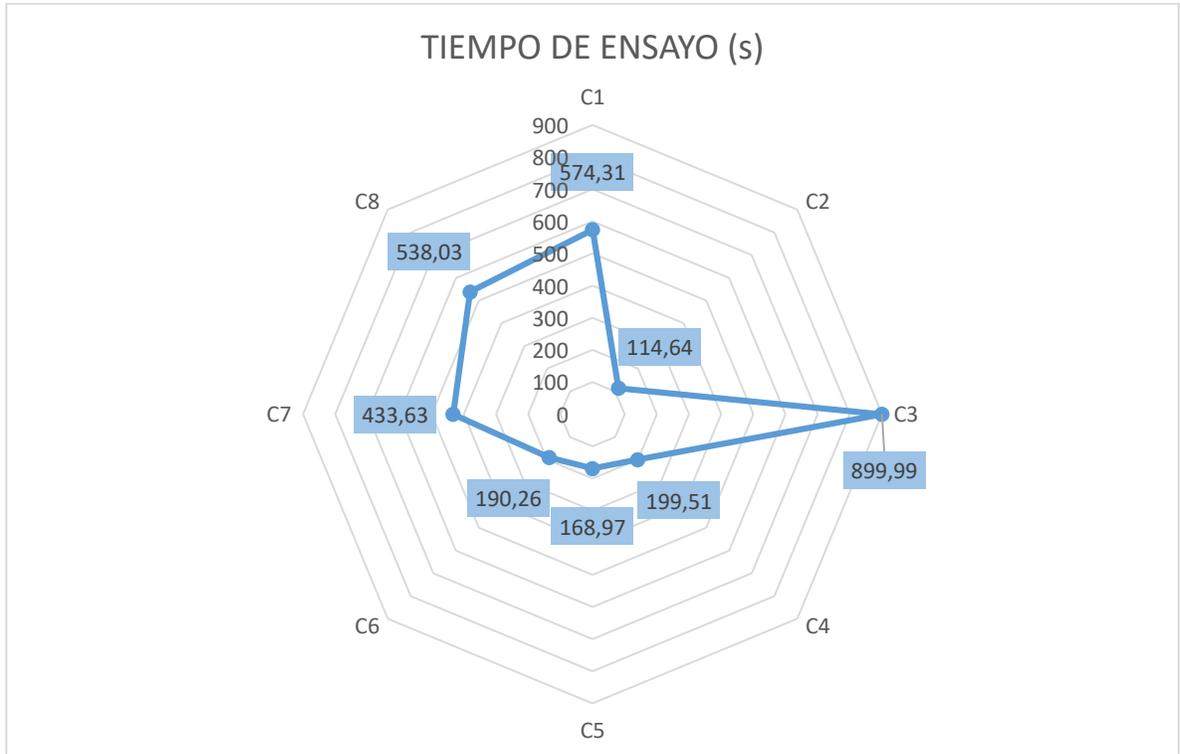


Figura 5 Diagrama telaraña comparativo del tiempo de ensayo de cada caso.

- Carga Máxima aplicada

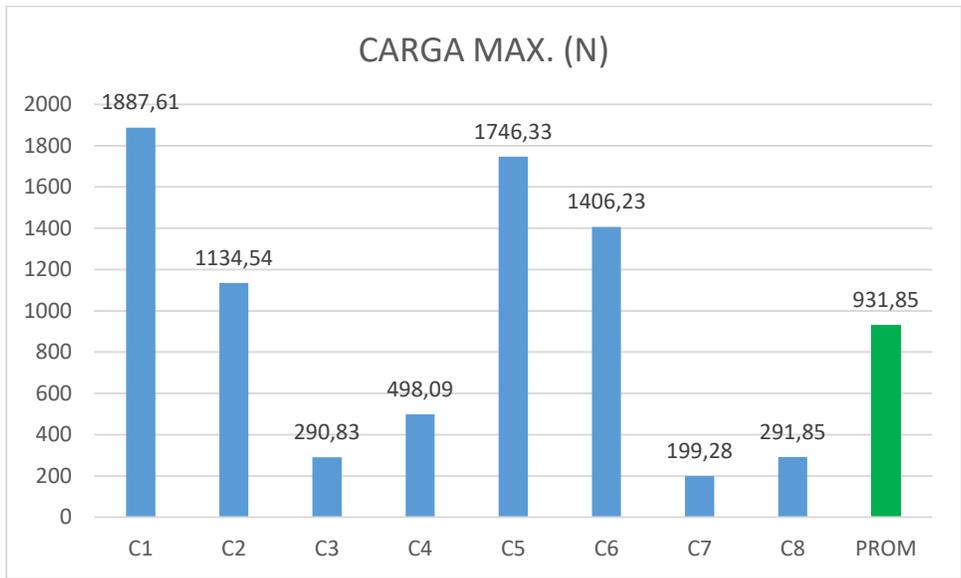


Figura 6 Diagrama de barras de Carga Máxima aplicada promedio por cada caso.

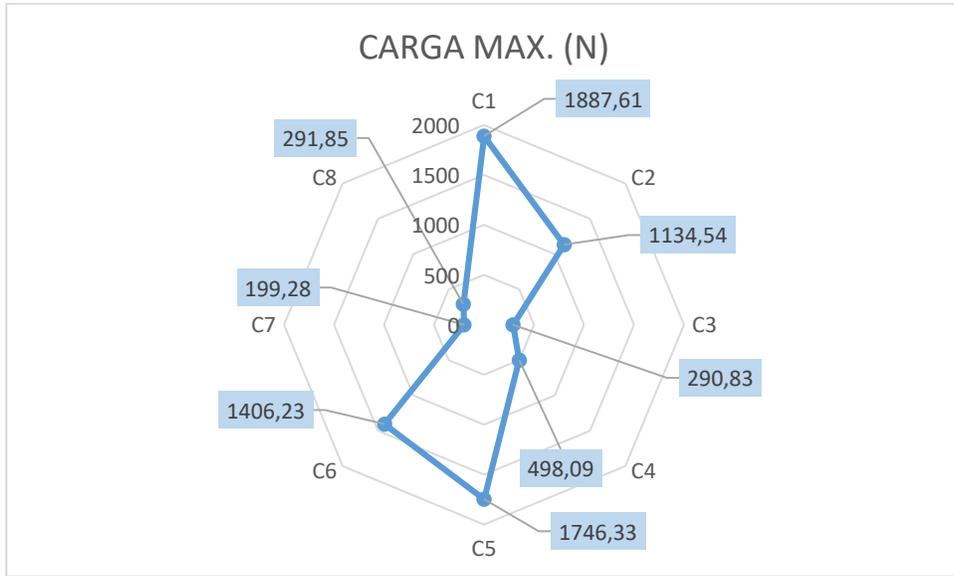


Figura 7 Diagrama telaraña comparativo de la carga máxima aplicada en cada caso.

