

Expresando desde la materialidad:
Desarrollo de material compuesto en base a arpillera
yute y resina vinil éster en infusión, para su aplicación
simbólica/funcional en el Museo Violeta Parra

Memoria para optar al Título Profesional de Diseñadora Industrial

Malena Valenzuela Contreras

PROFESOR GUÍA | Pablo Domínguez

Expresando desde la materialidad:

Desarrollo de un material compuesto en base a arpillera yute y resina vinil éster en infusión, para su aplicación simbólica/funcional en el Museo Violeta Parra

Memoria para optar al Título Profesional de Diseñadora Industrial

Malena Valenzuela Contreras

PROFESOR GUÍA | Pablo Domínguez



Escuela única de pregrado
Carrera de Diseño

Santiago de Chile, 2021

“Dulce vecina de la verde selva
Arpillerista azul verde y granate
Grande enemiga de la zarzamora
Violeta parra”

*Canción Defensa de Violeta Parra
Oswaldo Rodriguez*



Agradecimientos

Primero que nada, agradecer a Pablo, mi profesor guía, por todos estos años de cariño, paciencia y comprensión. Gracias Pablo por siempre creer en mí y por apoyarme en todos mis proyectos y momentos malos, por tu buena disposición y por inspirar en mí el interés en los materiales dentro del Diseño. Eres un gran profesor y una persona maravillosa.

Agradecer al equipo de Engineering Composites, donde aprendí todo lo que sé sobre materiales compuestos. Gracias por todo lo aprendido y por permitirme realizar mi trabajo en sus instalaciones. Gracias a Víctor por todo lo que me enseñó en mi desarrollo como profesional, a Marcelo y Roberto por su buena disposición y toda su ayuda al momento de realizar las infusiones. Gracias a Jocelyn, Ricardo, Felipe y Carlos S. por su amistad y sus conocimientos técnicos en el área de la fibra de vidrio y la industria.

También agradecer a Carlos M., encargado del laboratorio de materiales de la Universidad Tecnológica Metropolitana (UTEM), por permitirme realizar las pruebas de flexión y tracción allá y ayudarme con todo lo que necesite durante esa etapa.

Gracias a todas las personas que conocí en la FAU, profesores que me enseñaron muchas cosas y amigos que de una u otra forma estuvieron conmigo durante este proceso: a Camila, Vicky, Gigi, Feña, Fran, Augusto, Diana, Hugo. A Eduardo por sus correcciones y apoyo a pesar de la distancia.

Mención especial a mis queridas amigas, Ana y Maripangue, por darme ánimos, consolarme y ayudarme durante las etapas finales de trabajo, editando esta tesis con mucho talento, amor y paciencia; las amo mucho.

Gracias a Simón, por su constante apoyo durante estos años, en los días buenos y malos, por alentarme y ayudarme cuando lo necesité durante estas duras semanas. Te amo mucho amigo.

Esto está dedicado a mis padres; a mi madre que estuvo a punto de perder la fe, pero siempre me dio mucho amor y soporte; y a mi padre que se fue antes de que pudiese terminar este proceso, pero donde sea que esté le digo: papá lo logré.

Me siento muy afortunada por todas las experiencias y personas que conocí en este largo camino, que, si bien fue mucho tiempo, valió la pena. Fue un honor realizar un proyecto inspirado en Violeta Parra.



Índice de contenidos

27	Abstract
29	Introducción
33	1. Presentación de aspectos generales de la investigación
33	1.1 Contexto del estudio
34	1.2 Oportunidad de investigación
34	1.3 Justificación del estudio
34	1.4 Hipótesis
35	1.5 Objetivos de investigación
35	1.5.1 Objetivo general
35	1.5.2 Objetivos específicos
36	1.6 Metodología
40	1.7 Alcance de la investigación
43	2. Marco teórico
43	2.1 Materiales y diseño
44	2.1.1 Propiedad de los materiales
44	2.1.2 Clasificación de los materiales
45	2.1.2.1 Metales
45	2.1.2.2 Cerámicos
46	2.1.2.3 Polímeros
47	2.1.2.4 Semiconductores

47	2.1.2.5 Materiales compuestos
47	2.1.3 Materiales de diseño
49	2.2 Materiales compuestos
50	2.2.1 Componentes de los materiales compuestos
51	2.2.1.1 Matrices
55	2.2.1.2 Refuerzos
61	2.2.1.3 Características y propiedades de componentes
64	2.2.2 Tecnología y clasificación de los materiales compuestos
69	2.2.3 Procesos de conformado de los materiales compuestos
78	2.2.4 Procesos de diseño para plásticos reforzados con fibras
80	2.3 Diseño y percepción de materiales
85	3. Proceso de experimentación y diseño
85	3.1 Desarrollo de test panel
88	3.2 Pruebas de permeabilidad
106	3.2.1 Prueba PEBD (Polietileno de Baja Densidad)
107	3.2.2 Resultados pruebas de permeabilidad
113	3.3 Ensayos de físicos
113	3.2.1 Prueba PEBD (Polietileno de Baja Densidad)
116	3.2.2 Filtro defectos técnicos y visuales
118	3.3.3. Ensayos de hinchamiento y absorción de agua
119	3.3.4. Ensayos de quemado
121	3.4 Ensayos mecánicos
124	3.4.1 Ensayos de Flexión
137	3.4.2 Ensayos de Tracción
142	3.4.3. Clasificación de Material
150	3.5 Percepción del material

153	3.6 Costos del material
155	3.7 Caracterización del material
159	4. Propuesta de diseño
159	4.1 Significancia de la arpillera
163	4.2 Propuesta conceptual
164	4.3 Referentes de materialidad expresiva
164	4.3.1 Identidad patrimonial
166	4.3.2 Identidad local
168	4.4 Contexto y aplicación
168	4.4.1 Museo Violeta Parra
169	4.5 Desarrollo de propuesta
169	4.5.1 Intervención de material
171	4.5.2 Paleta cromática
173	4.5.3 Génesis formal
185	Conclusiones
186	Proyecciones futuras
187	Bibliografía
190	Anexos

Índice de imágenes

33	IMAGEN 1.1 Artículo de decoración fabricado en fibra de vidrio.	70	IMAGEN 2.14 Proceso de laminado manual.
33	IMAGEN 1.2 Maceteros fabricados de fibra de vidrio	70	IMAGEN 2.15 Proceso de laminado manual.
33	IMAGEN 1.3 Estanque de acumulación de agua fabricado en FRP con capa de gelcoat exterior.	71	IMAGEN 2.16 Proceso de pulverizado
51	IMAGEN 2.1 Componentes básicos de un Material Compuesto.	71	IMAGEN 2.17 Proceso de pulverizado.
52	IMAGEN 2.2 Forma de matriz sometida a compresión y tracción.	72	IMAGEN 2.18 Proceso de Filament Winding.
56	IMAGEN 2.3 Fibra de Vidrio formato MAT450, Clades Composites.	73	IMAGEN 2.19 Proceso de Filament Winding.
56	IMAGEN 2.4 Fibra de Vidrio formato Tela600, Okm.	74	IMAGEN 2.20 Material compuesto en el mundo.
57	IMAGEN 2.5 Fibra de Carbono, Fibratec.	75	IMAGEN 2.21 Material compuesto con fibras continuas y alineadas
57	IMAGEN 2.6 Fibra de Kevlar49.	76	IMAGEN 2.22 Proceso de Compresión Húmeda.
59	IMAGEN 2.7 Fibra de Yute.	77	IMAGEN 2.23 Proceso de RTM.
60	IMAGEN 2.8 Arpillera de Yute.	78	IMAGEN 2.24 Proceso de RTM-Light.
60	IMAGEN 2.9 Sonali, bolsa de bioplástico de fibra de yute.	80	IMAGEN 2.25 Pink Chair de Vladimir Tsesler.
63	IMAGEN 2.10 Método de medición unidireccional.	80	IMAGEN 2.26 Silla Wassily de Marcel Breuer.
64	IMAGEN 2.11 Método de medición radial.	80	IMAGEN 2.27 Estantería estética funcional.
68	IMAGEN 2.12 Disposición de fibras.	85	IMAGEN 3.1 Medidas generales de test panel para pruebas de permeabilidad con proceso de RTM-Light e Infusión.
68	IMAGEN 2.13 Material compuesto con fibras continuas y alineadas.	86	IMAGEN 3.2 Medidas generales de test panel para pruebas de permeabilidad con proceso de RTM-Light e Infusión.

87	IMAGEN 3.3 Planimetría test panel reducido.	106	IMAGEN 3.19 Pieza familia 4 sin adherencia de PEBD.
87	IMAGEN 3.4 Test panel reducido para pruebas rápidas de infusión.	108	IMAGEN 3.20 Comparación de avance de resina a los 5 minutos de cada Familia.
89	IMAGEN 3.5 Ensayo de infusión en test panel reducido.	113	IMAGEN 3.21 Instrumento de medición de dureza durómetro Barcol Rockwell/Brinell/Webster,
89	IMAGEN 3.6 Trampa de resina.	113	IMAGEN 3.22 Medición de dureza Barcol en probeta 3.1.
89	IMAGEN 3.7 Bomba de vacío.	118	IMAGEN 3.23 Probetas 7.6 y 8.6 sumergidas.
89	IMAGEN 3.8 Presostato de bomba de vacío marcado -0,8.	119	IMAGEN 3.24 Horno de quemado Thermo Scientific Thermolyne.
90	IMAGEN 3.9 Detalle de pieza Familia 1.	119	IMAGEN 3.25 Placa de cerámica para.
92	IMAGEN 3.10 Detalle de pieza Familia 2.	120	IMAGEN 3.26 Extractos de Probeta 8.1 en horno de quemado.
94	IMAGEN 3.11 Detalle de pieza Familia 3.	120	IMAGEN 3.27 Resultado probeta después de prueba de quemado.
96	IMAGEN 3.12 Detalle de pieza Familia 4.	121	IMAGEN 3.28 Figura tipo dimensiones probetas.
98	IMAGEN 3.13 Detalle de pieza Familia 5.	124	IMAGEN 3.29 Máquina para ensayos de Flexión Instron.
100	IMAGEN 3.14 Detalle de pieza Familia 6.	124	IMAGEN 3.30 Ensayo de Flexión.
102	IMAGEN 3.15 Detalle de pieza Familia 7.	126	IMAGEN 3.31 Detalle rotura de probeta 8.2 post prueba de flexión.
104	IMAGEN 3.16 Detalle de pieza Familia 8.	137	IMAGEN 3.32 Ensayo de Tracción.
106	IMAGEN 3.17 Pieza Familia 4 con malla difusora y punto de inyección adherida por no uso de tela ni PEBD.	140	IMAGEN 3.33 Detalle rotura de probeta 8.9 post prueba de tracción.
106	IMAGEN 3.18 Bolsa de PEBD con perforaciones para utilizar como peel ply en pruebas de infusión.	150	IMAGEN 3.34 Probeta de Fibra de Vidrio utilizada para encuesta.
		150	IMAGEN 3.35

