



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE DISEÑO Y ARQUITECTURA**  
**CARRERA DE DISEÑO INDUSTRIAL**

Proyecto de Investigación previo a la obtención del  
Título de Diseñador Industrial

**“EXPLORACIÓN DE TÉCNICAS DE RECICLAJE CON  
REMANENTES DE RESINA PLÁSTICA REFORZADA CON FIBRA  
DE VIDRIO ORIENTADAS AL DISEÑO DE OBJETOS”**

Autor: Carlos Ramiro Pacha Pilco  
Tutor: Ing. Mayra Alejandra Paucar Samaniego, M. Eng.

Ambato – Ecuador  
Septiembre, 2023

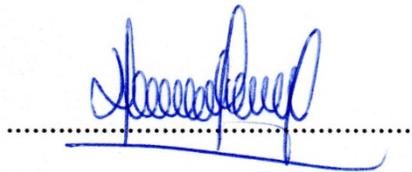
## CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Proyecto Integrador sobre el tema:

“Exploración de técnicas de reciclaje con remanentes de resina plástica reforzada con fibra de vidrio orientadas al diseño de objetos” del alumno Pacha Pico Carlos Ramiro, estudiante de la carrera de Diseño Industrial, considero que dicho proyecto reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la evaluación del jurado examinador designado por el H. Consejo Directivo de la Facultad.

Ambato, septiembre de 2023

LA TUTORA



Ing. Mayra Alejandra Paucar Samaniego, M. Eng.

## AUTORÍA DEL TRABAJO

Los criterios emitidos en el Proyecto Integrador “Exploración de técnicas de reciclaje con remanentes de resina plástica reforzada con fibra de vidrio orientadas al diseño de objetos”, como también los contenidos, ideas, análisis, conclusiones y propuesta son de exclusiva responsabilidad de mi persona, como autor de este trabajo de grado.

Ambato, septiembre de 2023

EL AUTOR



Carlos Ramiro Pacha Pilco

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Proyecto de Investigación o parte de él un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos patrimoniales de mi Proyecto de Investigación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de esta tesis, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autora

Ambato, septiembre de 2023

EL AUTOR



Carlos Ramiro Pacha Pilco

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Los miembros del Tribunal Examinador aprueban el Proyecto I, sobre el tema “Exploración de técnicas de reciclaje con remanentes de resina plástica reforzada con fibra de vidrio orientadas al diseño de objetos” de Carlos Ramiro Pacha Pilco, estudiante de la carrera de Diseño Industrial, de conformidad con el Reglamento de Graduación para obtener el título terminal de Tercer Nivel de la Universidad Técnica de Ambato

Ambato, septiembre de 2023

Para constancia firman

---

**PRESIDENTE**

---

**MIEMBRO CALIFICADOR**

---

**MIEMBRO CALIFICADOR**

## **DEDICATORIA**

Para aquellos que creen en el poder del conocimiento y la perseverancia. A mi familia, amigos y mentores, por su constante apoyo y guía en este emocionante viaje académico. A todos los que sueñan en grande y se esfuerzan por alcanzar sus metas, esta tesis está dedicada a ustedes.

Carlos Ramiro Pacha Pilco

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que contribuyeron de manera significativa en la realización de este proyecto de tesis y en mi desarrollo como diseñador industrial. En primer lugar, a mi titora y revisores, por su orientación experta y su paciencia durante todo el proceso. Sus conocimientos y retroalimentación fueron fundamentales para dar forma a mis ideas y enfoque.

Agradezco a los participantes de mi investigación, cuya colaboración proporcionó información valiosa para este estudio. Sus opiniones y aportes fueron esenciales para comprender mejor el campo tratado.

Finalmente, dedico este logro a mi madre y hermanos, cuyo amor y apoyo incondicional han sido mi mayor motivación a lo largo de mi educación. Sus sacrificios y valores son los cimientos de mi éxito.

Cada uno de ustedes ha dejado una huella imborrable en este proyecto y en mi camino como diseñador industrial. Muchas gracias por ser parte de este viaje.

Carlos Ramiro Pacha Pilco

## ÍNDICE DE GENERAL

<b>PORTADA.....</b>	<b>I</b>
<b>CERTIFICACIÓN DEL TUTOR .....</b>	<b>II</b>
<b>AUTORÍA DEL TRABAJO.....</b>	<b>III</b>
<b>DERECHOS DE AUTOR .....</b>	<b>IV</b>
<b>APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....</b>	<b>V</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>VI</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE DE GENERAL.....</b>	<b>VIII</b>
<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....</b>	<b>IX</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>X</b>
<b>RESUMEN EJECUTIVO .....</b>	<b>XI</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>XII</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>11</b>
<b>ANTECEDENTES GENERALES .....</b>	<b>11</b>
1.1.    Introducción .....	11
1.2.    Justificación.....	12
1.3.    Objetivos .....	15
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>16</b>
<b>MARCO REFERENCIAL .....</b>	<b>16</b>
2.1.    Estado del arte.....	16
2.2.    Marco teórico .....	24
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>53</b>
<b>MARCO METODOLÓGICO.....</b>	<b>53</b>
3.1.    Ubicación .....	53
3.2.    Tipo de investigación .....	54
3.3.    Enfoque del trabajo .....	54
3.4.    Pregunta científica.....	55
3.5.    Variables e indicadores .....	55
3.6.    Población y muestra .....	57
3.7.    Recolección de información.....	58
3.8.    Análisis y conclusión de los resultados.....	70
3.9.    Conclusiones .....	102
3.10.    Recomendaciones.....	103
3.11.    Verificación.....	104

<b>CAPITULO IV .....</b>	<b>105</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>105</b>
4.1. Conclusiones .....	105
4.2. Recomendaciones.....	106
<b>Bibliografía. ....</b>	<b>107</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>110</b>

### ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Árbol de Problemas.....	14
Ilustración 2. Ejemplo de perfil cultural mediante OCAI.....	17
Ilustración 3. Consorcio FiberEUUse (a); casos de uso de FiberEUUse (b).....	18
Ilustración 4. Métodos de reciclaje adoptados.....	20
Ilustración 5. PRFV reciclado en el lecho fluidizado tras la reducción de tamaño (a) GF-EP preparado en la propia empresa y (b) pala de aerogenerador al final de su vida útil.	22
Ilustración 6. Probeta código E.....	23
Ilustración 7. Evolución de los materiales compuestos de fibra de vidrio.....	26
Ilustración 8. Composición general de un material compuesto.....	27
Ilustración 9. Clasificación de materiales compuestos según su tipo de matriz.....	28
Ilustración 10. Esquema de enlace covalente.....	30
Ilustración 11. Fibrado de vidrio por fusión directa.....	31
Ilustración 12. Clasificación de matrices.....	39
Ilustración 13. Definición de ejes.....	42
Ilustración 14. Probeta de ensayo a tracción con lengüetas en los extremos.....	46
Ilustración 15. Mapa de Georreferenciación de la Empresa MASTERFIBRA.....	53
Ilustración 16. Categorías fundamentales.....	56
Ilustración 17. Costos del material utilizado.....	61
Ilustración 18. Áreas de fabricación.....	65
Ilustración 19. Proceso de fabricación.....	69
Ilustración 20. Métodos de reciclaje de PRFV.....	71
Ilustración 21. Proceso de reciclaje de los remanentes de PRFV.....	74
Ilustración 22. Ciclo de la materia en el proceso de trituración húmeda.....	75
Ilustración 23. Proceso para tratar el agua residual de la trituración por medio de evaporación solar.....	76
Ilustración 24. Material compuesto y remanentes de PRFV.....	77
Ilustración 25. Generación del compuesto polimérico.....	79
Ilustración 26. Muestras del compuesto polimérico.....	80
Ilustración 27. Plano de la plancha elaborada con las distintas muestras.....	81
Ilustración 28. SHIMADZU AGS-X 50 KN.....	84
Ilustración 29. Dimensiones antropométricas de población latinoamericana.....	97
Ilustración 30. Bocetos.....	98

Ilustración 31. Construcción del modelo tridimensional. ....	98
Ilustración 32. Consideraciones de la propuesta. ....	99
Ilustración 33. Rénder de la propuesta. ....	100
Ilustración 34. Cotas de la propuesta. ....	101

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Mecanismos de unión fibra – matriz. ....	33
<b>Tabla 2.</b> Clasificación de las resinas termoestables en función de la temperatura de utilización. ....	40
<b>Tabla 3.</b> Normativas para el ensayo de tracción. ....	44
<b>Tabla 4.</b> Normativas para el ensayo de flexión. ....	47
<b>Tabla 5.</b> Normativas para el ensayo de compresión. ....	48
<b>Tabla 6.</b> Normativas para el ensayo de compresión. ....	49
<b>Tabla 7.</b> Normativas para el ensayo de paneles de sándwich. ....	50
<b>Tabla 8.</b> Normativas de especificaciones para ensayo de paneles de sándwich. ....	50
<b>Tabla 9.</b> Datos geográficos de la empresa MASTERFIBRA. ....	53
<b>Tabla 10.</b> Tabla de indicadores. ....	56
<b>Tabla 11.</b> Costos Involucrados. ....	74
<b>Tabla 12.</b> Precio de los materiales constituyentes. ....	80
<b>Tabla 13.</b> Muestra número (Lámina multidireccional)1, precio basado en la cantidad de material utilizado. ....	81
<b>Tabla 14.</b> Muestra número 2 (Lámina multidireccional), precio basado en la cantidad de material utilizado. ....	81
<b>Tabla 15.</b> Muestra número 3 (Estructura sándwich), precio basado en la cantidad de material utilizado. ....	82
<b>Tabla 16.</b> Ensayos que se pueden realizar en el laboratorio de Resistencia de Materiales de la Universidad técnica de Ambato. ....	83
<b>Tabla 17.</b> Dimensiones de las probetas para cada uno de los ensayos. ....	85
<b>Tabla 18.</b> Tabla comparativa de materiales. ....	93
<b>Tabla 19.</b> Dimensiones antropométricas de población latinoamericana. ....	97

## RESUMEN EJECUTIVO

El proyecto presenta la exploración de técnicas y viabilidad de reciclaje de remanentes de resina plástica reforzada con fibra de vidrio (PRFV) para el diseño de nuevos objetos. La provincia de Tungurahua aporta aproximadamente con el 70% de la producción total de la industria Metalmeccánica nacional, generando residuos de fibra de vidrio, considerados contaminantes por su composición, en el proceso de fabricación de carrocerías, cuyo destino final son los rellenos sanitarios.

Para el desarrollo de esta investigación se ha tomado como caso de estudio la empresa MASTERFIBRA, que genera aproximadamente 260 kg/mes de PRFV en sus procesos de fabricación. Mediante el uso de metodología cuantitativa se obtuvo un material compuesto de matriz polimérica caracterizado y sometido a pruebas mecánicas para evaluar la compresión, flexión y tracción mediante ensayos ASTM D785, ASTM D675 y ASTM D638. Finalmente, mediante la aplicación de metodologías de diseño se ha generado un mobiliario competitivo en el mercado, demostrando que se puede incorporar procesos circulares a los existentes, dando un valor agregado a uno de los residuos del clúster Metalmeccánico par que se pueda incorporar dentro de las empresas procesos de innovación para la generación de nuevos productos a partir de estos residuos.

**Palabras clave:** Reciclaje, Remanentes de PRFV, Diseño industrial, Material compuesto, Fabricación de objetos

## **ABSTRACT**

The project presents the exploration of techniques and feasibility of recycling fiberglass reinforced plastic resin (FRP) remnants for the design of new objects. The province of Tungurahua contributes approximately 70% of the total production of the national metal-mechanic industry, generating fiberglass waste, considered pollutants due to its composition, in the car body manufacturing process, whose final destination is landfills.

For the development of this research, the company MASTERFIBRA, which generates approximately 260 kg/month of PRFV in its manufacturing processes, has been taken as a case study. Through the use of quantitative methodology, a polymeric matrix composite material was characterized and subjected to mechanical tests to evaluate compression, bending and tensile strength by means of ASTM D785, ASTM D675 and ASTM D638 tests. Finally, through the application of design methodologies, a competitive furniture has been generated in the market, demonstrating that circular processes can be incorporated to the existing ones, giving an added value to one of the wastes of the Metal mechanical cluster so that innovation processes can be incorporated within the companies for the generation of new products from these wastes.

**Keywords:** Recycling, GRP remnants, Industrial design, Composite material, Object manufacturing.

# CAPÍTULO I

## ANTECEDENTES GENERALES

### 1.1. Introducción

En el mundo el consumidor no compra productos si no funciones, esencialmente una persona en la mayoría de los casos prioriza la función en lugar de la forma. Sin embargo, en la actualidad se desechan los productos con mayor frecuencia, debido a que un gran número de personas vive dentro de un amplio círculo vicioso conocido como economía lineal, en el cual a diario se extrae materia prima, se produce y desechan productos, en varias ocasiones consumiendo así una gran cantidad de recursos finitos.

Ante esta situación, muchos países han implementado normas y estatutos para controlar empresas estancadas en generar beneficios mediante la implementación del diseño como una actividad lineal, dado que esta disciplina va más allá, a partir de una serie de condiciones y especificaciones materializadas en una idea. “El diseño no es solo adorno, es un proceso de creación visual con un propósito” (Wong 2014, p. 43), a diferencia de la pintura y de la escultura, el diseño cubre exigencias prácticas.

La Resina Plástica Reforzada con Fibra de Vidrio (PRFV), es un material ampliamente utilizado en la industria y la construcción debido a su alta resistencia y bajo peso relativo. Sin embargo, una vez que los productos fabricados con dicho material llegan al final de su vida útil, su disposición se convierte en un desafío significativo debido a la dificultad de separar la resina de la fibra de vidrio, o la falta de técnicas efectivas de reciclaje. Este problema resulta en una acumulación de residuos y una extracción de los recursos naturales, lo que supone una ruptura del equilibrio ambiental. En este contexto, la exploración de técnicas de reciclaje para materiales como las PRFV se presenta como una oportunidad para prolongar la vida útil y reducir el impacto ambiental de su producción y disposición final.

## **1.2. Justificación**

El interés de investigar el diseño de objetos a partir de remanentes de PRFV radica en ayudar a cambiar la percepción de los residuos producidos por las empresas dentro del cantón Ambato. Una empresa promedio dedicada a la fabricación de carrocería en fibra de vidrio genera en promedio 260 kg/mes (MASTERFIBRA, 2023), los mismos que terminan en vertederos o rellenos sanitarios, y llegan a convertirse en residuos peligrosos que pueden contaminar el suelo y el agua, si se desechan de manera incorrecta, puesto que no son biodegradables, por lo tanto, es importante desecharlas de manera responsable y buscar alternativas de reciclaje y reutilización (Karuppanan & Kärki, 2020, p. 01-05).

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas (ONU 2015) el mundo pretende lograr “la gestión ecológicamente racional de los productos químicos y de todos los desechos” a lo largo de su ciclo de vida, y de igual forma, el consumo y la producción sostenible buscan “un uso eficiente de los recursos y una mejor calidad de vida para todos a través de prácticas sostenibles en la producción y el consumo” (Naciones Unidas, 2018, p.55), para ello necesita la participación de distintos actores para lograr un enfoque sistémico y cooperación en toda la cadena de suministro.

Los materiales elaborados a partir de resinas y fibras se utilizan en componentes estructurales de objetos, evitando la emisión de una gran cantidad de CO<sub>2</sub> debido a sus características, pero “según estimaciones, en la actualidad se utilizan cada año unas 110.000 toneladas de fibra de carbono y 4.500.000 toneladas de fibra de vidrio” (Interempresasmedia, 2022, p.44) de las cuales un 40% del material es desperdiciado y termina en vertederos.

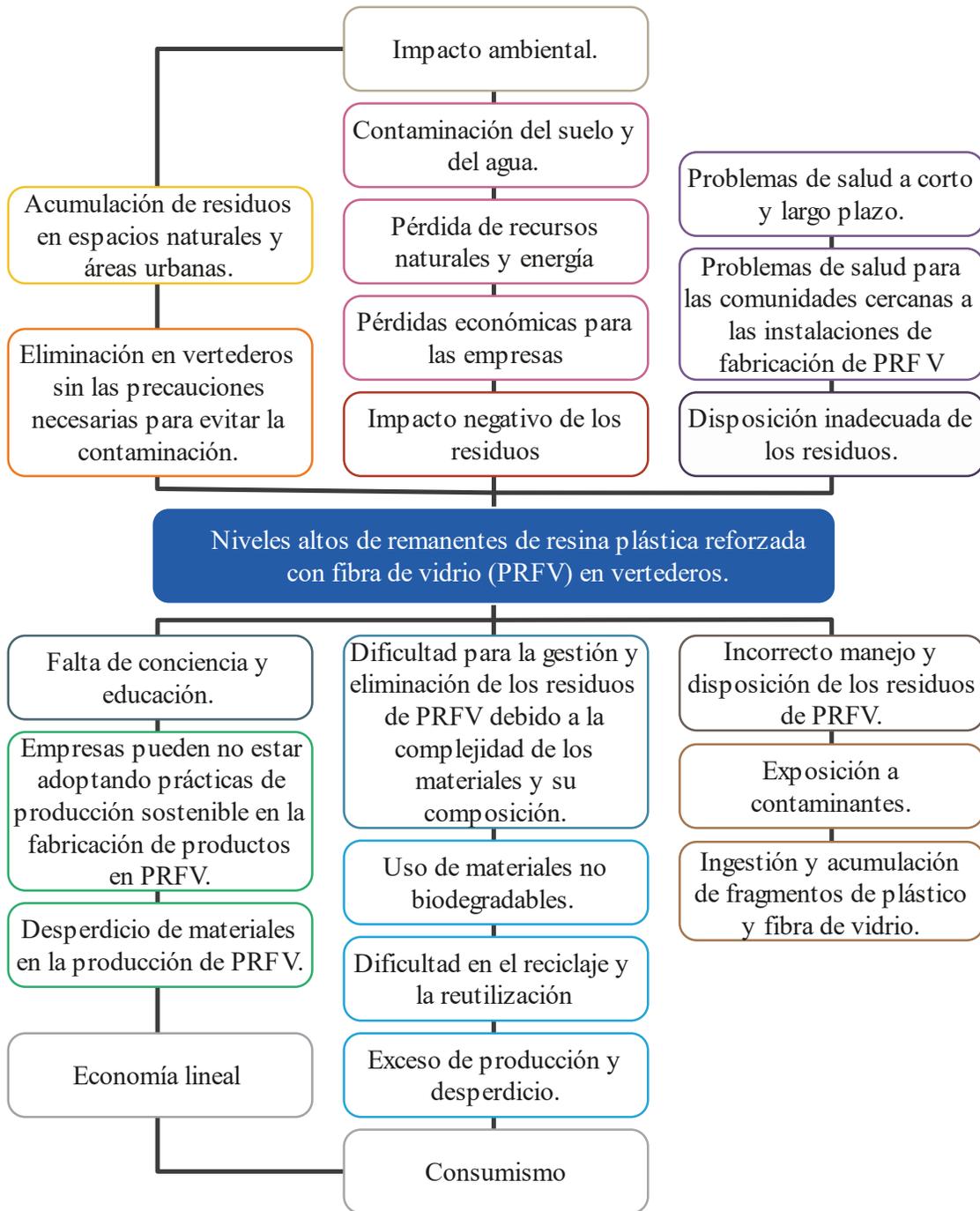
Por ello, desde un enfoque tanto cualitativo como cuantitativo, se plantea reducir el impacto ambiental al aprovechar sus recursos de manera responsable, creando nuevas soluciones desde la perspectiva del diseño industrial, por lo cual debemos considerar datos como el que a pesar de que la resina tiene una amplia gama de composiciones, su

formulación “se debe realizar siguiendo las indicaciones del fabricante para lograr un curado eficiente en un plazo de tiempo adecuado” (Norma ISO 1268-2, 2014, p.05).

Por otro lado, también se considera que la falta de un manejo adecuado puede llevar a al cierre de empresas y altas sanciones económicas, pues el Código Orgánico del medio Ambiente (CODA) en el artículo 217 y 233 especifica que los productores tienen la responsabilidad de la gestión del producto en todo el ciclo de vida especificado por la (Asamblea Nacional, 2017, p. 59-63), por lo que investigar soluciones a través del reciclaje de los remanentes de PRFV es relevante, ya que no solo puede beneficiar a las empresas sino también a otros sectores.

Hoy en día, existen diversos métodos para reciclar objetos hechos a partir de PRFV, por ejemplo, una empresa con sede en el área de Seattle llamada GFSI, cuenta con diversos métodos para reciclar palas de molinos eólicos, inicialmente las cargan desmontadas en camiones y las transporta a depósitos cercanos, donde se cortan en partes con la finalidad de generar mobiliario o se trituran para convertirlas en material de fibra de vidrio en bruto. “Una sola pala produce entre 15 y 20 bolsas de estos residuos, que pesan entre 700 y 1.000 libras cada una”(Albrecht y Lilly 2017).

La investigación sobre reciclaje de PRFV va más allá de la reducción de residuos industriales, desde la perspectiva del diseño industrial tiene el potencial de cambiar la forma de ver los residuos y materiales compuestos / reciclados, teniendo como base el modelo de producción y consumo llamado economía circular, el cual “proporciona un mejor sistema económico y ambiental mediante la creación y replanteamiento de un eficaz uso del material cuando llega al final de su vida útil, seguido del aporte de la innovación y las tecnologías” (ECOPLAS, 2020, p.10).



**Ilustración 1. Árbol de Problemas.**

*Nota: Análisis y la comprensión de las relaciones de causa y efecto entre diferentes factores del problema.*

*Fuente: Autoría propia, 2023.*

### **1.3.Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo general**

- Determinar las propiedades físico-mecánicas aplicadas al diseño de objetos con materiales compuestos generados al reciclar remanentes de resina plástica reforzada con fibra de vidrio.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Identificar las propiedades físicas y mecánicas de la resina plástica reforzada con fibra de vidrio.
- Analizar metodologías de diseño sostenible para la reutilización de remanentes.
- Determinar mediante normas propiedades físico - mecánicas del material compuesto.
- Aplicar el material compuesto en el diseño de objetos.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO REFERENCIAL**

#### **2.1. Estado del arte.**

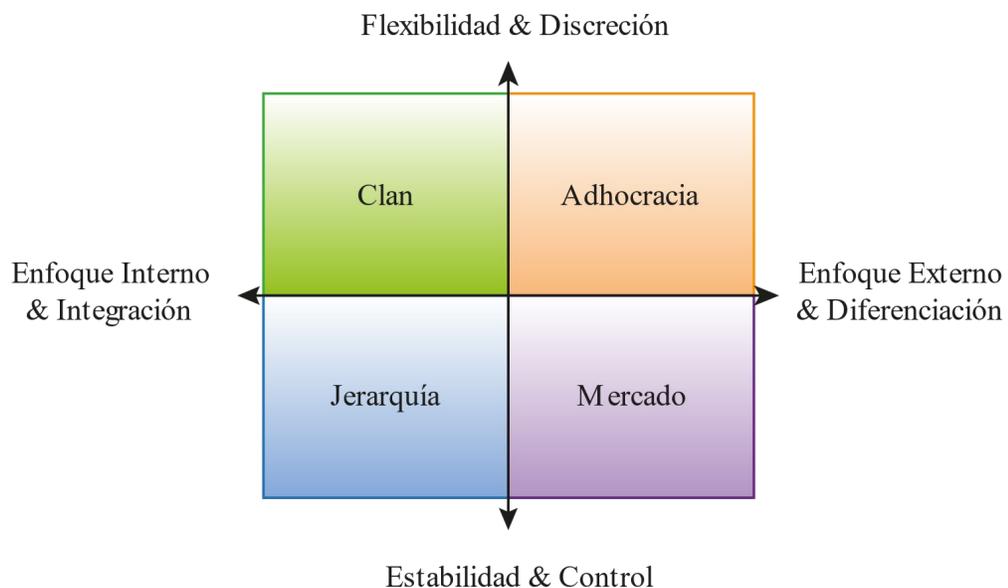
Al abordar temas como el uso de remanentes que genera la industria que trabaja el plástico reforzado con fibra de vidrio, se abarcan diversos aspectos como la información que se ha generado a partir de este tema, por lo cual se debe analizar el cómo las industrias piensan a futuro, desde hace varios años el desarrollo tecnológico está permitiendo que el reciclaje sea una importante proveedora de materias primas para la fabricación de artículos de consumo y equipos de duración prolongada, al mismo tiempo que protege el medio ambiente y ahorra recursos no renovables y energía (Bermeo et al. 2019, p. 29).

En la actualidad, la generación de remanentes por la elaboración de productos en plástico reforzado en fibra de vidrio se ha convertido en una problemática que engloba a casi el total de las industrias que trabajan con este material, dado a que existen regulaciones para estas empresas, pues no pueden solo arrojar sus desechos al medio ambiente, estas regulaciones detallan reglamentos, en específico el que menciona que productores tienen la responsabilidad de la gestión del producto en todo su ciclo de vida (Artículo 233). Esta responsabilidad incluye los impactos inherentes a la selección de los materiales, del proceso de producción y el uso del producto, así como lo relativo al tratamiento o disposición final del mismo cuando se convierte en residuo o desecho luego de su vida útil o por otras circunstancias (Artículo 217), y en tal caso de incumplirlas se podrían presentar casos que perjudiquen a la empresa involucrada, por lo cual su mejor opción sería el reciclar (Asamblea Nacional 2017, p. 59-63).

Los desperdicios que se generan a diario son un problema, y debido a ello alrededor del mundo se incentiva el reciclaje por diversos medios como “El programa de educación para la salud sobre el reciclaje en niños de 11 años de la ciudad de Teruel”, en dicho documento se expone el estado actual de esta temática en el mundo y se señala la necesidad de desarrollar una sociedad en la que los sistemas científico-tecnológicos sirvan al hombre, centrándose en fines sociales en lugar de técnicos. Además, se menciona la

necesidad de dar mayor difusión sobre la temática del reciclaje para lograr una mayor conciencia y organización en el manejo de los desechos y disminuir los efectos negativos en el medio ambiente (Tortajada 2021, p. 02-05).

De igual manera al plantear la necesidad de implementar el reciclaje como modelo de producción se presentan casos como el “Mapeo de la cultura organizativa en el contexto de la economía circular: estudio de caso de una empresa brasileña”(dos Santos Ferreira et al. 2022).



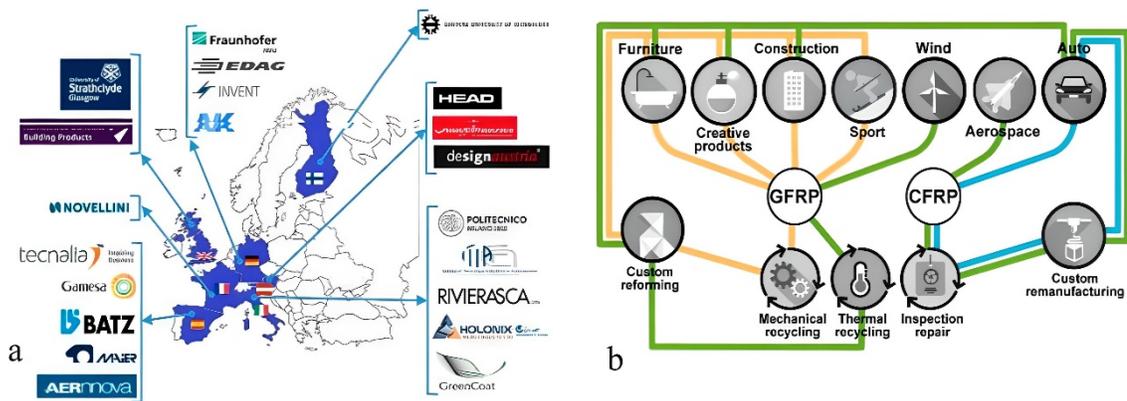
**Ilustración 2. Ejemplo de perfil cultural mediante OCAI.**

*Nota: OCAI es el acrónimo de “Organizational Culture Assessment Instrument” (Instrumento de Evaluación de la Cultura Organizacional).*

*Fuente: Mapeo de la cultura organizativa en el contexto de una economía circular: un estudio de caso (dos Santos Ferreira et al. 2022, p. 12).*

Este estudio empírico que analiza la cultura organizacional en una empresa que adopta un modelo de negocio circular, evalúa su utilización para identificar la cultura de la empresa, sus valores y analiza proyectualmente el potencial de implementación. El estudio empírico muestra que la cultura de la organización se basa en un comportamiento formal y estructurado, con énfasis en procesos predecibles y coherentes que aseguran un buen rendimiento, buscando mantener un entorno de trabajo estable y eficiente (dos Santos Ferreira et al. 2022, p. 01-15).