- Esfuerzo de Fluencia

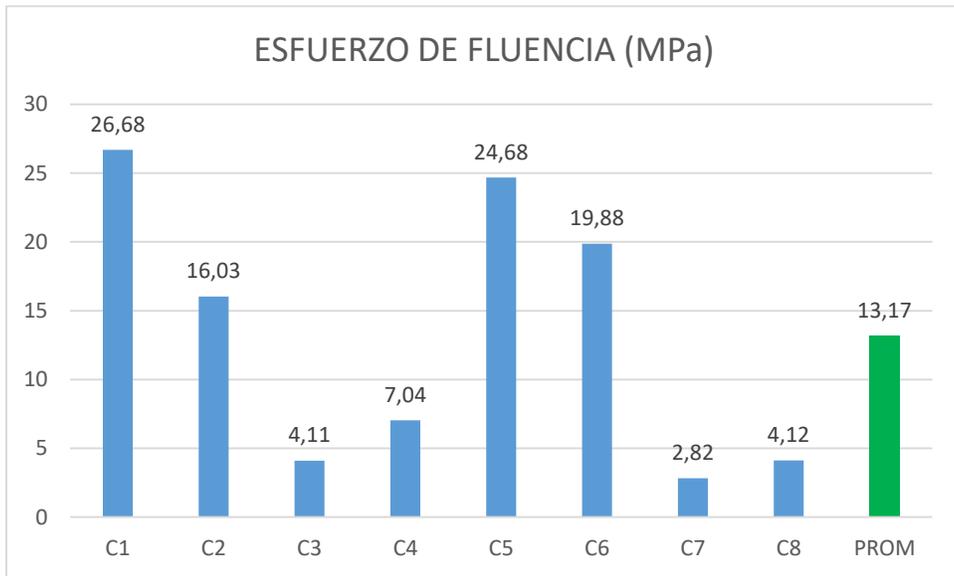


Figura 8 Diagrama de barras de variación del esfuerzo de fluencia por cada caso.

- Esfuerzo Máximo a la Tracción

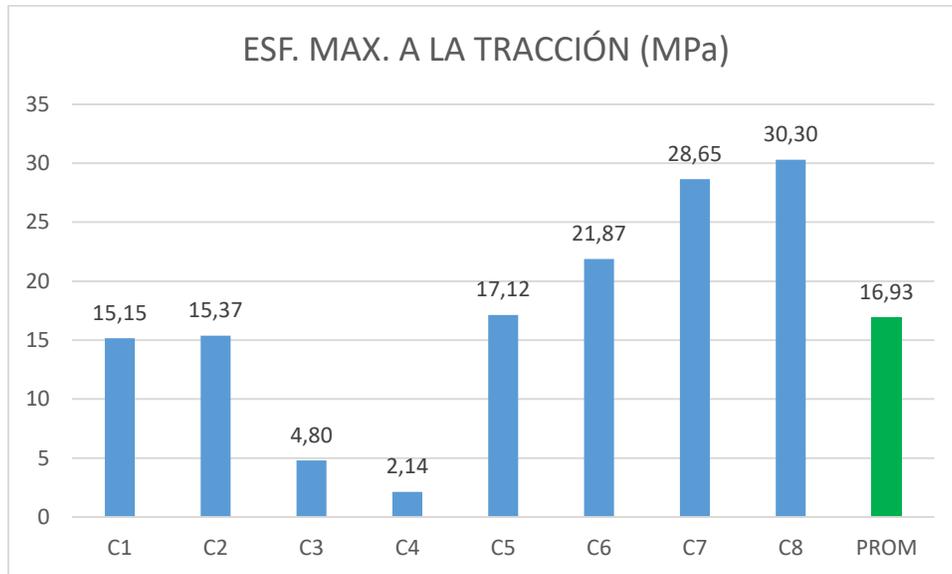


Figura 9 Diagrama de barras del esfuerzo máximo a la tracción por cada caso.

Se realizó un análisis comparativo de ambos tipos de esfuerzo y con el módulo de elasticidad, con el fin de evidenciar las cualidades adquiridas por el material compuesto tanto hasta el esfuerzo de fluencia, como hasta la resistencia máxima a la tracción.