- Probeta de Arpillera utilizada para encuesta.
- 159** **IMAGEN 4.1**
Obra "Ante la Incertidumbre".
- 160** **IMAGEN 4.2**
Obra "Afiche" Arpillera con lanigrafía, Violeta Parra, 1964.
- 161** **IMAGEN 4.3**
Moodboard Arpilleras Violeta Parra.
- 165** **IMAGEN 4.4**
Espacio central interior del Museo de Historia de Ningbo.
- 166** **IMAGEN 4.5**
Cubierta de troncos de madera en el espacio de acceso al Museo de la Academia de Arte de Zongshan.
- 166** **IMAGEN 4.6**
Jardín de Tejas. Bienal de Venecia. Wang Shu y Lu Wenyu.
- 167** **IMAGEN 4.7**
Vasija de greda Pomaire.
- 167** **IMAGEN 4.8**
Pantalla luminaria en mimbre.
- 168** **IMAGEN 4.9**
Fachada Museo Violeta Parra Santiago.
- 169** **IMAGEN 4.10**
Trozo de arpillera bordada en Museo Violeta Parra Santiago.
- 169** **IMAGEN 4.11**
Logo Museo Violeta Parra Santiago.
- 170** **IMAGEN 4.12**
Logo Museo Violeta Parra bordado en 3 capas de arpillera.
- 171** **IMAGEN 4.13**
Paleta cromática basada en obra "Contra la Guerra", Violeta Parra, 1962.
- 172** **IMAGEN 4.14**
Paleta cromática material compuesto arpillera.
- 173** **IMAGEN 4.15**
Abstracción de formas obra "Contra la Guerra", Violeta Parra, 1962.
- 174** **IMAGEN 4.16**
Propuesta de abstracción geométrica y cromática para bordado en arpillera.
- 175** **IMAGEN 4.17**
Propuesta de distribución de abstracción geométrica y cromática.
- 177** **IMAGEN 4.18**
Moodboard referentes de mobiliario urbano fabricados en hormigón, metal y materiales compuestos
- 178** **IMAGEN 4.19**
Análisis contraformas obra "Contra la Guerra", Violeta Parra, 1962.
- 179** **IMAGEN 4.20**
Primera propuesta formal de banquillo.
- 180** **IMAGEN 4.21**
Croquis iteración propuesta formal de banquillo.
- 181** **IMAGEN 4.22**
Segunda propuesta formal de banquillo.
- 182** **IMAGEN 4.23**
Fotomontaje de propuesta visual en curva de banquillo.
- 182** **IMAGEN 4.24**
Fotomontaje de propuesta visual en parte recta de banquillo.
- 183** **IMAGEN 4.25**
Infusión de tapa bombeada para estanque de acumulación de agua.
- 184** **IMAGEN 4.26**
Propuesta formal más compleja de mobiliario.

Índice de tablas

45	TABLA 2.1 Propiedades de los metales.	99	TABLA 3.6 Tabla de especificaciones experimento Familia 5.
46	TABLA 2.2 Propiedades de los cerámicos.	101	TABLA 3.7 Tabla de especificaciones experimento Familia 6.
53	TABLA 2.3 Polímeros biodegradables naturales y artificiales	103	TABLA 3.8 Tabla de especificaciones experimento Familia 7.
55	TABLA 2.4 Diferencias de resina.	105	TABLA 3.9 Tabla de especificaciones experimento Familia 8.
58	TABLA 2.5 Propiedades de algunas fibras naturales que se utilizan en los materiales compuestos.	107	TABLA 3.10 Pruebas de permeabilidad en Infusión, avance de resina según tiempo.
61	TABLA 2.6 Principales ventajas del yute.	109	TABLA 3.11 Características Resina Vinil éster Palatal A-430,
69	TABLA 2.7 Propiedades y precios aproximados de materiales y materiales reforzados por fibra.	110	TABLA 3.12 Cálculo de permeabilidad Familia 1.
74	TABLA 2.8 Comparación de Procesos de Molde cerrado.	111	TABLA 3.13 Velocidad de Flujo vs Distancia Probeta 1.
82	TABLA 2.9 Categorías de propiedades que se pueden usar para describir el perfil de un material.	113	TABLA 3.14 Resultados de dureza probetas Familia 1.
83	TABLA 2.10 Lista de propiedades sensoriales de materiales,.	114	TABLA 3.15 Resultados de dureza probetas Familia 2.
88	TABLA 3.1 Esquema de refuerzo de probetas por cada familia para pruebas de permeabilidad.	114	TABLA 3.16 Resultados de dureza probetas Familia 3.
91	TABLA 3.2 Tabla de especificaciones experimento Familia 1.	114	TABLA 3.17 Resultados de dureza probetas Familia 5.
93	TABLA 3.3 Tabla de especificaciones experimento Familia 2.	115	TABLA 3.18 Resultados de dureza probetas Familia 6.
95	TABLA 3.4 Tabla de especificaciones experimento Familia 3.	115	TABLA 3.19 Resultados de dureza probetas Familia 7.
97	TABLA 3.5 Tabla de especificaciones experimento Familia 4.	116	TABLA 3.20 Resultados de dureza probetas Familia 8.
		117	TABLA 3.21 Evaluación de defectos técnicos y visuales

	de probetas según familia.
121	TABLA 3.22 Información características físicas probetas Familia 5.
122	TABLA 3.23 Información características físicas probetas Familia 6.
122	TABLA 3.24 Información características físicas probetas Familia 7.
123	TABLA 3.25 Información características físicas probetas Familia 8.
124	TABLA 3.26 Resultados pruebas de flexión probetas Familia 5.
125	TABLA 3.27 Resultados pruebas de flexión probetas Familia 6.
126	TABLA 3.28 Resultados pruebas de flexión probetas Familia 8.
129	TABLA 3.29 Resultados promedio de cálculos probetas Familia 5.
132	TABLA 3.30 Resultados promedio de cálculos probetas Familia 6.
133	TABLA 3.31 Resultados promedio de cálculos probetas Familia 7.
135	TABLA 3.32 Resultados promedio de cálculos probetas Familia 8.
141	TABLA 3.33 Resultados promedio de cálculos de tracción familias.
144	TABLA 3.34, 3.35 Coordenadas para gráficos 3.26 y 3.27 respectivamente.
146	TABLA 3.36, 3.37 Coordenadas para gráficos 3.29 y 3.30 respectivamente.
149	TABLA 3.38, 3.39 Coordenadas para gráficos 3.32 y 3.33 respectivamente.
151	TABLA 3.40 Conocimiento de Fibra de Vidrio y Arpillera según área de desempeño.

153	TABLA 3.41 Comparación de costo y precio venta de una probeta 159x56mm de cada familia.
153	TABLA 3.42 Dimensiones utilizadas para costeo de probeta de fibra de vidrio y arpillera.

Índice de gráficos

107	GRÁFICO 3.1 Pruebas de permeabilidad en Infusión, avance de resina según tiempo.
110	GRÁFICO 3.2 Velocidad de Flujo vs Distancia Familia 1.
111	GRÁFICO 3.3 Velocidad de Flujo vs Distancia Probeta 1.
123	GRÁFICO 3.4 Y 3.5 Ensayo de Flexión Probetas 5.1, 5.2, 5.4 (izquierda) y Probeta 5.3 inv. (derecha).
125	GRÁFICO 3.6 Ensayo de Flexión Probetas 6.1, 6.2, 6.3.
126	GRÁFICO 3.7 Ensayo de Ensayo de Flexión Probetas 8.2, 8.3, 8.4.
130	GRÁFICOS 3.8, 3.9 Resultados promedio de cálculos probetas Familia 5.
131	GRÁFICOS 3.10, 3.11 Resultados promedio de cálculos probetas Familia 5.
132	GRÁFICOS 3.12, 3.13 Resultados promedio de cálculos probetas Familia 6.
133	GRÁFICOS 3.14 Resultados promedio de cálculos probetas Familia 6.

133	GRÁFICOS 3.15 Resultados promedio de cálculos probetas Familia 7.
134	GRÁFICOS 3.16, 3.17 Resultados promedio de cálculos probetas Familia 7.
135	GRÁFICOS 3.18, 3.19 Resultados promedio de cálculos probetas Familia 8.
136	GRÁFICOS 3.20 Resultados promedio de cálculos probetas Familia 8.
138	GRÁFICO 3.21 Resultados de pruebas de traccion probetas Familia 5.
138	GRÁFICO 3.22 Resultados de pruebas de traccion probetas Familia 6.
139	GRÁFICO 3.23 Resultados de pruebas de traccion probetas Familia 7.
139	GRÁFICO 3.24 Resultados de pruebas de traccion probetas Familia 8.
142	GRÁFICO 3.25 Comparación de Densidad vs Módulo de Young con Familias de Materiales existentes.
143	GRÁFICO 3.26 Zoom Comparación de Densidad vs Módulo de Young en Flexión con Familias de Materiales existentes.
143	GRÁFICO 3.27 Zoom Comparación de Densidad vs Módulo de Young en Tracción con Familias de Materiales existentes.
145	GRÁFICO 3.28 Comparación de Densidad vs Esfuerzo de Fluencia con Familias de Materiales existentes.
145	GRÁFICO 3.29 Zoom Comparación de Densidad vs Esfuerzo de Fluencia en Flexión con Familias de Materiales existentes.
146	GRÁFICO 3.30 Zoom Comparación de Densidad vs Esfuerzo de Fluencia en Tracción con Familias de Materiales existentes,

147	GRÁFICO 3.31 Comparación de Módulo de Young vs Esfuerzo de Fluencia con Familias de Materiales existentes.
148	GRÁFICO 3.32 Zoom Comparación de Módulo de Young vs Esfuerzo de Fluencia en Flexión con Familias de Materiales existentes.
148	GRÁFICO 3.33 Zoom Comparación de Módulo de Young vs Esfuerzo de Fluencia en Tracción con Familias de Materiales existentes.
151	GRÁFICOS 3.34, 3.35 Resultados de Diferencial Semántico probeta Fibra de Vidrio y probeta Arpillera respectivamente.
152	GRÁFICO 3.36 Distribución de encuestados según región.
152	GRÁFICO 3.37 Distribución de encuestados según comuna.

Índice de esquemas

34	ESQUEMA 1.1 Causas y consecuencias de la descontextualización de materiales.
44	ESQUEMA 2.1 Familias de Materiales.
48	ESQUEMA 2.2 Proceso de selección de materiales.
49	ESQUEMA 2.3 Componentes de los Materiales Compuestos.
51	ESQUEMA 2.4 Tipos de Matrices y Refuerzo.
65	ESQUEMA 2.5 Tipos de clasificaciones de los Materiales Compuestos.
66	ESQUEMA 2.6

Clasificación de los Composites según Refuerzo.

- 79** **ESQUEMA 2.7**
Proceso de Diseño para plásticos reforzados por fibra.
- 81** **ESQUEMA 2.8**
Criterios de evaluación de emociones,
- 163** **ESQUEMA 4.1**
Relación entre variables de diseño.
- 164** **ESQUEMA 4.2**
Desarrollo conceptual.