La cultura adhocracia, que promueve la innovación y la calidad del producto, también está presente en los perfiles actuales y deseados de una organización. Estas características son coherentes con los principios de las empresas circulares, especialmente aquellas que se enfocan en el reciclaje y la logística inversa. (dos Santos Ferreira et al. 2022, p. 19-21). El caso de FiberEU se considera dentro de este perfil, por ser una herramienta de software diseñada con el fin de facilitar el intercambio de información entre las partes interesadas que trabajan en cadenas de valor de fibras de vidrio y carbono pues al tratar con estos materiales siempre viene bien saber todo lo que engloban, y esta plataforma permite a las empresas compartir detalles sobre "entidades circulares" como productos, materiales, objetos semielaborados, residuos, entre otros (Arabsolgar y Musumeci 2021, p. 02-05).



**Ilustración 3.** Consorcio FiberEUUse (a); Casos de uso de FiberEUUse (b).

Fuente: FiberEUUse: Demostración a gran escala de nuevas cadenas de valor de la economía circular basadas en la de compuestos reforzados con fibra al final de su vida útil. Una plataforma circular para gestionar el diseño innovador y entidades circulares (Arabsolgar y Musumeci 2021, p. 02).

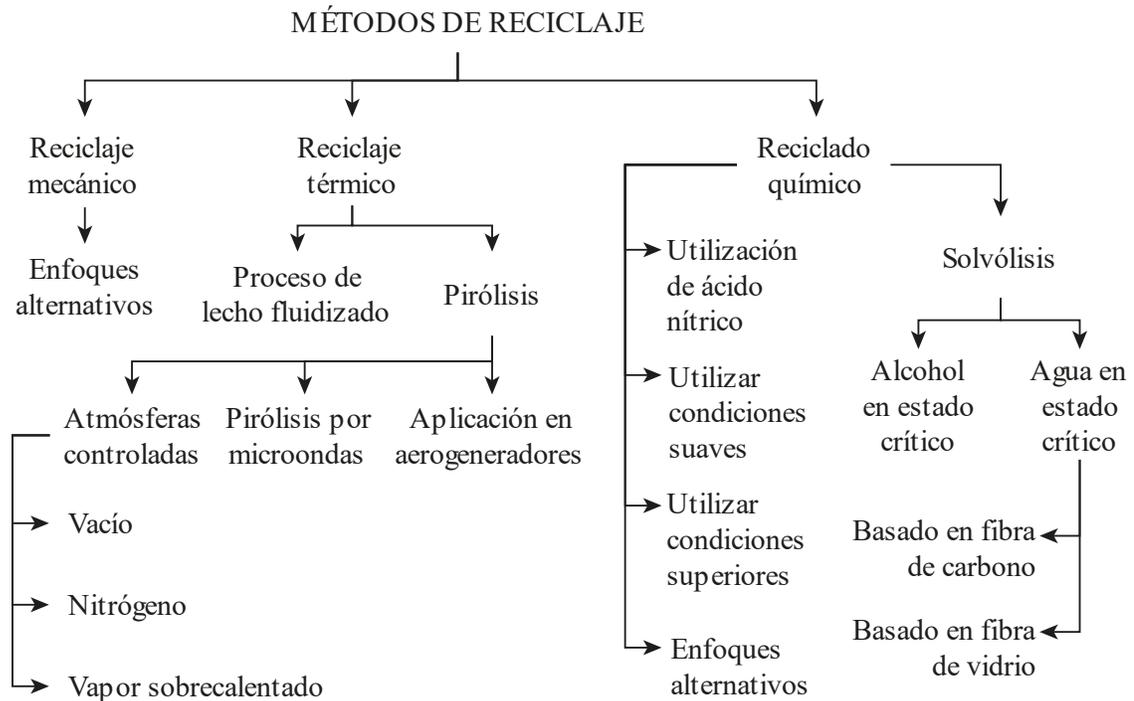
Esto les ayuda a encontrar nuevas aplicaciones de mercado potencial y a buscar información sobre empresas, procesos de fabricación y otros objetos relacionados. La plataforma ha sido diseñada de manera polimórfica, permitiendo que pueda servir a diferentes historias de producto sin depender de un esquema común de relación de entidades. Además, esta plataforma es fácil de usar y ofrece servicios como búsqueda de

entidades, seguimiento de transacciones y visualización de la cadena de suministro (Arabsolgar y Musumeci 2021, p. 07-09).

El creciente uso de fibras de vidrio ha aumentado la concienciación sobre los métodos de eliminación de sus residuos. Cada año se acumulan toneladas de residuos de materiales compuestos que contienen valiosas fibras de carbono y de vidrio procedentes de diversas aplicaciones. Estos residuos de materiales compuestos deben reciclarse de forma rentable sin causar un impacto medioambiental negativo.

Se tiene que considerar una visión general de los métodos existentes para reciclar los residuos de materiales compuestos que contienen fibras de vidrio tal como lo hace Sankar Karuppanan Gopalraj y Timo Kärki en su artículo “Revisión del reciclado de residuos de materiales compuestos reforzados con fibra de carbono/fibra de vidrio: recuperación de fibras, propiedades y análisis del ciclo de vida”. Se tratan temas como la recuperación de las fibras y la comprensión de las propiedades que conservan. Las fibras de carbono y de vidrio se evalúan a través de temas concretos, cada uno relacionado con un método de tratamiento específico: reciclado mecánico; reciclado térmico, incluidos lecho fluidizado y pirólisis; reciclado químico y solvólisis utilizando condiciones críticas (Karuppanan y Kärki 2020, p. 02-04).

Además, se analizan aspectos medioambientales y económicos, priorizando los métodos en función de valores sostenibles, y, por último, se identifican las falencias en la investigación para destacar los factores de la economía circular y su importante papel a la hora de cerrar el ciclo de vida de estas valiosas fibras en composites remanufacturados (Karuppanan y Kärki 2020, p. 12-17).



**Ilustración 4.** *Métodos de reciclaje adoptados.*

*Fuente: Revisión del reciclado de residuos de materiales compuestos reforzados con fibra de carbono / fibra de vidrio: recuperación de fibras, propiedades y análisis del ciclo de vida (Karuppanan y Kärki 2020, p. 03).*

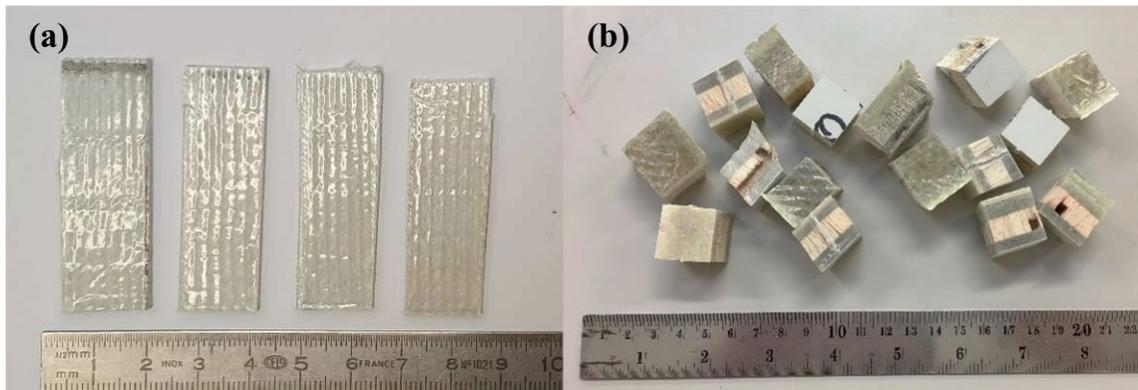
El proyecto se verá limitado por las técnicas empleadas en el reciclaje del plástico reforzado con fibra de vidrio. Por lo tanto, es importante tener en cuenta estas técnicas de manera similar, ya que nos indicara que posibilidades existen para la generación de productos, pues dependiendo del método de reciclaje que se utilice como referencia podrían surgir diversas alternativas, cada una con distintas necesidades tanto físicas como mecánicas, a partir de ello se analiza “La influencia del reciclado mecánico en las propiedades del polímero cristalino líquido termo trópico y del polipropileno reforzado con fibra de vidrio larga” (Chen et al. 2020), dado que especifica diversas técnicas de reciclado y las cualidades que cada una de estas tiene, además de implementos que se utilizan para realizar este proceso.

Debido a los desafíos asociados con el mantenimiento, el costo y valor para el producto final reciclado el proceso se considera difícil. La naturaleza reticulada de las

resinas termoestables y los residuos de PRFV a menudo no se pueden eliminar directamente en un vertedero debido a la legislación ambiental, y como una alternativa para que esto no suceda tenemos técnicas de reciclaje como el reciclaje térmico/químico, el reciclaje mecánico y el procesamiento en hornos de cemento (Chen et al. 2020, p. 03).

En particular, el reciclaje es un desafío crítico para el sector de las energías renovables, pues en las empresas se revisan varios métodos de reciclaje (mecánico, térmico, químico e híbrido) y se discuten las propiedades de las fibras recuperadas y los nuevos compuestos hechos de ellas, con el objetivo de encontrar el proceso de reciclaje óptimo para reutilizar los residuos al final de su vida útil como el caso de reciclar palas de turbinas eólicas, pues dentro de ello se destacan las posibilidades de investigación futura con fibras recuperadas con valores prometedores para su reutilización en aplicaciones estructurales de alto valor (Rani et al. 2021, p. 01-04).

Además de ello se investiga el potencial de diversos tratamientos para regenerar la resistencia y la funcionalidad superficial de las fibras de vidrio recicladas de palas de aerogeneradores retiradas mediante un proceso de lecho fluidizado. “Se descubrió que inmersión en solución caliente de NaOH proporcionaba un aumento del 130% en la resistencia a la tracción de la fibra de vidrio reciclada. También se examinó la adhesión interfacial entre fibra de vidrio reciclada y polipropileno y se observó una reducción significativa tras el reciclado, pero fue posible restablecer la resistencia al cizallamiento interfacial mediante el uso de anhídrido maleico en la matriz de polipropileno” (Pender y Yang 2020, p. 01-02).



**Ilustración 5.** PRFV reciclado en el lecho fluidizado tras la reducción de tamaño (a) GF-EP preparado en la propia empresa y (b) pala de aerogenerador al final de su vida útil.

Fuente: Rendimiento regenerador de la fibra de vidrio reciclada de palas de aerogeneradores (Pender y Yang 2020, p. 23)

Los tratamientos con NaOH y silano restablecían la resistencia al cizallamiento interfacial entre la fibra de vidrio reciclada y el epoxi a la obtenida con fibras de vidrio. En general, se demostró que se pueden conseguir mejoras sustanciales en la resistencia y la adhesión de las fibras de vidrio recicladas mediante diversos tratamientos de regeneración, produciendo fibras con un potencial de refuerzo significativamente mejorado (Pender y Yang 2020, p. 18-19).

El trabajo de Washington Paúl León Jaramillo “Residuos de plásticos reforzados con fibra de vidrio como elemento expresivo en el espacio interior” (León 2018), propone soluciones constructivas con los desechos del Plástico Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV) y materiales compuestos, para contribuir como elemento expresivo dentro del espacio interior. Este proyecto ha generado una nueva solución de material, se desarrolló una propuesta respetuosa con el medio ambiente, de tal manera que se utilizó desperdicios procesados y aleados con resina de poliéster como materia prima para su producción (León 2018, p.83-88).



**Ilustración 6.** *Probeta código E.*

*Nota: Se presenta el resultado alcanzado al reciclar residuos de PRFV.*

*Fuente: Residuos de plásticos reforzados con fibra de vidrio como elemento expresivo en el espacio interior (León 2018, p. 48).*

Existen diversos métodos para reciclar residuos de PRFV. Sin embargo, estos remanentes suelen terminar en vertederos debido a la complejidad que implica reutilizarlos, ya sea por limitaciones económicas o la falta de maquinaria adecuada para llevar a cabo este proceso. Este problema es especialmente relevante en la industria ecuatoriana, la cual ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos años, contando con alrededor de 600 empresas dedicadas a la producción de materiales plásticos, el mismo que produce aproximadamente 500 toneladas de material, y abastece a diversas industrias, como la alimentaria, automotriz, comercial, agrícola, higiénica, entre otras (MPCEIP 2021, p. 99), lo que representa un volumen de ventas de USD 1.200 millones, el 1,2% del PIB nacional y genera alrededor de 140.000 empleos directos e indirectos (BCE, 2018).

## **2.2. Marco teórico**

### **2.2.1. Materiales Compuestos**

Los materiales compuestos ofrecen una gran variedad de ventajas en comparación con los materiales estructurales convencionales como menciona Antequera, Jiménez, y Miravete, estos pueden generar mayor resistencia y rigidez, menor peso y mayor durabilidad, por lo cual “en general, el término de material compuesto se reserva para aquellos materiales bifásicos fabricados expresamente para mejorar los valores de las propiedades que los materiales constituyentes presentan por separado” (2021, p. 12). Por tal motivo, se considera esencial llevar un control de calidad, debido a que “se debe controlar el refuerzo, la matriz y el propio material compuesto formado por ambos constituyentes para capturar cualquier defecto, no sólo de la fibra y de la matriz sino también de la interfase fibra/matriz” (Miravete, 2021, p. 10).

Estos materiales son aquellos que se encuentran formados por varios componentes con propiedades físicas y/o químicas significativamente diferentes, que al combinarse generan un material con características distintas a las de sus componentes. Se dividen en compuestos tradicionales (formados en la naturaleza) y compuestos sintéticos (desarrollados por el ser humano), que a la vez pueden ser micro o macro constituyentes (Egbo, 2021, p. 02). En todo caso, en los compuestos se cumple como denominador común la existencia de un elemento fibroso que aporta rigidez y resistencia junto a una matriz, elemento que lo configura geoméricamente. La matriz es flexible y poco resistente y debido a ello su principal función radica en transmitir los esfuerzos de unas fibras a otras.

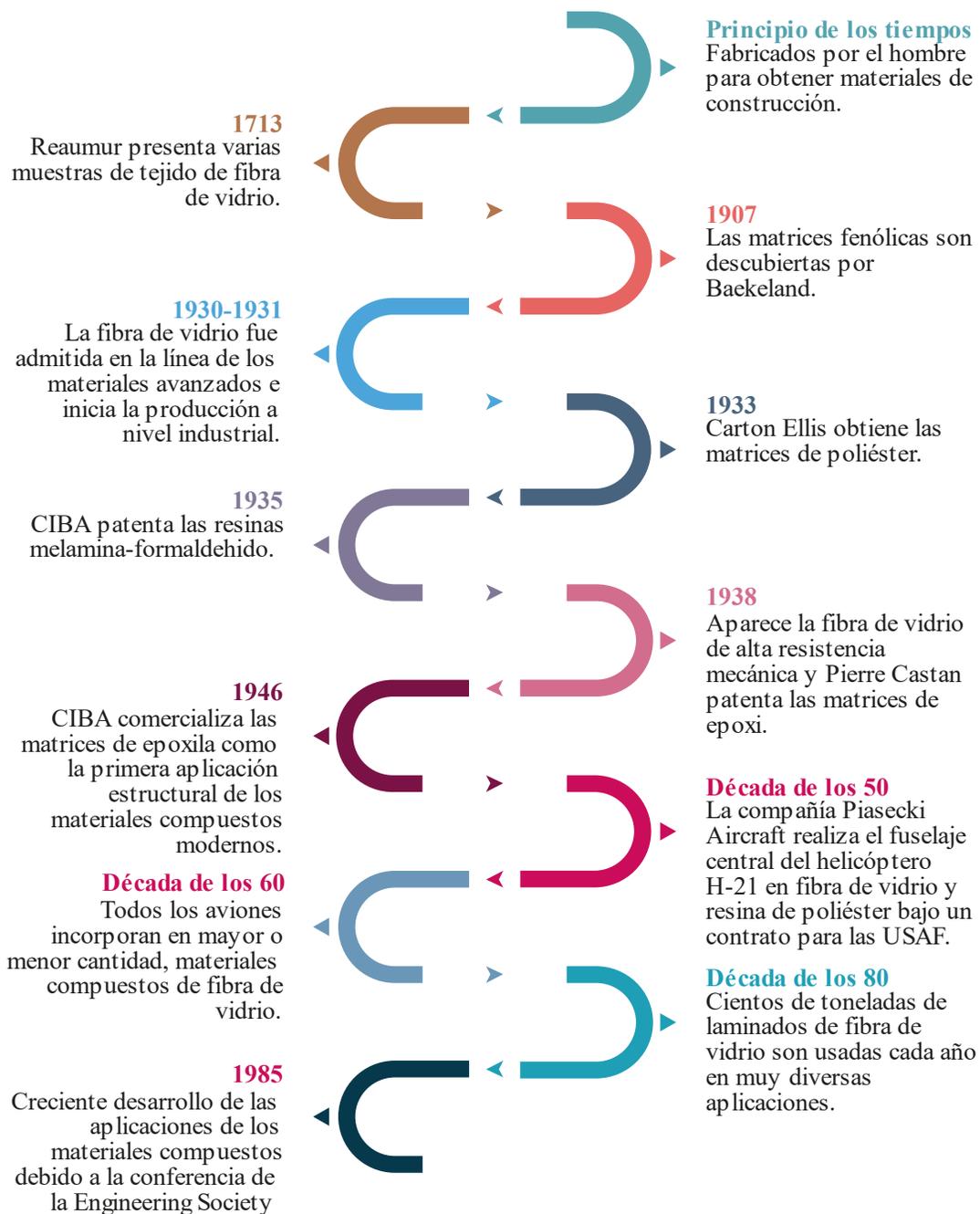
Actualmente, las matrices orgánicas y diferentes tipos de fibras (vidrio E y R, carbono y aramida) dominan el mercado de los materiales compuestos, debido a sus diversas aplicaciones en estructuras que soportan carga. Los materiales compuestos de matriz polimérica se utilizan en la industria automovilística, naval, aeronáutica, aeroespacial, electrónica, de material deportivo y de la construcción, reemplazando a los

metales y otros materiales en muchas aplicaciones. A diferencia de estos, los materiales compuestos de matriz cerámica y metálica son menos utilizados, aunque existe la probabilidad de que adquieran mayor relevancia en el ámbito de los materiales avanzados.

El desarrollo de la industria de los materiales compuestos se encuentra tomando fuerza hoy en día, ya que en los últimos años ha contribuido significativamente en una amplia gama de procedimientos industriales, facilitando así la generación de piezas y partes de distintos productos de uso cotidiano (Antequera et al., 2021, p. 66), al poseer mejor resistencia, flexibilidad, fuerza o ligereza que muchos materiales tradicionales, los compuestos de matriz polimérica se utilizan en una gran variedad de industrias, reemplazando de esa forma otros materiales convencionales en diversas aplicaciones.

Históricamente, no existen datos concretos de cuándo o dónde se utilizaron por primera vez, pero su uso se remonta aproximadamente a 3.000 años en el antiguo Egipto, donde se utilizaban pajas de fibras naturales como refuerzo para construir muros, a partir de ello con el paso del tiempo el hombre ha desarrollado materiales más duraderos y hoy en día se tiene materiales compuestos reforzados con fibras que pueden fabricarse a gran escala (Amaechi et al., 2020, p. 02).

En la actualidad, se ha desarrollado una gran variedad de materiales compuestos, y su uso se ha extendido a un amplio campo de aplicaciones en diversas ramas del conocimiento, desde la construcción de aviones y automóviles hasta la fabricación de prótesis médicas, por lo cual con la finalidad de conocerlos de mejor manera en la siguiente Ilustración, se dará a conocer los hitos más relevantes en la historia de los materiales compuestos mencionados por Antequera, Jiménez y Miravete en el libro "Los materiales compuestos de fibra de vidrio" (2021,p. 13-15):



**Ilustración 7.** Evolución de los materiales compuestos de fibra de vidrio.

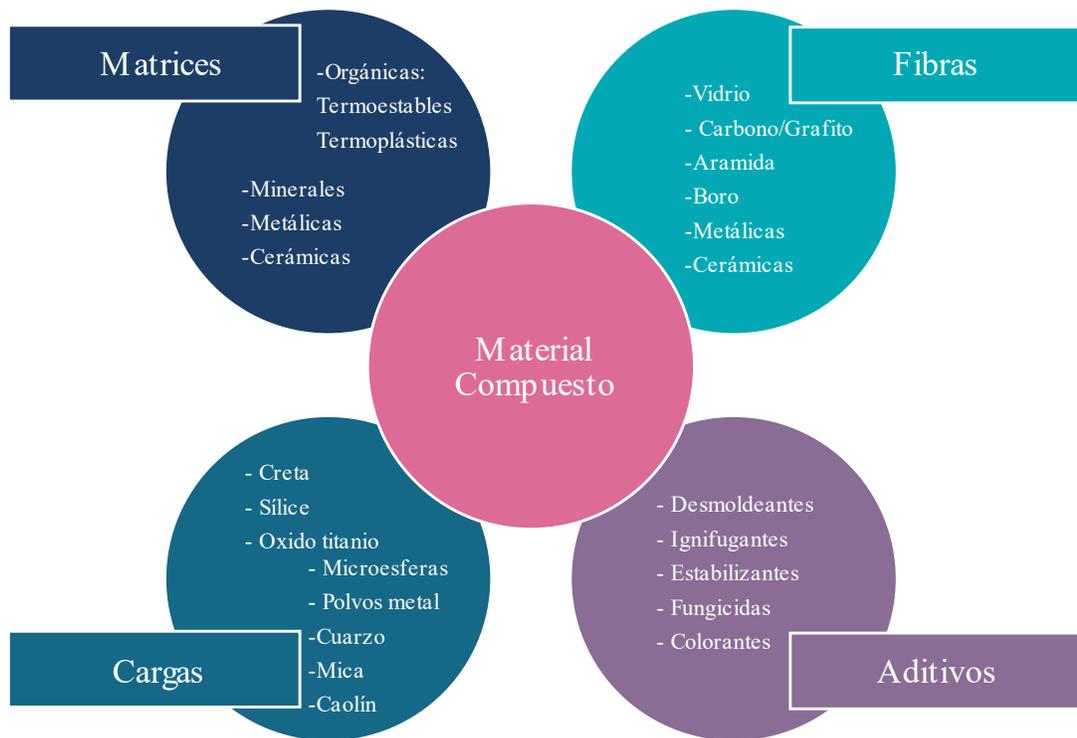
*Nota:* Se analizan distintas fechas relevantes en torno a la utilización de fibras por parte del ser humano.

*Fuente:* Los materiales compuestos de fibra de vidrio, (Antequera et al., 2021, p. 13-15).

### 2.2.2. Tipo de materiales compuestos

Los compuestos al ser combinaciones de materiales con diferentes propiedades físicas y químicas que generan un material distinto, el cual posee nuevas y mejores características que las de sus constituyentes. Tienden a utilizarse en productos con requerimientos específicos, por lo cual se han vuelto un atractivo muy valioso en varias industrias. Los compuestos de fibra de vidrio son especialmente populares debido a su resistencia, rigidez y bajo peso, y en consecuencia se emplean en un gran número de aplicaciones (Antequera et al., 2021, p. 12-13).

A continuación, en el gráfico se identifica cada constituyente de un material compuesto, estos son los que determinarán las propiedades que tendrá el mismo.



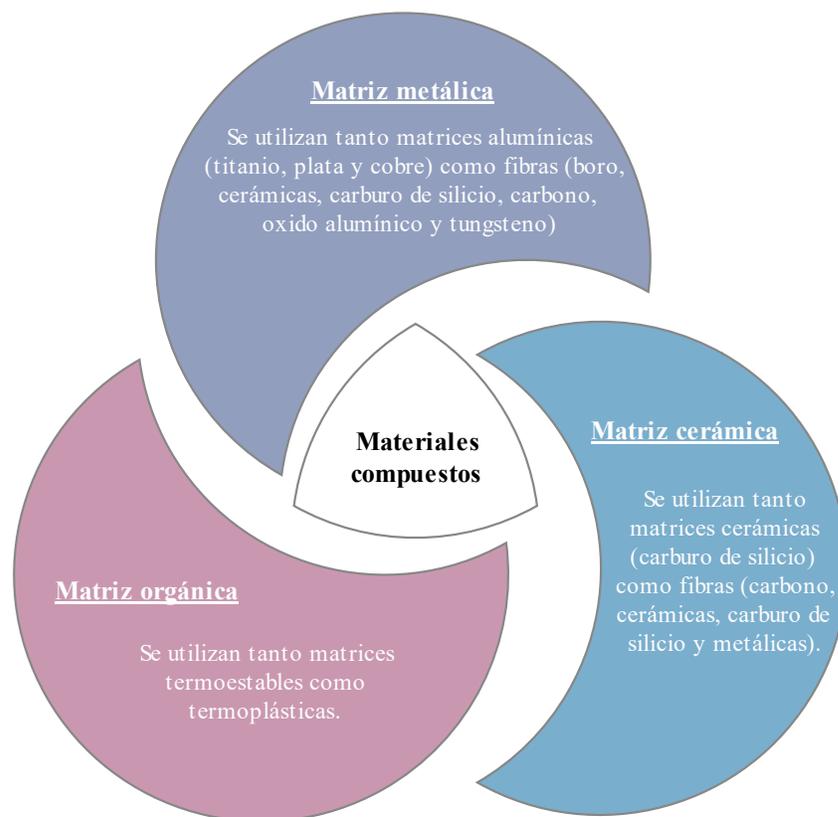
**Ilustración 8.** Composición general de un material compuesto.

*Nota:* Se enumeran los distintos tipos de cargas, matrices, aditivos y fibras que generalmente son utilizados en la creación de un compuesto.

*Fuente:* Los materiales compuestos de fibra de vidrio, (Antequera et al. 2021, p. 16).

Cada uno de los constituyentes se puede incorporar a otro, con la finalidad de generar un nuevo material compuesto. Según lo que mencionan Antequera, Jiménez y Miravete, los materiales compuestos se pueden clasificar en tres tipos, entre los cuales encontramos (2021, p. 12):

Al existir en el mundo diversos tipos de materiales compuestos, cada uno con propiedades únicas y diferentes, se puede explorar que aplicaciones podrían llegar a tener, ya que cada material es distinto, por ejemplo, ciertos compuestos son más resistentes a la corrosión, mientras que otros son más resistentes a la fatiga, por ello se abre un gran panorama ante su posible uso, ya que la selección de un material compuesto de fibra de vidrio depende en gran medida de la aplicación prevista y de las propiedades específicas requeridas para la misma (Antequera et al., 2021, p 131-182).



**Ilustración 9.** Clasificación de materiales compuestos según su tipo de matriz.  
Fuente: Los materiales compuestos de fibra de vidrio, (Antequera et al. 2021, p. 12).