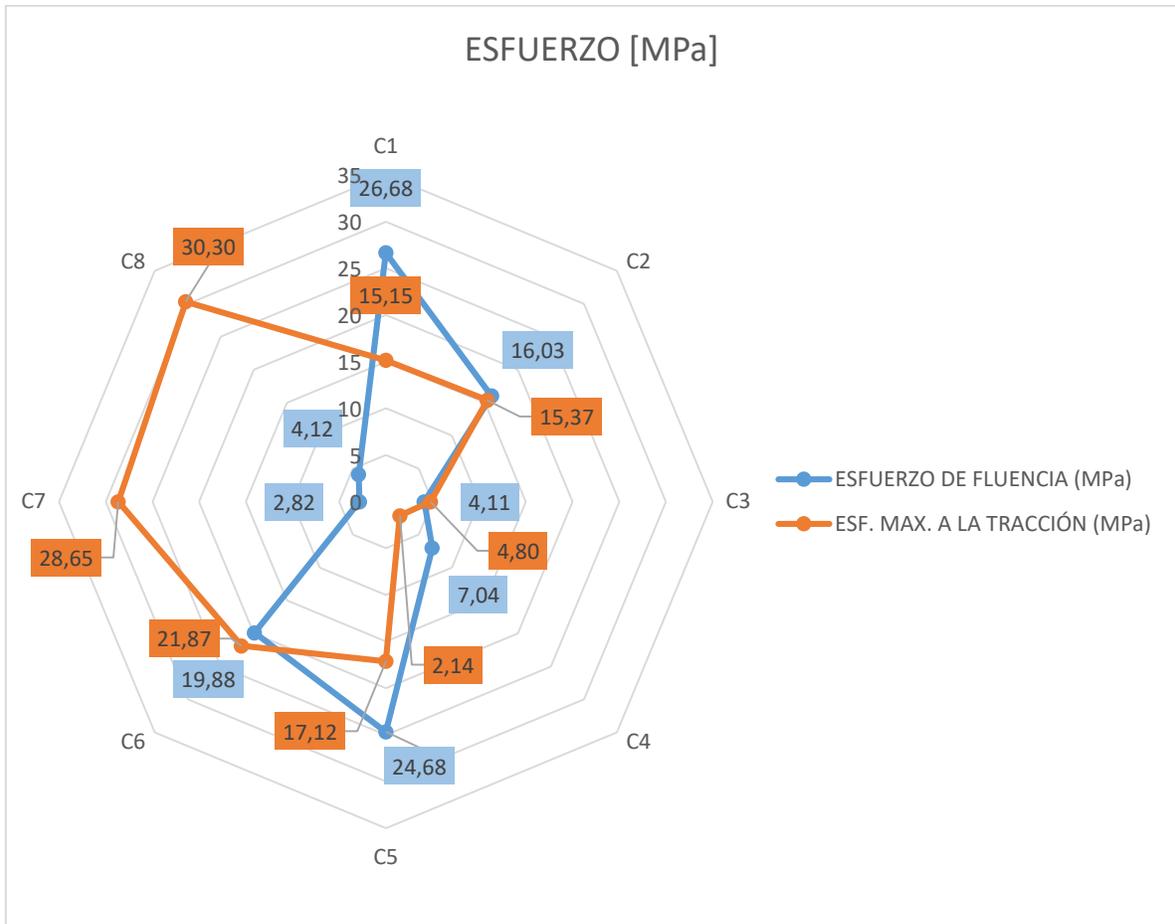
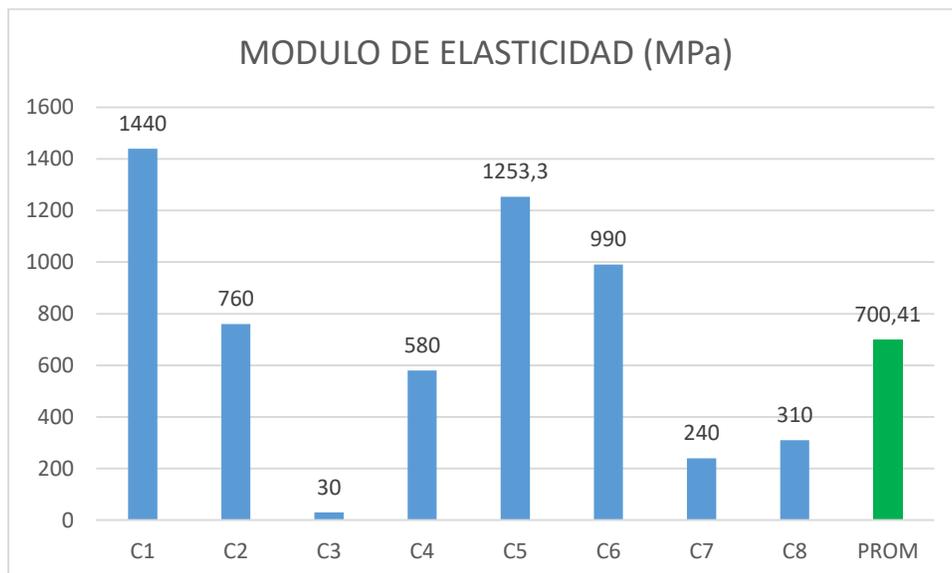


Figura 10 Diagrama telaraña comparativo del análisis de esfuerzo de fluencia y esfuerzo máximo a la tracción de cada caso.

- Módulo de elasticidad



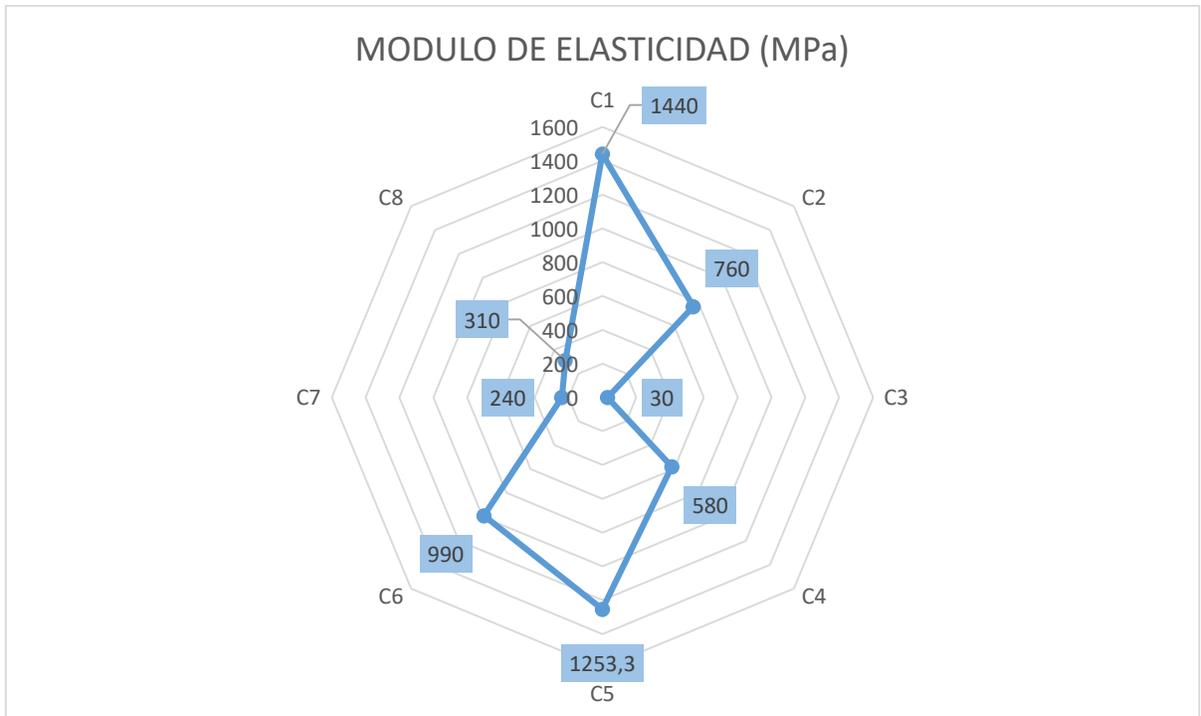


Figura 11 Diagrama telaraña comparativo del módulo de elasticidad de cada caso.