Índice de ecuaciones

- 55** **ECUACIÓN 2.1**
Resistencia Específica
- 55** **ECUACIÓN 2.2**
Módulo Específico
- 62** **ECUACIÓN 2.3**
Permeabilidad intrínseca
- 63** **ECUACIÓN 2.4**
Permeabilidad en dirección de flujo.
- 127** **ECUACIÓN 3.1**
Esfuerzo máximo
- 127** **ECUACIÓN 3.2**
Módulo de flexión





Abstract

La investigación realizada es de tipo mixta experimental, donde se tiene por objetivo caracterizar un nuevo material a través del análisis de sus cualidades físico-mecánicas y expresivas, para luego otorgar una aplicación en el diseño de mobiliario para Museo Violeta Parra cumpliendo con funciones prácticas y simbólicas.

El proyecto nace a partir de la necesidad de brindar una opción más económica y estéticamente atractiva para la industria de la fibra de vidrio en Chile, y así evitar la descontextualización de la fibra de vidrio al aplicarla a objetos que no estarán sometidos a esfuerzos importantes. También es una oportunidad de otorgar propuestas integrales desde la ingeniería y el diseño, apelando a la relación del usuario con los materiales y no solamente a su funcionalidad.

El material resultante consiste en un composite compuesto por arpillera yute como su refuerzo y resina epoxi-vinil éster en su matriz, diseñado para su conformación a través de infusión (proceso de molde cerrado). Las propiedades de físico-mecánicas del material resultaron ser similares a las familias de los polímeros y *composites*, teniendo resistencia aceptable para diseños de bajo impacto. El mayor atributo del material resultó ser su cualidad visual-expresiva, aportando una opción más bella, natural y orgánica estéticamente que la presente en la industria.

Como resultado se obtiene una propuesta de diseño y un mobiliario para exterior, donde se logra plasmar la identidad de la obra "Contra la guerra" de Violeta Parra, aprovechando los símbolos de la obra, el significado que tiene la arpillera como material expresivo en nuestro contexto, las propiedades mecánicas que brinda la resina al objeto y la libertad de formas que aporta la industria de los *composites*.

PALABRAS CLAVES: composite, arpillera, yute, resina vinil éster, Violeta Parra, expresión, identidad, mobiliario exterior.



Introducción

Los materiales forman parte de la vida del hombre desde el inicio de los tiempos, interviniendo en cada segmento de su existencia, tanto así que la capacidad para producir y conformar materiales por parte de los miembros de la sociedad ha sido uno de los factores que han contribuido al desarrollo y la evolución de ésta, obteniendo elementos que permitían y permiten la satisfacción de las necesidades de la comunidad.

Los avances realizados en cuanto a la ciencia, ingeniería y diseño de los materiales vienen de épocas remotas. Un ejemplo que representa la importancia de los materiales a través del tiempo es el nombre con el que se conocen las primeras civilizaciones, “la edad de piedra” corresponde a la era donde el material que alcanzó su mayor grado de desarrollo fue la piedra. Otro hito importante es el apogeo de los polímeros en los años 80’ y en el presente es el estudio de las nanotecnologías.

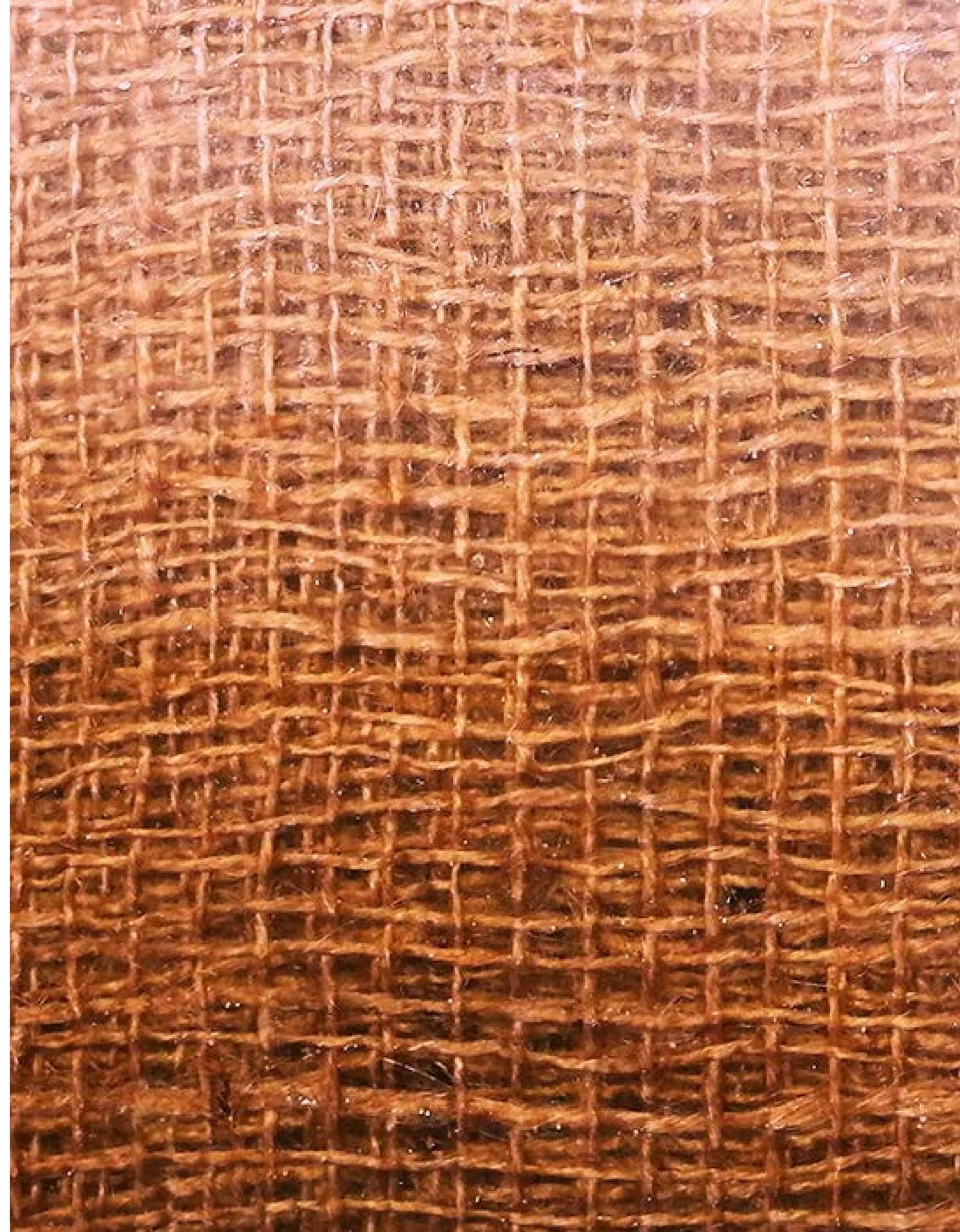
Cabe destacar la diferencia entre la ciencia e ingeniería de los materiales. La primera se define como los conocimientos básicos de la estructura interna, propiedades y el proceso de los materiales, mientras que la segunda trata de la aplicación de estos conocimientos sobre los materiales para transformarlos en productos requeridos por la sociedad. El diseño también juega un importante papel en el mundo de los materiales, ya que, al aplicar la ciencia e ingeniería también debemos considerar al usuario y su relación con el mismo material, como percibe el material, como utiliza el producto finalmente creado, entre otros aspectos importantes, es aquí donde el diseño juega un papel fundamental.

Actualmente entre los materiales que han acaparado varias miradas por sus múltiples usos y rápido desarrollo, es importante destacar la familia de los Materiales Compuestos, los cuales se definen como la combinación de dos tipos de materiales, habitualmente un tejido de fibras y un polímero termoestable, utilizados como matriz y refuerzo, que resultan en un tercer material con mayores propiedades que las de los elementos por separado o de la simple suma de sus características.

El siguiente proyecto desarrolla inicialmente una recopilación de información básica sobre los materiales vinculados al Diseño y luego, de forma más específica sobre los materiales compuestos o composites. Posteriormente, se realiza la etapa experimental con fibra de arpillera yute y resina vinil éster en proceso de molde cerrado,

analizando su comportamiento durante la infusión y calculando sus propiedades físicas, mecánicas, atributos perceptuales y costos. Finalmente se busca aplicar este nuevo material en un área de interés donde sea coherente y aporte más allá de la funcionalidad.

Otro punto relevante en el proceso de investigación realizado es la determinación de una relación entre el aspecto técnico de los materiales con el enfoque propio del Diseño Industrial, estableciendo así condiciones para un vínculo interdisciplinar en este campo, a través del estudio y la colaboración de profesionales de ambas áreas.



1. Presentación de aspectos generales de la investigación

1.1 Contexto del estudio

La coherencia que debe existir en cuanto al uso de los materiales en los productos de Diseño es de real importancia para que, finalmente, se realice un buen diseño y en consecuencia obtener productos sustentables, útiles y estéticos (Ashby & Johnson, 2014).

Hoy en día es muy común que se genere una descontextualización en el uso de los materiales, a pesar de tener una gran cantidad de opciones para utilizar, se siguen usando las combinaciones más tradicionales en el mundo de los materiales compuestos. Por ejemplo, la mayoría de los objetos que se generan en la industria son de plásticos reforzados con fibra de vidrio o fibra de carbono, *composites* que tienen una alta resistencia mecánica, la cual es su principal característica. Cuando el objeto que se está diseñando no será sometido a un alto esfuerzo en su uso, la elección de la fibra de vidrio o carbono en su fabricación es incoherente, no se aprovechan las características del material y deja de ser un material de ingeniería. Para cada categoría existe un tipo característico de estímulos capaz de provocar respuestas diferentes.



De izquierda a derecha

IMAGEN 1.1
Artículo de decoración fabricado en fibra de vidrio. *Materiales Compuestos y sus usos. 2015.*

IMAGEN 1.2
Maceteros fabricados de fibra de vidrio *Fiberglass, 2020*

IMAGEN 1.3
Estanque de acumulación de agua fabricado en FRP con capa de gelcoat exterior. *Engineering Composites. 2020.*

1.2 Oportunidad de investigación

Principalmente la descontextualización de materiales en el rubro de la fibra de vidrio no ocurre por falta de tecnología, si no que al ser un área de conocimiento tan específico y técnico se limita a llevar “su material” a cualquier producto que pueda ampliar las posibilidades de negocio, como se muestra en la Imagen 1.1. Además, responde a la necesidad del área de buscar el desarrollo de productos con cualidades estéticas diferentes a la fibra de vidrio en sus aplicaciones más comunes como lo son los estanques de acumulación de agua o químicos. Este ejemplo se puede ver en la Imagen 1.2 versus la 1.3 que es el uso descontextualizado del material, pasando de productos donde sí se aprovechan las propiedades mecánicas del material a otros como maceteros que no están sometidos a ese tipo de esfuerzos.