#### A. Fibras de basalto

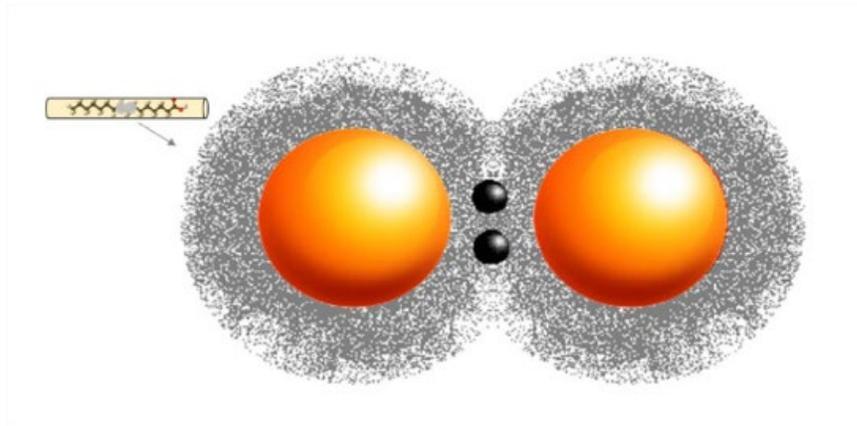
La fibra de basalto al igual que la de vidrio está basada en la arena de sílice, esta fibra presenta propiedades mecánicas más altas que el vidrio, pero su uso es limitado debido a su alto costo y alta dispersión de propiedades mecánicas, no solo por su estructura molecular basada en sílice, aluminio y hierro de gran estructuralidad, también debido a que las características del basalto varían significativamente dependiendo de donde sea extraído este. Además, la limitada experiencia que se tiene con este tipo de fibra y su ausencia en los códigos y normas para la misma también repercute en sus posibles aplicaciones. Sin embargo, sigue siendo competitiva en el mercado, para casos como el de algunos refuerzos de hormigón o depósitos a presión, donde la fibra de vidrio no cumple las especificaciones de la aplicación (Miravete, 2021b, p. 24).

### **2.2.3. Fibras y Matrices**

#### 2.2.3.1. Fibras

Los materiales compuestos consisten en la unión de dos o más materiales constituyentes, que estructuran su composición por fibras y una matriz, las fibras soportan la mayor cantidad de carga, y a la vez estas comparten y transmiten la carga de unas a otras, contribuyendo de esa manera a la resistencia y rigidez del compuesto, así como a la capacidad de control de la conductividad eléctrica y el coeficiente de expansión térmica. Una matriz en general es termoestable o termoplástica, y al realizarse a partir de polímeros que unen las fibras, transferirá las cargas externas, protegerá del medio ambiente y dará forma a la superficie del elemento compuesto (Miravete, 2021<sup>a</sup>, p. 11).

Académicamente la resistencia de una fibra se mide por la fuerza con la cual los enlaces atómicos mantienen unido al material, usualmente se busca encontrar materiales con los enlaces químicos más fuertes, como los enlaces covalentes, formados al compartir dos, cuatro o seis electrones, poseen mayor fuerza de enlaces atómicos, es decir mantienen al material unido, por lo que, en definitiva, los elementos con mayor densidad de enlaces covalentes como el boro, el carbono y el silicio, lógicamente constituirían las fibras más utilizadas en los compuestos estructurales (Miravete, 2021, p. 11-13).



**Ilustración 10.** Esquema de enlace covalente.

*Nota:* Se produce en dos átomos no metálicos cuando se unen y comparten uno o más electrones del último nivel.

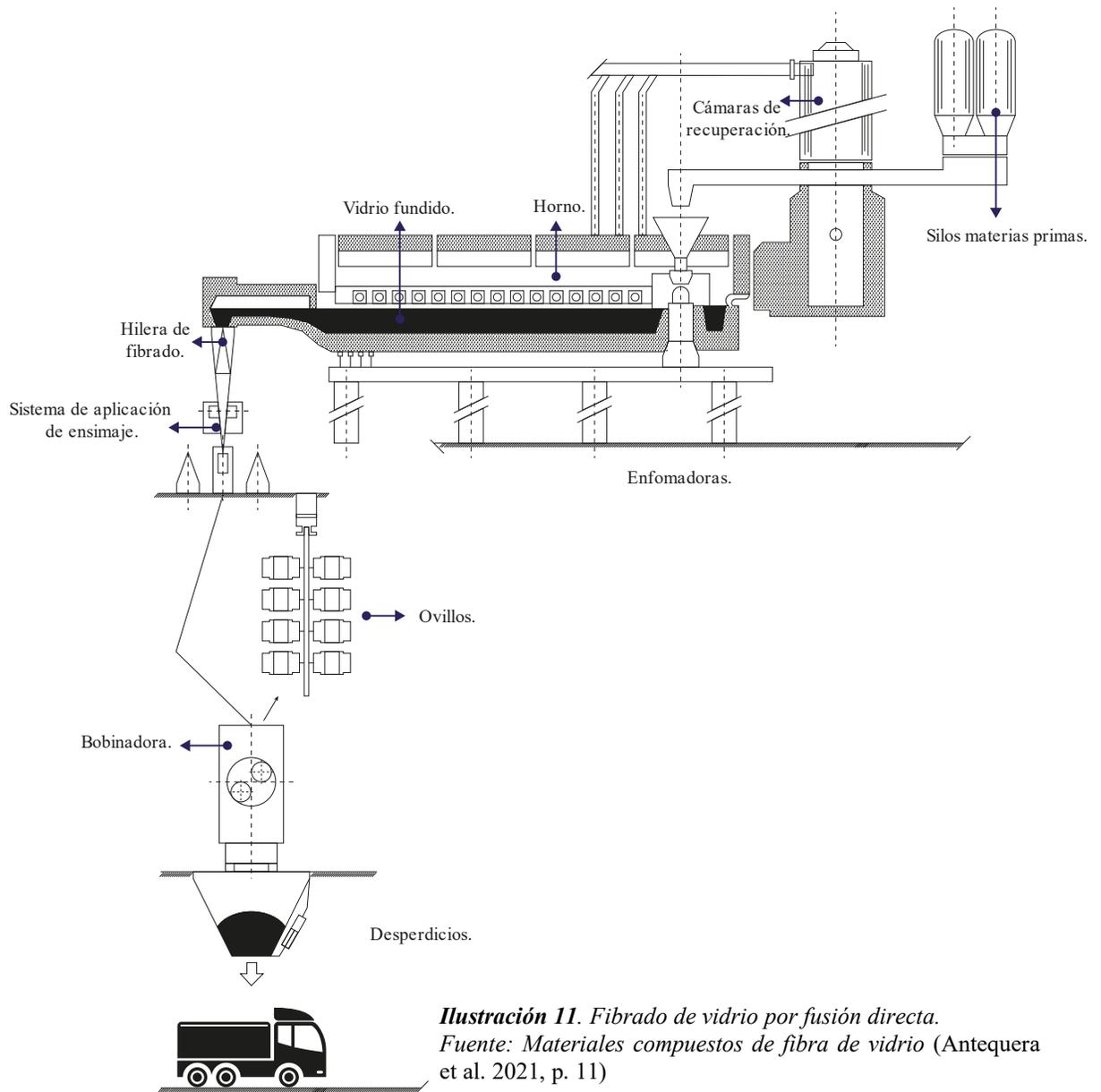
*Fuente:* Materiales compuestos de fibra de vidrio (Antequera et al. 2021, p. 11)

Las fibras son materiales utilizados en muchos ámbitos, se clasifican en diferentes tipos, que varían según su origen y propiedades. Entre los principales tipos de fibras se encuentran las fibras naturales, las sintéticas y las semisintéticas, cada tipo de fibra posee características únicas que determinan su uso. La fibra de vidrio al igual que las fibras de basalto son inorgánicas, en cambio fibras como la de aramida, UHMWE y PBO son orgánicas, y por otro lado las fibras de carbono y grafito son consideradas de transición orgánica-inorgánica o semisintéticas, ya que el precursor (el poliacrilonitrilo) es orgánico pero las fibras finales (carbono y grafito) no se consideran orgánicas porque contienen átomos de carbono en un alto porcentaje, pero no hidrógeno ni oxígeno (Miravete, 2021b, p. 14).

## B. Fibras de vidrio

Los egipcios fueron quienes descubrieron las virtudes de resistencia de la fibra de vidrio, esto para armar vasos y ánforas en las tumbas de los faraones. Las fibras tejidas datan del siglo XVIII en Francia, mientras que la producción de este inicio en 1938 bajo el mando de la compañía Owens-Corning Fiberglass una empresa estadounidense (Miravete, 2021b, p. 14).

### Fibrado de vidrio por fusión directa



**Ilustración 11.** Fibrado de vidrio por fusión directa.  
Fuente: *Materiales compuestos de fibra de vidrio* (Antequera et al. 2021, p. 11)

La fibra de vidrio se encuentra compuesta principalmente por arena de sílice ( $\text{SiO}_2$ ). Aunque la fibra de vidrio comercialmente viable solo se puede fabricar a partir de sílice, a la que se agregan algunos óxidos para mejorar su rendimiento. La mezcla se funde a  $1370\text{ }^\circ\text{C}$ , el vidrio fundido sale por la cámara inferior del horno y cae por gravedad a

través de casquillos de aleación de platino / rodio resistentes a la erosión con orificios muy finos que producen filamentos de entre 12 y 15  $\mu\text{m}$  (Miravete, 2021b, p. 14).

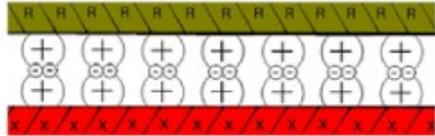
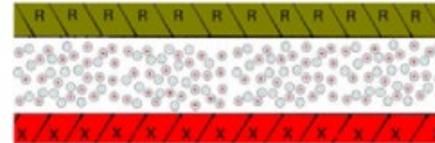
Las principales características de la fibra de vidrio son(Miravete, 2021b, p. 17):

- Elevada resistencia mecánica, tiene una resistencia específica (resistencia a la tracción/densidad) superior a la del acero.
- Excelente adherencia fibra-matriz para la mayoría de las matrices orgánicas, debido a la aplicación del ensimaje (silanos) en su superficie.
- Características eléctricas, es aislante eléctrico incluso en espesores reducidos. Tiene buena permeabilidad dieléctrica. Es permeable a las ondas electromagnéticas.
- Incombustibilidad, materia mineral, la fibra de vidrio es incombustible por naturaleza. No propaga la llama ni origina con el calor humos ni toxicidad
- Estabilidad dimensional, poco sensible a las variaciones de temperatura y humedad, tiene un bajo coeficiente de dilatación.
- Compatibilidad con las materias orgánicas, su aptitud de recibir diferentes ensimajes creando un puente de unión entre el vidrio y la matriz le confieren la posibilidad de unirse a numerosas resinas sintéticas, así como a ciertas matrices minerales, tales como el yeso o el cemento.
- Imputrescibilidad, no sufre ninguna alteración, no se pudre. Es insensible a la acción de los roedores y de los insectos.
- Débil conductividad térmica, la utilización de los materiales compuestos en la industria de la construcción permite suprimir puentes térmicos, dando lugar a un considerable ahorro de calefacción.
- Excesiva flexibilidad, su módulo de elasticidad es bajo, sobre todo cuando se une a la matriz, en comparación con el carbono o la aramida.
- Bajo coste, en comparación con el resto de las fibras utilizadas en materiales compuestos.

Las propiedades mecánicas de los materiales compuestos no dependen solo de las propiedades de las fibras y de la matriz. La conexión que existe de la fibra a la matriz juega un papel importante en su comportamiento durante la operación, así que Miravete describe los diferentes mecanismos de unión que poseen los compuestos de fibra de vidrio (2021a, p. 20):

**Tabla 1.** Mecanismos de unión fibra – matriz

Fuente: *Diseño de materiales compuestos* (Miravete, 2021a, p. 20).

ENLACE	GRÁFICO
<p><b>Enlace covalente.</b></p> <p>La fibra y la matriz comparten electrones. Mecanismo de enlace más fuerte en compuestos de matriz termoestable.</p>	
<p><b>Enclavamiento mecánico.</b></p> <p>La rugosidad de la superficie es el medio por el cual se cree que el enclavamiento funciona.</p>	
<p><b>Inter difusión.</b></p> <p>Difusión de cadenas moleculares del recubrimiento de fibras a través de la interfaz polimérica de la matriz.</p>	

### C. Fibras de carbono

Las fibras de carbono son ampliamente utilizadas en diversas aplicaciones cuando se requieren altas prestaciones. En la mayoría de los casos, se combinan con resina epoxi. Estas fibras destacan por su alta resistencia y módulo de tracción, tanto en condiciones estáticas como de fatiga. Se atribuye a Thomas Alba Edison, inventor de la bombilla incandescente, la creación de las primeras fibras de carbono comerciales. En 1879, antes

de la invención de la bombilla de tungsteno, Edison fabricaba los filamentos de sus bombillas utilizando hilos de algodón o láminas de bambú que eran calentados a altas temperaturas, lo que permitía obtener una forma deseada y carbonizar el material, dejando una copia con las proporciones originales.

Aunque la calidad de estas primeras fibras de carbono no se acerca a las utilizadas en aplicaciones de alto rendimiento en la actualidad, se consideran las primeras conocidas. En la actualidad, la mayoría de las fibras de carbono se producen a partir de poliacrilonitrilo (PAN). El proceso comienza extrayendo propeno como subproducto de pozos petrolíferos o de gas natural. A partir del propeno, se obtiene acrilonitrilo mediante un proceso de amoxidación y luego se centrifuga para obtener un polímero que, al ser hilado, genera las fibras de PAN, estas se calientan en presencia de oxígeno hasta los 300°C con la finalidad de orientar la estructura fibrilar y finalmente estas fibras son carbonizadas por a temperaturas que oscilan entre 1 °C, 100 °C y 2.700 °C, a partir de las temperaturas de carbonización la fibra de carbono puede clasificarse en fibra de carbono de alto modulo (2.700 °C), de modulo intermedio(1.800 °C) y de alta resistencia (1.100 °C) (Miravete, 2021b, p. 25).

Las propiedades más importantes de la fibra de carbono son las siguientes:

- Baja densidad.
- Excelente módulo de tracción y resistencia específicos.
- Excelente resistencia a la fatiga.
- Excelente estabilidad dimensional.
- Conductor eléctrico, radioluciente y amagnético.
- Baja resistencia al impacto y tendencia a la delaminación.
- Baja eficiencia en el blindaje ante EMI en comparación con aluminio.
- Elevado coste.

#### D. Fibras de grafito.

En la carbonización a temperaturas por encima de 2.700°C (grafitización), el tamaño de los cristales de carbono aumenta y mejora la orientación de los cristales de la fibra, incrementándose el módulo de las fibras. Sin embargo, la resistencia disminuye debido a la aparición de fallas en las fibras como resultado de la generación de nitrógeno y el reagrupamiento molecular. A esa temperatura el contenido en carbono alcanza el 99%, y las fibras de carbono pasan a denominarse fibras de grafito. Cuanto mayor es la temperatura, más orientadas están las fibras en la dirección longitudinal (Miravete, 2021b, p. 36).

En resumen, las fibras de grafito presentan un módulo elástico a tracción superior al de las fibras de carbono, sin embargo, su resistencia a tracción es sensiblemente inferior. Esta limitación en la resistencia a tracción asociada a su elevado coste hace que su utilización sea muy inferior a la de la fibra de carbono. Espacio, artículos deportivos y competición son sus principales áreas de aplicación junto con componentes industriales donde se requiere ligereza y elevadas rigideces para conseguir movimientos de gran precisión, por ejemplo, brazos de robots o guías de grandes impresoras. (Miravete, 2021b, p. 36)

#### E. Fibras de aramida

Entre las fibras orgánicas utilizadas en materiales compuestos, destaca por el volumen de mercado la fibra de aramida. Sin embargo, esta fibra, como el resto de las fibras orgánicas se aplica mucho menos que el vidrio (medias-bajas prestaciones) y el carbono (altas prestaciones). El motivo es su elevado coste y su baja resistencia a compresión, lo cual limita su campo de aplicación a aquellas aplicaciones donde la fibra de carbono no cumple las especificaciones, como, por ejemplo, cuando se requiere resistencia al impacto o transparencia a las ondas electromagnéticas (Miravete, 2021b, p. 35-41).

- Tienen altos módulo y resistencia a tracción, con una baja elongación a la rotura, debido a su alto grado de cristalinidad.
- Tienen buena estabilidad mecánica en el rango térmico -30°C/200°C.
- Presentan gran tenacidad, no son frágiles, tienen alta resistencia al impacto y alta capacidad de absorción de energía.
- Son químicamente bastante estables, aunque son susceptibles de ser atacadas por ácidos fuertes.
- Presentan una baja resistencia a compresión y flexión.
- En el rango de temperaturas de estabilidad mecánica, la existencia de humedad puede provocar pérdidas de resistencia en torno a un 10%.
- Tienen baja adherencia con determinadas matrices, como es el caso del poliéster o viniléster.
- Debido a su elevada tenacidad, estas fibras son difíciles de cortar y se tiende a generar deshilachamientos a lo largo del corte o superficie mecanizada.

#### F. Fibras de UHMWPE.

Las fibras de UHMWPE (polietileno de ultra alto peso molecular, ultra high molecular weight polyethylene, en inglés) presentan una excepcional resistencia al impacto de alta energía, superior a la aramida, aunque con un coste mayor. Estas fibras tienen un extremadamente bajo coeficiente de fricción con auto lubricación.

Están siendo utilizadas en aplicaciones similares a las de la fibra de aramida. Poseen una densidad extremadamente baja y unos valores de rigidez y resistencia muy altos. Los materiales compuestos reforzados con fibra de UHMWPE presentan propiedades de resistencia a compresión muy bajas debido a la pobre adherencia de esta fibra a las matrices poliméricas. Debido a que es una fibra orgánica posee un punto de fusión muy bajo, en torno a 150°C (Miravete, 2021b, p. 42).

Se compone de cadenas extremadamente largas del polietileno, alineadas en la misma dirección. Cada cadena se enlaza a las otras mediante numerosos enlaces. Cuando están formadas las fibras, las cadenas del polímero pueden lograr una orientación paralela mayor de 95% y un nivel de la cristalinidad de hasta 85%. En contraste, la aramida deriva su fuerza de la vinculación fuerte entre moléculas relativamente cortas.

Las fibras de polietileno de ultra alto peso molecular absorben más energía que las fibras de aramida en resistencia al impacto de alta energía (balística). Presenta también elevadas propiedades en tracción, pero limitadas en compresión, de ahí su frecuente hibridación con el carbono o el grafito (Miravete, 2021b, p. 42).

#### G. Fibras de PBO 42.

Las fibras de PBO (p-fenilenbenzobisoxazol) son fibras poliméricas altamente anisótropas. De hecho, esta es la segunda más resistente en tracción, tras la fibra de carbono. La alta cristalinidad lineal de su estructura, responsable de las excelentes propiedades a tracción, hace que las fibras de PBO sean relativamente débiles bajo compresión axial y por tanto su resistencia a compresión sea muy inferior a su resistencia a tracción.

El fallo bajo compresión axial se desencadena a baja deformación mediante la iniciación de una kink band desde la superficie por micropandeo de fibrillas que se propaga rápidamente a través de la sección transversal de la fibra. Presentan baja resistencia a la radiación ultravioleta y visible y pierden resistencia a la tracción en ambientes cálidos y húmedos. Estas limitaciones implican un nivel de utilización muy inferior al del resto de fibras orgánicas en materiales compuestos. En la Tabla 1.1.4 se muestran las propiedades mecánicas de varios tipos de fibras de aramida, UHMWPE y PBO (Miravete, 2021b, p. 42).

## H. Fibras de lino.

Es la primera fibra vegetal que tuvo aceptación en la industria textil. Su uso para fabricación de telas está atestiguado en Çatalhöyük, en la actual Turquía, hacia 7.000 AC. El cultivo de la planta se remonta a Egipto hasta el siglo IV a. C. La fibra de lino está ganando interés como refuerzo en materiales compuestos debido a su elevado módulo a tracción específico y a su procedencia de la naturaleza. Se considera al lino la fibra natural de mayores prestaciones mecánicas.

Las dos principales desventajas de las fibras naturales: su carácter hidrofílico, y sus pobres propiedades de resistencia interfacial fibra/matriz están siendo mejoradas mediante el pretratamiento de fibras antes del moldeo y la aplicación de recubrimientos (sizing) compatibles, respectivamente. Calculando la resistencia y módulo a tracción del lino por unidad de peso, se obtienen valores ligeramente inferiores y superiores, respectivamente en comparación con el vidrio E. (Miravete, 2021a, p. 43)

### 2.2.3.2. Matrices.

Los materiales compuestos pueden estar constituidos por matrices orgánicas, metálicas y cerámicas. Las matrices orgánicas son compuestos orgánicos de elevado peso molecular, producto de reacciones de polimerización por adición o condensación de diferentes compuestos de base (Miravete, 2021b, p. 44-45).

Clasificación de diferentes matrices utilizadas en materiales compuestos:

<u>INORGÁNICAS</u>	<u>ORGÁNICAS</u>				
Cemento Geopolímeros Yeso Matrices cerámicas Matrices metálicas	<table border="0"><thead><tr><th>TERMOESTABLES</th><th>TERMOPLÁSTICAS</th></tr></thead><tbody><tr><td>Epoxi. Viniléster. Poliéster. Fenólica. Esteres Cianato. Bismaleimidas. Poliimidas. Polieteramida.</td><td>Policloruro de vinilo (PVC) Copolímeros de estireno (ABS,SAN) Poliétileno (PE) Polipropileno (PP) Policarbonato (PC) Polimetacrilato de metilo (PMMA) Acetato Poliestireno (PS) Polioximetileno (POM) Pbt Polieterimida Pet Nylon Poliamida PEEK, PEKK, PAI, PAS</td></tr></tbody></table>	TERMOESTABLES	TERMOPLÁSTICAS	Epoxi. Viniléster. Poliéster. Fenólica. Esteres Cianato. Bismaleimidas. Poliimidas. Polieteramida.	Policloruro de vinilo (PVC) Copolímeros de estireno (ABS,SAN) Poliétileno (PE) Polipropileno (PP) Policarbonato (PC) Polimetacrilato de metilo (PMMA) Acetato Poliestireno (PS) Polioximetileno (POM) Pbt Polieterimida Pet Nylon Poliamida PEEK, PEKK, PAI, PAS
TERMOESTABLES	TERMOPLÁSTICAS				
Epoxi. Viniléster. Poliéster. Fenólica. Esteres Cianato. Bismaleimidas. Poliimidas. Polieteramida.	Policloruro de vinilo (PVC) Copolímeros de estireno (ABS,SAN) Poliétileno (PE) Polipropileno (PP) Policarbonato (PC) Polimetacrilato de metilo (PMMA) Acetato Poliestireno (PS) Polioximetileno (POM) Pbt Polieterimida Pet Nylon Poliamida PEEK, PEKK, PAI, PAS				

**Ilustración 12.** Clasificación de matrices.

Fuente: *Diseño de materiales compuestos* (Miravete, 2021, p. 45)

El primer grupo puede incluir lana, proteína, celulosa, etc. El segundo grupo son las resinas conocidas, pero como salen del reactor de polimerización, y finalmente, el tercer grupo son los mismos compuestos que en el segundo grupo, pero con las adiciones adecuadas. de antioxidantes, estabilizadores UV, inhibidores, aceleradores, líquidos, plastificantes, etc. La longitud de la cadena de un polímero está determinada por el número de unidades monómeras que se repiten, hay diferentes pesos moleculares de la misma resina.

El problema se complica aún más cuando, debido al proceso de fabricación, unas cadenas crecen más que otras, lo que hace que se obtenga plástico con cadenas de diferentes pesos moleculares en un mismo reactor, por lo que tiene un peso molecular medio de la distribución, lo que a la hora de manipular el material será de gran importancia. (Miravete, 2021b, p. 46-47)

**Tabla 2.** Clasificación de las resinas termoestables en función de la temperatura de utilización.  
Fuente: Diseño de materiales compuestos (Miravete, 2021, p. 45)

<b>TEMPERATURA</b>	<b>USO</b>
Bajas Temperaturas	Poliéster. Isoftálica. Ortoftálica. Ácido caliente.
Medias Temperaturas.	Vinilester. Epoxi.
Medias – Altas Temperaturas.	Fenólica.
Altas Temperaturas.	Bismaleimida. Poliimida. Esteres cianato. Polieteramida.

#### **2.2.4. Propiedades**

Las propiedades mecánicas de los materiales compuestos de fibra de vidrio son muy destacables. Estos materiales son muy resistentes a la tracción, flexión y compresión, lo que les permite soportar grandes cargas sin deformarse permanentemente. Además, su elasticidad permite recuperar su forma original después de ser sometidos a una deformación.

Desde un punto de vista técnico, los materiales se clasifican en propiedades sensoriales, fisicoquímicas y mecánicas. Las propiedades sensoriales se refieren a las características que se pueden percibir con los sentidos, como el color, el olor y el sabor. Las propiedades fisicoquímicas se refieren a las características que se pueden medir, como la densidad, la conductividad térmica, eléctrica, y la solubilidad. Las propiedades mecánicas son aquellas que pueden ser medidas en respuesta a una fuerza, como la

resistencia, la elasticidad y la dureza. Los materiales funcionales son aquellos que se utilizan según sus propiedades químicas, magnéticas y optoelectrónicas.

La resistencia a la fatiga es otra propiedad mecánica importante de los materiales compuestos de fibra de vidrio. A diferencia de otros materiales, estos pueden soportar cargas cíclicas sin sufrir fracturas por fatiga. Esto los hace ideales para aplicaciones en las que se requiere una alta durabilidad. Las propiedades fisicoquímicas de los materiales compuestos de fibra de vidrio también son destacables. Son resistentes a la corrosión, lo que los hace ideales para aplicaciones en ambientes agresivos. Además, tienen una alta resistencia térmica, lo que les permite soportar temperaturas elevadas sin sufrir deformaciones.

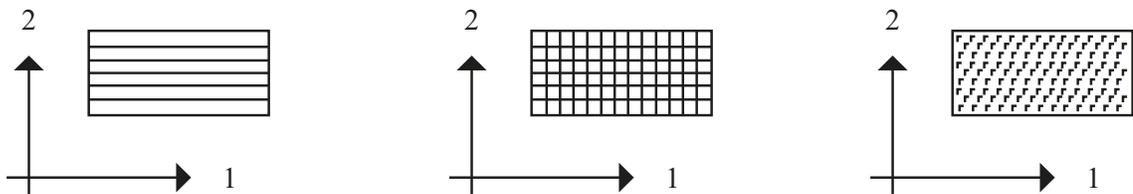
La densidad de los materiales compuestos de fibra de vidrio es muy baja, lo que los hace muy ligeros en comparación con otros materiales como el acero. Esta propiedad es muy valorada en aplicaciones donde se requiere una alta relación resistencia-peso, como en la industria aeronáutica.

Las propiedades sensoriales de los materiales compuestos de fibra de vidrio también son importantes. Estos materiales pueden ser fabricados en una amplia gama de colores y texturas, lo que los hace ideales para aplicaciones en diseño de interiores y exteriores. Por último, los materiales compuestos de fibra de vidrio tienen propiedades funcionales muy interesantes. Por ejemplo, se pueden diseñar para tener propiedades magnéticas o eléctricas, lo que los hace útiles en aplicaciones en la industria electrónica.

La ley de Hooke es una ley fundamental de la física que describe la relación entre la fuerza y la deformación de un objeto elástico. Fue descubierta por el físico inglés Robert Hooke en el siglo XVII, establece que la fuerza necesaria para estirar o comprimir un objeto elástico es directamente proporcional a la cantidad de deformación que se produce. Matemáticamente, esto se expresa como  $F = -kx$ , donde  $F$  es la fuerza aplicada,  $x$  es la deformación producida y  $k$  es una constante conocida como la constante de elasticidad.

Se aplica a muchos objetos en la vida cotidiana, como los resortes, los amortiguadores de automóviles y los instrumentos de medición de fuerza. También es una herramienta importante en la física y la ingeniería para el diseño de estructuras y máquinas. Es importante tener en cuenta que la ley de Hooke solo es válida dentro de ciertos límites de deformación. Si se aplica demasiada fuerza, el objeto puede deformarse de manera permanente o incluso romperse. Además, algunos materiales no se comportan de acuerdo con la ley de Hooke, lo que requiere el uso de leyes más complejas para describir su comportamiento elástico.

“La dirección 1 coincide con la dirección de las fibras si es una lámina unidireccional. Si la lámina es un tejido desequilibrado, se toma como dirección 1 la dirección con mayor proporción de fibras. Si el tejido es equilibrado se toma una de las dos direcciones donde están orientadas las fibras (trama o urdimbre). Si la lámina es un mat, se toma como dirección 1 cualquier dirección, ya que esta configuración se considera que tiene las mismas propiedades en todas las direcciones (configuración isótropa). Se toma como dirección 2, la dirección perpendicular a la 1 en el plano de la lámina” (Antequera et al., 2021, p. 131).