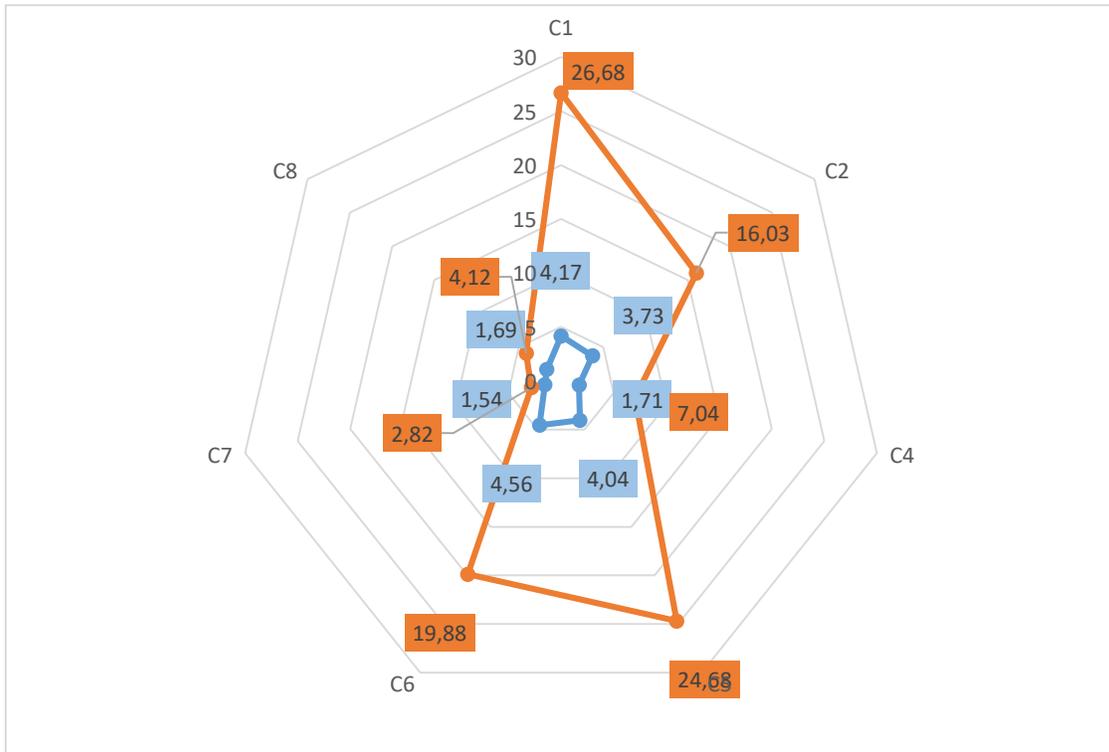


Figura 12 Diagrama telaraña comparativo del Esfuerzo Máximo a la Tracción y el Módulo de elasticidad de cada caso.

- Porcentaje de elongación

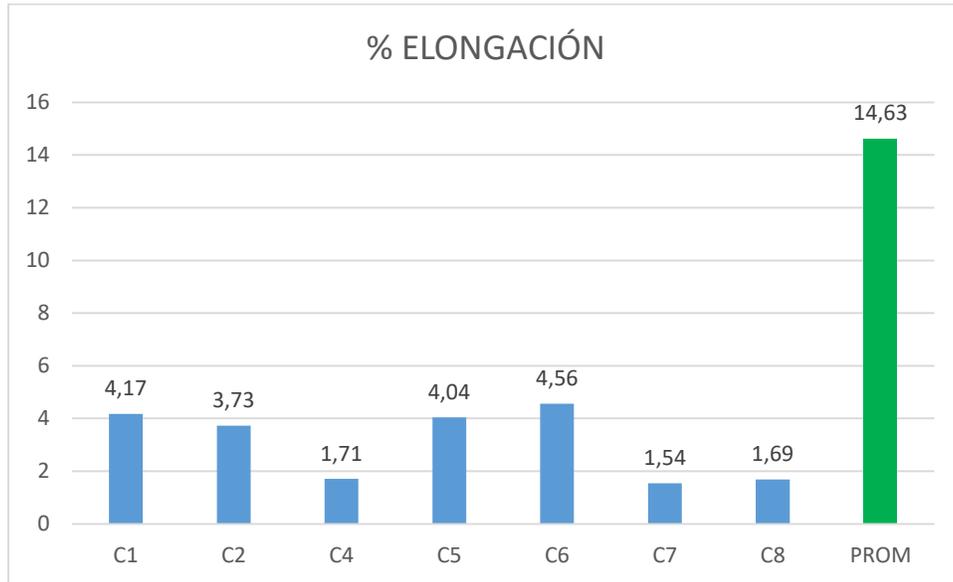


Figura 13 Diagrama de barras de variación del porcentaje de elongación promedio por cada caso.

Se debe tener en cuenta que el tercer caso, se lo considera como un caso anómalo, por lo cual no es considerado en el análisis de datos, a pesar de documentarlo.

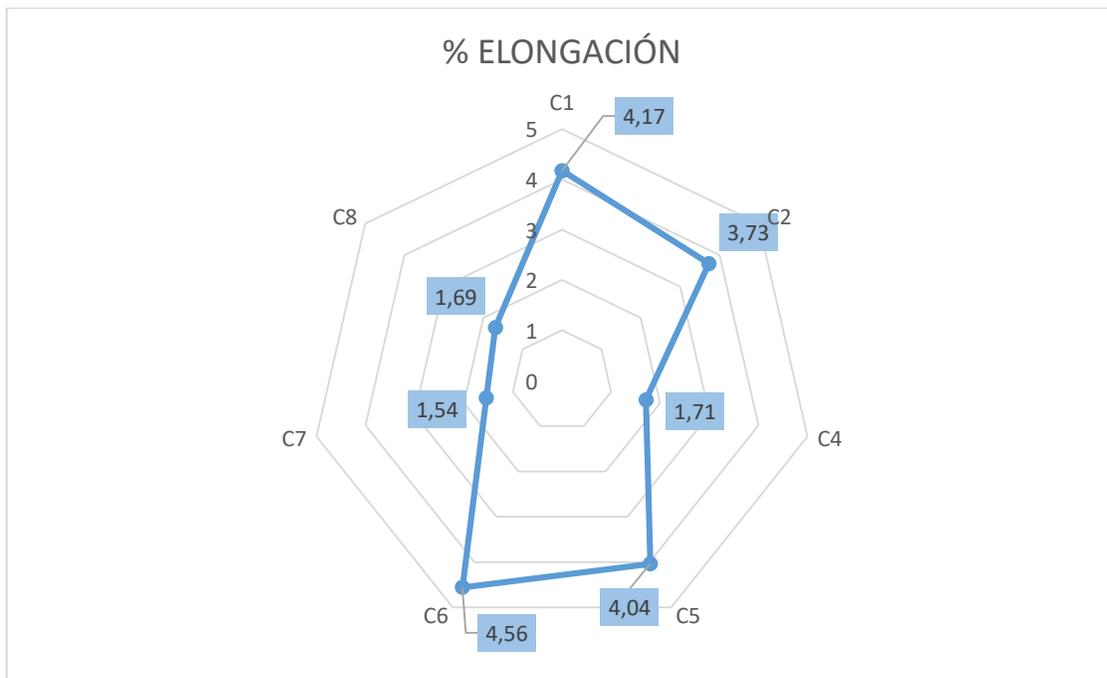


Figura 14 Diagrama telaraña comparativo del porcentaje de elongación de cada caso.

Después de considerar el análisis total tanto del tiempo de conformado del material compuesto, del peso inicial y final del conformado y la verificación de las propiedades tomadas en cuenta después de haber realizado el ensayo de tensión se extrae los siguientes datos y los casos con las mejores propiedades, así:

- Mayor tiempo de conformado:

Tabla 33 Mayor tiempo de conformado de material compuesto.