ESQUEMA 1.1
Causas y consecuencias de la descontextualización de materiales.
Elaboración propia. 2021.

1.3 Justificación del estudio

En la siguiente investigación se pretende levantar información desde el campo del Diseño y la Ingeniería para aportar a ambas disciplinas, contribuyendo a que los diseñadores, ingenieros, o cualquier profesional que requiera acceder a materiales, pueda tener una alternativa de material fabricado con fibra vegetal y resina epoxi-vinil éster en proceso de molde cerrado, que sea más atractivo visualmente que los plásticos reforzados con fibra de vidrio o carbono, para aquellos productos que no serán expuestos a esfuerzos mecánicos considerables.

1.4 Hipótesis

Se puede desarrollar un material con proceso de molde cerrado utilizando fibra vegetal con resina epoxi-vinil éster que tenga resultados aceptables para un material compuesto estéticamente más atractivo sin necesidad de tratamiento de superficie.

1.5 Objetivos de investigación

1.5.1 Objetivo general

Desarrollar un material compuesto con arpillera yute y resina epoxi-vinil éster, fabricado por proceso de infusión, a través del estudio de sus propiedades físicas y cualidades expresivas para su posterior aplicación a objetos de Diseño.

1.5.2 Objetivos específicos

- Diseñar experimentos de permeabilidad en test panel de infusión con distintas combinaciones de arpillera yute, fibra de vidrio en distintos formatos y resina epoxi-vinil éster para seleccionar las posibles combinaciones.

ACTIVIDADES:

- Definir las variables y constantes presentes dentro del proceso de infusión para estipular las etapas de método científico.
- Diseñar test panel a escala para pruebas rápidas de permeabilidad.
- Definir esquemas de refuerzo (combinación de fibras) de cada familia de probetas a fabricar.
- Realizar pruebas de permeabilidad y analizar el comportamiento de la arpillera yute en el proceso

- Determinar las 4 mejores familias (combinaciones de matriz/refuerzo), a través de las características físico/mecánicas de las probetas.

ACTIVIDADES:

- Realizar pruebas de permeabilidad y calcular (k).
- Escoger 4 combinaciones a partir de un primer filtro de terminación visual.
- Realizar y analizar las propiedades físicas de las probetas:
 - Densidad.
 - Absorción de agua.
 - Hinchamiento.
- Realizar y analizar las propiedades mecánicas de las probetas:
 - Flexión.
 - Tracción.
- Realizar y analizar pruebas de quemado de las probetas.
- Seleccionar las 4 mejores combinaciones según los resultados de las pruebas anteriores.

- **Determinar la mejor familia (combinación de matriz/fuerzo), a través de las cualidades expresivas de las probetas.**

ACTIVIDADES:

- Realizar encuesta con evaluación de Diferencial Semántico.
- Escoger el material que tenga los mejores resultados según los criterios definidos.
- Realizar ficha técnica de principales características de Material:
 - Perceptual
 - Uso
 - Sensorial
 - Técnico
 - Material

- **Estudiar las posibilidades de aplicación para el material compuesto obtenido teniendo en cuenta la coherencia entre propiedades físicas y cualidades expresivas.**

ACTIVIDADES:

- Clasificar el compuesto dentro de una categoría de materiales y determinar cuáles son los usos relevantes de dicha categoría según gráfico de familia de materiales.
- Realizar estudio de nuevas posibles aplicaciones del compuesto.
- Generar propuesta de diseño con el material compuesto resultante.

1.6 Metodología

La investigación comienza con un estudio basado en la experimentación con arpillera yute, fibra de vidrio en distintos formatos (tela, mat, velo, etc.) y resina epoxi-vinil éster, a través de distintas combinaciones de esquemas de refuerzo en proceso de molde cerrado infusión, para lograr un material con diferentes características visuales, más económico y sustentable.

La primera fase busca cumplir el objetivo de diseñar los experimentos de permeabilidad utilizando la medición unidireccional del avance de la resina en un molde (test panel) diseñado para las pruebas y comprobar la factibilidad técnica de utilizar yute arpillera en proceso de infusión asistida por vacío. Posteriormente las probetas serán analizadas en cuanto a sus características físicas, mecánicas y visuales, para lograr la caracterización final del material, mezclando conocimiento relacionado a la Ingeniería y al Diseño. Finalmente se desarrollará la propuesta de Diseño con el material resultante.

A continuación, se presenta la tabla de metodología a utilizar durante la investigación:

OBJETIVO GENERAL: desarrollar un material compuesto con arpillera yute y resina epoxi-vinil éster, fabricado por proceso de infusión, a través del estudio de sus propiedades físicas y cualidades expresivas para su posterior aplicación a objetos de diseño.							
Objetivo	Pregunta	Método	Técnica	Instrumento de levantamiento	Instrumento de registro	Instrumento de resultado	Herramienta
Diseñar experimentos de permeabilidad en test panel de infusión con distintas combinaciones de arpillera yute, fibra de vidrio en distintos formatos y resina epoxi-vinil éster para seleccionar las posibles combinaciones.	¿Cómo se hacen los test de permeabilidad?	Cuali/Cuanti	Revisión Linkográfica/ Entrevista	Listado de fuentes/Pauta de preguntas	Listado de fuentes/Pauta de preguntas	Procedimiento de pruebas en infusión	Procedimiento de pruebas en infusión
	¿Qué variables afectan en la realización de un experimento?		Cualitativo				
	¿Cuál es la mejor fibra vegetal que puede ser compatible con el proceso de molde cerrado?	Cuantitativo	Revisión Bibliográfica	Listado de fuentes	Listado de fuentes	Resumen de información	Resumen de información
	¿Cuál es la mejor resina para el proceso de molde cerrado?	Cuantitativo	Revisión Bibliográfica	Tabla de registro	Tabla de registro	Fichas de familia con datos de probetas	Fichas de familia con datos de probetas
	¿Cómo se comporta la fibra vegetal seleccionada en el proceso de molde cerrado?	Cuali/Cuanti	Experimentación aplicada			Fotografías comparativas entre familias.	Fotografías comparativas entre familias.
	¿Cuánto es el valor de la permeabilidad de cada familia de probetas?	Cuantitativo	Cálculos matemáticos	Ficha de registro	Matriz de valores	Tablas y gráficos	1.2 Notebook Excel
Determinar las 4 mejores familias (combinaciones de matriz/refuerzo), a través de las características físico/mecánicas de las probetas.	¿Cuál es la permeabilidad aceptable para un proceso de molde cerrado?	Cuantitativo	Interpretación de datos matemáticos	Listado de fuentes	Notas	Resumen de información	Durómetro
	¿Cuál es el valor de promedio de dureza barcol de cada familia de probetas?	Cuantitativo	Pruebas de calidad de material	Ficha de registro	Videos y fotografía. Datos prueba	Tablas y fotografías	Horno de quemado
	¿Qué pasa cuando se realiza una prueba de quemado a una probeta con arpillera yute?	Cualitativo	Experimentación aplicada	Ficha de registro	Videos y fotografía	Fotografías	Máquinas para ensayos mecánicos
	¿Cuánto resiste cada combinación a la flexión y tracción?	Cuantitativo	Pruebas mecánicas	Ficha de registro	Videos y fotografía. Base de datos de pruebas	Tablas, gráficos y fotografías	Notebook Word
	¿Cuál es la combinación que resulta tener menos imperfecciones técnicas y visuales?	Cualitativo	Interpretación de datos e inspección visual	Listado de criterios	Chequeo de criterios	Tabla	

OBJETIVO GENERAL: desarrollar un material compuesto con arpillera yute y resina epoxi-vinil éster, fabricado por proceso de infusión, a través del estudio de sus propiedades físicas y cualidades expresivas para su posterior aplicación a objetos de diseño.							
Objetivo	Pregunta	Método	Técnica	Instrumento de levantamiento	Instrumento de registro	Instrumento de resultado	Herramienta
Determinar la mejor familia (combinación de matriz/fuerzo), a través de las cualidades expresivas de las probetas.	¿Cómo es percibido el material?	Cualitativo	Encuesta	Listado de criterios diferencial semántico	Base de datos de respuestas	Esquema Resultado de diferencial	Formulario de Google
	¿Cómo es percibido el material en comparación la fibra de vidrio?	Cualitativo	Encuesta	Listado de preguntas y fotos	Base de datos de respuestas	Tabla comparativa de cualidades visuales	Formulario de Google
	¿Cuáles son los atributos visuales que tiene el material con respecto a la estética que brinda?	Cualitativo	Interpretación de datos	Tabla de registro	Notas y fotografía	Ficha de material	Notebook Word
Estudiar las posibilidades de aplicación para el material compuesto obtenido teniendo en cuenta la coherencia entre propiedades físicas y cualidades expresivas.	¿A qué material es parecido el nuevo compuesto en cuanto a propiedades físico-mecánicas?	Cuantitativo	Revisión de gráfico de materiales	Listado de propiedades y valores	Gráficos y tablas de datos	Tabla de coordenadas y gráficos comparativos	Software especializado (CES Edupack)
	¿Para qué se usan esos materiales?	Cualitativo	Revisión bibliográfica	Listado de materiales	Lista de chequeo de aplicaciones	Resumen de información	Notebook Internet
	¿En qué ámbito se puede aplicar el nuevo compuesto?	Cualitativo	Revisión bibliográfica	Referentes	Croquis de forma	Citas claves	Croquera, lápices de sketching
	¿Qué propuesta de diseño se podría desarrollar con el nuevo material?	Cualitativo	Estudio conceptual	Referentes	Listado de posibles usos	Morfología	Notebook Internet
	¿Cuál es la geometría morfológica conceptual que define al material?	Cualitativo	Revisión bibliográfica			Propuesta de uso	

1.7 Alcance de la investigación

La siguiente investigación es de tipo experimental, donde se harán pruebas con resina epoxi-vinil éster, fibra vegetal de arpillera de yute, MAT450, telas, biaxiales, triaxiales, coreflow y velos de fibra de vidrio, para ver cual combinación permite el mejor fluir de la resina en el proceso de molde cerrado Infusión. A continuación, se detallan los alcances de la investigación, junto con la justificación de cada uno de los parámetros establecidos:

- Como se plantea anteriormente, las modificaciones realizadas en la composición del nuevo material compuesto se realizan a nivel de refuerzo (fibra). La matriz (resina) se mantendrá constante en las pruebas, siendo la resina epoxi-vinil éster PALATAL A430 la seleccionada dada sus propiedades de viscosidad, que la hacen idónea para el proceso de infusión.
- En esta investigación solo se utiliza arpillera yute como la fibra vegetal de refuerzo alternativo a la fibra de vidrio, en distintas cantidades de capas y en la misma orientación de la fibra (0° - 90°). No se consideran cortes de la fibra con orientaciones angulares. Se utiliza yute, ya que es la que se encuentra disponible en el formato de tela apta para el procedimiento.
- Se realizaron los experimentos a través del proceso de molde cerrado, Infusión. El resto de los procesos de molde cerrado no se tomarán en cuenta para la investigación, ya que la Infusión es el más sencillo de realizar en cuanto a pasos e insumos y el test panel de referencia al que se tiene acceso es compatible con ese proceso. También es el molde que requiere menos esfuerzo para fabricar en comparación con RTM o RTM-*Light*. Los procesos de molde abierto no están considerados en la aplicación de la investigación.
- El método de medición de la permeabilidad será unidireccional debido a que el test panel de referencia al que se tiene acceso no trabaja con inyección radial.
- Los sub-productos de la investigación se centrarán en el material y el proceso de fabricación. Generando ficha de producto y protocolo de fabricación.