**Ilustración 13.** Definición de ejes.

Fuente: *Los materiales compuestos de fibra de vidrio* (Antequera et al., 2021, p. 132).

### 2.2.5. Ensayos

El control de calidad de los compuestos se ha centrado tradicionalmente en los métodos de prueba de las propiedades físicas y mecánicas del material procesado. Este método, basado en el análisis de materiales en estado sólido, finaliza con la publicación de varias recetas. El texto abordará la normativa europea (EN) y norteamericana (ASTM) (Miravete, 2021b, p. 145). El control de calidad de una pieza fabricada con materiales compuestos se entiende como un proceso que debe realizarse de acuerdo con los siguientes pasos:

- Validación de la fibra.
- Validación de la matriz.
- Control de la reacción.
- Caracterización del producto semiacabado (preimpregnado), si éste existe
- Control de los moldes o utillajes - Control del proceso de fabricación y manipulación.
- Control del proceso de curado - Control de la pieza terminada.
- Documentación.
- El control de calidad, necesario en la fabricación de una pieza en cualquier material, lo es aún más en el caso de materiales compuestos por varios motivos, como son:
  - Gran variedad de combinaciones fibra-resina-cargas con sus respectivas compatibilidades,
  - Diversidad de métodos de transformación, en ocasiones poco automatizados y por tanto sujetos a defectos aleatorios derivados de la mano de obra,
  - Diferentes condiciones ambientales (temperatura, humedad) a lo largo del tiempo de trabajo y almacenamiento, etc. El control se realizará a través de unos ensayos en algunos casos no normalizados (o sometidos a normativa interna de la empresa).

Los ensayos realizados distinguen entre los realizados sobre materias primas y los realizados sobre composites, en tubos o sobre productos acabados. Entre estos últimos, los denominados ensayos destructivos y aunque cada vez son más habituales los ensayos no destructivos, se limitan al ámbito de las grandes empresas, principalmente por el coste de los equipos, sin embargo, serán discutidos brevemente (Miravete, 2021b, p. 170).

- Contenido de porosidad o burbujas. Si se utilizan materiales pre impregnados con un contenido por debajo del 1-2% en procesos realizados a través de métodos manuales en vía húmeda, es posible alcanzar un contenido de hasta el 10%.
- Consolidación del laminado. En materiales pre impregnados, la proporción de fibra y matriz puede llegar a ser del 70% en volumen de fibra, mientras que, en procesos manuales en vía húmeda, esta proporción puede ser de alrededor del 25%.
- Grado de curado. Se refiere a la formación del laminado sólido.
- Orientación de la fibra. Debe ajustarse según los requisitos de diseño

#### A. Ensayo de tracción

Una manera fundamental de obtener información sobre características de materiales, confirmación, investigación, desarrollo y diseño de elementos estructurales es a través de una prueba de tracción (Miravete, 2021b, p. 173).

**Tabla 3.** Normativas para el ensayo de tracción.

Fuente: Ensayos de calidad de materiales compuestos, (Miravete, 2021b, p. 173).

<b>NORMA</b>	<b>TIPO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
UNE-EN 2747:1999	Material aeroespacial	Plásticos reforzados con fibra de vidrio. Ensayo de tracción.
UNE-EN 2561:1996	Material aeroespacial	Plásticos reforzados con fibra de carbono. Estratificados unidireccionales. Ensayo de tracción paralelamente a la dirección de la fibra.
UNE-EN 2597:1999	Material aeroespacial	Plásticos reforzados con fibra de carbono. Laminados unidireccionales. Ensayo de tracción perpendicular a la dirección de las fibras.

UNE 53189-2:1977	Materiales plásticos	Placas de materiales estratificados con resinas termoestables. Determinación de la resistencia a la tracción.
EN 61 (UNE 53280:1979)	Plásticos	Plásticos reforzados con fibra de vidrio. Determinación de las propiedades en tracción.
UNE-EN ISO 527-4:1997	Plásticos	Determinación de las propiedades en tracción. Parte 4. Condiciones de ensayo para plásticos compuestos isotrópicos y ortotrópicos reforzados con fibras.
UNE-EN ISO 527-5:1997	Plásticos	Determinación de las propiedades en tracción. Parte 5. Condiciones de ensayo para plásticos compuestos unidireccionales reforzados con fibras.

Para materiales compuestos unidireccionales y tejidos, es posible medir los siguientes parámetros:

$$E_x, E_y, \nu_{xy}, X \text{ e } Y$$

- Módulos de Young en la dirección de la fibra ( $E_x$ ) y en la dirección transversal ( $E_y$ ).
- Coeficiente de Poisson ( $\nu_{xy}$ ).
- Resistencia a tracción en la dirección de la fibra ( $X$ ) y en la dirección transversal ( $Y$ ).

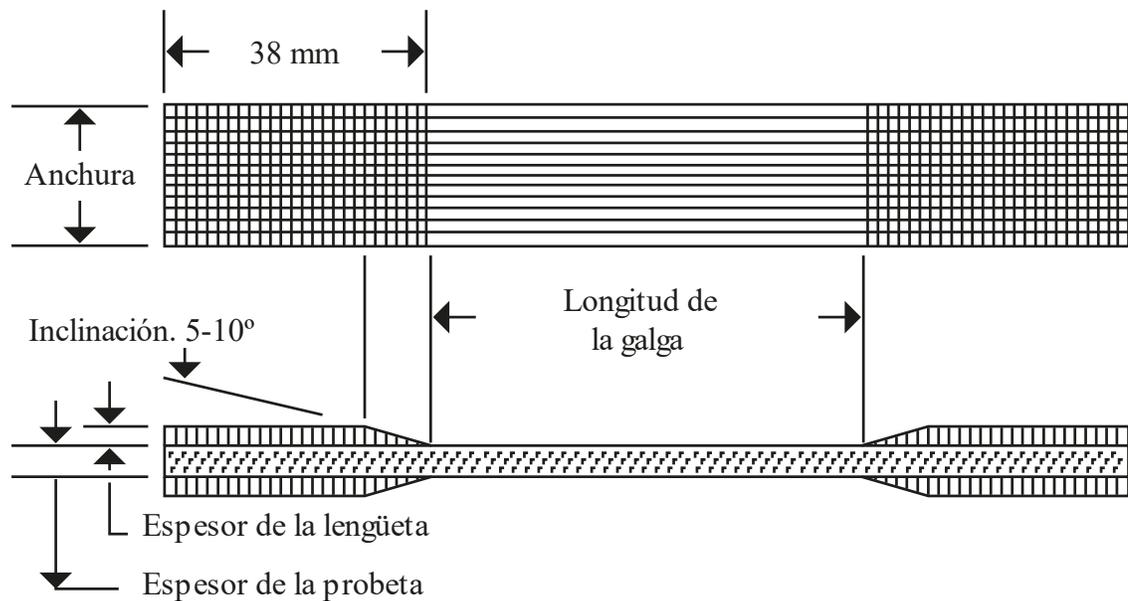
En el caso de laminados simétricos multidireccionales, los parámetros son:

- Módulo del laminado en la dirección de aplicación de la carga ( $E_1$ ).
- Coeficiente de Poisson ( $\nu_{12}$ ).
- Resistencia a tracción del laminado en la dirección de aplicación de la carga ( $X$ ).

Antes de describir las características del ensayo según la normativa americana ASTM D 3039 para tracción en compuestos fibra-resina, es relevante señalar ciertas diferencias entre este ensayo y la normativa europea (EN 61 y UNE-EN 2561). Estas diferencias incluyen aspectos como la longitud mínima de la probeta, que en el caso europeo debe ser de 250 mm, mientras que la normativa americana no establece una longitud específica. Además, la forma de la probeta es diferente, ya que la EN 61 permite tres tipos de probetas distintas (Miravete, 2021b, p. 174). Otro aspecto divergente es la

longitud de las lengüetas de amarre o talones, que deben ser de al menos 50 mm en Europa y no necesariamente terminar en bisel, mientras que la normativa americana no especifica estos detalles.

Otras discrepancias incluyen el espesor requerido para plásticos reforzados, que puede variar entre 2 y 10 mm en la normativa europea, y el espesor exigido para materiales aeroespaciales, que debe ser de 2 mm en Europa, mientras que la normativa americana no menciona estas condiciones específicas (Miravete, 2021b, p. 174).



**Ilustración 14.** Probeta de ensayo a tracción con lengüetas en los extremos.  
Fuente: *Ensayos y calidad de materiales compuestos* (Miravete, 2021b, p. 174).

## B. Ensayo de flexión

Esta prueba se emplea para supervisar la calidad y las especificaciones de los materiales, pero no para caracterizarlos. También se utiliza para evaluar la resistencia de la fibra exterior y el módulo de Young de compuestos y polímeros homogéneos. Sin embargo, en el caso de ensayos de flexión en placas delgadas multidireccionales, la interpretación de la resistencia y la rigidez no resulta tan directa (Miravete, 2021b, p. 178). La Norma Europea establece las siguientes pruebas:

**Tabla 4.** Normativas para el ensayo de flexión.

Fuente: *Ensayos y calidad de materiales compuestos* (Miravete, 2021b, p. 178).

<b>NORMA.</b>	<b>TIPO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
EN 63 (UNE 53288:80)	Plásticos reforzados con fibra de vidrio	Determinación de las características de flexión. Método de los tres puntos de apoyo.
UNE-EN 2746:1999	Material aeroespacial	Plásticos reforzados con fibra de vidrio. Ensayo de flexión. Método de los tres puntos.
UNE-EN 2562:1997	Material aeroespacial	Plásticos reforzados con fibra de carbono. Laminados unidireccionales. Ensayos de flexión paralela a la dirección de las fibras.
UNE 53189-3:1977	Materiales plásticos	Placas de materiales estratificados con resinas termoestables. Determinación de la resistencia a la flexión.
UNE-EN ISO 14125:1999	Compuestos plásticos reforzados con fibras	Determinación de las propiedades de flexión.

### C. Ensayo de compresión

Esta prueba busca evaluar tanto la constante elástica como la resistencia a la compresión en materiales compuestos. Sin embargo, obtener resultados precisos, confiables y repetibles de la resistencia a la compresión en materiales compuestos unidireccionales es una tarea extremadamente difícil debido a la alta anisotropía de estos materiales.

La resistencia a la compresión variará significativamente según el método de ensayo utilizado, siendo especialmente sensible a cargas ligeramente excéntricas que pueden provocar una inestabilidad temprana y una falla por compresión espontánea (Miravete, 2021b, p. 182). En la literatura existen varios métodos de investigación y diversos laboratorios han desarrollado herramientas experimentales para abordar esta problemática.

**Tabla 5.** Normativas para el ensayo de compresión.

Fuente: *Ensayos y calidad de materiales compuestos* (Miravete, 2021b, p. 182).

<b>NORMA</b>	<b>TIPO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>ASTM D3410</b>	Método de aplicación de la carga	Se recurre a la aplicación de la carga mediante cortadura para evitar provocar el aplastamiento en el extremo de la probeta y rotura por fisuración vertical en materiales ortótropos.

#### D. Ensayo de fatiga

Es necesario realizar pruebas de fatiga para determinar los niveles de tensión admisibles. Estos niveles son fundamentales para elegir materiales, validar modelos analíticos y estudiar cómo factores como el tipo de muestra, tamaño, entorno, forma de carga cíclica y frecuencia afectan los materiales. Hay diversos factores que influyen en la resistencia a la fatiga de los materiales compuestos, tanto aquellos específicos del material y pruebas de laboratorio, como otros relacionados con las condiciones ambientales de uso y los procesos de fabricación. Se aborda el ensayo de fatiga, que se utiliza en materiales con el objetivo de determinar sus propiedades, no aplicándose a partes o estructuras. El análisis promedio de estas pruebas resulta beneficioso para la selección de materiales y para evaluar el impacto de diversos factores, como procesos de fabricación, cambios ambientales y características geométricas, como las muescas.

#### E. Ensayo de impacto

Dado que el uso de estos materiales está en aumento en las estructuras de aviones, la repercusión del daño causado por impacto en el rendimiento de los compuestos modernos se vuelve cada vez más relevante. Las fallas relacionadas con cargas de baja energía representan una preocupación importante en la aplicación de materiales compuestos en la industria aeroespacial. Los daños que pueden surgir debido a impactos de baja energía pueden ocurrir durante diversas etapas, como la fabricación, el mantenimiento y el vuelo. Entre las situaciones problemáticas se encuentran los daños ocasionados durante la fabricación y las reparaciones, cuando herramientas, cajas de

herramientas o equipos de trabajo impactan accidentalmente contra las superficies estructurales. De hecho, el "Síndrome de la caja de herramientas" es una de las referencias en pruebas de baja energía en el material compuesto (Miravete, 2021b, p 226).

Generalmente, en una superficie afectada por una carga de impacto de baja energía, el daño causado no es visible a simple vista y no se puede pasar por alto en las pruebas diarias, lo que resulta en la persistencia de lesiones anteriores. Se ha comprobado que estas lesiones provocan una considerable reducción en el voltaje de compresión restante para la estructura de un material compuesto. En aplicaciones de aviación, factores como las propiedades del material (especialmente la matriz), el impacto, el tamaño y la forma, el espesor y la velocidad del impacto, así como las propiedades del material que incluyen la absorción de energía, el daño por impacto, el tamaño del mecanismo de daño y, por último, el daño en la estructura del material, son considerados como parte del efecto de compresión. Las pruebas normativas europeas comprenden lo siguiente:

**Tabla 6.** Normativas para el ensayo de compresión.

Fuente: *Ensayos y calidad de materiales compuestos* (Miravete, 2021b, p. 226-227).

<b>NORMA</b>	<b>TIPO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
UNE 53189-5:1976	Materiales plásticos.	Placas de materiales estratificados con resinas termoestables. Determinación de la resistencia al impacto según el método Charpy, con probetas sin entalla.
UNE 53189-6:1974	Materiales plásticos.	Placas estratificadas de materiales termoestables. Determinación de la resistencia al impacto por el método Izod.

#### F. Ensayo de paneles de sándwich

La mayoría de los ensayos de paneles de sándwich hoy en día se hacen utilizando dos técnicas: expandir y engarzar. Por otro lado, los paneles para núcleos sándwich se fabrican mediante el método de expansión (Miravete, 2021b, p. 237). La norma europea especifica los siguientes ensayos para materiales aeroespaciales:

**Tabla 7.** Normativas para el ensayo de paneles de sándwich.

Fuente: Ensayos y calidad de materiales compuestos (Miravete, 2021b, p. 237).

<b>NORMA.</b>	<b>TIPO.</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
UNE-EN 2374:1993	Material aeroespacial.	Materiales estratificados reforzados con fibra de vidrio y materiales compuestos tipo “sándwich”. Preparación de paneles de ensayo.
UNE-EN 2374:1993	Material aeroespacial.	Materiales estratificados reforzados con fibra de vidrio y materiales compuestos tipo “sándwich”. Preparación de paneles de ensayo.

Las especificaciones para materiales celulares son:

**Tabla 8.** Normativas de especificaciones para ensayo de paneles de sándwich.

Fuente: Ensayos y calidad de materiales compuestos (Miravete, 2021b, 237-238)

<b>NORMA</b>	<b>TIPO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
UNE 53127:1997	Plásticos celulares.	Determinación de las características de combustión de probetas en posición horizontal sometidas a una llama pequeña.
UNE 53170:1990	Materiales poliméricos flexibles celulares.	Determinación de la fatiga estática a deformación constante.
UNE 53171:1990	Materiales poliméricos celulares flexibles.	Determinación de la dureza mediante la técnica de la indentación.
UNE 53178:1993	Plásticos.	Nomenclatura de materiales poliméricos celulares.
UNE 53184:1990	Materiales poliméricos flexibles celulares.	Determinación de la resistencia a la tracción y alargamiento de rotura.
UNE 53190:1972	Materiales plásticos.	Materiales celulares rígidos. Determinación de la resistencia a la tracción.
UNE 53192:1974	Materiales plásticos.	Materiales celulares rígidos. Determinación de la resistencia al cizallamiento.
UNE 53199:1993	Plásticos.	Materiales poliméricos celulares flexibles. Determinación del hincha- miento en disolventes.
UNE 53201:1992	Materiales plásticos.	Espumas flexibles de poliuretano. Determinación del número de células.
UNE 53204:1973	Materiales plásticos.	Materiales celulares rígidos. Ensayo de flexión.

UNE 53205:1973	Materiales plásticos.	Materiales celulares rígidos. Determinación de la resistencia a la compresión.
UNE 53211:1991	Materiales plásticos.	Espumas flexibles de poliuretano. Determinación de la fatiga a fuerza constante.
UNE 53216:1991	Materiales plásticos.	Materiales poliméricos celulares flexibles. Ensayos acelerados de envejecimiento.
UNE 53234:1992	Plásticos.	Materiales poliméricos flexibles celulares. Determinación de la resistencia al desgarro.
UNE 53294:1997	Plásticos.	Espumas de poliuretano. Determinación de los parámetros de crecimiento de sistemas espumantes de poliuretano.
UNE 53319:1975	Materiales plásticos.	Materiales celulares rígidos. Determinación de la estabilidad dimensional.
UNE 53967:1997 IN	Plásticos.	Espumas flexibles de poliuretano. Tolerancias en el valor nominal de las características de las espumas tipo éter fabricadas en bloque.
UNE 53984-31998	Plásticos.	Ensayos de materias primas de poliuretano. Isocianatos, parte 3: Determinación del contenido en isómeros en mezclas de 2.4 y 2.6 toluendiisocianato.
UNE 53985-11994	Plásticos.	Ensayos de materias primas para poliuretanos. Parte 1: Determinación del índice de hidroxiló en polioles.

## G. Otros ensayos

### ➤ Fluencia

El ensayo consiste en analizar cómo cambia la deformación de un material cuando se somete a una tensión constante a lo largo del tiempo. Este fenómeno está estrechamente vinculado con dos leyes fundamentales: la ley de Hooke, que rige el comportamiento elástico del material, y la ley de Newton, que describe su respuesta viscosa.

Durante el ensayo, se estudian las relaciones entre la tensión aplicada, la deformación resultante y el tiempo transcurrido para comprender mejor las características mecánicas del material (Miravete, 2021b, p. 267).

### ➤ Dureza Barcol

El método descrito es ampliamente utilizado debido a su facilidad de aplicación y se clasifica aquí como un tipo de ensayo, aunque se realiza con mayor frecuencia en estructuras ya finalizadas que en probetas. La técnica consiste en introducir un punzón en la probeta o pieza con una fuerza constante y luego medir la resistencia a la penetración, la cual se relaciona directamente con la dureza.

Este método es muy útil en el proceso de fabricación, ya que permite determinar cuándo una pieza está lista para ser desmoldeada. Sin embargo, no es adecuado para medir con precisión el grado de reticulación alcanzado por la resina. En esos casos, se requiere un test diferente, como, por ejemplo, la medición del estireno residual en el caso de resinas de poliéster. (Miravete, 2021b, p. 267).

### CAPÍTULO III

## MARCO METODOLÓGICO

### 3.1. Ubicación

MASTERFIBRA es una empresa que opera en el sector privado, con una sólida identidad legal, se ha especializado en brindar servicios integrales de asesoría, diseño, producción y comercialización de productos elaborados a partir de plástico reforzado con fibra de vidrio, específicamente destinados a carrocerías de vehículos y artículos similares.

**Tabla 9.** Datos geográficos de la empresa MASTERFIBRA.

Fuente: MASTERFIBRA (Geodatos, s.f.).

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



**Ilustración 15.** Mapa de Georreferenciación de la Empresa MASTERFIBRA.

*Nota:* Se muestra la ubicación de la empresa MASTERFIBRA, situada al norte del cantón Ambato. La empresa se encuentra se divide en dos plantas, una de fabricación y atención al cliente y otra de pintura y acabados.

Fuente: MASTERFIBRA - Partes y Piezas en Fibra de Vidrio Ecuador (Google s. f.).

### **3.2. Tipo de investigación**

Se lleva a cabo una investigación experimental con el objetivo de establecer una relación causal entre las propiedades físicas y mecánicas de los materiales compuestos/reciclados y su aplicación en el diseño sostenible de productos. Para lograr esto, es necesario realizar experimentos que involucren variaciones en la composición de los materiales. A través de esta investigación, se analiza los datos obtenidos y se comprende el cómo los materiales reciclados de PRFV (plástico reforzado con fibra de vidrio) impactan en el diseño sostenible de productos. Esta metodología se presenta como la opción más adecuada, ya que permitirá identificar las variables que influyen en las propiedades físico-mecánicas de los materiales compuestos/reciclados, brindando información valiosa para el desarrollo de productos.

A través de esta investigación experimental, se podrán establecer relaciones causales y determinar cómo los cambios en la composición afectan el rendimiento de los materiales en términos de diseño sostenible. Este enfoque proporcionará una base sólida para la toma de decisiones informadas en la industria, promoviendo la utilización eficiente de materiales reciclados en la creación de productos mucho más sostenibles.

### **3.3. Enfoque del trabajo**

Dentro de la investigación, se implementa un enfoque mixto que combina técnicas cuantitativas y cualitativas para lograr una comprensión más integral del tema, el cual se centra en el aprovechamiento de los residuos de PRFV. Se lleva a cabo un análisis cualitativo etnográfico para examinar aspectos como el reciclaje, la economía circular y la sostenibilidad de esta industria, con el fin de recopilar información y entender las percepciones y actitudes de las empresas hacia esta propuesta.

Se utiliza un enfoque cuantitativo, dentro del primer objetivo, en el cual se realiza una investigación experimental para medir las propiedades mecánicas de los materiales

compuestos creados a partir de reciclar remanentes de PRFV y su aplicabilidad en el diseño de objetos. Por otra parte, el segundo objetivo aborda un enfoque mixto, que combina tanto técnicas cuantitativas como cualitativas, para realizar una revisión bibliográfica de metodologías de diseño sostenible y la comprensión de los materiales constituyentes del compuesto.

Finalmente, el tercer y cuarto objetivo adoptan un enfoque cuantitativo exploratorio, con la finalidad de llevar a cabo observaciones y análisis del material compuesto, además de contrastar objetos dentro de los cuales se podría aplicar el material compuesto obtenido.

### **3.4.Pregunta científica**

*¿La reutilización de resinas plásticas reforzadas con fibra de vidrio (PRFV) se pueden utilizar en la generación de un material alternativo para su uso en la fabricación de objetos?*

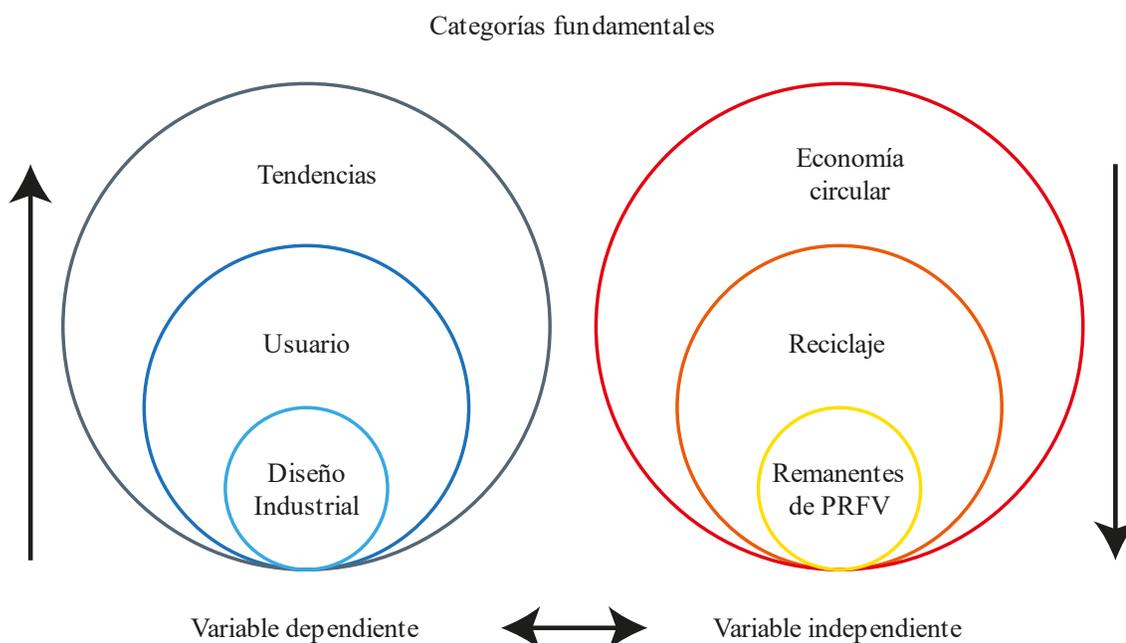
### **3.5.Variables e indicadores**

El uso de las variables de diseño industrial y remanentes de PRFV en el proyecto de investigación busca promover la sostenibilidad y la economía circular en la producción de objetos. Al incorporar el diseño industrial, se busca crear productos funcionales, atractivos y duraderos, reduciendo el desperdicio de materiales y la energía utilizada en su fabricación. Asimismo, al aprovechar los remanentes de PRFV como materia prima, se contribuye a la reducción de residuos y al reciclaje de un material que, de lo contrario, podría generar contaminación ambiental.

**Ilustración 16.** Categorías fundamentales.

*Nota:* Tópico de la investigación que se tomará en cuenta para categorizar información cualitativa y validarla mediante el análisis de resultados de la información.

*Fuente:* Autoría propia, 2023.



**Tabla 10.** Tabla de indicadores.

*Nota:* Permiten comprender cómo se comportan las dimensiones y la variable de interés, lo que nos ayuda a entender en qué situación se encuentra nuestra problemática de estudio.

*Fuente:* Autoría propia, 2023.

Variables	DISEÑO INDUSTRIAL	REMANENTES DE PRFV
Indicadores.	Ahorro de recursos naturales al utilizar remanentes en proyectos de diseño.	Cumplimiento de las normas establecidas para las propiedades físico-mecánicas del material compuesto.
	Cualidades del material compuesto.	Comparación de las propiedades del material compuesto con los estándares de la industria.
	Reducción de residuos mediante la implementación de diseño sostenible.	Evaluación del material compuesto a partir de normas.
	Impacto económico de la aplicación del material compuesto en el diseño de objetos.	Porcentaje de residuos de fibra de vidrio en la matriz polimérica.

### **3.6.Población y muestra**

El enfoque de análisis se centra en el sector productivo ubicado en la provincia de Tungurahua, que produce aproximadamente el 70% de demanda nacional de carrocerías metalmecánicas, teniendo relación directa con la utilización de resina plástica reforzada con fibra de vidrio y la generación de residuos.

Se consideran empresas o entidades que generen una cantidad significativa de remanentes de resina plástica reforzada con fibra de vidrio. Además, se buscan organizaciones interesadas en encontrar soluciones sostenibles para el manejo de estos materiales. Por último, se requiere que las empresas seleccionadas estén dispuestas a colaborar en la investigación y proporcionar información relevante sobre sus procesos y prácticas en relación con estos materiales.

A base a lo anterior, dentro de la muestra, MASTERFIBRA se identifica como una representante de las empresas dedicadas al uso de plástico reforzado con fibra de vidrio en la provincia de Tungurahua. Esta empresa, de alcance nacional y propiedad privada, cuenta con su propia entidad legal y se especializa en brindar asesoramiento, diseño, producción y venta de accesorios de plástico para carrocerías de vehículos y productos similares, elaborados principalmente con resina de poliéster y fibra de vidrio.

### 3.7. Recolección de información

#### 3.7.1. Entrevista

##### **Entrevistar al gerente de la empresa:**

Proporciona una visión global y estratégica sobre la gestión de residuos en la producción de carrocerías de fibra de vidrio. Pues es el responsable de tomar decisiones clave y establecer políticas relacionadas con la gestión de residuos en la organización. Su conocimiento y experiencia en el sector permitirán obtener información valiosa sobre las medidas implementadas, los desafíos enfrentados, los logros alcanzados y los planes futuros para mejorar la gestión de residuos. Además, el gerente puede brindar una perspectiva de la dirección de la empresa en cuanto a la importancia de la sostenibilidad y la gestión de residuos en su estrategia empresarial.