Caso	Procedimiento	Mojado Total	Salida Excedente
C6/0-45/H	Humectación	1h 12 min	50 min

- Menor tiempo de conformado:

Tabla 34 Menor tiempo de conformado de material compuesto.

Caso	Procedimiento	Mojado Total	Salida Excedente
C8/45-(-45)/H	Humectación	23 min	2 min

- Mayor peso de material compuesto:

Tabla 35 Caso de material compuesto con el mayor peso.

Caso	Peso inicial	Peso solo Fibras	Peso Probeta Final
C1/0-0/I	68.4	42.3	134.7

- Menor peso de material compuesto:

Tabla 36 Caso de material compuesto con el menor peso.

Caso	Peso inicial	Peso solo Fibras	Peso Probeta Final
C5/0-0/H	59.6	42.3	64.2

- Propiedades del material verificadas en Ensayo de Tracción:

Tabla 37 Propiedades mecánicas por proceso.

Parámetro	Valor máximo	Caso	Valor mínimo	Caso
Carga Máxima [N]	1887,61	C1/0-0/I	106,31	C3/45-45/I
Esfuerzo de Fluencia [MPa]	30,11	C5/0-0/H	1,28	C3/45-45/I
Esfuerzo Máximo a la Tracción [MPa]	37,35	C5/0-0/H	2,82	C7/45-45/H
Módulo de Elasticidad [GPa]	1,44	C1/0-0/I	0,03	C3/45-45/I
% Elongación	95,57	C3/45-45/I	1,54	C7/45-45/H

Por lo cual, se puede llegar a tomar ciertas consideraciones, en el proceso de elaboración del material compuesto de matriz epoxi reforzado con fibra natural (chambira) y sintética (vidrio), como que el procedimiento que genera un material con las mejores características en cuanto a esfuerzo de tracción se refiere, es aquel hecho bajo las consideraciones de capas de fibra natural orientadas en un mismo sentido a 0° y realizar el procedimiento, primero por humectación de las capas y posterior infusión del material mediante la bomba de vacío.

Así también, bajo el mismo criterio, el caso más desfavorable en este aspecto es aquel realizado con las capas de fibra natural, ambas orientadas a 45°, con el conformado del material con el mismo procedimiento de humectación de las capas y posterior infusión.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

El análisis del proceso de conformado de material compuesto de matriz epoxi, reforzado con fibra natural (Chambira) y sintética (Vidrio) mediante transferencia de resina por infusión al vacío refleja datos con variabilidad en cuanto a las propiedades mecánicas que adquiere, de acuerdo a los parámetros intercambiables en el proceso de producción, así podemos ejemplificar dichas propiedades, donde se puede identificar al menor valor de esfuerzo máximo a la tracción, con el caso 4, con una resistencia de 2.14 MPa y al valor mayor en el caso 8 con un valor de 30.30 MPa, como se puede verificar en la tabla 31.

Dentro de los parámetros más apropiados para el proceso de infusión, que ayuden a la obtención de probetas aptas para la elaboración de ensayos mecánicos se debe considerar que los elementos consumibles en el proceso de generación del material compuesto, tienen cierto comportamiento si son mal utilizados, por lo cual es necesario el uso debido de cada uno de dichos consumibles, ya que se presentaron inconvenientes en la generación de compuestos realizados al vacío, específicamente en el período de pruebas del sistema.

Para verificación del análisis del comportamiento del material compuesto, sometido a diferente tipo de esfuerzos, se proporcionaron datos, los cuales indican que el caso que soporta un mayor esfuerzo máximo o resistencia a la tracción, es el caso 1, con un valor de 23.29 MPa, dicho caso de conformado de material compuesto se elaboró mediante un procedimiento de infusión neta, con las capas de fibra natural orientadas en la misma dirección, a 0°.

Después del conformado del material compuesto y los posteriores ensayos a tracción de los mismos, se identificó que este tipo de material compuesto, no es un conformado con un porcentaje de elongación elevado, ya que los datos referentes a este aspecto se ven reflejados con valores significativamente bajos, con la excepción del tercer caso, elaborado mediante el procedimiento de infusión neta, con las capas de fibra natural orientadas en la misma dirección, a 45°; dicho caso se consideró como un caso anómalo de producción debido a estas características mencionadas.

Una vez terminados los distintos procesos de conformado del material compuesto de matriz epoxi reforzado con fibra natural y sintética, se determinó que el procedimiento idóneo de conformado de material, en cuanto a optimización de materia prima refiere, es el procedimiento de humectación, esto debido a que permite un uso optimizado del material matriz de material compuesto, al aplicarse mediante un esparcimiento por toda la capa. El aprovechamiento de este material, en este procedimiento es mayor frente al usado mediante el procedimiento de humectación, que presenta mayor desperdicio en el resto de capas de elementos llamados consumibles, que ayudan a la conformación del material.

4.2 Recomendaciones

El proceso de conformado, debe llevarse a cabo con precaución del uso de los elementos conformantes; tanto para evitar su desperdicio, como para proteger la integridad de la persona que los maneja. Debe recordarse que el uso de una resina sintética es de carácter tóxico y puede perjudicar a la salud, por lo que es necesario contar siempre con los EPP para el caso.

Siempre es necesario tener una guía de uso, tanto de los equipos, como de los materiales que se van a usar en el conformado del material. Existen algunos que por desconocimiento de la persona que da el tratamiento a las probetas pueden resultar perjudicados en su funcionalidad.

El orden y aseo de las distintas zonas de trabajo es importante, para llevar un control más estructurado de las implicaciones a las que nos podemos enfrentar durante todas las tareas que se deben llevar a cabo, para conseguir el conformado plano, así como un buen manejo de los desperdicios que son generados.

Dentro del proceso de producción del material compuesto de matriz epoxi, reforzado con fibra natural y sintética, debe tenerse en cuenta que las fórmulas para cantidad de resina y endurecedor deben tener un factor multiplicativo, el cual permita una mejor distribución de dicha resina, y esto es muy importante tener en cuenta; debido a que, de no considerarse, se pueden generar planchas de material con poros o con falta de distribución.