2. Marco teórico

2.1 Materiales y diseño

Vivimos rodeados de objetos y productos que existen para satisfacer nuestras necesidades, estos objetos están compuestos y nacieron a partir de distintos componentes que se deben tomar en cuenta a la hora de diseñarlos. Uno de los conceptos claves cuando se habla del origen de los objetos es la manufactura, palabra que viene del latín manus (mano) y factus (hacer) que quiere decir hecho a mano, lo cual describe perfectamente cómo nacían los objetos durante los siglos anteriores. Actualmente la manufactura se realiza en su mayoría a nivel industrial con la ayuda de maquinaria automatizada y controlada por computadora (Groover, 2009).

La manufactura está estrechamente ligada a la tecnología como proceso que permite la realización y evolución de la fabricación. La tecnología se define como la aplicación de la ciencia para proporcionar a la sociedad y a sus miembros aquellos objetos que necesitan o desean. La tecnología influye de muchas formas en nuestra vida diaria, directa e indirectamente (Groover, 2009).

El progreso de muchas tecnologías que aumentan la confortabilidad de nuestra existencia va asociado a la disponibilidad de materiales adecuados. El avance en la comprensión de un tipo de material suele ser el precursor del progreso de una tecnología. Por ejemplo, la fabricación de automóviles fue posible por la aparición de un acero idóneo y barato o de algún sustituto comparable. Actualmente los adelantos electrónicos más sofisticados se basan en componentes denominados materiales semiconductores, los cuales serán especificados más adelante en la clasificación de los materiales (Callister, 2009).

Luego de saber que es la manufactura de un objeto y como se fabricarán tecnológicamente, es importante saber con qué se harán, cuál será el material que pasará por el proceso de manufactura para convertirse en un producto. La clave es que la manufactura agrega valor al material cambiando su forma o propiedades, o mediante la combinación de materiales distintos.

2.1.1 Propiedad de los materiales

La noción de “propiedad” necesita una explicación más específica. Un material en servicio está expuesto a estímulos externos que provocan algún tipo de respuesta. Las propiedades de un material se expresan en términos del tipo y magnitud de la respuesta a un estímulo específico impuesto. Las definiciones de las propiedades suelen ser independientes de la forma y del tamaño del material (Callister, 2009).

Todas las propiedades importantes de los materiales sólidos se agrupan en seis categorías, según Callister: mecánicas, eléctricas, térmicas, magnéticas, ópticas y químicas. Para cada categoría existe un tipo característico de estímulos capaz de provocar respuestas diferentes.

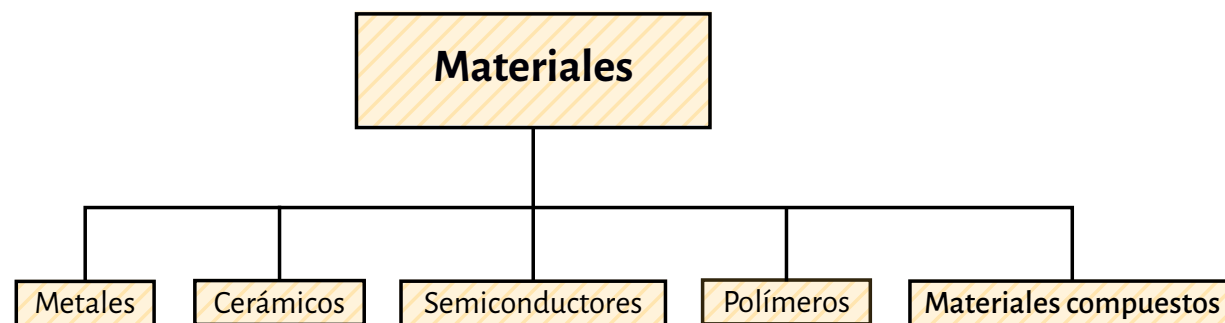
Las propiedades mecánicas relacionan la deformación con la carga o fuerza aplicada; ejemplos de ellas son el módulo elástico y la resistencia. En las propiedades eléctricas, tales como conductividad eléctrica y constante dieléctrica, el estímulo es un campo eléctrico. El comportamiento térmico de los sólidos se representa en función de la capacidad calorífica y de la conductividad térmica. Las propiedades magnéticas se refieren a la respuesta de un material frente a la influencia de un campo magnético. Para las propiedades ópticas, el estímulo es la radiación electromagnética o lumínica; el índice de refracción y la reflectividad son propiedades ópticas representativas. Las propiedades químicas indican la reactividad química de un material.

2.1.2 Clasificación de los materiales

Dada la infinidad de materiales existentes en la naturaleza o creados por el hombre, es importante tener una forma de separarlos. Una de las clasificaciones de materiales más utilizadas en la actualidad, es la propuesta por William Callister en el año 2009, la cual los agrupa en las cinco familias que se pueden apreciar en el Esquema 2.1.

Los materiales sólidos se clasifican en tres grupos: metales, cerámicas y polímeros, este esquema se basa en la composición química y en la estructura atómica. Por lo general, la mayoría de los materiales encajan en un grupo u otro, aunque hay materiales intermedios. Además, existen otros dos grupos de importantes materiales técnicos: materiales compuestos (Composites) y semiconductores (se utilizan por sus extraordinarias características eléctricas).

ESQUEMA 2.1
Familias de Materiales.
Fuente: Elaboración propia, basado en el libro Ciencia e Ingeniería de los Materiales, W. Callister, 2009.



2.1.2.1 Metales

Por lo general los metales que se utilizan para la fabricación de productos con aleaciones compuestas de dos o más elementos, donde al menos uno está en su forma metálica. Los metales se pueden clasificar en ferrosos que se basan en el hierro de los cuales el grupo de acero y hierro colado son los de mayor utilización comercial; y no ferrosos que incluyen metales puros y aleaciones de aluminio, oro, cobre, plata, entre otros.

TABLA 2.1
Propiedades de los metales.
Fuente: Elaboración propia, basado en el libro Fundamentos de la Manufactura Moderna, M. Groover, 2009.

Dentro de las propiedades destacadas de los metales Groover señala:

PROPIEDADES METALES	
Resistencia y rigidez	Gracias a las aleaciones se puede lograr la mejora de esta propiedad. Se utiliza para generar estructuras para la mayoría de los productos de ingeniería.
Tenacidad	Capacidad de absorber energía más elevada que otros tipos de materiales.
Conductividad eléctrica	Conductores debido a su enlace metálico, que permite el movimiento libre de electrones.
Conductividad térmica	Los enlaces metálicos también son los responsables de su elevada capacidad de transmitir calor.

2.1.2.2 Cerámicos

Un material cerámico en su esencia es un compuesto, ya que tiene elementos metálicos o semimetálicos y además no metálicos. Los elementos metálicos más comunes presentes en los cerámicos son oxígeno, nitrógeno y carbono. Dentro de la familia de los cerámicos existen dos tipos de clasificaciones:

- Tradicionales y modernos, que tiene que ver con la antigüedad de uso del material.
- Cristalinos y vidrios, que tiene que ver con el procesamiento del material, ya que para cada tipo se requieren distintos tipos de manufactura.

Dentro de los cerámicos tradicionales existen unos que se han utilizado miles de años como la arcilla y la alúmina. Pasando a la segunda clasificación, los cerámicos cristalinos se forman de distintos modos a partir de polvos que después se calientan (a una temperatura inferior del punto de fusión a fin de lograr la unión entre los polvos). Los cerámicos vidriados (vidrio, sobre todo) se mezclan y funden para después formarse en procesos tales como el vidrio soplado tradicional.

PROPIEDADES CERÁMICOS

Dureza y Rigidez Baja Ductabilidad	Debido a sus enlaces covalentes e iónicos.
Mala conductividad eléctrica	Por la presencia de electrones estrechamente empaçados en las moléculas de las cerámicas.
Frágiles	Muestran un comportamiento esfuerzo-deformación caracterizado como perfectamente elástico.
Limitada Resistencia a la Tensión	Los enlaces metálicos también son los responsables de su elevada capacidad de transmitir calor.

2.1.2.3 Polímeros

La tercera familia es la de los polímeros los cuales se definen como un compuesto formado por unidades estructurales repetidas denominadas meros, cuyos átomos comparten electrones que forman moléculas muy grandes (Callister, 2009). Generalmente los polímeros se conforman de carbono más uno o más elementos tales como hidrógeno, nitrógeno, oxígeno y cloro. Los polímeros se dividen en tres categorías:

- Polímeros termoplásticos o termo variables.
- Polímeros termoestables o termofijos.
- Elastómeros.

Los polímeros termoplásticos pueden sujetarse a ciclos múltiples de calentamiento y enfriamiento sin que se altere en forma sustancial la estructura molecular del polímero. Los termoplásticos comunes incluyen polietileno, poliestireno, cloruro de polivinilo y nailon. Los polímeros termoestables sufren una transformación química (curado) hacia una estructura rígida después de haberse enfriado a partir de una condición plástica calentada; de ahí el nombre de "termoestables". Los miembros de este tipo incluyen los fenoles, resinas amino y epóxicas. Aunque se emplea el nombre "termoestable", algunos de dichos polímeros se curan por medio de mecanismos distintos del calentamiento. Los elastómeros son polímeros que muestran un comportamiento muy elástico; de ahí el nombre de elastómeros. Incluyen el caucho natural, neopreno, silicón y poliuretano.

Las propiedades de los polímeros dependen de la clasificación que tengan, por lo que es una familia con características muy variadas.

TABLA 2.2
Propiedades de los cerámicos.

Fuente: Elaboración propia, basado en el libro Fundamentos de la Manufactura Moderna, M. Groover, 2009.

2.1.2.4 Semiconductores

Los semiconductores tienen propiedades eléctricas intermedias entre los conductores y los aislantes eléctricos. Las características eléctricas de los semiconductores son extremadamente sensibles a la presencia de diminutas concentraciones de átomos de impureza. Estas concentraciones se deben controlar en regiones espaciales muy pequeñas. Los semiconductores posibilitan la fabricación de los circuitos integrados que han revolucionado, en las últimas décadas, las industrias electrónicas y de ordenadores.

2.1.2.5 Materiales compuestos

Los materiales compuestos son combinaciones, macroscópicas de dos o más materiales diferentes que poseen una interface discreta y reconocible que los separa. Debido a esto, son heterogéneos (sus propiedades no son las mismas en todo su volumen). Si bien algunos materiales compuestos son naturales (como la madera o el hueso), la gran mayoría de los materiales compuestos utilizados en la actualidad son diseñados y "fabricados" por el hombre (Stupenengo, 2011).