1. ¿Cuál es el proceso de producción de las carrocerías de fibra de vidrio en MASTERFIBRA y cuáles son los principales materiales utilizados en este proceso?

El proceso de producción de las carrocerías de fibra de vidrio en MASTERFIBRA involucra varias etapas:

##### **Diseño y prototipado:**

Se realiza el diseño conceptual del pedido, teniendo en cuenta los requisitos específicos del cliente, aunque en ocasiones existe la posibilidad de que el cliente cuente con el diseño y los planos listos para la construcción. Luego, de contar con los planos se crea un prototipo para evaluar su funcionalidad y estética en este se realiza un prototipo inicial este puede ser hecho en madera o espuma de poliestireno.

Después, a partir de ese primer modelo se saca un primer molde en cuál se utilizan dos o tres capas de fibra de vidrio y resina, en este se van a realizar todos los ajustes necesarios a veces este se corta, se parcha y se rompe debido a las imperfecciones que

podría presentar del primer modelo de madera o espuma de poliéster, todo esto con el objetivo de crear un primer modelo en fibra de vidrio el cual cuente con las especificaciones requeridas.

#### **Fabricación del molde:**

Se construye un molde positivo del primer modelo realizado en fibra de vidrio, en base al diseño aprobado. Este molde actúa como una forma negativa en la cual se aplicará la fibra de vidrio y la resina.

#### **Preparación del molde y material:**

Se prepara al molde para evitar que el material se quede pegado, se siguen varios pasos. En primer lugar, se aplica una capa de cera desmoldeante al molde, realizando dos o tres pasadas para asegurar una cobertura uniforme. Esto facilitará el proceso de desmoldeo posterior. Una vez que se ha aplicado la cera desmoldeante, se procede a aplicar una capa de Gel Coat sobre la superficie del molde. El Gel Coat es un recubrimiento que proporciona una superficie lisa y resistente, además de un acabado estético y finalmente, se lo deja secar antes del siguiente paso.

#### **Laminado:**

Se coloca la fibra de vidrio impregnada con resina en el molde, capa por capa, utilizando técnicas de laminación manual. Se debe realizar una distribución uniforme de la fibra de vidrio además de eliminar las burbujas de aire que las capas vayan presentando.

#### **Curado:**

Después de laminar todas las capas necesarias, se somete a un proceso de curado, donde la resina se endurece. Esto ocurre a temperatura ambiente durante aproximadamente un día.

#### **Desmoldeo y acabado:**

Una vez que la resina se ha endurecido, la carrocería se desmoldea cuidadosamente. A continuación, se realizan los acabados finales, la pieza se dirige a otro

sector donde se realizan varias actividades como el lijado, pulido y correcciones necesarias, para obtener la apariencia y calidad deseada, y en caso de no obtenerla la pieza se devuelve al proceso anterior.

En cuanto a los materiales utilizados, los principales son:

**Fibra de vidrio:**

Se utiliza en forma de tejidos, matrices o refuerzos unidireccionales para proporcionar resistencia y rigidez a la carrocería. La fibra de vidrio está compuesta por filamentos de vidrio entrelazados.

**Resina:**

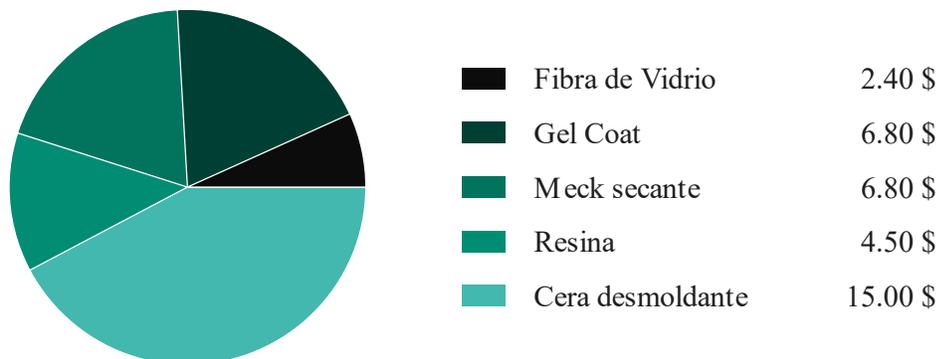
Se emplea resina de poliéster o resina epoxi para impregnar y unir las fibras de vidrio, esto a preferencia del cliente. La resina actúa como un aglutinante que se solidifica durante el proceso de curado, brindando resistencia y durabilidad a la pieza.

**Otros materiales:**

Además de la fibra de vidrio y la resina, se pueden utilizar otros materiales auxiliares como gel coat para obtener una superficie exterior lisa y protectora, agentes desmoldeantes para facilitar el desmoldeo de la carrocería del molde, y aditivos para mejorar características específicas como la resistencia a la corrosión o la absorción de impactos, esto ya dependerá de cada proyecto pues pueden variar según las especificaciones del proyecto, las normativas aplicables y las preferencias del cliente.

A continuación, se muestra un gráfico de los precios que tienen los principales materiales que se utilizan dentro de la empresa.

### COSTOS DE LA MATERIA PRIMA



Costo total 35.50 \$

**Ilustración 17.** Costos del material utilizado.

*Nota:* A través de un gráfico se muestran las bases para el cálculo de los costos de materia prima, el costo del material está determinado en base a los kilos (Kg).

*Fuente:* MASTERFIBRA, 2023.

2. ¿Cuántos productos de fibra de vidrio produce la empresa en promedio por mes y cuál es la capacidad de producción máxima?

En MASTERFIBRA, se produce en promedio de 3 a 4 juegos de buses completos en fibra de vidrio cada mes. Sin embargo, es importante destacar que la cantidad exacta de productos de fibra de vidrio que se fabrica en un mes puede variar considerablemente. Esto se debe a que cada juego de buses que se produce es personalizado y varía según los modelos y pedidos específicos de cada clientes.

La capacidad de producción máxima también puede fluctuar debido a la naturaleza personalizada de los productos, sin embargo, en condiciones ideales y con una demanda constante, se podría aumentar la capacidad de producción.

3. ¿Cuáles son los principales desechos o desperdicios generados durante el proceso de fabricación de las carrocerías de fibra de vidrio y cómo se manejan actualmente?

Los principales desechos o desperdicios generados durante el proceso de fabricación de carrocerías de fibra de vidrio pueden variar según el tipo de producción mensual. Sin embargo, los desechos comunes en este proceso incluyen:

- Recortes de fibra de vidrio: durante el laminado de las capas de fibra de vidrio en el molde, se generan recortes o sobrantes de fibra de vidrio que no se utilizan completamente.
- Exceso de resina: durante el proceso de laminación, puede haber un exceso de resina que no se absorbe completamente en la fibra de vidrio.
- Desperdicio de material de moldeo: durante la preparación del molde y el proceso de desmoldeo, se generan residuos del material utilizado para revestir el molde, como agentes desmoldeantes o recubrimientos.
- Implementos utilizados: cada cierto tiempo se cambian implementos y herramientas como brochas, rodillos, guantes, lijas, implementos de aseo y demás.
- Envases y embalajes: los materiales de embalaje utilizados para proteger y transportar los productos terminados también pueden generar residuos, como cajas de cartón, plásticos de burbujas, entre otros.

4. ¿Se lleva a cabo algún tipo de seguimiento o monitoreo de los desperdicios generados con el fin de evaluar y mejorar continuamente las prácticas de producción?

Sí, llevamos a cabo un seguimiento y monitoreo de los desperdicios generados en nuestra producción de carrocerías de fibra de vidrio. Este seguimiento es parte esencial de nuestro enfoque en la mejora continua de nuestras prácticas de producción y la gestión.

Por ejemplo, se lleva un registro de la cantidad y tipo de residuos generados en cada etapa del proceso de producción, cuantos desperdicios genera y cada cuanto se cambia las herramientas utilizadas, se analizan las causas raíz de los desperdicios generados para identificar oportunidades de mejora y a tomar medidas correctivas y se

hace un monitoreo regular para evaluar el desempeño y progreso en la empresa. De igual manera, también se fomenta la participación de los empleados en la identificación de prácticas más eficientes y en la reducción de desperdicios con el fin de implementar mejoras en los procesos y prácticas de producción.

5. ¿La empresa ha implementado alguna iniciativa o tecnología específica para reducir los desperdicios durante el proceso de fabricación de las carrocerías de fibra de vidrio?

Como tal no se ha implementado alguna tecnología o maquinaria que pueda contribuir a la reducción de desperdicios, sin embargo, se trabaja en otros ámbitos, por ejemplo, la optimización de diseño se trabaja en colaboración con los ingenieros y diseñadores para reducir el desperdicio de material en la etapa de producción, con el uso eficiente de materiales y la reducción de piezas innecesarias o desechables. Además de monitorear y analizar datos de la producción rutinariamente, estos son relacionados con la gestión y producción de la empresa para identificar oportunidades de mejora y tomar decisiones informadas.

6. ¿Existen planes futuros para mejorar la eficiencia en la producción y reducir aún más los desperdicios generados?

Sí, como gerente, tenemos planes ambiciosos para mejorar aún más la eficiencia en la producción, dentro de los cuales se incluirían cuestiones como la sostenibilidad y la gestión responsable de residuos, son una prioridad y se busca constantemente formas de mejorar las prácticas y procesos. Algunos de los planes que se tiene en mente incluyen rondan en torno a la investigación y adopción de tecnologías, la mejora continua del diseño y la planificación, procesos dentro de la empresa, junto con la evaluación de la cadena de suministro y la capacitación y compromiso del personal.

7. ¿Cómo se manejan los materiales sobrantes o residuos de fibra de vidrio?  
¿Se realizan esfuerzos para reciclar o reutilizar estos materiales?

Lamentablemente, en este momento no se están realizando esfuerzos para reciclar o reutilizar los materiales sobrantes o residuos de fibra de vidrio en nuestra empresa. Debido a la empresa se encuentra experimentando un período de crecimiento significativo, lo que ha requerido una mayor concentración de recursos y esfuerzos en el aumento de la producción y en satisfacer la creciente demanda del mercado.

No obstante, un objetivo futuro es buscar soluciones para gestionar de manera más eficiente y sostenible los materiales sobrantes, y estamos comprometidos a explorar opciones viables para el reciclaje y la reutilización en cuanto las circunstancias lo permitan, ya que actualmente estos residuos son manejados por una empresa externa.

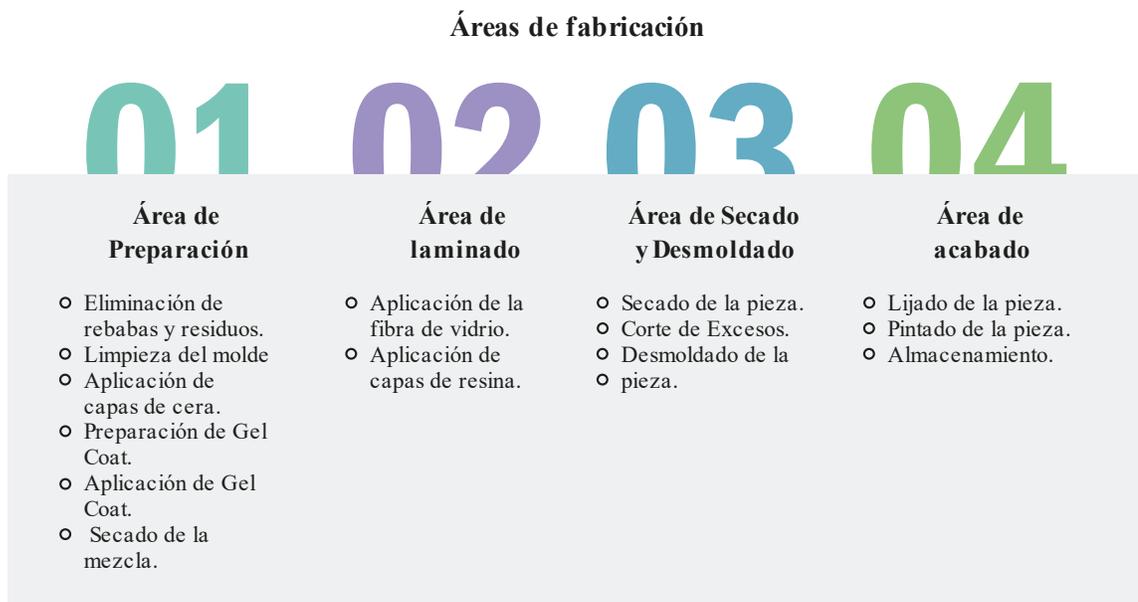
8. ¿Existen colaboraciones o alianzas con proveedores o expertos en reciclaje y gestión de residuos para asegurar una mejor integración de prácticas sostenibles?

Actualmente, no se dispone de colaboraciones o alianzas dentro de la empresa, ya que se han centrado en su crecimiento y expansión, para sobrevivir y satisfacer la creciente demanda del mercado.

### 3.7.2. Observación

Esta etapa se centró en comprender el proceso de fabricación en MASTERFIBRA, pues se considera el punto importante en la investigación, ya que es crucial comprender en qué áreas de la producción se generan o segregan los remanentes de PRFV. Este se divide en cuatro áreas principales: preparación, laminado, secado y acabado.

A continuación, se describen las actividades específicas de cada área:



*Ilustración 18. Áreas de fabricación.  
Fuente: MASTERFIBRA, 2023.*

#### 1. Área de Preparación

➤ Eliminación de rebabas y residuos:

Durante esta actividad, se procede a tomar los moldes y se realiza la tarea de eliminar cualquier exceso que haya podido quedar en los bordes del molde como resultado de producciones anteriores.

➤ Limpieza del molde:

Después de asegurarse de que los bordes de los moldes estén limpios, se continúa con la siguiente etapa, que es limpiar las paredes del molde. Esta acción tiene el propósito de eliminar cualquier residuo que pueda haber quedado del proceso anterior, lo cual es fundamental para facilitar el proceso de aplicación de cera de manera adecuada y garantizar resultados óptimos en la producción.

➤ Aplicación de capas de cera:

En esta fase del proceso, se procede a aplicar de 2 a 3 capas de cera en las paredes del molde. Esta acción se realiza con el propósito de prevenir que la mezcla utilizada en el molde se adhiera y dificulte el desmoldado posterior. La cera actúa como una barrera de liberación, lo que facilita que una vez que el material se ha solidificado, pueda retirarse fácilmente del molde sin dañar la pieza final. Esta precaución es crucial para asegurar una producción eficiente y obtener productos de alta calidad.

➤ Preparación de Gel Coat:

Después de aplicar las capas de cera, el siguiente paso consiste en preparar la cantidad adecuada de Gel Coat. La cantidad requerida de Gel Coat dependerá directamente de la cantidad de moldes que se vayan a utilizar en el proceso de fabricación. Es fundamental calcular y mezclar la cantidad precisa de Gel Coat para asegurar que cada molde esté correctamente recubierto con este material. El Gel Coat es un recubrimiento especial que se aplica en el interior del molde para proporcionar una superficie exterior lisa y resistente a la pieza final. Esta capa contribuye a mejorar la apariencia y durabilidad del producto terminado.

➤ Aplicación de Gel Coat:

Durante esta actividad, se aplica el gel coat sobre las superficies internas de los moldes de manera uniforme, cubriendo todo el molde. El gel coat cumple la función de actuar como una capa protectora para la pieza de fibra de vidrio que se producirá en el proceso.

➤ Secado de la mezcla:

La etapa crucial antes de proceder a la colocación de la fibra de vidrio es permitir que la mezcla se seque adecuadamente. Esta fase es de suma importancia, ya que, si la mezcla no ha secado por completo, el proceso de laminado se dificultará significativamente.

## **2. Área de laminado**

➤ Aplicación de la fibra de vidrio:

En este paso, las fibras de vidrio se disponen de manera que cubran completamente el molde, este material se adhiere sin dificultad gracias al Gel Coat previamente aplicado.

➤ Aplicación de capas de resina:

Durante esta actividad, se utilizan múltiples capas de resina para solidificar la fibra de vidrio en la pieza a fabricar. La cantidad de capas que se apliquen dependerá de las necesidades específicas de cada proyecto. Estas capas desempeñan un papel fundamental en el proceso de solidificación y fortalecimiento del material de fibra de vidrio utilizado en la elaboración de la pieza.

## **3. Área de Secado y Desmoldado**

➤ Secado de la pieza:

Después de la etapa anterior, los moldes son llevados al área de secado, donde se mantendrán durante un período de 24 horas. Este intervalo de tiempo resulta fundamental, ya que permite que la resina se solidifique por completo.

➤ Corte de Excesos:

Después de que la pieza realizada se haya secado, se procede a cortar los excesos de material que se hayan acumulado en los bordes. Es importante llevar a cabo este paso antes de proceder con el desmoldado, debido a que la forma del molde actúa como guía y

evita que se corte más de lo necesario. De esta manera, se logra obtener una pieza con los bordes limpios y precisos, listos para su uso o acabado final.

➤ **Desmoldado de la pieza:**

Como actividad final en esta área, se realiza el desmoldado de la pieza con cuidado y evitando movimientos bruscos o desapacibles. Esto se hace con el propósito de prevenir la aparición de grietas o roturas en la pieza final. El desmoldado requiere atención y delicadeza para asegurar que la pieza se desprenda sin dañarse.

#### **4. Área de acabado**

➤ **Lijado de la pieza:**

La pieza que ha sido desmoldada se lleva al área de acabado, donde se procede a lijarla para lograr una superficie lisa y agradable al tacto. Después de ser lijada, se realiza una limpieza exhaustiva para eliminar cualquier residuo y polvo que haya quedado como resultado del proceso de lijado.

➤ **Pintado de la pieza:**

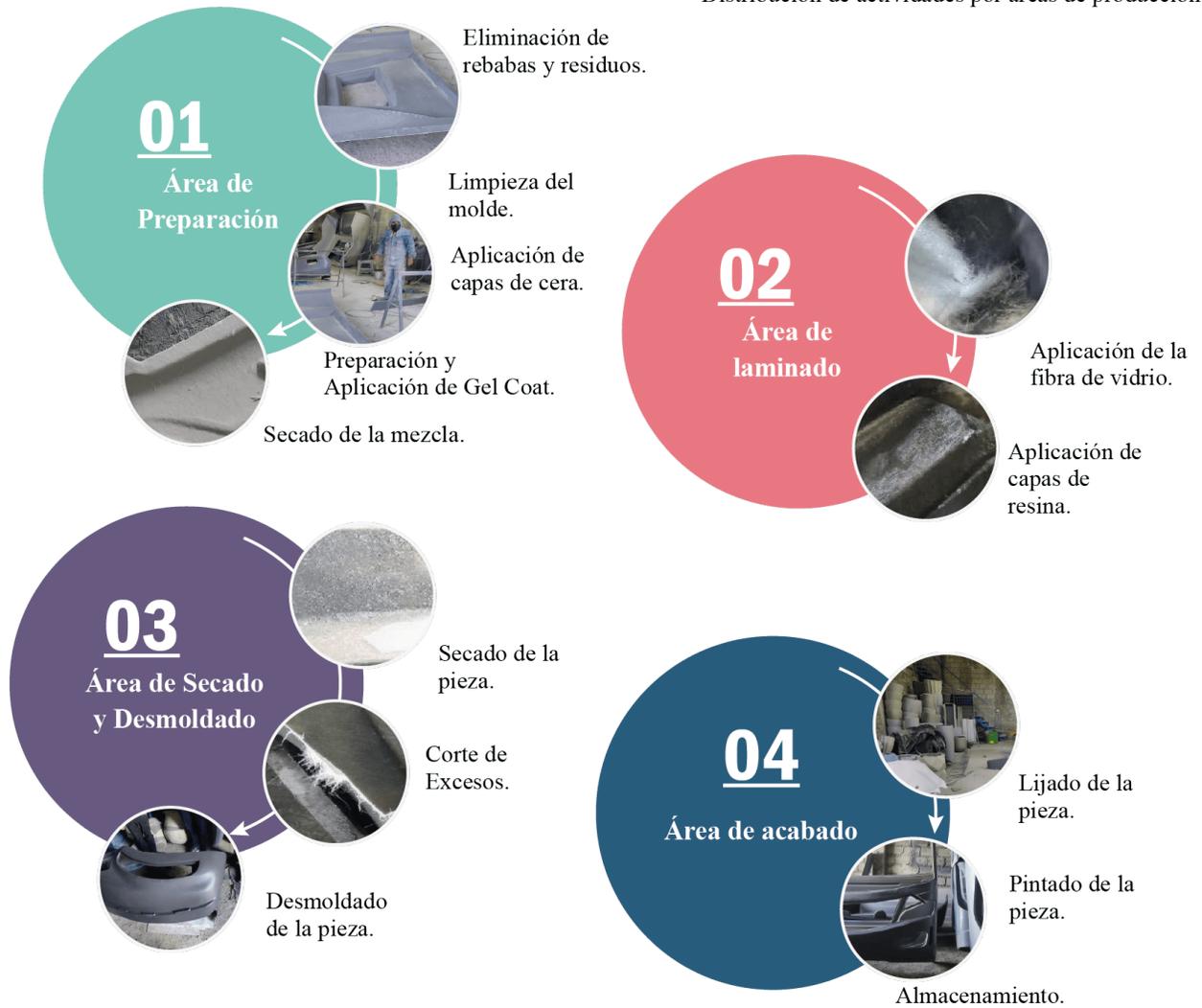
La pieza es pintada según las preferencias de los clientes en términos de colores solicitados y para ello la empresa cuenta con dos opciones hidrografía y el pintado convencional.

➤ **Almacenamiento:**

Después de pintar la pieza, se asegura un tiempo adecuado de secado antes de ser almacenada en un área protegida y etiquetada para evitar daños. Durante el almacenamiento, se coordina con el cliente la fecha de retiro. Una vez que el cliente está listo, se realiza una revisión final antes de la entrega, garantizando su calidad.

# PROCESO DE FABRICACIÓN

Distribución de actividades por áreas de producción



*Ilustración 19. Proceso de fabricación.  
Fuente: MASTERFIBRA, 2023.*

### **3.8. Análisis y conclusión de los resultados**

#### **3.8.1. Remanentes de resina plástica reforzada con fibra de vidrio**

MASTERFIBRA es una empresa dedicada al trabajo con resina plástica reforzada con fibra de vidrio (PRFV). Dentro de la investigación durante el análisis, se examinaron diversos aspectos que engloban su funcionamiento, incluyendo la materia prima utilizada, la mano de obra y los costos de fabricación, entre otros. Luego de recopilar y analizar los datos, se observa que se generan remanentes de PRFV principalmente en la tercera área de producción, específicamente en la actividad de corte de excesos. No obstante, es importante destacar que también existen desechos en todas las áreas de producción, aunque su volumen no es considerable.

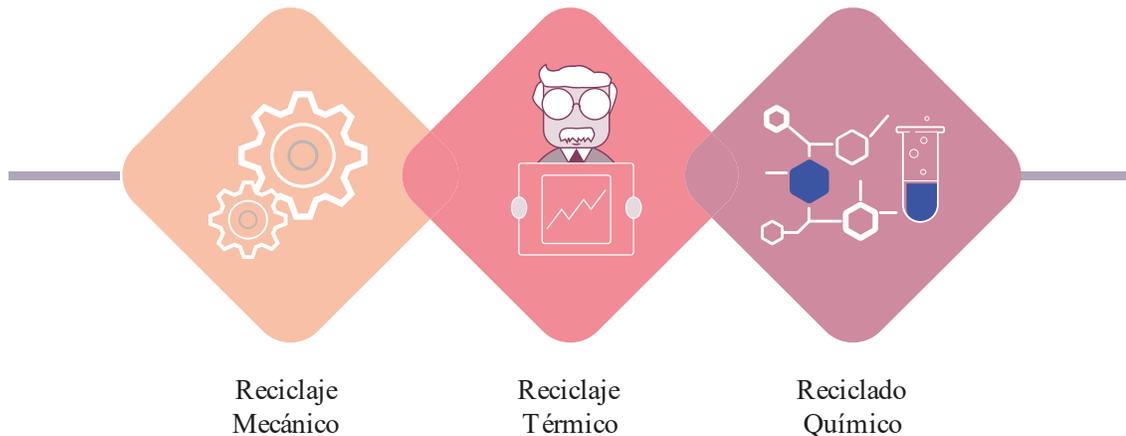
La generación de remanentes en la actividad de corte de excesos sugiere la necesidad de evaluar y optimizar los procesos de producción en esta área para reducir el desperdicio de materiales. Implementar prácticas de gestión de residuos y reciclaje podría ser una medida efectiva para minimizar el impacto ambiental y potencialmente aprovechar estos remanentes en otras etapas de producción o en productos secundarios, pues al abordar estos aspectos, MASTERFIBRA podría mejorar su sostenibilidad ambiental, optimizar costos de producción y fortalecer su posición como empresa comprometida con prácticas responsables en el manejo de materiales.

#### **3.8.2. Proceso de reciclaje de remanentes de PRFV**

Actualmente, existen diversas técnicas y métodos por los cuales podemos reciclar materiales, cada una de ellas para un determinado fin, los cuales se categorizan en 3 grandes grupos, mismos que podemos observar en el artículo titulado "Revisión del reciclado de residuos de materiales compuestos reforzados con fibra de carbono/fibra de vidrio: recuperación de fibras, propiedades y análisis del ciclo de vida" (2020), en el Sankar Karuppanan y Timo Kärki exploran diversas metodologías para el reciclaje de residuos de materiales compuestos reforzados con fibra de carbono y fibra de vidrio

(PRFV). Las cuales se utilizarán a modo de guía para llevar a cabo diversos ensayos con los remanentes de PRFV.

## MÉTODOS DE RECICLAJE



**Ilustración 20.** *Métodos de reciclaje de PRFV.*

*Fuente: Revisión del reciclado de residuos de materiales compuestos reforzados con fibra de carbono / fibra de vidrio: recuperación de fibras, propiedades y análisis del ciclo de vida (Karuppanan y Kärki 2020, p. 03).*

A lo largo de la investigación, se abarca una visión general de los diferentes enfoques existentes en el reciclaje de remanentes, con el fin de identificar la opción más viable y prometedora para realizarlo. Después de considerar varios aspectos, como el entorno, los implementos necesarios, costos y otros factores, se adopta como enfoque principal el reciclaje mecánico para llevar a cabo los ensayos de prueba y error.

La decisión se toma debido a que el reciclaje mecánico presenta diversas ventajas, tales como su eficiencia en la reutilización de materiales y su capacidad para procesar grandes volúmenes de residuos en un corto período de tiempo. También se ha considerado que este enfoque es más sostenible desde el punto de vista ambiental, ya que reduce la generación de nuevos desechos y contribuye a la conservación de los recursos naturales.

Esta forma de reciclar ofrece una mayor versatilidad en las técnicas y maquinaria especializada como en la clasificación y separación de materiales, lo que permite

investigar diferentes combinaciones y técnicas para obtener resultados óptimos en los ensayos. Hay que tener en cuenta que cada proceso de reciclaje tiene sus desafíos, y el reciclaje mecánico no es una excepción. Después de una cuidadosa reflexión, se decidió reciclar los remanentes mediante el proceso de Trituración y Molienda.

### **Proceso de trituración / molienda:**

Es una operación industrial común que consiste en reducir el tamaño de materiales sólidos mediante fuerzas mecánicas. Se emplea en diversos sectores, con el fin de facilitar la manipulación, transporte o mejorar el rendimiento de los materiales. La trituración reduce el tamaño inicial, mientras que la molienda reduce aún más las partículas para obtener un polvo fino o una suspensión homogénea, logrando así adaptar los materiales a diferentes aplicaciones industriales (Blanco 2021).

Este método de reciclaje puede realizarse en condiciones húmedas o secas, dependiendo de la naturaleza del material y los requisitos del proceso. En este caso en particular tras varios intentos, se llegó a la conclusión de que este proceso debe llevarse a cabo en condiciones húmedas debido a la naturaleza del material. El proceso se llama 'trituración húmeda' o 'molienda húmeda'. Es una técnica que implica la reducción del tamaño de un material sólido mediante la aplicación de líquido y fuerzas de corte o impacto. Durante la trituración húmeda, el líquido actúa como un medio para facilitar la ruptura de las partículas sólidas y ayudar en la dispersión de estas.