Asimismo, es importante llevar un buen manejo de los distintos sistemas de unidades que trabajaran las fórmulas y datos de los ensayos de tensión, con el fin de llevar un buen manejo dimensional de los datos entregados y otorgados por los equipos que son usados, ya que es importante poseer el conocimiento de los múltiplos y submúltiplos de unidades de medida.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] E. Botero Jaramillo, M. P. Romo Organista, B. C. Mendez Urquidez y C. M. Gonzales Blandon, «Desarrollo de un material compuesto ultraligero para construir la plataforma de una mesa vibradora,» *Revista Ingeniería Investigación y Tecnología*, vol. 14, nº 4, pp. 595-611, 2013.
- [2] T.-D. Ngo, «Introduction to Composite Materials,» de *Composite and Nanocomposite Materials*, IntechOpen, 202, p. 240.
- [3] R. B. Guerrero Villacres y F. E. Bustos Tipantasig, «Selección y construcción de un sistema vacuun bagging (envasado al vacío) para el conformado de materiales compuestos en el laboratorio de materiales de la carrera de ingeniería mecánica de la Universidad Técnica de Ambato,» Ambato, Ecuador, 2021.
- [4] P. Li y S. Huang, «Application of rapid prototyping technology in automobile manufacturing industry,» *Applied Mechanics and Materials*, vol. 533, pp. 106-110, 2014.
- [5] F. Ahmad, H. Soap Choi y M. Kyun Park, «A Review: Natural Fiber Composites Selection in View of Mechanical, Light Weight, and Economic Properties,» *Macromolecular Journals*, pp. 10-24, 2015.
- [6] J. William D. Callister, *Ciencia e ingeniería de los Materiales*.
- [7] W. F. Smith y J. Hashemi, *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales*, México, D.F.: Mcgraw-Hill, 2006.
- [8] D. R. Askeland, P. P. Fulay y W. J. Wright, *Ciencia e ingeniería de materiales*, México, D.F.: Cengage Learning, 2013.
- [9] Departamento Química Inorgánica, Cristalografía, Mineralogía, «Universidad de Málaga,» 2004/2005. [En línea]. Available: http://webdeptos.uma.es/qicm/Doc_docencia/Tema7_CM.pdf. [Último acceso: 10 Enero 2023].
- [10] M. Marín, B. Millán y F. Kahn, «Anatomy and physicochemical properties of the chambira fiber,» *Revista Peruana de Biología*, vol. 19, nº 1, pp. 3-9, 2012.
- [11] K. T. Hsiao y D. Heider, «ScienceDirect,» 2012. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780857090676500109?via%3Dihub>. [Último acceso: 19 Julio 2023].

- [12] A. Tekalur, M. Sudarshan y S. R. Bakshi, «Science Direct Home Page,» Junio 2004. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359835X04002038>. [Último acceso: 18 Julio 2023].
- [13] H. Cherif, F. Trochu y A. Choupani, «Science Direct,» Noviembre 2002. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359835X04002038>. [Último acceso: 18 Julio 2023].
- [14] A. C. Long, B. J. Thompson y P. T. Curtis, «Science Direct,» Enero 2005. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359835X05001186>. [Último acceso: 18 Julio 2023].
- [15] A. Goren y C. Atas, «Archives of Materials Science and Engineering,» 8 Diciembre 2008. [En línea]. Available: http://www.amse.acmsse.h2.pl/vol34_2/34210.pdf. [Último acceso: 18 Julio 2023].
- [16] L. Osmankovic, D. Marinkovic y A. Nedeljkovic, «ScienceDirect,» Enero 2016. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359835X05001186>. [Último acceso: 18 Julio 2023].
- [17] R. S. Pierce y B. G. Falzon, «Engineering Create a better future,» 28 Febrero 2017. [En línea]. Available: <https://www.engineering.org.cn/en/10.1016/J.ENG.2017.04.006>. [Último acceso: 18 Julio 2023].
- [18] R. J. Cano, S. Ghose, K. A. Watson, P. B. Chunchu, B. J. Jensen y J. W. Conell, «NASA STI Repository (NTRS),» 2012. [En línea]. Available: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20120009211/downloads/20120009211.pdf>. [Último acceso: 18 Julio 2023].
- [19] G. Andrew, «Universität Stuttgart,» 2011. [En línea]. Available: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20120009211/downloads/20120009211.pdf>. [Último acceso: 18 Julio 2023].
- [20] F. Lionetto, A. Moscatello, G. Totaro, M. Raffone y A. Maffezzoli, «MDPI,» Octubre 2020. [En línea]. Available: <https://www.mdpi.com/1996-1944/13/21/4800#metrics>. [Último acceso: 18 Julio 2023].
- [21] M. Aikif Yalcinkaya, E. Murat Sozer y M. Cengiz Altan, «ScienceDirect,» 19 Agosto 2017. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359835X17303184?via%3Dihub>. [Último acceso: 18 Julio 2023].
- [22] C. Xia, H. Ren, S. Q. Shi, H. Zhang, J. Cheng, L. Cai, K. Chen y H.-S. Tan, «ScienceDirect,» 2 Diciembre 2015. [En línea]. Available:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169433215029098?via%3Dihub>.
[Último acceso: 18 Julio 2023].

- [23] F. Nik Wan, A. Abukalar, M. J. Suriani, A. M. Saat, A. Fitriadhy, W. B. Wan Nik, M. S. Abdul Majid y Z. Z. Mukhtar, «ScienceDirect,» 14 Febrero 2023. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S135063072300081X>. [Último acceso: 18 Julio 2023].
- [24] 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*, Ambato, 2021.
- [25] American Society for Testing and Materials, Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials D3039, 2014.

ANEXOS

Anexo 1: Ficha técnica de Resina Aeropoxy, otorgada por el fabricante



PR2032
Laminating Resin
For Composite Parts

NEW HARDENER

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	Li. Amber	Amber	Amber	Li. Amber	Amber	Visual
Viscosity, @77°F, centipoise	1,850 cps	150-175 cps	190-200 cps	35 cps	200-250 cps	D2382
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.

TYPICAL MECHANICAL PROPERTIES



	PR2032 PH3630	PR2032 with PH3660				PR2032 PH3663	PR2032 PH3665	ASTM Method
		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.	PTMSW
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	825-875 cps	D2383
Cast Hardness, Shore D	88 Shore D	88 Shore D				87 Shore D	87 Shore D	D2240
Specific Gravity, grams, cc	1.18	1.11				1.188	1.12	D1473
Density, lb./cu. inch	.6470	.6401				.6461	.6410	D792
Specific Volume, cc. in./lb.	23.8	25.0				24.96	24.4	D792
Tensile Strength, psi ⁽¹⁾	45,350 psi	9820 psi	45,170 psi	75,840 psi	45,400 psi	40,010 psi	45,870 psi	D638
Elongation at Break, % ⁽¹⁾	1.91 %	1.99 %	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	2,570,000 psi	D638
Flexural Strength, psi ⁽¹⁾	88,187 psi	18,827 psi	62,285 psi	98,541 psi	24,524 psi	63,461 psi	88,667 psi	D790
Flexural Modulus, psi ⁽¹⁾	2,770,000 psi	462,810 psi	2,560,000 psi	6,488,000 psi	2,500,000 psi	2,620,760 psi	3,050,000 psi	D790
Glass Transition Temp., Tg	194-F	194-F				194-F	194-F	TMA
Thermal Coef. of Expansion Range:	3.7 x 10 ⁻⁴ in./in./°F	4.3 x 10 ⁻⁴ in./in./°F				4.14 x 10 ⁻⁴ in./in./°F	4.15 x 10 ⁻⁴ in./in./°F	D696

⁽¹⁾ Fiberglass Properties Derived with a 10 Ply Laminata, Hand Lay-up, Style 101 Glass Fabric, 53% Glass Content;
Graphite Properties with a 10 Ply Laminata of 3.8 oz. 2K Fabric; and Kevlar Properties with a 10 Ply Laminata of 3 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	.88 lb.	2 lb.	13 lb.	135 lb.
PH3663	.8 lb.	1.9 lb.	12 lb.	126 lb.
Kit	2.9 lb.	2.85 lb.	9.5 lb.	9.4 lb.
	61 lb.	60 lb.	635 lb.	626 lb.