En el capítulo 2.2 del marco teórico se ahondará en que son los Materiales Compuestos, como se componen, clasifican, fabrican, etc.

2.1.3 Materiales de diseño

La utilización de materiales es un proceso de selección, donde se toman en cuenta las características de cada material y así se determina cual es el más idóneo para una aplicación en específico. Este tipo de selección se realiza desde la antigüedad, pero fue hace relativamente poco tiempo que los científicos lograron comprender el vínculo que existe entre las características estructurales de los materiales y sus propiedades mecánicas, químicas, etc. Una vez que se ha adquirido este conocimiento en un alto grado, los profesionales pueden modificar las características de los materiales a través de la experimentación científica y alteraciones químicas, logrando así el desarrollo de miles de materiales distintos con características muy específicas para satisfacer las necesidades y la sociedad moderna (Callister, 2009).

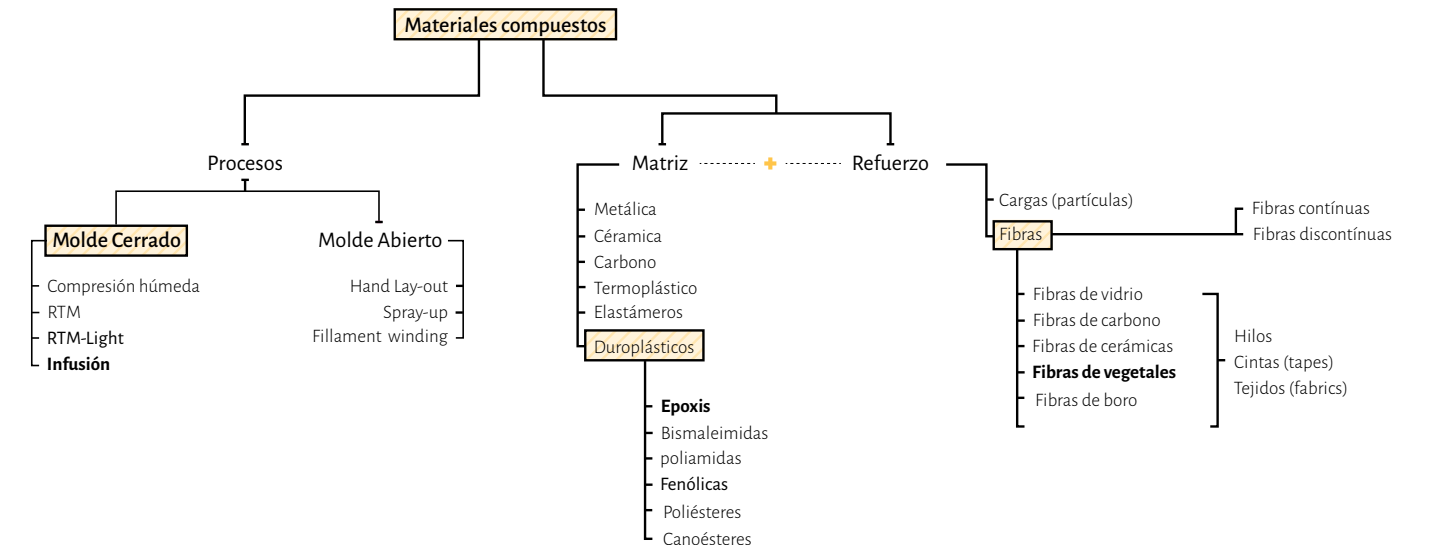
El Esquema 2.2 muestra como disminuyen las posibilidades de material según se avanza en el proceso de Diseño, tanto industrial como técnico (ingenieril). Se puede apreciar que en ambos procesos el resultado es el mismo, por lo que la selección de material idónea debería realizarse tomando en cuenta elementos de los dos procesos (Ashby & Johnson, 2014).

La exploración más profunda entre las metodologías concretas existentes para la selección del material adecuado se hará en la próxima etapa de investigación.



ESQUEMA 2.2
Proceso de selección de materiales.
Fuente: Materials and Design, the art and science of material selection in product design, M. Ashby, K. Johnson, 2014.

2.2 Materiales compuestos



ESQUEMA 2.3
Componentes de los Materiales Compuestos.
Fuente: Elaboración propia

Los materiales compuestos son una mezcla de tres de las familias de materiales (metales, cerámicos y polímeros). Un compuesto o Composites se define como: "Un sistema de materiales compuesto por dos o más fases¹ distintas físicamente cuya combinación produce propiedades agregadas diferentes de las de sus componentes" (Groover, 2007).

Los compuestos se encuentran en la naturaleza (por ejemplo, madera), y se pueden producir en forma sintética. El tipo sintetizado es de mayor interés, e incluye fibras de vidrio en una matriz de polímero, por ejemplo, fibra reforzada de plástico; fibras de polímero de un tipo en una matriz de un segundo polímero, tal como un compuesto epóxico de *Kevlar*²; y un cerámico en una matriz metálica, tal como carburo de tungsteno en una sustancia aglutinante de cobalto para formar una herramienta de corte a base de carburo cementado.

La importancia de los materiales compuestos a nivel de diseño e ingeniería es muy grande ya que se combinan las propiedades y beneficios de los materiales constituyentes cuando se diseña y se fabrica el material compuesto correctamente.

Se puede definir a los compuestos como una de las familias de materiales más interesantes de estudiar, ya que su estructura es más compleja que la de los demás tipos. Se debe tener en cuenta que, al mezclar dos materiales, el resultado no tendrá las mismas propiedades que los insumos utilizados, si no que muchas veces estas propiedades se ven mejoradas, por lo que existe un gran interés tecnológico y comercial por lo compuestos. Además, es una de las familias que da amplias posibilidades de aplicación y experimentación.

¹ Fase se define como una masa homogénea de material, como por ejemplo agregar granos o fibras de una estructura celular igual y unitaria a un metal sólido. (Groover, 2007).

² Fibra artificial, ligera, robusta y con gran resistencia al calor.

En el libro Fundamentos de la Manufactura, Groover nombra las ventajas que poseen los compuestos, de las cuales se puede destacar que:

- Se pueden diseñar compuestos muy fuertes y rígidos, pero de peso muy ligero, lo que les da relaciones resistencia-peso y rigidez-peso muchas veces mayores que las del acero o el aluminio. Estas propiedades son muy deseables para aplicaciones que van de la aviación comercial al equipo deportivo.
- Sus propiedades de fatiga por lo general son mejores que las de los metales comunes de ingeniería. Por lo mismo, es frecuente que la tenacidad sea mayor.
- Es posible fabricar y diseñar compuestos resistentes a la corrosión como el acero; esto es importante en los automóviles, por ejemplo.
- Con los materiales compuestos es posible obtener combinaciones de propiedades que no son alcanzables con los metales, cerámicos o polímeros.
- Algunos materiales compuestos permiten la obtención de superficies con mejor apariencia y es posible tener un control de su suavidad.

Junto con las ventajas, hay desventajas y limitaciones asociadas con los materiales compuestos. Éstas incluyen las siguientes señaladas por Groover:

- Las propiedades de muchos compuestos importantes son anisotrópicas³, lo que significa que difieren de acuerdo con la dirección en que se miden.
- Muchos de los compuestos basados en polímeros son susceptibles al ataque químico o de solventes, igual que los polímeros por sí mismos.
- Generalmente, los materiales compuestos son caros, aunque sus precios disminuyen conforme aumenta el volumen de producción.
- Existen algunos de los métodos de manufactura para dar forma a los materiales compuestos que son lentos y costosos.

2.2.1 Componentes de los materiales compuestos

Los dos componentes básicos de los Composites se pueden resumir en matriz y refuerzo. Como define Groover la mayor parte de los materiales compuestos están formados por dos o más fases, una matriz continua que rodea a las demás fases que se denominan fases dispersas y que se clasifican en función de su microestructura o geometría. La microestructura de la fase dispersa incluye la forma, tamaño, distribución y orientación de las partículas. Las fases también son llamadas refuerzos.

Cuando se dan las proporciones de material matriz y material disperso hay que distinguir claramente entre relaciones en peso o en volumen ya que las densidades de estas fases pueden ser muy diferentes. Por esto, concentraciones de material fibroso dispersado en una matriz del 50% en volumen puede equivaler a una concentración muy diferente en porcentaje de peso (Vélez, 2007).

Existen distintos tipos de matrices y refuerzos, las matrices más utilizadas pertenecen a una de las 3 familias básicas de los materiales (metales, cerámicos, polímeros)

³ La anisotropía (opuesta de isotropía) es la propiedad general de materia según la cual las cualidades como: elasticidad, temperatura, conductividad, velocidad de propagación de la luz, etc. varían según la dirección en que son examinadas.

mientras que los refuerzos se pueden encontrar en dos formatos principales, partículas y fibras, las cuales se explicarán con más detalle en el capítulo de clasificación de los materiales compuestos.

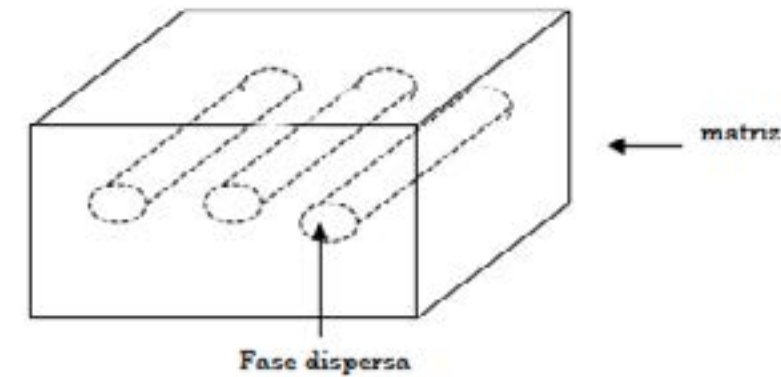
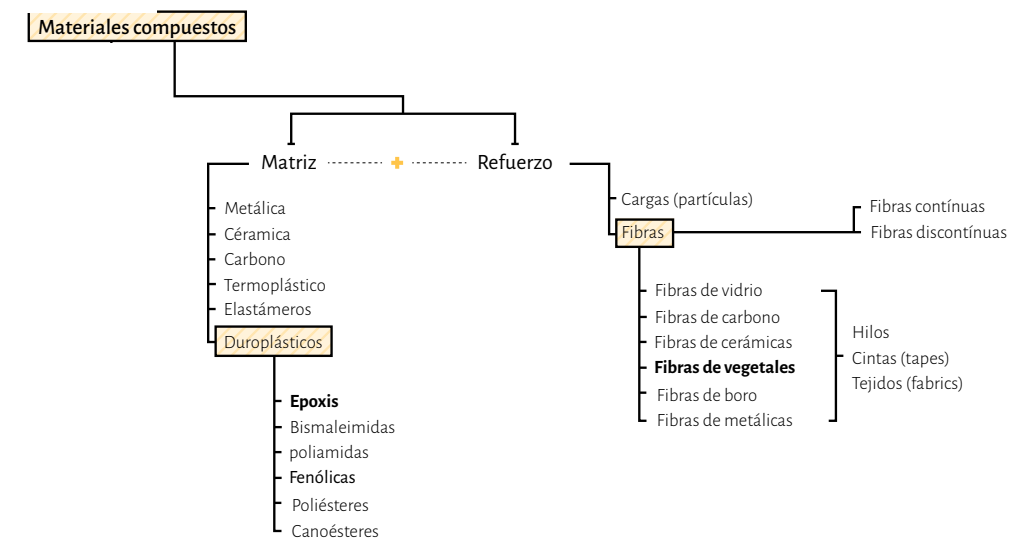


IMAGEN 2.1
Componentes básicos de un Material Compuesto.