En este proceso, el material sólido se sumerge en un líquido, como agua o algún otro solvente, y luego se somete a fuerzas mecánicas, como agitación o impacto, mediante el uso de equipos especializados como molinos de bolas, molinos de martillos o molinos de cuchillas. El líquido ayuda a reducir la fricción y la generación de calor, lo que es beneficioso al material propenso a la aglomeración. Este llevó a cabo por varios días siguiendo los siguientes pasos:

1



**Preparación del material:**

Se prepara el material sólido, en este caso, se lo somete a un proceso de trituración previa para reducir su tamaño inicial.

2



**Mezcla con líquidos:**

Se añade el líquido (agua) al material sólido. Se utilizo un litro de agua por cada 50g de remanentes que se procesa.

3



**Alimentación del material:**

La mezcla de sólidos y líquidos se introduce en el molino, en este caso una licuadora, a medida que los sólidos se iban agregando se podía observar el cambio de tonalidad del agua.

4



**Trituración:**

El material es sometido a fuerzas de corte, cizallamiento y compresión dentro del molino. Las partículas sólidas se reducen aún más de tamaño, mientras que el líquido ayuda a lubricar el proceso y a mantener una mezcla homogénea.

5



**Separación y clasificación:**

Después de la molienda, se realiza una separación para obtener el producto deseado. Esto implicar el uso de tamices para obtener diferentes fracciones de tamaño.

6

**Secado:**

Se procede a secar el producto final para eliminar el exceso de líquido y observar el producto en su forma seca y su comportamiento.

*Ilustración 21. Proceso de reciclaje de los remanentes de PRFV.  
Fuente: Autoría propia, 2023.*

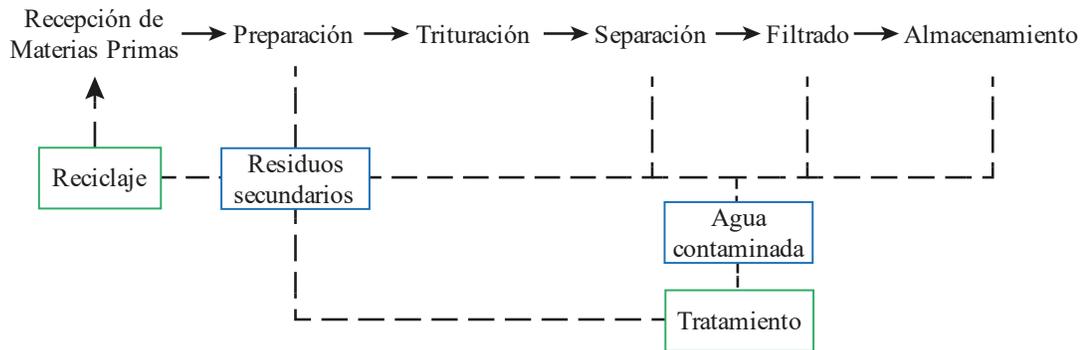
Es importante considerar que tanto la trituración como la molienda húmeda son procesos complejos que pueden variar dependiendo del tipo de material, los objetivos de procesamiento y el equipo utilizado. De igual modo, el costo del reciclaje también puede variar dependiendo del tipo de maquinaria utilizada, la cantidad de material a ser procesado, mano de obra y otros factores que podrían influir, para este caso particular al realizar el procesamiento de remanentes de PRFV de manera casera se estimó que el reciclar 1000 gramos de material tiene un costo de 0,13 dólares.

*Tabla 11. Costos Involucrados.*

*Fuente: Hay gente que triplica los niveles de consumo de agua en Quito (Diario La Hora Ecuador 2019), Ecuador precios de la electricidad (GlobalPetrolPrices 2023).*

<b>Material</b>	<b>Unidades</b>	<b>Costo por unidad</b>	<b>Costo Total</b>
Remanentes de PRFV	1000 g	0 \$	0 \$
Electricidad	1,2 kWh	0,092 \$	0,11 \$
Agua	10 l	0,0015 \$	0,02 \$
<b>Total</b>			<b>0,13 \$</b>

Por otro lado, durante este proceso también existen desechos que se generan, principalmente debido al uso de agua a lo largo de la trituración, su manejo inadecuado en la trituración húmeda de residuos de PRFV (plástico reforzado con fibra de vidrio) acarrea consecuencias ambientales y para la salud. La contaminación del agua puede afectar la vida acuática y los ecosistemas, mientras que los residuos generados pueden contener sustancias tóxicas y fibras de vidrio perjudiciales para la salud humana. Para evitar estos problemas, es esencial implementar una gestión adecuada, incluyendo tratamientos de agua y residuos, y cumplir con las regulaciones ambientales vigentes.



**Ilustración 22.** Ciclo de la materia en el proceso de trituración húmeda.  
Fuente: Autoría propia, 2023.

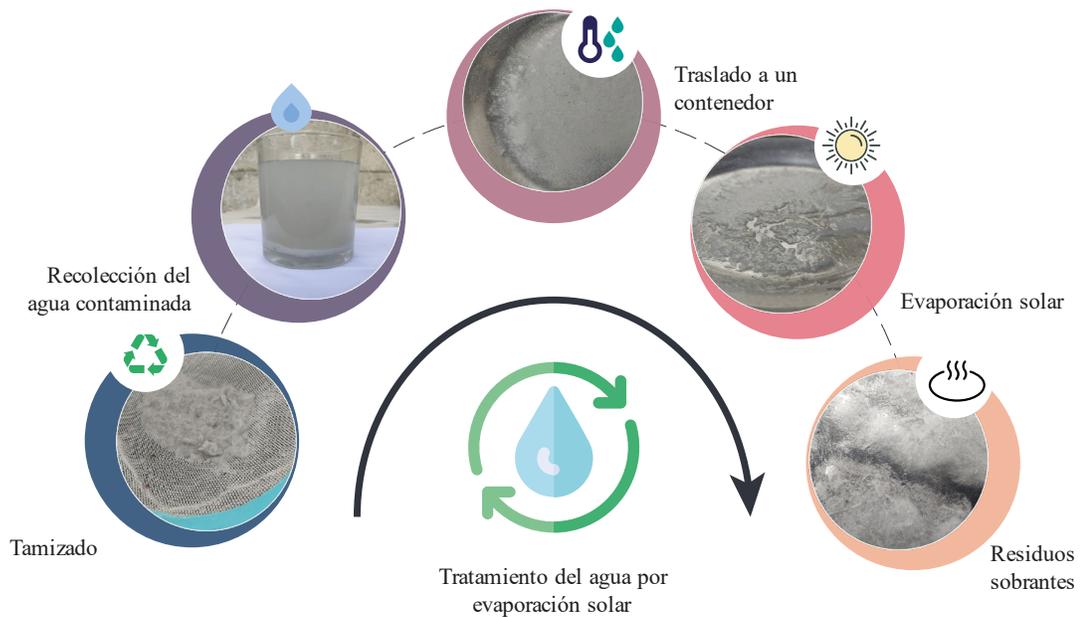
Para abordar el problema de manejo del agua en el proceso, se puede emplear el método conocido como "evaporación solar" o "salinización solar". Este método es una solución sostenible que permite reducir la cantidad de efluente líquido generado durante el proceso de trituración, así como tratar el agua para su reutilización o disposición final controlada. La evaporación solar es un proceso natural que utiliza la energía del sol para evaporar el agua contenida en el efluente líquido generado durante la trituración húmeda. Este método implica la disponibilidad de contenedores poco profundos y amplios, donde se deposita el efluente. El agua se expone al sol, y mediante la radiación solar y la elevada superficie de exposición, el agua se evapora dejando los sólidos y sustancias contaminantes concentrados en el fondo.

Esta solución tiene varias ventajas:

- Sostenibilidad: Utiliza una fuente de energía renovable y gratuita, el sol, para llevar a cabo el proceso de evaporación.
- Reducción de efluentes: La evaporación solar permite reducir la cantidad de efluentes líquidos liberados, disminuyendo el impacto ambiental.
- Tratamiento y reutilización: El proceso de evaporación concentra los sólidos y contaminantes, lo que facilita su tratamiento posterior o disposición final controlada.

- Bajo costo: La construcción y operación de contenedores para la evaporación solar es relativamente económica en comparación con otros métodos de tratamiento de agua.

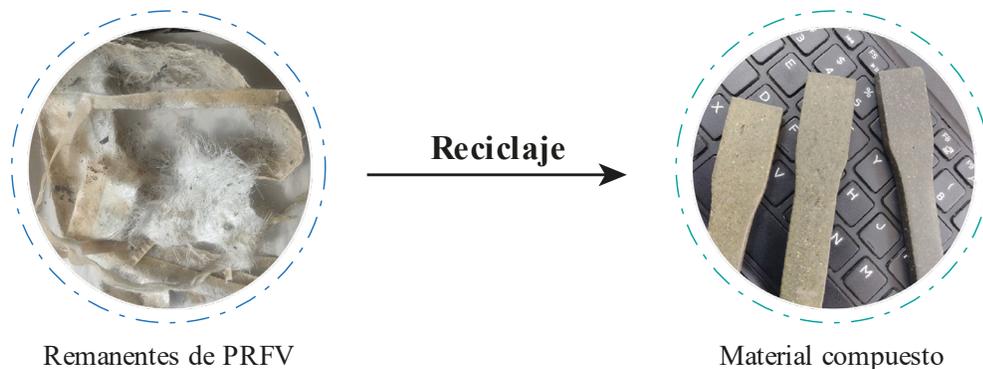
Sin embargo, es importante considerar aspectos como la climatología local, los espacios adecuados, la disposición para realizar monitoreo constante y el cumplir con las regulaciones ambientales locales.



**Ilustración 23.** Proceso para tratar el agua residual de la trituración por medio de evaporación solar. Fuente: Autoría propia, 2023.

### 3.8.3. Material compuesto (experimentación)

El reciclaje de remanentes de Polímeros Reforzados con Fibra de Vidrio (PRFV) para generar materiales compuestos presenta numerosas ventajas ambientales y económicas. Esta práctica reduce la acumulación de residuos en vertederos, evita la extracción excesiva de recursos naturales, disminuye las emisiones de carbono y fomenta una economía circular. Además, promueve la innovación en diseño y aplicaciones al permitir la reutilización de materiales para crear productos sostenibles en diversas industrias, puede abrir la puerta a nuevas posibilidades de diseño y aplicaciones, ya que la combinación de materiales reciclados con otros materiales puede mejorar las propiedades y el rendimiento del compuesto resultante.



*Ilustración 24. Material compuesto y remanentes de PRFV.  
Fuente: Autoría propia, 2023.*

El proceso de desarrollo e investigación para la generación de un material compuesto de matriz polimérica a partir del reciclaje de remanentes de PRFV involucra varias etapas:

- **Investigación y análisis inicial:** el proceso comienza con una investigación exhaustiva sobre el PRFV y sus propiedades, así como el estudio de las técnicas de reciclaje y las posibles resinas poliméricas que se pueden combinar con los remanentes. Con la finalidad de identificar las ventajas y desafíos del reciclaje de PRFV y evaluar las opciones viables.

- **Selección de remanentes y separación:** se identifica los remanentes de PRFV disponibles, y su procedencia, en este caso residuos de fabricación. Luego, se lleva a cabo un proceso de separación y clasificación para obtener los materiales de PRFV más adecuados para el reciclaje.
- **Trituración y preparación:** los remanentes de PRFV se triturarán en pequeñas partículas para facilitar el procesamiento posterior.
- **Selección de polímero y compatibilización:** se elige la resina polimérica adecuada, en este caso resina de poliéster, teniendo en cuenta factores como resistencia, durabilidad y costo.
- **Proceso de mezclado y moldeo:** los remanentes de PRFV triturados se mezclan con la resina polimérica en condiciones controladas para obtener una distribución homogénea de las fibras de vidrio. Luego, se moldean utilizando técnicas como la inyección o compresión.
- **Monitorización y mejora:** una vez en realizadas las primeras pruebas, se realiza un seguimiento para garantizar la calidad y la eficiencia del material. Se buscan oportunidades de mejora y se atienden los posibles problemas que puedan surgir.

En el proceso de sinterización del material compuesto, es esencial seguir una secuencia de pasos meticulosos para lograr un resultado óptimo. Estos procedimientos se han establecido para garantizar la calidad y la eficacia del producto final. La secuencia incluye:



*Ilustración 25. Generación del material compuesto polimérico.  
Fuente: Autoría propia, 2023.*

En esta investigación, examinaremos una visión detallada y estructurada de los gastos involucrados en la elaboración del material compuesto de matriz polimérica, mediante la recopilación y análisis de datos sobre los insumos necesarios y sus respectivos costos, se proporcionan una estimación precisa de los recursos requeridos para producir un metro cuadrado.

**Tabla 12.** Precio de los materiales constituyentes.

Fuente: Mi tienda Pintulac (Pintulac s. f.).

<b>Materiales constituyentes</b>	<b>Masa (g) / Volumen (ml)</b>	<b>Costo (\$)</b>
Enlunax capa gruesa (Mezcla de cemento, arena, aditivos y polímeros).	1000 g	0,29 \$
Resina de poliéster.	1000 g	4,59 \$
Cobalto	50 ml	2,20 \$
Peróxido de metiletilcetona (MEKP)	50 ml	1,80 \$
Remanentes de PRFV procesados.	1000 g	0,13 \$

En la investigación, se elaboraron tres muestras secuenciales del compuesto polimérico, variando su composición y estructura, con la finalidad de comparar y analizar cómo las diferencias en la cantidad de materiales constituyentes afectan a las propiedades del material.



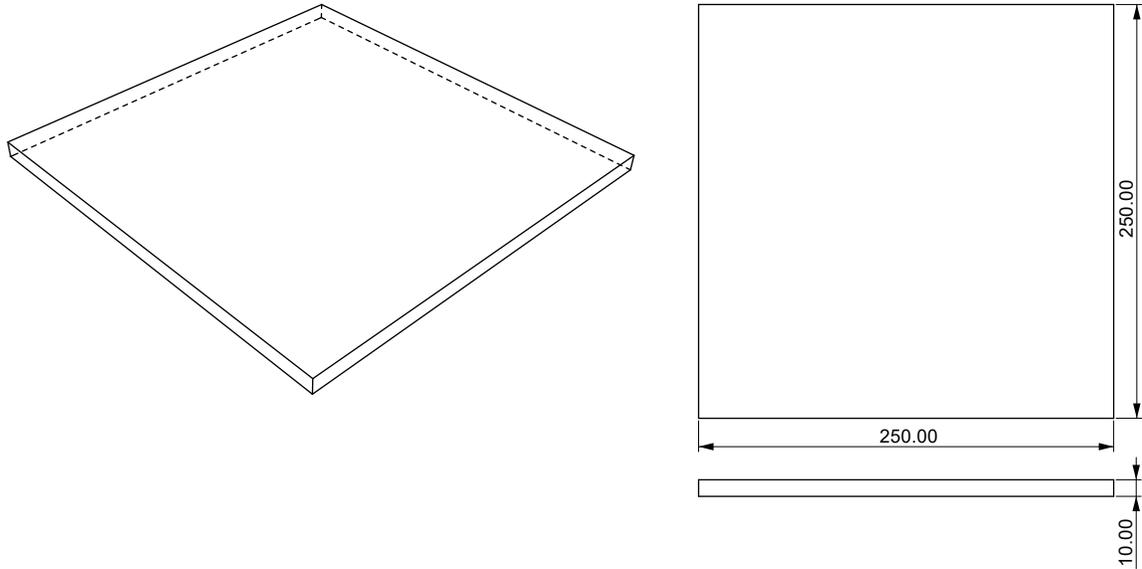
**Ilustración 26.** Muestras del compuesto polimérico.

Fuente: Autoría propia, 2023.

Se busca optimizar su rendimiento y explorar posibles aplicaciones en diversas áreas, contribuyendo al desarrollo de materiales más adaptados a las necesidades actuales, iniciando por la derecha la primera muestra posee una estructura de sándwich, mientras la segunda y tercera poseen una multidireccional que varía en la cantidad de materiales constituyentes utilizados.

Las siguientes tablas presentan a detalle los costos y las cantidades para la fabricación de las tres diferentes muestras de un compuesto de matriz polimérica en una plancha de 250 mcm \* 250 mm \* 10 mm del material compuesto.

**Ilustración 27.** Plano de la plancha elaborada con las distintas muestras.  
Fuente: Autoría propia, 2023.



**Tabla 13.** Muestra número (Lámina multidireccional)1, precio basado en la cantidad de material utilizado.

Fuente: Autoría propia, 2023.

Material	Cantidad Utilizada (25 cm * 25cm * 1cm)	Costo basado en la cantidad.
Enlumas capa gruesa (mezcla de cemento, arena, aditivos y polímeros).	700 g	0,203 \$
Resina de poliéster.	700 g	3,213 \$
Cobalto	2 ml	0.088 \$
Peróxido de metiletilcetona (MEKP)	2.5 ml	0,09 \$
Remanentes de PRFV procesados.	70 g	0,091 \$
<b>Total</b>		<b>3,685 \$</b>

**Tabla 14.** Muestra número 2 (Lámina multidireccional), precio basado en la cantidad de material utilizado.

Fuente: Autoría propia, 2023.

<b>Material</b>	<b>Cantidad Utilizada (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Costo basado en la cantidad.</b>
EnlumaX capa gruesa (mezcla de cemento, arena, aditivos y polímeros).	1050 g	0,304 \$
Resina de poliéster.	350 g	1.606 \$
Cobalto	1 ml	0.044 \$
Peróxido de metiletilcetona (MEKP)	1.5 ml	0,09 \$
Remanentes de PRFV procesados.	70 g	0,054 \$
<b>Total</b>		<b>2.098 \$</b>

*Tabla 15. Muestra número 3 (Estructura sándwich), precio basado en la cantidad de material utilizado. Fuente: Autoría propia, 2023.*

<b>Material</b>	<b>Cantidad Utilizada (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Costo basado en la cantidad.</b>
EnlumaX capa gruesa (mezcla de cemento, arena, aditivos y polímeros).	700 g	0,203 \$
Resina de poliéster.	700 g	3,213 \$
Cobalto	2 ml	0.088 \$
Peróxido de metiletilcetona (MEKP)	2.5 ml	0,09 \$
Remanentes de PRFV procesados.	90 g	0,117 \$
<b>Total</b>		<b>3,711 \$</b>

Estas tablas representan herramientas que resultan útiles en el proceso de desarrollar un producto, ya que ofrecen una perspectiva exhaustiva de los costos y recursos requeridos para fabricar materiales o estructuras particulares. Estas tablas facilitan la creación de planes eficientes, el seguimiento económico, la evaluación de distintas opciones y la maximización de la utilización de recursos.

#### **3.8.4. Caracterización de los remanentes de resina plástica reforzada con fibra de vidrio**

La caracterización de los compuestos de matriz polimérica, elaborados a partir de remanentes de resina plástica reforzada con fibra de vidrio reciclado, es un proceso fundamental para la evaluación de sus propiedades y posibles aplicaciones. En el Laboratorio de Resistencia de Materiales de la Universidad Técnica de Ambato, se pueden llevar a cabo diversos ensayos principalmente de las propiedades mecánicas del material. Los siguientes ensayos se presentan como opciones para la caracterización:

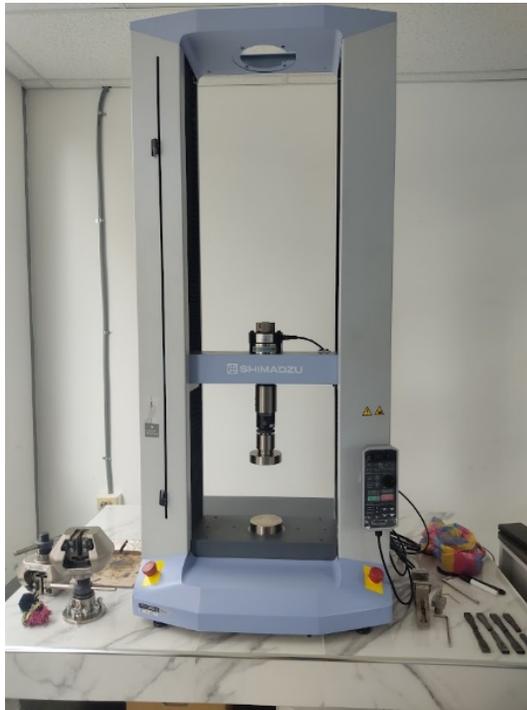
**Tabla 16.** Ensayos que se pueden realizar en el laboratorio de Resistencia de Materiales de la Universidad técnica de Ambato.  
Fuente: Universidad técnica de Ambato, 2023.

Ensayos	Normativa	Precio	Probetas	Informe	Total
Dureza	ASTM D785	5,6	1	20,4	26
Compresión	ASTM D785/D650	7,08	1	20,4	27,48
Impacto por dardo	ASTM D5628-10	5,6	1	20,4	26
Flexión	ASTM D790/ISO 178	20,04	1	20,4	40,44
Tracción	ASTM D638	12,98	1	20,4	33,38
Fatiga	ASTM D3574	16,8	1	20,4	37,2

Tras una evaluación convencional del material, se tomó la decisión de llevar a cabo tres ensayos distintos en el laboratorio. Estos ensayos se realizarían de la siguiente manera:

- Ensayo de compresión, siguiendo la normativa ASTM 785, se llevaría a cabo utilizando 5 probetas. Para evaluar la resistencia del material cuando es sometido a fuerzas de compresión.
- Ensayo de flexión, de acuerdo con la normativa ASTM 790, empleando cuatro probetas. Aquí, se analizaría la capacidad del material para resistir cargas y deformaciones al sometido a fuerzas aplicadas en tres puntos de apoyo.
- Ensayo de tracción, siguiendo la normativa ASTM 638, también utilizando cuatro probetas. Con el fin de determinar la resistencia y la capacidad de estiramiento del material cuando se somete a fuerzas de tracción.

Para realizar los ensayos en el laboratorio se utiliza un probador de precisión universal / tracción de la marca SHIMADZU, modelo AGS-X 50 KN. En él se combinan todas las funciones necesarias en un diseño compacto, es una máquina de prueba rentable y de alto rendimiento se ha desarrollado para evaluaciones de resistencia de baja capacidad (SHIMADZU s. f.).



**Ilustración 28.** SHIMADZU AGS-X 50 KN

Fuente: Autograph AGS-X Series: SHIMADZU (Shimadzu Corporation) (SHIMADZU s. f.)

Estos ensayos se llevarán a cabo utilizando probetas con dimensiones específicas. Estos ensayos están diseñados para evaluar y analizar diversos aspectos en función de las características particulares de las probetas utilizadas. La elección de estas dimensiones está fundamentada en consideraciones técnicas y metodológicas, con el objetivo de garantizar resultados precisos y relevantes para el estudio en cuestión.

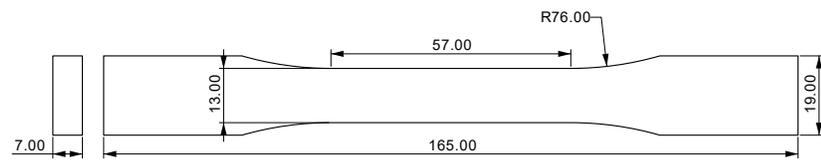
Las dimensiones de las probetas desempeñan un papel crucial en la obtención de datos confiables y representativos, lo que a su vez contribuirá a una comprensión más profunda y precisa de los fenómenos que se están investigando.

**Tabla 17.** Dimensiones de las probetas para cada uno de los ensayos.  
Fuente: Universidad técnica de Ambato, 2023.

Ensayo	Dimensiones de la probeta
<b>Dureza</b>	
<b>Compresión</b>	
<b>Impacto por dardo</b>	
<b>Flexión</b>	

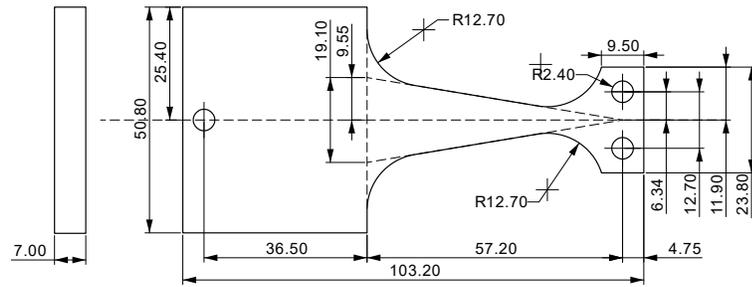
---

## Tracción

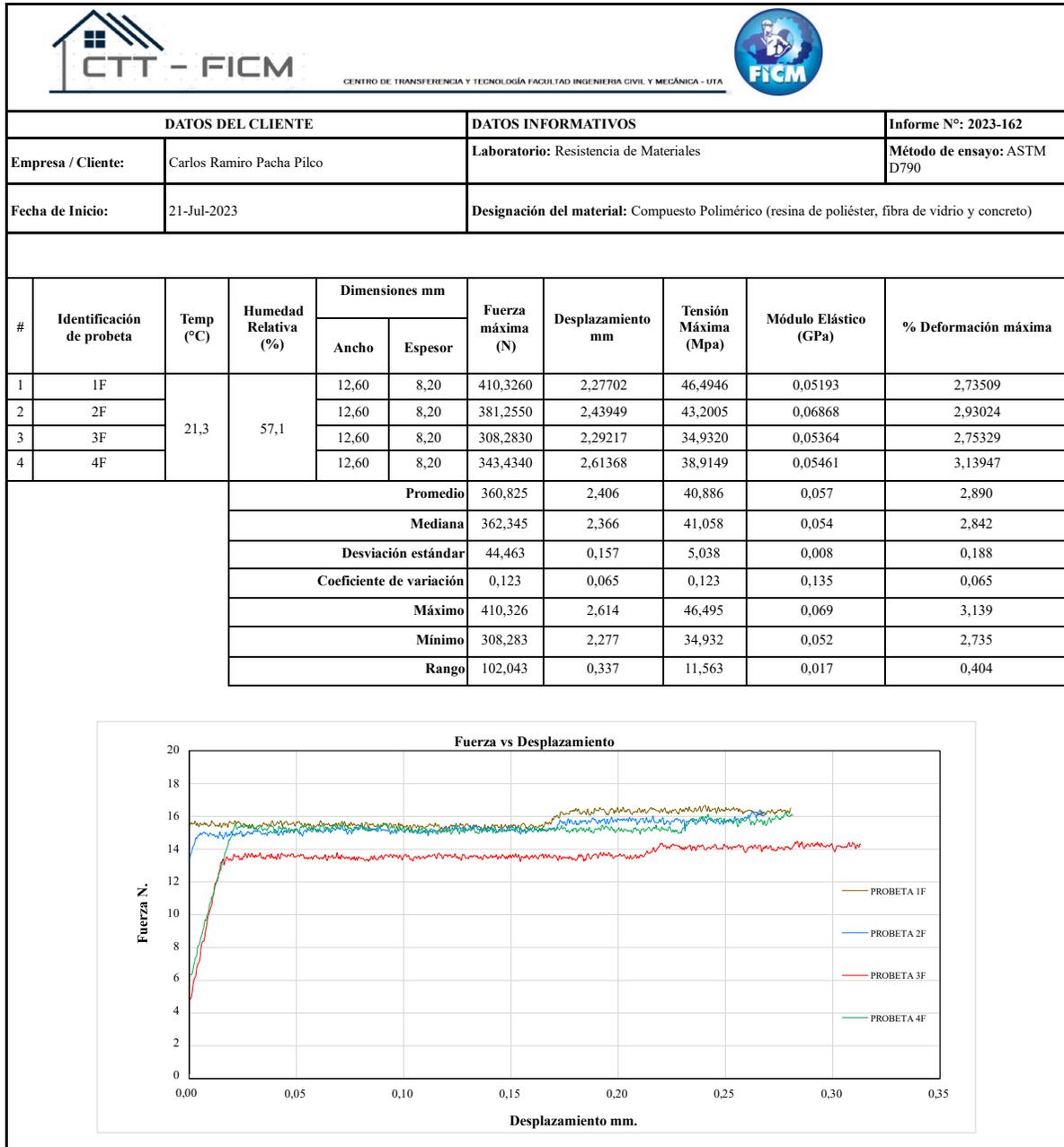


---

## Fatiga



A continuación, se presentan los resultados primer ensayo que se realizó, este fue el de flexión con la normativa ASTM D790. Consiste en evaluar la resistencia y rigidez del material bajo cargas aplicadas en tres puntos de apoyo. Para llevarlo a cabo, se utiliza una muestra rectangular que se coloca horizontalmente sobre los apoyos, de forma que el centro de la muestra se encuentre en el punto de carga.