SAFETY and HANDLING

PTM&W AERPOXY 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 AERPOXY 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.

AERPOXY PR2032 v-4 Hardeners Bulletin / 200-08 / 062008-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

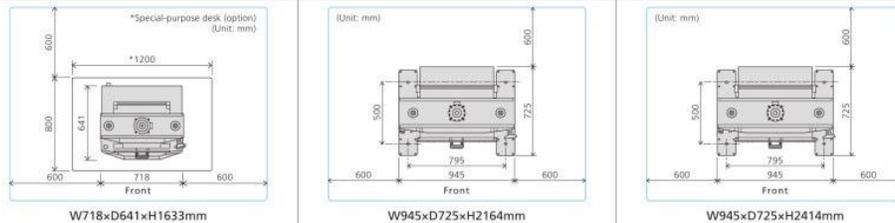
Visit Us At: www.aerpoxy.com Send Questions To: info@aerpoxy.com

Anexo 2: FICHA TÉCNICA Máquina Universal de ensayos Shimadzu AGS-X SERIES 50 kN



Table Top Type		Floor Type	
AGS-50kNXD		AGS-100kNX	AGS-300kNX
50kN		100kN	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. *1			
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. *1			
Automatic test force calibration: select tensile, compression, or tensile and compression			
0.001 to 800 mm/min (stepless)		0.001 to 500 mm/min (stepless)	
1100mm/min		550mm/min	
$\pm 0.1\%$			
To load cell capacity across entire speed range		0.001~200kN: 0.001~500mm/min(entire speed range) 200kN~300kN: 0.001~400mm/min	
1210mm (745mm, MWG)	1255mm (745mm, MWG)	1475mm (635mm, MWG)	
425mm	600mm		
Optical encoder			
Digital display (display resolution: 0.001 mm)			
$\pm 0.1\%$ indicated value or ± 0.01 mm, whichever is larger			
1000Hz max. **			
40 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 channels) • External analog input (2 channels) ** • External digital input (2 channels) ** • Analog recorder (option) output • Dataletty (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



	400V model		200V model	
Single phase AC200-230V 50/60Hz 4.0kVA	Three phases AC380-440V 50/60Hz 4.5kVA	A three phase AC200-230V 50/60Hz 6.5kVA	Three phases AC380-440V 50/60Hz 5.5kVA	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.	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.				

**5 Dataletty (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.
* Windows7/ Windows Vista/ Windows XP is a registered trademark in the United States and other countries of Microsoft Corporation.

Anexo 3: Ficha técnica de Cámara Termográfica Series EX de FLIR

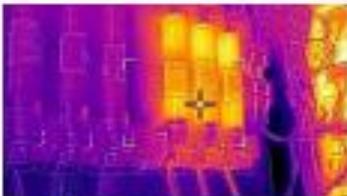


CÁMARAS DE INFRARROJOS CON MSX® Y WIFI

Serie Ex de FLIR

Las cámaras de infrarrojos E4, E5-XT, E8-XT y E8-XT de FLIR son potentes y rentables herramientas para la solución de problemas cuyo uso resulta muy sencillo en aplicaciones mecánicas, eléctricas y de construcción. Con cuatro opciones de resolución (hasta 320 x 240 píxeles de infrarrojo) y capacidad para medir de forma precisa temperaturas de -20 °C a 550 °C (de -4 °F a 1022 °F) (modelos E8-XT y E8-XT), la serie Ex de FLIR ofrece modelos que encajan perfectamente con el tamaño de sus objetivos, su distancia operativa, sus necesidades en cuanto a detalle visual y su presupuesto. Todos los modelos incluyen la tecnología MSX®, que proporciona un detalle termográfico extraordinario. La conectividad wifi con smartphones y tabletas a través de la aplicación móvil FLIR Tools® hace que resulte más fácil compartir y enviar imágenes desde cualquier ubicación, lo que le permitirá tomar más rápidamente decisiones fundamentales. Con las cámaras de la serie Ex gana en competitividad, pues le permiten ofrecer a sus clientes imágenes térmicas en las que poder ver claramente el origen de los problemas eléctricos, mecánicos o relacionados con la construcción.

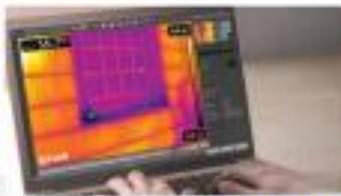
www.flir.com/Ex-Series



FÁCIL DE USAR

La interfaz gráfica intuitiva simplifica las mediciones en modo térmico y MSX.

- Totalmente automática y de enfoque fijo.
- Medición precisa del objetivo haciendo uso de un punto central o un cuadro de área más /mín.
- Navegación sencilla con ajustes en pantalla, modo de atención de imágenes y herramientas de medición con controles y botones sencillos.
- MSX para obtener mejores imágenes de infrarrojos con detalles visuales y una mejor perspectiva e interpretación de la realidad.



COMPARTA CÓMODAMENTE IMÁGENES Y CONCLUSIONES

Descargue imágenes, cree informes y comparta al instante lo que ha encontrado.

- Registro de imágenes .JPEG estándar con datos de temperatura integrados para facilitar su uso compartido con los clientes.
- Conectividad wifi mediante la aplicación FLIR Tools Móvil.
- Rápida transferencia de imágenes por wifi o USB con flujo de documentación.
- Creación de informes y análisis y edición de imágenes mediante FLIR Tools.



DISPOSITIVO COMPACTO Y RESISTENTE

Constrúyala para hacer un uso seguro y eficiente de ella en condiciones difíciles.

- Ligera y equilibrada, con un peso de solo 0.575 kg (1.2 lb).
- Resistente a caídas desde 2 metros de altura.
- Impermeable y resistente al polvo conforme a IP54.
- Garantía de 2 años para la cámara y de 10 años para el detector.