Fuente: Materiales Industriales – Teoría y aplicaciones, L. Vélez, 2007.



ESQUEMA 2.4
Tipos de Matrices y Refuerzo.

Fuente: Elaboración propia, extracto Esquema 2.

2.2.1.1 Matrices

La matriz es la fase continua en la que el refuerzo queda “embebido”. El material que se elige como matriz no es, en general, tan rígido ni tan resistente como el material de refuerzo (Stupenengo, 2011).

Las funciones principales de la matriz son:

- Definir las propiedades físicas y químicas.
- Transmitir las cargas al refuerzo. Para lograr esto la matriz debe ser deformable.
- Protegerlo y brindarle cohesión. Esta función requiere buena compatibilidad entre la matriz y el refuerzo.

Así como también permitirá determinar algunas características del material compuesto como la confortabilidad y el acabado superficial, es decir, de las propiedades de la matriz dependerá la capacidad que posea el material compuesto para ser conformado con geometrías complejas en procesos que, generalmente, no involucrarán posteriores etapas de acabado.

Al someter al material compuesto a diferentes tipos de cargas mecánicas la matriz juega diferentes roles:

- Bajo cargas compresivas: es la matriz la que soporta el esfuerzo, ya que se trata de la fase continua.
- En tracción: la matriz transfiere la carga aplicada sobre la pieza a cada una de las fibras o partículas, de manera que éstas sean las que soporten el esfuerzo. Para ello es necesaria una excelente adhesión entre la matriz y el refuerzo. Además, muchas veces es la matriz la que determina la resistencia al impacto y la encargada de detener la propagación de fisuras.



IMAGEN 2.2
 Forma de matriz sometida a compresión y tracción.
 Fuente: Ciencia e Ingeniería de los materiales, W. Callister, 2009.

Las propiedades de la matriz de un material compuesto se detallan a continuación, basadas en lo propuesto por Hull en el año 1987:

- Soporta las fibras manteniéndolas en su posición correcta.
- Transfiere la carga a las fibras fuertes.
- Protege a las fibras de sufrir daños durante su manufactura y uso.
- Evita la propagación de grietas en las fibras a todo lo largo del compuesto.
- La matriz, por lo general, es responsable del control principal de las propiedades eléctricas, el comportamiento químico y el uso a temperaturas elevadas del compuesto.

Las matrices poliméricas son las más comúnmente utilizadas. La mayoría de los polímeros, tanto termoplásticos como termoestables están disponibles en el mercado con el agregado de fibras de vidrio cortas como refuerzo. Las resinas epoxi son ahora más comunes por las ventajas que presentan: mayor resistencia, menores modificaciones en la etapa de curado, mejor adherencia a las fibras, y se pueden utilizar a temperaturas más altas que las resinas de poliéster. Las resinas epoxi son la base de los materiales compuestos basados en fibra de carbono o de poliaramida.

La matriz más común son las resinas de poliéster, cuyas aplicaciones más comunes son: carrocerías de automóviles y barcos, recipientes de almacenaje, principalmente la industria del transporte en general. Recientemente ha aparecido un material de matriz de nailon reforzado con fibra de vidrio que es extraordinariamente fuerte y con gran resistencia al impacto.

Actualmente existen distintos tipos de polímeros biodegradables de las cuales se pueden obtener resinas, como se muestra en la Tabla 2.3:

Los compuestos de matriz metálica incluyen aluminio, magnesio, cobre, níquel y aleaciones de compuestos intermetálicos reforzados con fibras cerámicas y metálicas.

NATURAL	SINTÉTICO
1. Polisacáridos Almidón Celulosa Quitina Pululano Levan (?) Konjac (?) Elsinan	1. Poli(amidas) 2. Poli(anhídridos) 3. Poli(amida.enaminas) 4. Poli(alcohol vinílico) 5. Poli(alcohol etileno-co-vinílico) 6. Poli(acetato de vinilo)
2. Proteínas Colágeno/Gelatina Caseína, albúmina, fibrogénico, elastinas. Proteínas de granos.	7. Poliésteres Poli(ácido glicólico) Poli(ácido láctico) Poli(caprolactona) Poli(ortoésteres)
3. Poliésteres Polihidroxialcanoatos	8. Poli(óxido de etileno) 9. Algunos Poli(uretanos) 10. Poli(fosfazinas) 11. Poli(imino carbomatos) 12. Algunso Poli(acrilatos)
4. Otros polímeros Lignina Lípidos Goma Laca Caucho Natura	

TABLA 2.3
 Polímeros biodegradables naturales y artificiales
 Fuente: Materiales Industriales – Teoría y aplicaciones, L. Vélez, 2007

Mediante los compuestos de matriz metálica se cubre una diversidad de aplicaciones aeroespaciales y automotrices. La matriz metálica permite que el compuesto funcione a altas temperaturas pero, a menudo, la producción de una pieza de este tipo de materiales compuestos es más costosa que la de una pieza de compuestos de matriz polimérica.

Los compuestos de matriz cerámica tienen buenas propiedades a temperaturas elevadas y son más livianos que los de matriz metálica a igual temperatura.

Resinas Duroplásticas

Resina epóxica

La más utilizada en general, de alta resistencia a la temperatura y con buenas propiedades mecánicas, la desventaja es su alto costo y su alta absorción de agua, por lo que no se comporta de manera óptima en ambientes húmedos.

Resina fenólica

Las resinas fenólicas se clasifican según su campo de aplicación, de la siguiente forma: fenólicas técnicas (rft) para abrasivos, materiales de fricción, textil, fundición, lacas y adhesivos; fenólicas para madera y aislantes (RFMA) para lanas minerales, impregnaciones, materiales de maderas y espumas; fenólicas para polvos de moldeo (PM) que son suministrado de la industria eléctrica, automovilística y electrodoméstica.

Resina poliéster

Su uso con fibra de vidrio es el más extendido. Se utiliza para reparar tanques de agua, vehículos y embarcaciones. Forma pocas burbujas en comparación con la resina epoxi. Se seca en 15 o 20 minutos a una temperatura de 20°C, se polimeriza mediante el agregado de un catalizador y en caso de querer acelerar la velocidad se puede agregar un acelerante o incrementar la temperatura de trabajo y es más barata comparada con otras resinas.

Resina de poliuretano

No es transparente en su mayoría, pero existe transparente en revestimientos para suelos. Ideal para trabajar con moldes de silicona y otros materiales. Se mezcla con normalidad por volumen, generalmente en partes iguales, muy valorada en suelos y pinturas resistentes a los rayos UV. Seca rápido (15 a 20 minutos) y tiene un tiempo de trabajo relativamente corto y es mucho más flexible que la epoxi. Desgasta los moldes con el uso, no se puede usar con el porex o poliestireno expandido ya que lo deshace. Desprende más calor y peor olor que las otras resinas, sobre todo si se usa en cantidades superiores al medio litro.

Resina vinil éster

La resina vinil éster está formada a partir de la esterificación entre una resina epoxi y un ácido monocarboxílico insaturado. El resultado es una resina basada en poliéster, pero reforzada con moléculas epoxi. Es por esto que se trata de un producto que reúne las características de ambos tipos, lo que la hace una resina con cualidades superiores y únicas. Su resistencia química y térmica pueden incrementarse incluyendo aditivos.

Dentro de este tipo de resinas, existe una llamada PALATAL A 430, la cual será la utilizada en el desarrollo del proyecto. La Palatal A430 es una resina epoxi-vinil éster de reactividad y viscosidad media, es apropiada para la fabricación de piezas reforzadas con fibras de vidrio que requieren excelente resistencia química, térmica y mecánica. Su resistencia química es excelente ya que funciona en una gran variedad de ambientes corrosivos, tanto ácidos como alcalinos.

A continuación, se presenta una tabla resumen con los principales aspectos de cada tipo de resina:

	RESINA DE POLIÉSTER ORTOFTÁLICA	RESINA DE POLIÉSTER ISOFTÁLICA	RESINA DE POLIÉSTER SEMIELÁSTICA	RESINA VINILÉSTER
ASPECTO	Líquido rosa transparente	Líquido rosa opaco	Líquido ámbar opaco	Líquido rosa transparente
VISCOSIDAD	500-600 mPa*s	400-500 mPa*s	650-750 mPa*s	250-450 mPa*s
TIEMPO DE GEL (25 °C)	14-22 min (2% PMEK)	12-20 min (2% PMEK)	18-26 min (2% PMEK)	20-30 min (2% PMEK)
POSTCURADO TÉRMICO	NO	NO	NO	SI
COMPATIBLE CON FV	SI	SI	SI	SI
PROPIEDADES UNA VEZ SÓLIDA				
Resistencia a la Tracción (ISO 527) (MPa)	69	80	47	80-95
Alargamiento a la rotura (ISO 527)	3,5%	4,6	4,6	5,0-6,0
E-Modulo (ISO 527) (MPa)	3820	3700	1460	3500
Resistencia a la flexión (ISO 178) (MPa)	112	130	66	120
Dureza Barcol (ASTM D 2583)	46	47	39	38-42
Contracción en endurecimiento (ISO 3523)	7,7%	9,7	8,2	-
Absorción de agua (23 °C, 7 días) (ISO 62)	0,4%	0,5	0,6	-
HDT (temperatura deformación al calor) (ISO 75-A) (°C)	71	74	-	100-103
USOS ACONSEJADOS	- RP de uso general - Moldeo de piezas PRFV (creación de moldes) - Estratificados con FV	- Mismos usos que RP ortoftálica pero que requieran resistencia al contacto continuo con agua	- Zonas donde se requiera una mayor elasticidad (típicamente impermeabilizaciones, ya que los soportes suelen sufrir contracciones y dilataciones)	- Recubrimientos donde las necesidades de resistencia química y/o térmica sean superiores (típicamente depósitos de sustancias químicas)

2.2.1.2 Refuerzos

Es la fase discontinua (o dispersa) que se agrega a la matriz para conferir al compuesto alguna propiedad que la matriz no posee. En general, el refuerzo se utiliza para incrementar la resistencia y rigidez mecánicas, pero, también, se emplean refuerzos para mejorar el comportamiento a altas temperaturas o la resistencia a la abrasión (Stupenengo, 2001).