**ANEXOS FOTOGRAFICOS**



Firmado electrónicamente por:  
**CHRISTIAN SAUL  
PÉREZ GAVILANES**

Realizado por: Ing. Christian Pérez  
TÉCNICO DE LABORATORIO MATERIALES  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



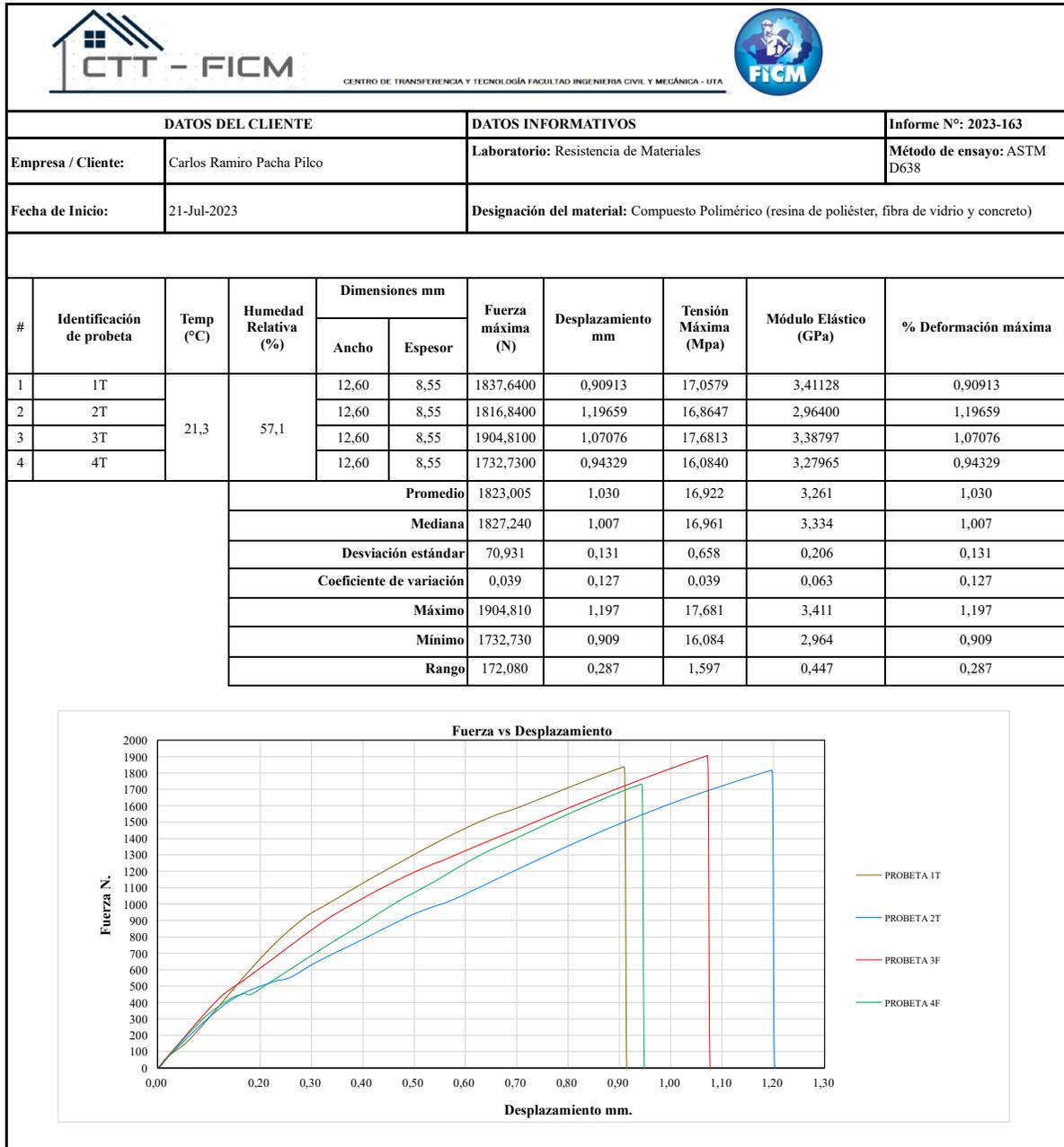
Firmado electrónicamente por:  
**EDMUNDO SEBASTIAN  
VILLEGAS SUAREZ**

Supervisado por: Ing. Sebastian Villegas  
TÉCNICO DE LABORATORIO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

El procedimiento comienza aplicando una fuerza en el centro de la muestra hasta que se alcance el punto de fractura o hasta que se haya ejercido una carga máxima previamente establecida. Durante el ensayo, se registran las deflexiones y las cargas aplicadas para obtener una curva de carga-deflexión, que permite analizar el comportamiento del material bajo la flexión.

Este ensayo es ampliamente utilizado en la industria y la investigación para evaluar la calidad de materiales como plásticos, metales, maderas y compuestos, así como para el diseño y la selección de materiales en distintas aplicaciones. Es un procedimiento crucial para determinar la resistencia y rigidez de materiales, lo que proporciona información para garantizar la seguridad y eficiencia de diversos productos y estructuras en el ámbito industrial y científico.

Se llevó a cabo fue el ensayo de tracción, siguiendo la normativa ASTM D638. Es una prueba estándar utilizada para determinar las propiedades mecánicas de materiales poliméricos y otros materiales similares. Su objetivo principal es evaluar la resistencia y el comportamiento de un material cuando se somete a fuerzas de tracción (la fuerza que se aplica a un material para estirarlo).



ANEXOS FOTOGRAFICOS



Firmado electrónicamente por:  
**CHRISTIAN SAÚL  
PÉREZ GAVILANES**

Realizado por: Ing. Christian Pérez  
TÉCNICO DE LABORATORIO MATERIALES  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



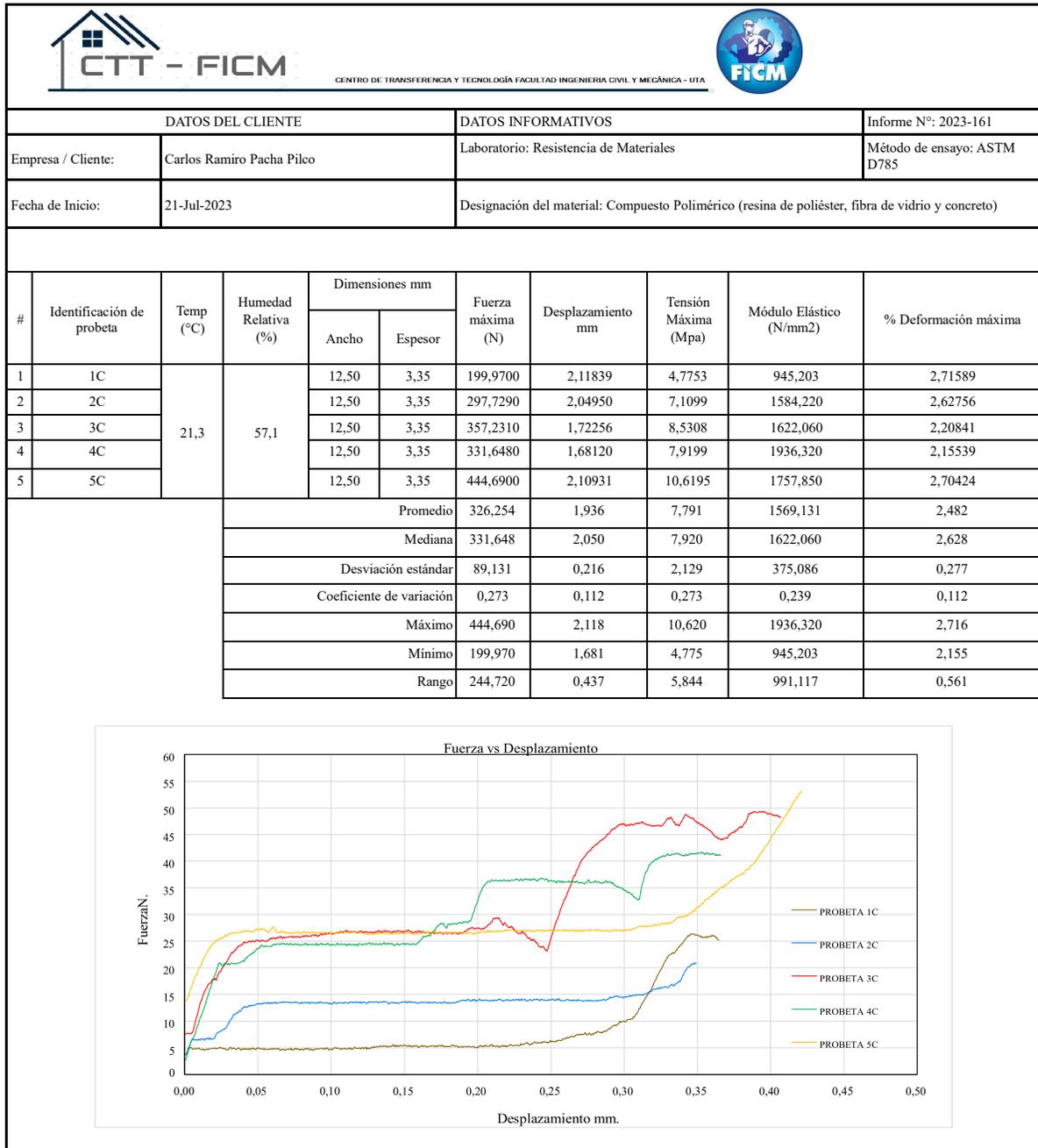
Firmado electrónicamente por:  
**EDMUNDO SEBASTIAN  
VILLEGAS SUAREZ**

Supervisado por: Ing. Sebastian Villegas  
TÉCNICO DE LABORATORIO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

El procedimiento del ensayo de tracción implica tomar una muestra del material en forma de probeta. Luego, esta muestra se coloca en una máquina de ensayo de tracción, donde se sujeta firmemente en ambos extremos. Una vez colocada la muestra, se aplica una fuerza de tracción gradualmente, en dirección opuesta a ambos extremos sujetos.

Durante la aplicación de la fuerza, se mide la deformación del material y se registra la tensión generada. Estas mediciones se utilizan para construir una curva de esfuerzo-deformación, que muestra cómo el material responde a la aplicación de fuerza. Al realizar el ensayo, se pueden determinar varias propiedades mecánicas cruciales del material, como la máxima fuerza que el material puede resistir antes de romperse. También se puede obtener el módulo de elasticidad, que indica la rigidez y la capacidad del material para recuperar su forma original después de la aplicación de fuerza. Necesario para comprender el comportamiento mecánico de los materiales y asegurar su idoneidad en diversas aplicaciones industriales y comerciales.

Finalmente, el ensayo de compresión con la normativa ASTM D785. En él se sometió una muestra de material a fuerzas de compresión para evaluar su resistencia y comportamiento frente a cargas aplicadas en dirección opuesta.





Para llevar a cabo el ensayo, se preparó una muestra de forma prismática. La muestra se coloca entre las placas de compresión de una máquina universal de ensayos, la cual aplica una fuerza gradual y constante en dirección opuesta hasta que la muestra se deforme o rompa.

Durante el ensayo, se registran las mediciones de fuerza y deformación para obtener la curva de compresión del material. A partir de esta curva, se pueden determinar propiedades importantes como la resistencia máxima a la compresión, la elasticidad del material y su capacidad para absorber energía antes de la falla. El ensayo de compresión según la normativa ASTM D785 es un método estandarizado y confiable para evaluar las propiedades mecánicas de diversos materiales, brindando información crucial para el diseño y selección adecuada de materiales en la industria.

### 3.8.5. Análisis de los datos recolectados y comparación de los resultados

La tabla proporciona información sobre diferentes materiales y sus propiedades mecánicas, específicamente la resistencia a la tracción, la resistencia a la flexión y la resistencia a la compresión, expresadas en megapascales (MPa). Estas propiedades son importantes para comprender la capacidad de los materiales para soportar cargas y fuerzas en diversas aplicaciones.

**Tabla 18.** Tabla comparativa de materiales.

*Nota: Incluye datos de resistencia a la tracción, resistencia a la flexión y resistencia a la compresión.*

*Fuente: Vidrio - Características mecánicas (Vitralba s. f.). Acero vs Madera vs Concreto | SkyCiv Engineering (SKyCiv s. f.). Resistencia del metal (RUNSOM s. f.).*

<b>Material</b>	<b>Resistencia a la tracción (MPa)</b>	<b>Resistencia a la flexión (MPa)</b>	<b>Resistencia a la compresión (MPa)</b>
Acero	400 - 2000	600 - 2400	600 - 2400
Aluminio	100 - 400	200 - 500	100 - 400
Hierro fundido	200 - 1000	400 - 1000	800 - 1800
Hormigón armado	20 - 40	4 - 8	30 - 60
Madera (pino)	40 - 80	50 - 120	30 - 70
Fibra de vidrio	400 - 1000	800 - 1200	800 - 1200
Polietileno (PE)	20 - 40	25 - 40	40 - 60
Polipropileno (PP)	25 - 40	30 - 50	40 - 60
Material compuesto de matriz polimérica	16,08 - 17,68	34,93 - 46,50	4,78 - 10,62

El material compuesto de matriz polimérica propuesto tiene propiedades mecánicas más altas en comparación con los polímeros tradicionales y se utiliza en aplicaciones donde se requiere una alta resistencia a la tracción y a la flexión.

La resistencia a la tracción es una medida de la capacidad del material para resistir fuerzas de estiramiento. En este caso, el material compuesto de matriz polimérica tiene una resistencia a la tracción de aproximadamente 16,08 a 17,68 MPa. Esto indica que el material puede soportar fuerzas de tensión relativamente altas antes de romperse.

La resistencia a la flexión mide la capacidad del material para resistir fuerzas aplicadas en su plano y es especialmente relevante para materiales utilizados en

estructuras. Para el material compuesto de matriz polimérica, la resistencia a la flexión se encuentra en el rango de 34,93 a 46,50 MPa. Esto sugiere que el material es capaz de soportar cargas aplicadas perpendicularmente a su eje con bastante eficacia.

La resistencia a la compresión evalúa la capacidad del material para resistir fuerzas de compresión, es decir, fuerzas que actúan hacia el interior del material. En el caso del compuesto polimérico, su resistencia a la compresión es de aproximadamente 4,78 a 10,62 MPa. Esto significa que este material puede resistir fuerzas de compresión relativamente altas antes de sufrir daños o deformaciones permanentes.

### **3.8.6. Diseño Experimental**

Debido a las propiedades mecánicas del material compuesto de matriz polimérica desarrollado en esta investigación, existe la posibilidad de utilizarlo en diversas aplicaciones, como, por ejemplo, en la fabricación de mobiliario. Los ensayos realizados en los laboratorios han demostrado las notables características que posee este material, lo cual lo hace posible su implementación en este sector.

Una opción que se plantea es su utilización en el mobiliario urbano, esto debido al contexto actual que se presenta en el parque de la parroquia de Totoras. Dicho parque ha estado siendo sometido a un proceso de remodelación. En este sentido, sería factible considerar la posibilidad de utilizar mobiliario urbano fabricado con este material para complementar y mejorar la infraestructura del parque.

Al considerar su implementación en el mobiliario urbano del parque, se presenta una interesante alternativa para contribuir a la renovación y mejora del espacio público. La utilización de este material permitiría brindar a los visitantes del parque una experiencia mejorada y más cómoda, además de agregar un toque moderno y atractivo al entorno. De igual forma la elección de este material compuesto como opción para el mobiliario del parque también estaría en línea con el contexto actual de remodelación que

está experimentando el espacio. Al adoptar una propuesta innovadora y sostenible, se estaría fomentando la creación de un entorno más amigable con el medio ambiente, lo que beneficiaría tanto a los habitantes locales como a los visitantes del parque.

### **Análisis de datos y observación del entorno**

El parque central de la parroquia Totoras luego de su remodelación contará con espacio de recreación y práctica deportiva para las familias. Y por ello es importante tener en cuenta la distribución y la funcionalidad del parque para determinar el número y la ubicación óptima de las bancas a diseñar.

En otro sentido, resulta importante considerar las opiniones de la población en general. Recientemente, el periódico "El Herald" llevó a cabo una breve entrevista con varios individuos del área, enfocándose principalmente en las opiniones de los residentes sobre el proyecto de remodelación en el parque local.

En particular, se destacó la solicitud de Jaime Lozada, un vecino del sector, quien pidió a las autoridades municipales que aceleraran los trabajos en el parque debido a la falta de un espacio adecuado para los devotos durante las festividades religiosas tradicionales (El Herald 2023). Esto subraya la importancia de tener en cuenta las necesidades y expectativas de los usuarios del parque al diseñar elementos urbanos como bancas, asegurándose de que sean cómodas, funcionales y apropiadas para el sector al cual va dirigido.

En la actualidad, el proceso de remodelación del parque ha alcanzado un progreso significativo, superando el 50 por ciento de avance. Esta renovación abarca una amplia gama de elementos, tales como canchas deportivas, baterías sanitarias, jardineras, iluminación LED, caminerías, pisos de caucho, entre otros.

Es importante coordinar el diseño de las bancas con el resto de estos elementos para lograr una armonía estética y funcional en el parque. La integración adecuada de las

bancas con los demás componentes contribuirá a crear un espacio cohesivo y atractivo para los visitantes. De esta manera, se asegurará que el parque sea un lugar acogedor y cómodo que brinde una experiencia placentera a quienes lo disfruten.

### **Aspectos a tener en cuenta**

#### **Material:**

En la banca será utilizado un material compuesto en el cual se combina remanentes PRFV con otros materiales. Esto permite reducir el impacto ambiental, al dar un uso valioso a materiales que de otro modo serían desechados. Además de ello se plantea utilizar otros materiales como la madera.

#### **Durabilidad y Resistencia:**

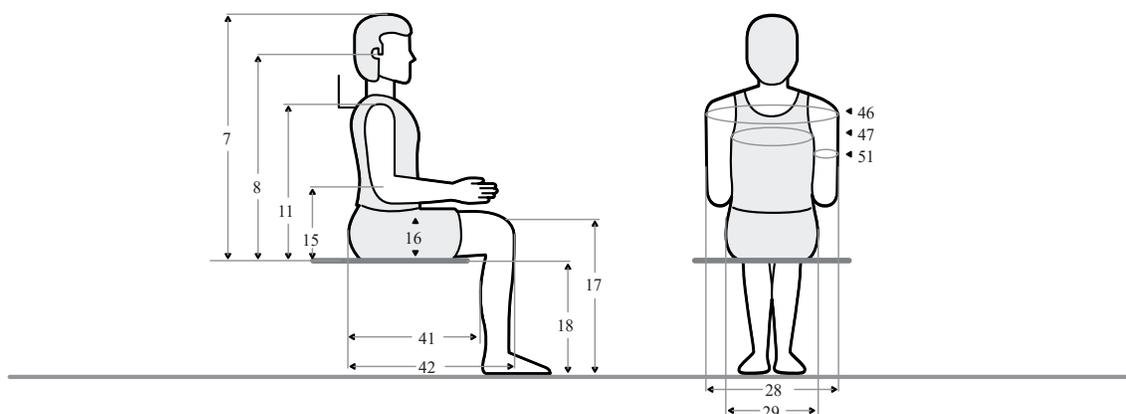
El uso de material compuesto para construir bancas asegura su durabilidad y resistencia ante el clima y uso frecuente. Esta elección combina componentes para obtener propiedades superiores, permitiendo resistir lluvia, sol y elementos naturales.

#### **Diseño Ergonómico:**

El enfoque del diseño de las bancas está dirigido hacia la creación de un asiento cómodo, y con el objetivo de brindar una experiencia placentera a los usuarios, se considerarán las medidas antropométricas de la población latinoamericana en el desarrollo de la propuesta para que sean inclusivas y se adapten a una amplia gama de personas.

**Ilustración 29.** Dimensiones antropométricas de población latinoamericana.

Fuente: Dimensiones antropométricas de población latinoamericana: México, Cuba, Colombia, Chile (Avila, Prado, y Gonzalez 2015).

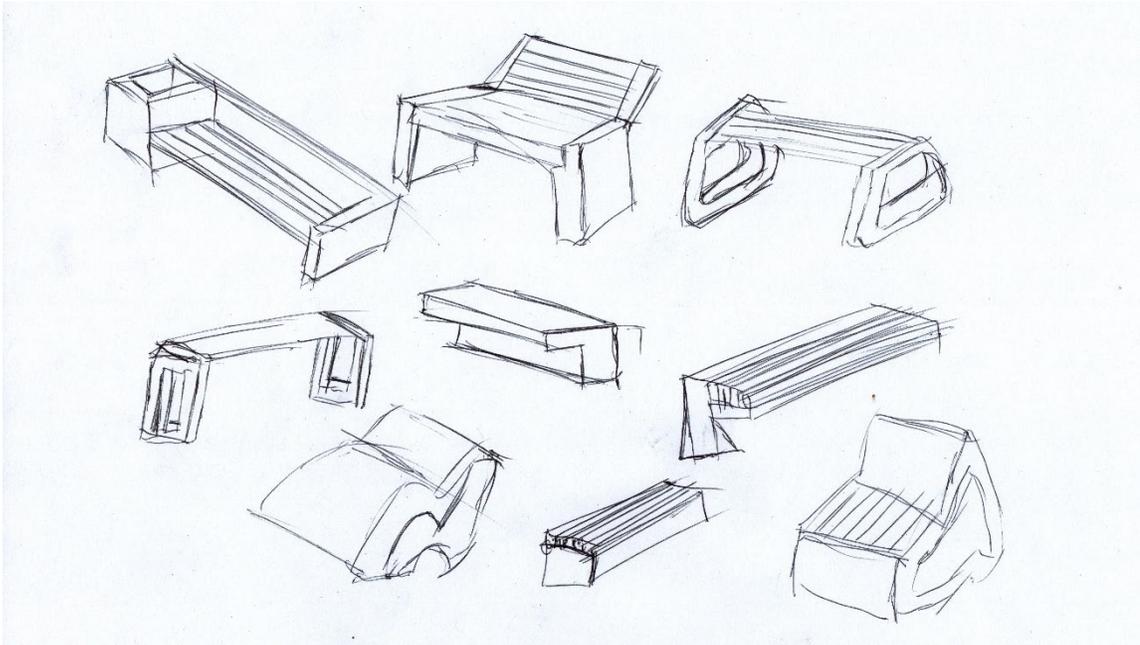


**Tabla 19.** Dimensiones antropométricas de población latinoamericana.

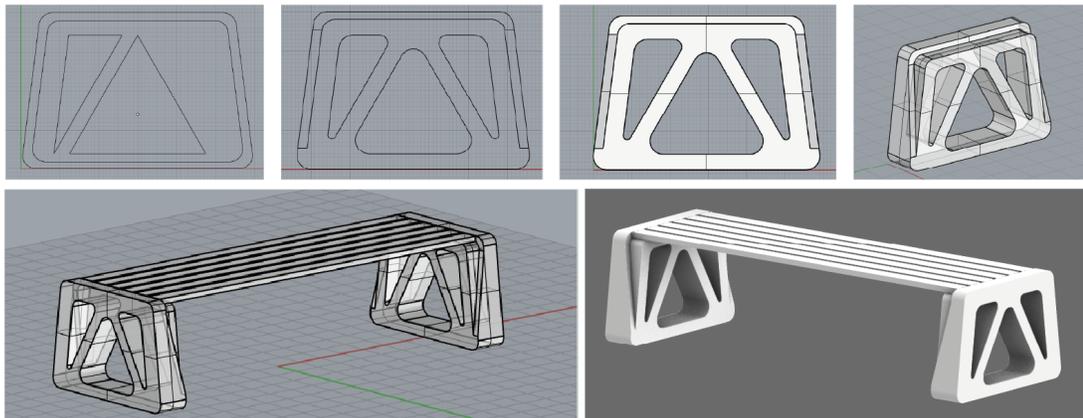
Fuente: Dimensiones antropométricas de población latinoamericana: México, Cuba, Colombia, Chile (Avila, Prado, y Gonzalez 2015).

Dimensiones	20 - 29 años (n= 487)					30 - 39 años (n= 447)					
	$\bar{x}$	D.E.	Percentiles			$\bar{x}$	D.E.	Percentiles			
			5	50	95			5	50	95	
6	Altura sentado normal	86.5	3.58	80.6	86.3	92.6	86.3	3.51	80.3	86.3	92.1
7	Altura sentado erguido	89.0	3.31	83.8	89.0	94.7	89.0	3.14	83.7	88.9	94.2
8	Altura de los ojos	78.6	3.31	73.5	78.6	84.1	78.8	3.17	73.6	78.9	83.6
11	Altura acromial	58.8	2.78	54.3	58.8	63.6	59.0	2.73	54.5	59.2	63.2
15	Altura radial	23.6	2.42	19.4	23.7	27.4	24.1	2.44	19.9	24.2	28.1
16	Altura del muslo	14.8	1.30	12.7	14.8	17.0	15.1	1.19	13.2	15.2	17.1
17	Altura de la rodilla	52.9	2.56	48.9	52.8	56.9	52.4	2.49	48.3	52.6	56.3
18	Altura de la fosa poplítea	43.0	2.21	39.5	42.9	46.5	42.2	2.21	38.5	42.3	45.7
28	Anchura codo a codo	42.9	4.25	36.7	42.2	50.5	45.3	4.24	38.1	45.5	52.4
29	Anchura de las caderas	34.3	2.59	30.5	34.3	38.5	35.2	2.49	31.1	35.1	39.2
41	Largura nalga - fosa poplítea	47.0	2.52	42.9	47.2	51.2	46.8	2.30	43.1	46.8	50.5
42	Largura nalga - rodilla	57.2	2.64	53.0	57.1	61.6	57.0	2.44	52.8	57.1	61.0
46	Perímetro bideltoideo	111.7	7.00	101.3	111.2	124.1	114.5	6.55	103.6	114.8	124.8
47	Perímetro mesoesternal	94.2	6.49	84.6	93.6	105.4	97.3	6.08	87.4	97.3	106.9
51	Perímetro brazo flexionado	30.5	2.66	26.3	30.5	35.1	31.5	2.47	27.6	31.5	35.6

## Diseño de soluciones:



*Ilustración 30. Bocetos.*  
*Fuente: Autoría propia, 2023.*



*Ilustración 31. Construcción del modelo tridimensional.*  
*Fuente: Autoría propia, 2023.*

Se optó por el diseño conceptual de una banca debido a que ofrecen una gran variedad de posibilidades al fomentar la actividad física y la interacción social, ofreciendo descanso y comodidad a los visitantes.

## Integración Armónica:

De igual modo se tiene que coordinar el diseño con los demás elementos visuales del entorno, como las canchas deportivas, baterías sanitarias, jardineras, iluminación LED y caminerías para que este no sea invasivo, por lo que se busca una armonía visual y funcional en el parque para crear un entorno cohesivo a través del análisis de los siguientes aspectos.