ESPECIFICACIONES

Datos ópticos y de imagen	E4	E5-XT	E6-XT	E8-XT
Resolución de IR	80 × 60 (4800 píxeles)	160 × 120 (19 200 píxeles)	240 × 180 (43 200 píxeles)	320 × 240 (76 800 píxeles)
Sensibilidad térmica/NETD	<0,15 °C (0,27 °F)/<150 mK	<0,10 °C (0,27 °F)/<100 mK	<0,06 °C (0,11 °F)/<60 mK	<0,05 °C (0,09 °F)/<50 mK
Resolución espacial (IFOV)	10,3 mrad	5,2 mrad	3,4 mrad	2,6 mrad
Campo de visión (FOV)	45° × 34°			
Número F	1,5			
Frecuencia de imagen	9 Hz			
Enfoque	Sin enfoque			
Datos del detector				
Tipo de detector	Matriz de plano focal (FPA), microbolómetro no refrigerado			
Rango espectral	7,5-13 μm			
Modos y presentación de imagen				
Pantalla	LCD de 3" en color de 320 x 240			
Ajuste de imagen	Bloqueo de imagen/ajuste automático			
Modos de imagen	MSX térmica, térmica, imagen en imagen, combinación térmica, cámara digital			
Paletas de colores	Hierro, arcoíris, blanco y negro			
Medición y análisis				
Rango de temperatura del objeto	De -20 °C a 250 °C (de -4 °F a 482 °F)	De -20 °C a 400 °C (de -4 °F a 752 °F) en dos rangos	De -20 °C a 550 °C (de -4 °F a 1022 °F) en dos rangos	De -20 °C a 550 °C (de -4 °F a 1022 °F) en dos rangos
Precisión	±2 °C (±3,6 °F) o ±2 % de lectura, para temperatura ambiente de 10 °C a 35 °C (de 50 °F a 95 °F) y temperatura del objeto superior a 0 °C (32 °F)			
Medidor puntual	Punto central			
Área	Cuadro con máx./mín.			
Cálculo isotérmico	Alarma para valores por encima o por debajo			
Comunicación de datos e interfaces				
Interfaces	Micro USB: transferencia de datos desde y hacia PC y Mac			
Wifi	Par a par o infraestructura			
Formato de archivo	JPEG estándar, datos de medición de 14 bits incluidos			
General				
Rango de temperatura de funcionamiento	De -15 °C a 50 °C (de 5 °F a 122 °F)			
Batería	Batería recargable de iones de litio de 3,6 V			
Duración de la batería	Aprox. 4 horas a 25 °C (77 °F) de temperatura ambiente y uso típico			
Duración de carga de la batería	2,5 horas al 90% de capacidad en la cámara. 2 horas en el cargador			
Caída	2 m (6,6 pies)			
Peso de la cámara (batería incluida)	0,575 kg (1,27 lb)			
Tamaño de la cámara (L. × An. × Al.)	244 × 95 × 140 mm (9,6 × 3,7 × 5,5")			
Contenido de la caja	Cámara de infrarrojos, maletín de transporte rígido, batería, cable USB, fuente de alimentación/cargador con conectores para la UE, Reino Unido, EE. UU. y Australia, documentación impresa			

Las especificaciones están sujetas a cambios sin previo aviso. Para consultar las especificaciones más recientes, visite www.flir.com.

Anexo 4: Standard Test Method for Tensile properties of Polymer Matrix Composite Materials. ANEXO 1 (ASTM D3039)



Designation: D 3039/D 3039M – 00^{a1}

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 approval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or approval.

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

^{a1} Note—Eq 3 was revised editorially in December 2002.

1. Scope

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

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

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

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

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

Properties and Equilibrium Conditioning of Polymer Matrix Composite Materials⁴

- E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines⁵
- E 6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing⁵
- E 83 Practice for Verification and Classification of Extensometers⁵
- E 111 Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus⁵
- E 122 Practice for Choice of Sample Size to Estimate a Measure of Quality for a Lot or Process⁶
- E 132 Test Method for Poisson's Ratio at Room Temperature⁵
- E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods⁶
- E 251 Test Methods for Performance Characteristics of Metallic Bonded Resistance Strain Gages⁵
- E 456 Terminology Relating to Quality and Statistics⁶
- E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method⁶
- E 1012 Practice for Verification of Specimen Alignment Under Tensile Loading⁵
- E 1237 Guide for Installing Bonded Resistance Strain Gages⁵

3. Terminology

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

3.2 *Definitions of Terms Specific to This Standard:*

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

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

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

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.01.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.02.

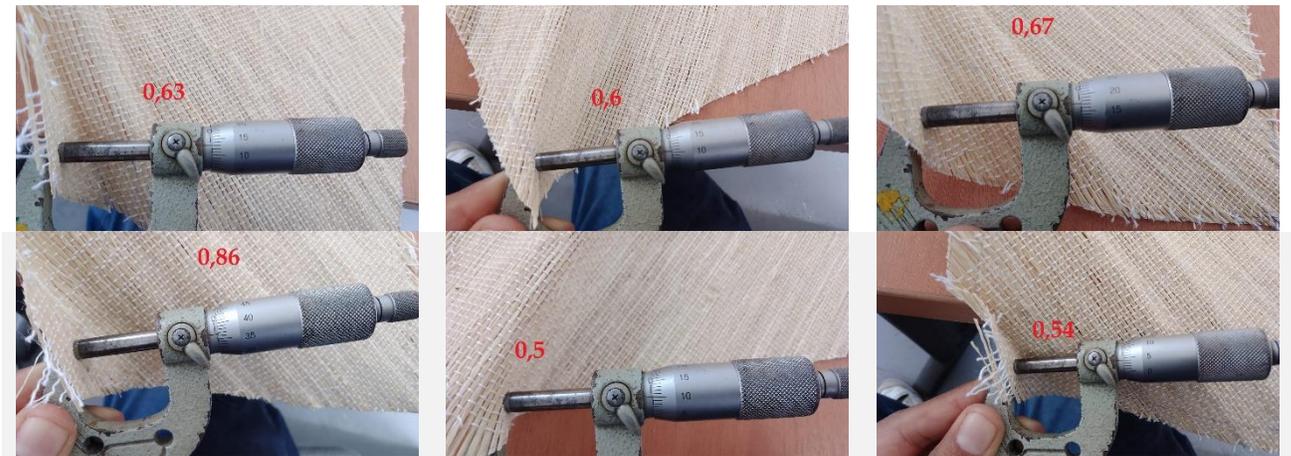
⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol 15.03.

⁵ Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01.

⁶ Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

Anexo 5: FOTOGRAFÍAS

- Toma de datos – Espesores



- Fibra cruda adquirida para pruebas de tejido