**Ilustración 32.** Consideraciones de la propuesta.  
Fuente: Autoría propia, 2023.

## Propuesta



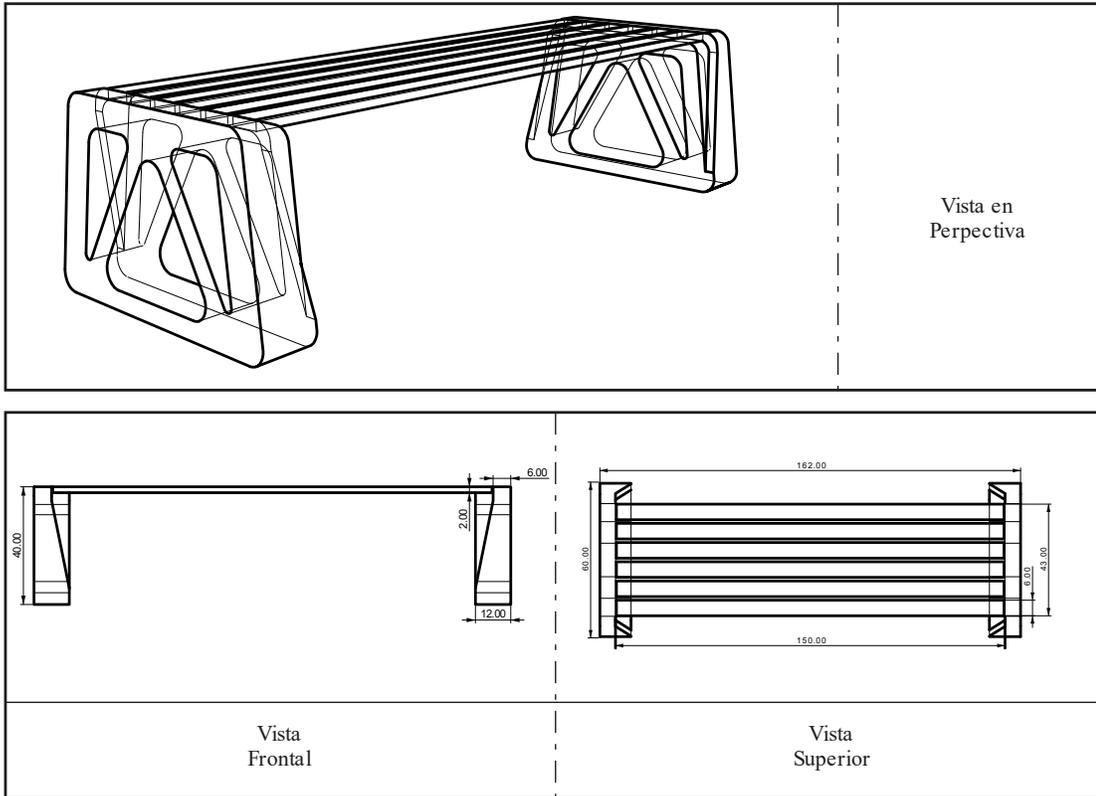
*Ilustración 33. Rénder de la propuesta.  
Autoría propia, 2023.*

La banca propuesta ha sido diseñada para su implementación en áreas de tránsito rápido, específicamente en zonas de juegos infantiles, con propósito de crear un espacio cómodo y funcional para la comunidad local. Se ha tomado en consideración la opinión de los residentes, permitiendo que sus necesidades y expectativas sean tomadas en cuenta en el proceso de diseño. Con un enfoque en facilitar las actividades diarias y celebraciones culturales de la comunidad, esta banca se plantea como un punto de descanso acogedor y relajante durante las breves pausas entre las actividades lúdicas.

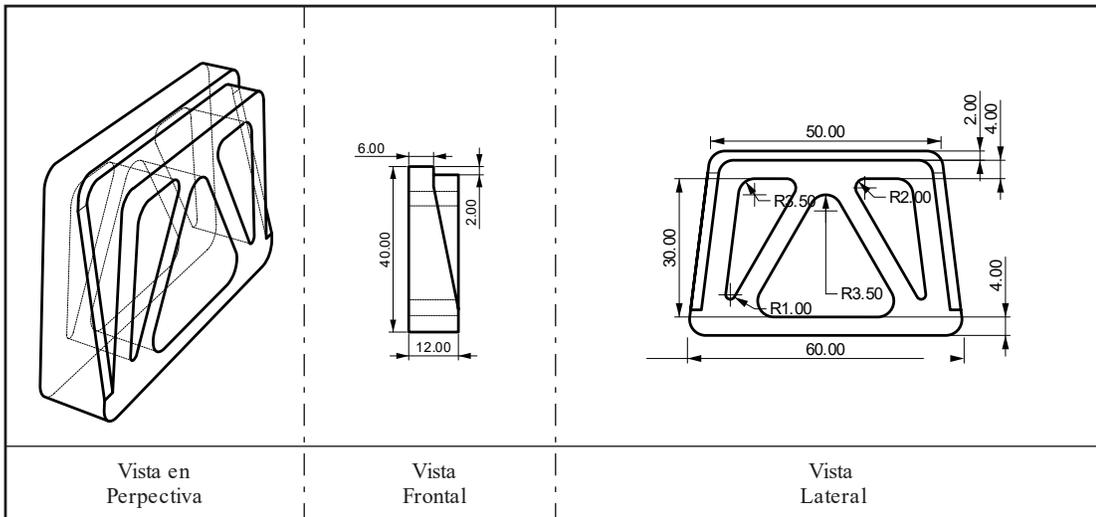
Para contribuir su durabilidad y sostenibilidad, a través de la metodología de Design Thinking se ha presentado esta propuesta con un enfoque iterativo y centrado en el usuario, la cual mediante la empatía se define el problema y genero ideas en las cuales ha propuesto el uso de un compuesto polimérico que ha generado en la investigación. Este material ha obtenido buenos resultados en los ensayos realizados, lo que asegura que la banca pueda soportar el uso constante y, al mismo tiempo, reducir el impacto ambiental.

## Cotas de la propuesta

Mobiliario Urbano



Pata del Mobiliario



**Ilustración 34.** Cotas de la propuesta.  
Fuente: Autoría propia, 2023.

### 3.9.Conclusiones

- El reciclaje mecánico, específicamente el proceso de trituración y molienda húmeda se identificó como una opción efectiva para reciclar los remanentes de PRFV. Este enfoque permite la reutilización eficiente de los materiales, reduciendo la generación de nuevos desechos y conservando recursos naturales.
- Se caracterizó mecánicamente el material compuesto de matriz polimérica, mediante ensayos de compresión, flexión y tracción utilizando normas ASTM D785, ASTM D675 y ASTM D638, haciéndolo competitivo con otros materiales poliméricos disponibles en el mercado.
- La caracterización de los remanentes de resina plástica reforzada con fibra de vidrio reciclado es esencial para evaluar sus propiedades y aplicaciones potenciales. Los ensayos realizados en el Laboratorio de Resistencia de Materiales de la Universidad Técnica de Ambato proporcionaron datos sobre la resistencia a la tracción, flexión y compresión del compuesto polimérico.
- Debido a las características del material compuesto generado, puede tener en diversas aplicaciones, como en la fabricación de mobiliario urbano. La implementación de este material en espacios públicos puede contribuir a la renovación y mejora, brindando a los usuarios una mejor experiencia.

### 3.10. **Recomendaciones**

- Antes iniciar proyectos que involucren materiales compuestos, es fundamental adquirir un conocimiento detallado de las propiedades y comportamientos de los materiales a utilizar. Esta base de conocimientos sólida es la clave para la investigación.
  
- Es esencial comprender en detalle las características físicas y mecánicas de un nuevo material que pueda reemplazar a los actualmente comercializados en el diseño y desarrollo de un proyecto. Esta comprensión minuciosa garantiza que el proyecto no enfrente incógnitas sin resolver y permitirá aprovechar al máximo las ventajas del material seleccionado.
  
- MASTERFIBRA debería establecer un programa de gestión de residuos y reciclaje para reducir la cantidad de remanentes y desechos generados. Esto ayudará a mejorar su sostenibilidad ambiental y reducir costos. Un monitoreo adecuado y constante garantizará un proceso de reciclaje seguro y responsable.

### 3.11. Verificación

¿La reutilización de resinas plásticas reforzadas con fibra de vidrio (PRFV) se pueden utilizar en la generación de un material alternativo para su uso en la fabricación de objetos?

La reutilización de resinas plásticas reforzadas con fibra de vidrio (PRFV) para generar un material alternativo en la fabricación de objetos puede ser un desafío debido a la complejidad de separar las fibras de vidrio del plástico y reciclar ambos componentes de manera eficiente. Sin embargo, es posible encontrar formas más sostenibles de utilizar este tipo de residuos.

El PRFV es un material compuesto que consta de una matriz de resina plástica reforzada con fibras de vidrio. Esta combinación proporciona al material una alta resistencia y rigidez, lo que lo hace ampliamente utilizado. Pero su reciclaje y reutilización se vuelven desafiantes. Además, la contaminación de los materiales durante el proceso de fabricación y la exposición a diversas condiciones durante la vida útil del PRFV dificultan su reciclaje y reutilización en nuevos productos. A pesar de estos desafíos, se han conseguido su reutilización mediante la generación de un material compuesto mediante la trituración húmeda y la combinación con otros materiales, buscando obtener un equilibrio entre propiedades y sostenibilidad.

## **CAPITULO IV**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **4.1. Conclusiones**

La fundamentación teórica permite afirmar la viabilidad de obtención de un nuevo material compuesto de matriz polimérica mediante la aplicación de una metodología de investigación experimental con los residuos de la fibra de vidrio generados en el proceso de fabricación de carrocerías.

Una vez identificadas las propiedades físicas y mecánicas específicas de los materiales constituyentes de la resina PRFV (Plástico Reforzado con Fibra de Vidrio), se deduce que esta combinación presenta características altamente favorables para diversas aplicaciones en la industria. En términos de sus propiedades físicas, el PRFV destaca por ser un material ligero y de alta resistencia, lo que lo convierte en una opción ideal para reducir el peso en componentes estructurales y piezas utilizadas en diversos sectores, sin embargo, su reutilización puede ser un proceso complicado debido a las características particulares de este material.

Luego de identificar el cómo se reciclan los remanentes de PRFV en diversos lugares, se analizaron los métodos más viables de este proceso para luego plantear al reciclaje mecánico como una solución y otorgarles una segunda vida a los remanentes de PRFV, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental y a la reducción de residuos, al mismo tiempo que potencia nuevas oportunidades en la industria y en la creación de productos más respetuosos con el medio ambiente.

Se llevó a cabo un proceso de desarrollo e investigación para la generación de un material compuesto de matriz polimérica a partir del reciclaje de remanentes de PRFV. El material compuesto de matriz polimérica considerando las propiedades mecánicas evaluadas es competitivo en el mercado

Este material es adecuado para aplicaciones que requieran alta resistencia tanto a la tracción como a la flexión, debido a su composición es resistente y se puede utilizar en el diseño y fabricación de diversos productos. Es un material moldeable y puede adoptar una amplia variedad de formas y diseños, permitiendo a los fabricantes crear piezas atractivas y estéticamente agradables, adaptadas a diferentes estilos y necesidades de diseño en espacios interiores y exteriores.

#### **4.2. Recomendaciones**

Es importante que la empresa evalúe diferentes metodologías de diseño sostenible para la reutilización sus desechos, como el uso de materiales reciclados en la fabricación de nuevos productos o la creación de soluciones innovadoras para aprovechar los residuos de manera responsable, y de igual forma sería beneficioso para las empresas como MASTERFIBRA realizar un informe detallado sobre las propiedades físicas y mecánicas de la resina PRFV que utilizan. Para ayudar a comprender mejor el rendimiento y las limitaciones del material, lo que puede guiar futuras mejoras en los procesos de producción y el diseño de productos.

Explorar nuevas aplicaciones del material compuesto, dadas las propiedades mecánicas del material compuesto de matriz polimérica, se plantea la exploración de nuevas aplicaciones para este material, mediante la aplicación de metodologías de diseño.

Promover el uso de mobiliario urbano de PRFV reciclado, pues en el contexto de aplicaciones potenciales, se sugiere que se promueva activamente el uso de mobiliario urbano fabricado con el material compuesto reciclado. Esto puede ser una estrategia para impulsar la adopción de estos productos y aumentar la conciencia sobre la sostenibilidad y las ventajas de utilizar materiales reciclados en el mobiliario urbano.

## Bibliografía.

- Albrecht, Ronald, y Don Lilly. 2017. «Perhaps we're getting closer to fiberglass recycling».
- Amaechi, Chiemela V., Charles O. Agbomerie, Etim Offiong Orok, y Jianqiao Ye. 2020. «Economic Aspects of Fiber Reinforced Polymer Composite Recycling». Pp. 377-97 en *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials*. Elsevier.
- Antequera, Pablo, Lorenzo Jiménez, y Antonio Miravete. 2021. *Los materiales compuestos de fibra de vidrio*. Vol. 1. 1.<sup>a</sup> ed. Barcelona: Editorial Reverté.
- Arabsolgar, Dena, y Andrea Musumeci. 2021. «FiberEUUse: Large-Scale Demonstration of New Circular Economy Value Chains Based on the Reuse of End-of-Life Fiber-Reinforced Composites—A Circular It Platform to Manage Innovative Design and Circular Entities».
- Asamblea Nacional. 2017. «CODIGO ORGANICO DEL AMBIENTE». 59-63.
- Avila, Rosalio, Lilia R. Prado, y Elvia Luz Gonzalez. 2015. *Dimensiones antropométricas de población latinoamericana: México, Cuba, Colombia, Chile*.
- Bermeo, Javier, Víctor Rea, Ricaurte López, y María Pico. 2019. «El reciclaje la industria del futuro en Ecuador». *Universidad Ciencia y Tecnología* 22(87):29-36.
- Blanco, Emilio. 2021. «Bloque II – Capítulo 8. Molienda». *Café* 125-32.
- Chen, Tianran, Craig D. Mansfield, Lin Ju, y Donald G. Baird. 2020. «The influence of mechanical recycling on the properties of thermotropic liquid crystalline polymer and long glass fiber reinforced polypropylene». *Composites Part B: Engineering* 200:108316. doi: 10.1016/J.COMPOSITESB.2020.108316.
- Diario La Hora Ecuador. 2019. «Hay gente que triplica los niveles de consumo de agua en Quito – Diario La Hora». marzo 25.
- ECOPLAS. 2020. *LOS PLÁSTICOS EN LA ECONOMÍA CIRCULAR MANUAL 2 0 2 0*. 6ta Edición mejorada. editado por J. Salguero. Buenos Aires.
- Egbo, Munonyedi Kelvin. 2021. «A fundamental review on composite materials and some of their applications in biomedical engineering». *Journal of King Saud University - Engineering Sciences* 33(8).
- GlobalPetrolPrices. 2023. «Ecuador precios de la electricidad». Recuperado 24 de julio de 2023 ([https://es.globalpetrolprices.com/Ecuador/electricity\\_prices/](https://es.globalpetrolprices.com/Ecuador/electricity_prices/)).

- Google. s. f. «MASTERFIBRA - Partes y Piezas en Fibra de Vidrio Ecuador». Recuperado 3 de junio de 2023 (<https://www.google.com/maps/place/MASTER+FIBRA+-+Partes+y+Piezas+en+Fibra+de+Vidrio+Ecuador/@-1.2120364,-78.5973317,17z/data=!3m1!4b1!4m6!3m5!1s0x91d38109a0037a35:0xf9734ffeedbe2e70!8m2!3d-1.2120364!4d-78.595143!16s%2Fg%2F11hz5v8f9g?entry=ttu>).
- El Heraldo. 2023. «Totoras en espera de la rehabilitación del parque - El Heraldo». marzo 3.
- Interempresasmedia. 2022. «PU257 - Plásticos Universales». 257, mayo.
- Karuppannan, Sankar, y Timo Kärki. 2020. «A review on the recycling of waste carbon fibre/glass fibre-reinforced composites: fibre recovery, properties and life-cycle analysis». *SN Applied Sciences* 2(3).
- León, Washington Paúl. 2018. «Residuos de plásticos reforzados con fibra de vidrio como elemento expresivo en el espacio interior.»
- Miravete, Antonio. 2021a. *Diseño de materiales compuestos: principios básicos e innovaciones*. Vol. 1. 1.<sup>a</sup> ed. Barcelona: Editorial Reverté.
- Miravete, Antonio. 2021b. *Ensayos y calidad de materiales compuestos. Desarrollos recientes*. Vol. 1. 1.<sup>a</sup> ed. Barcelona: Editorial Reverté.
- MPCEIP. 2021. «Libro-Blanco-final-web\_mayo102021».
- Naciones Unidas. 2018. *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe*. Santiago.
- Norma ISO 1268-2. 2014. *Prólogo nacional*. Quito.
- ONU. 2015. «Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)». *Objetivo 12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles*. Recuperado 9 de febrero de 2023 (<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-consumption-production/>).
- Pender, K., y L. Yang. 2020. «Regenerating performance of glass fibre recycled from wind turbine blade». *Composites Part B: Engineering* 198:108230. doi: 10.1016/J.COMPOSITESB.2020.108230.

- Pintulac. s. f. «Mi tienda Pintulac | Tu amigo experto en acabados para construcción y maquinaria | Pintulac». Recuperado 24 de julio de 2023 (<https://www.pintulac.com.ec/>).
- Rani, Manjeet, Priyanka Choudhary, Venkata Krishnan, y Sunny Zafar. 2021. «A review on recycling and reuse methods for carbon fiber/glass fiber composites waste from wind turbine blades». *Composites Part B: Engineering* 215:108768. doi: 10.1016/J.COMPOSITESB.2021.108768.
- RUNSOM. s. f. «Resistencia del metal». *Gráfico de resistencia del metal*. Recuperado 19 de julio de 2023 (<https://www.runsom.com/es/design-tips/metal-strength-chart/>).
- dos Santos Ferreira, Camila, Giovana Monteiro Gomes, Júlio Cesar Natalense, Guilherme Augusto Roiz, Aldo Roberto Ometto, y Mateus Cecílio Gerolamo. 2022. «Mapping organizational culture in the context of a circular economy: a case study for a Brazilian company». *Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas* 17(1). doi: 10.15675/gepros.v17i1.2763.
- SHIMADZU. s. f. «Autograph AGS-X Series : SHIMADZU (Shimadzu Corporation)». Recuperado 24 de julio de 2023 (<https://www.shimadzu.com/an/products/materials-testing/uni-ttm/autograph-ags-x-series/index.html>).
- SKyCiv. s. f. «Acero vs Madera vs Concreto | SkyCiv Engineering». Recuperado 19 de julio de 2023 (<https://skyciv.com/es/technical/steel-vs-timber-vs-concrete/>).
- Tortajada, Alberto. 2021. «Programa de educación para la salud sobre el reciclaje en niños de 11 años de la ciudad de Teruel. “Las R futuro de tu salud”». 1-61.
- Vitralba. s. f. «Vidrio - Características mecánicas». Recuperado 19 de julio de 2023 ([https://vitralba.com/wp-content/uploads/2018/09/propiedades\\_mecanicas\\_del\\_vidrio\\_plano.pdf](https://vitralba.com/wp-content/uploads/2018/09/propiedades_mecanicas_del_vidrio_plano.pdf)).
- Wong, Wucius. 2014. *Fundamentos del diseño*. Barcelona, Spain.

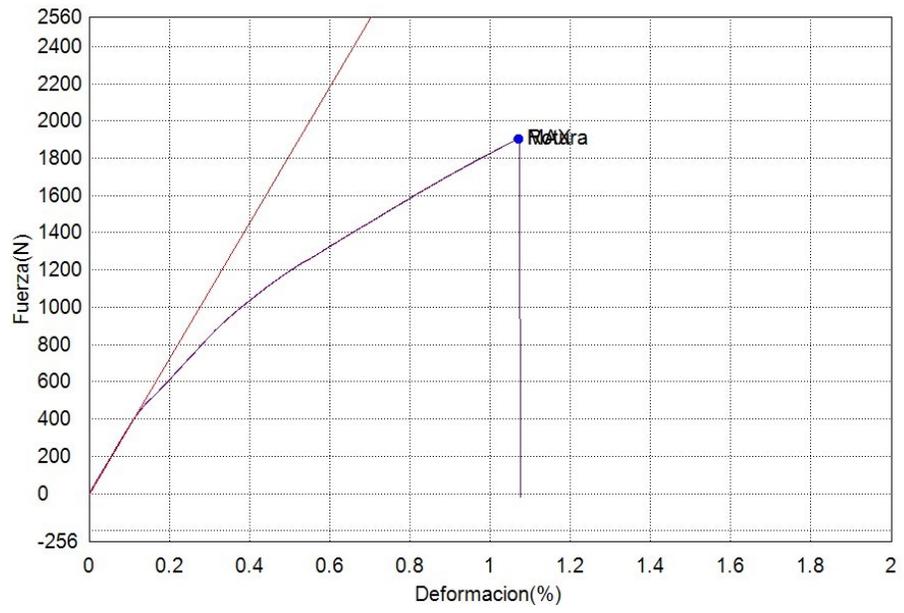
## Anexos

### *Anexo 1. Resultados del ensayo de tracción.*

## Ensayo de tracción

<b>Palabra llave</b>		<b>Nombre de producto</b>	
<b>Nombre de archivo de ensayo</b>	traccion.xtas	<b>Nombre de metodo de ensayo</b>	Tracción ASTM D638.xmas
<b>Fecha de informe</b>	7/21/2023	<b>Fecha de ensayo</b>	7/21/2023
<b>Modo de Ensayo</b>	Sencillo	<b>Tipo de ensayo</b>	tracción
<b>Velocidad</b>	5mm/min	<b>Forma</b>	Plana
<b>Nºde partidas:</b>	1	<b>Nºde muestras:</b>	4

Nombre	Elástico_Divide	Rotura_Fuerza	Rotura_Tensión	Rotura_Desplazamiento
Parámetros	10 Intervalos:	Sensibilidad 10	Sensibilidad 10	Sensibilidad 10
Unidad	GPa	N	N/mm2	mm
1_1	3.41128	1837.64	17.0579	0.90913
1_2	2.96400	1816.84	16.8647	1.19659
1_3	3.38797	1904.81	17.6813	1.07076
1_4	3.27965	1732.73	16.0840	0.94329
Nombre	Rotura_Deformación	Max. Fuerza	Max. Tensión	Max. Desplazamiento
Parámetros	Sensibilidad 10	Calc. at Entre áreas	Calc. at Entre áreas	Calc. at Entre áreas
Unidad	%	N	N/mm2	mm
1_1	0.90913	1837.64	17.0579	0.90913
1_2	1.19659	1816.84	16.8647	1.19659
1_3	1.07076	1904.81	17.6813	1.07076
1_4	0.94329	1732.73	16.0840	0.94329
Nombre	Max_Deformación			
Parámetros	Calc. at Entre áreas			
Unidad	%			
1_1	0.90913			
1_2	1.19659			
1_3	1.07076			
1_4	0.94329			

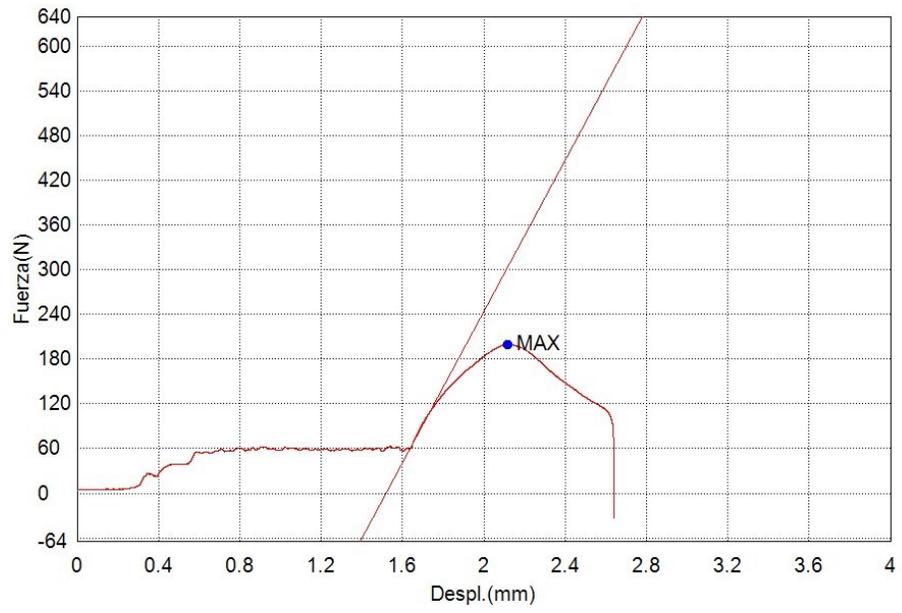


*Anexo 1. Resultados del ensayo de compresión.*

## Ensayo de compresión

<b>Palabra llave</b>		<b>Nombre de producto</b>	
<b>Nombre de archivo de ensayo</b>	compresion.xtas	<b>Nombre de metodo de ensayo</b>	Compresión ASTM D695 plana.xmas
<b>Fecha de informe</b>	7/21/2023	<b>Fecha de ensayo</b>	7/21/2023
<b>Modo de Ensayo</b>	Sencillo	<b>Palabra llave</b>	Compresion
<b>Velocidad</b>	1.3mm/min	<b>Nombre de archivo de ensayo</b>	Plana
<b>ensayo</b>	1	<b>Nombre de metodo de ensayo</b>	5

Nombre	Max. _Fuerza	Max. _Tensión	Max. _Desplazamiento	Max. _Deformación
Parámetros	Calc. at Entre áreas	Calc. at Entre áreas	Calc. at Entre áreas	Calc. at Entre áreas
Unidad	N	N/mm2	mm	%
1_1	199.970	4.77539	2.11839	2.71589
1_2	297.729	7.10995	2.04950	2.62756
1_3	357.231	8.53088	1.72256	2.20841
1_4	331.648	7.91996	1.68120	2.15539
1_5	444.690	10.6195	2.10931	2.70424
Nombre	Rotura_Fuerza	Rotura_Tensión	Rotura_Desplazamiento	Rotura_Deformación
Parámetros	Sensibilidad 10	Sensibilidad 10	Sensibilidad 10	Sensibilidad 10
Unidad	N	N/mm2	mm	%
1_1	--	--	--	--
1_2	--	--	--	--
1_3	--	--	--	--
1_4	--	--	--	--
1_5	--	--	--	--
Nombre	Elástico_Devided			
Parámetros	10 Intervalos:			
Unidad	N/mm2			
1_1	945.203			
1_2	1584.22			
1_3	1622.06			
1_4	1936.32			
1_5	1757.85			



*Anexo 3. Resultados del ensayo de flexión.*

## Ensayo de flexión.

<b>Palabra llave</b>		<b>Nombre de producto</b>		
<b>Nombre de archivo de ensayo</b>	flexion.xtas	<b>Nombre de metodo de ensayo</b>	flexión 3 puntos.xmas	
<b>Fecha de informe</b>	7/21/2023	<b>Fecha de ensayo</b>	7/21/2023	
<b>Modo de Ensayo</b>	Sencillo	<b>Palabra llave</b>	Flexión 3 ptos.	
<b>Velocidad</b>	1mm/min	<b>Nombre de archivo de</b>	Plana	
<b>ensayo</b>	1	<b>Nombre de metodo de</b>	4	
<b>Nombre</b>	M.Elástico	<b>Elástico_Devided</b>	<b>Max._Fuerza</b>	<b>Max._Tensión</b>
<b>Parámetros</b>	Fuerza 10 - 20 N	10 Intervalos:	Calc. at Entre áreas	Calc. at Entre áreas
<b>Unidad</b>	GPa	GPa	N	MPa
1_1	0.05193	6.12872	410.326	46.4946
1_2	0.06868	4.86791	381.255	43.2005
1_3	0.05364	5.11060	308.283	34.9320
1_4	0.05461	3.98813	343.434	38.9149
<b>Nombre</b>	<b>Max._Desplazamiento</b>	<b>Max._Deformación</b>	<b>Rotura_Fuerza</b>	<b>Rotura_Tensión</b>
<b>Parámetros</b>	Calc. at Entre áreas	Calc. at Entre áreas	Sensibilidad 10	Sensibilidad 10
<b>Unidad</b>	mm	%	N	MPa
1_1	2.27702	2.73509	410.326	46.4946
1_2	2.43949	2.93024	381.096	43.1825
1_3	2.29217	2.75329	307.441	34.8365
1_4	2.61368	3.13947	343.434	38.9149
<b>Nombre</b>	<b>Rotura_Desplazamiento</b>	<b>Rotura_Deformación</b>		
<b>Parámetros</b>	Sensibilidad 10	Sensibilidad 10		
<b>Unidad</b>	mm	%		
1_1	2.27702	2.73509		
1_2	2.44066	2.93166		
1_3	2.29236	2.75351		
1_4	2.61368	3.13947		