El refuerzo puede ser en forma de partículas o de fibras. Como regla general, es más efectivo cuanto menor tamaño tienen las partículas y más homogéneamente distribuidas están en la matriz o cuando se incrementa la relación longitud/diámetro de la fibra.

En la mayoría de los compuestos reforzados con fibras, éstas son resistentes, rígidas y de poco peso. Si el compuesto debe ser utilizado a temperaturas elevadas, también la fibra deberá tener una temperatura de fusión alta. Por lo que la resistencia y el módulo específico de la fibra son características importantes.

$$\frac{\sigma_y}{\rho} = \frac{E}{\rho}$$

Donde:

σ_y es el esfuerzo de cedencia.

ρ , la densidad

E, módulo de elasticidad

TABLA 2.4
Diferencias de resina.

Fuente: Vinil éster vs Poliester, Nazza.es, M. Nieto, 2019

De izquierda a derecha

ECUACIÓN 2.1
Resistencia Específica

ECUACIÓN 2.2
Módulo Específico

Las fibras más utilizadas son las de vidrio, carbono y aramida. Estos tres materiales poseen una resistencia a la tracción extremadamente alta.

Fibra de vidrio

La fibra de vidrio es un material fibroso que se obtiene al hacer fluir vidrio fundido a través de una pieza con agujeros muy finos, llamada espinerette, y que luego, al solidificarse tienen suficiente flexibilidad para ser usado como fibra (para tejidos y mats). Cuando sometemos a un material "frágil", como el vidrio, a tensiones, los defectos presentes al azar en el sólido, provocan la ruptura del mismo a esfuerzos mucho menores que su resistencia teórica. Para solucionar este problema, estos materiales son producidos en forma de fibras de manera tal que, si bien existen esos mismos defectos orientados al azar, estos se observarán en algunas de las miles de fibras, mientras que el resto podrá dar cuenta de la resistencia esperada del material sin defectos. Sin embargo, las fibras sólo pueden exhibir esta alta capacidad de resistir esfuerzos en la dirección de las mismas, como ocurre con los filamentos que forman una soga. Luego, las propiedades mecánicas son generalmente anisotrópicas y varían mucho según el grado de ordenamiento de las fibras en el interior del material: ordenadas uniaxialmente, parcialmente ordenadas y desordenadas.



De izquierda a derecha:

IMAGEN 2.3
Fibra de Vidrio formato
MAT450, Clades Composites.
Recuperado de: <https://bit.ly/2UAjcXX7>

IMAGEN 2.4
Fibra de Vidrio formato
Tela600, Okm.
Recuperado de: <https://bit.ly/2UxAN2H>

Son las fibras más utilizadas, en principio porque su costo es menor a las de carbono o aramídicas. Tienen una densidad y propiedades a la tracción comparable con las fibras de carbono y aramida pero menor resistencia y módulo de tensión, aunque pueden sufrir mayor elongación sin romperse. Brindan un buen aislamiento térmico, es inerte ante ácidos y soporta altas temperaturas.

Las aplicaciones más comunes son:

- Carrocerías de automóviles y barcos.
- Recipientes de almacenaje.
- Principalmente la industria del transporte en general.

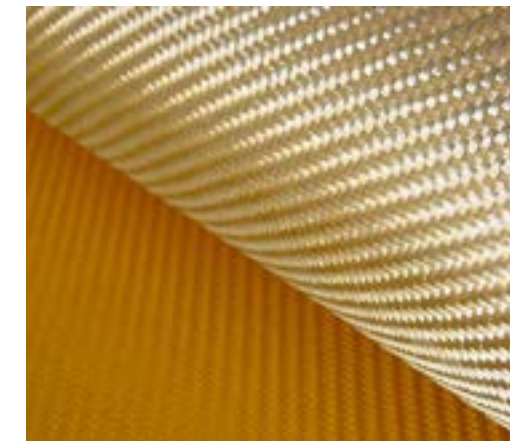
Las características del material permiten que sea moldeable con condiciones básicas, en una primera instancia suele ser suficiente la experiencia artesanal del proceso, pero se debe tener en cuenta que los compuestos químicos con los que se trabaja y el polvillo resultante de su lijado, dañan la salud, pudiendo producir cáncer.

Fibra de carbono

La fibra de carbono es una forma de grafito en la cual estas láminas son largas y delgadas. Los manojos de estas cintas se empaquetan entre sí para formar fibras, de ahí el nombre fibra de carbono. La fibra de carbono es un material amorfo: las cintas de átomos de carbono están azarosamente empaquetadas o apretadas, juntas. Esto hace que ante una tensión de tracción, las hojas se "traben" unas con otras, previniendo su corrimiento entre capas e incrementando, grandemente, su resistencia (Vélez, 2007).

La fibra de carbono que utilizamos en la actualidad como refuerzo de materiales compuestos se fabrica a partir de un polímero llamado poliácridonitrilo (PAN), a través de un complicado proceso de calentamiento.

Los filamentos de fibra de carbono tienen un diámetro que oscila entre 5 y 8 mm y están combinados en mechas que contienen entre 5000 y 12000 filamentos. Estas mechas pueden retorcerse en hilos y formar tejidos. Las fibras de carbono tienen alta resistencia mecánica y alta rigidez, pero son poco resistentes al roce y al impacto de baja energía (Stupenengo, 2001).



De izquierda a derecha:

IMAGEN 2.5
Fibra de Carbono, Fibratex.
Recuperado de: <https://bit.ly/2HdoYZy>

IMAGEN 2.6
Fibra de Kevlar49.
Formato Tela, Manriquez,
D. 2016. Recuperado de:
<https://bit.ly/2lywrpO>

Fibras orgánicas

La fibra de poliaramida es una de las más comunes y el Kevlar49[®] es el nombre comercial más utilizado. Fueron introducidas por la Du Pont en 1972, también existe en Kevlar29[®]. El primero tiene baja densidad, alta solidez y alto módulo, ambas tienen matriz epoxi y son muy comunes en la industria aeronáutica y aeroespacial pero están ganando mercado en otras aplicaciones como equipos deportivos de alta resistencia y bajo peso, cascos de barcos, y otras aplicaciones. Permiten la absorción de energía en impactos sin romperse.

Fibras naturales

PROPIEDADES DE ALGUNAS FIBRAS NATURALES

Fibra	Densidad (g/cm ³)	Contenido de Humedad (wt. %)	Alargamiento a la rotura (%)	Estrés de Fractura (MPa)
Algodón	1.5	-	7.0-8.0	287 – 597
Yute	1.3	12.6	1.5-1.8	393 – 773
Linaza	1.5	10.0	2.7-3.2	345 – 1035
Cáñamo	-	10.8	1.6	690.0
Sisal (¿)	1.5	11.0	2.0-2.5	511 – 635
Coco (fruta)	1.2	8.0	30.0	175.0
Bambú	0.8	-	-	391 – 1000
Madera Suave	1.5	-	-	1000.0
Piña	-	11.8	1.6	413 – 1627
Ramina	1.5	8.0	3.6-3.8	400 – 983

Las fibras naturales se obtienen a partir de fuentes naturales, por lo que sus características y proceso de obtención dependen del lugar donde se produce, estando condicionadas por las condiciones geográficas y climáticas. Éstas pueden ser de naturaleza vegetal, donde las fibras están compuestas por celulosa, o bien de naturaleza animal donde los componentes de las fibras son proteínas (Udale, 2008).

Las fibras naturales existen en la manufactura de productos desde siempre y son el recurso renovable por excelencia. Productos como redes, recipientes para grano, sombreros, mantas, cuerdas, cestas y costales, entre otros, han sido fabricados con fibras naturales. Sin embargo, la aparición de los materiales sintéticos hicieron que su uso disminuyera considerablemente, fueron desplazadas por fibras de nylon, PP, PEAD e incluso nuevas tecnologías de producción.

Hoy en día vemos como la tendencia de uso ha vuelto al origen, dadas las grandes cantidades de desecho que generan los artificiales cada vez se utilizan más materiales reforzados con fibras que sean más económicas y de menor impacto medioambiental. Para ello, se están reforzando muchos polímeros con fibras provenientes de productos naturales como el lino o la fibra de coco; utilizándose más en la industria del automóvil donde según un acuerdo de la UE desde el 2015 el 95% de la masa de un auto es reutilizable. Además, si las fibras de refuerzo provienen de vegetales, el impacto medioambiental total en la fabricación de las piezas es mucho menor.

TABLA 2.5
Propiedades de algunas fibras naturales que se utilizan en los materiales compuestos.

Fuente: Materiales Industriales – Teoría y aplicaciones, L. Vélez, 2007.

Se está dedicando mucho esfuerzo de investigación en la fabricación de materiales compuestos completamente “ecológicos” o “verdes”. En ellos se refuerza la matriz del polímero natural (por ejemplo, celulosa) con fibras de origen vegetal (por ejemplo, fibra de lino). Actualmente, los precios son mayores que los análogos obtenidos del petróleo).

Fibras vegetales: fibra de yute

El yute es una fibra extraída de la corteza de la planta herbácea fibrosa yute blanco, *Corchorus capsularis*, de la familia de la malváceas, la cual es cultivada en regiones tropicales. Es un arbusto de 2 a 4 metros de alto, con tronco rígido y fibroso. El 80% de la producción mundial procede de India y Bangladesh y se ubica en segundo lugar del algodón en cuanto a volumen de producción.

Las fibras de yute, o también conocidas como las “fibras doradas”, se obtienen luego de un proceso de secado y enriado de los tallos del árbol. La planta no necesita irrigación, ni fertilizantes, por lo que prácticamente no genera residuos durante su producción, además de utilizar la totalidad de la planta y ser biodegradable. Su cultivo se realiza anualmente y cuando ocurre la rotación, el yute enriquece la fertilidad del suelo para las siguientes cosechas.

Las fibras de yute tienen una longitud de 1 a 4 metros y un color blanco amarillento, amarillo o castaño, pero se puede blanquear y teñir con facilidad. Es menos resistente y más frágil que el lino y el cáñamo, además es sensible a los ácidos. Posee características altamente aislantes, antiestáticas, moderada absorción de humedad y baja conductividad térmica. El uso más común de las fibras de yute es hilarlo para tejer arpilleras.

IMAGEN 2.7
Fibra de Yute.
Material Innovador Blogspot, 2016. Recuperada de: <https://bit.ly/32SuKKJ>





IMAGEN 2.8
Arpillera de Yute.
Ilovetelas, 2019. Recuperado de: <https://bit.ly/3nvRZ5e>.



IMAGEN 2.9
Sonali, bolsa de bioplástico de fibra de yute.
Futuro Verde, 2019. Recuperada de: <https://bit.ly/3f4ZlJO>.

La arpillera es un tejido grueso y áspero, que suele utilizarse como elemento cobertor, o en la fabricación de sacos y piezas de embalaje principalmente. Actualmente la arpillera de yute mantiene sus usos tradicionales con diseños más modernos, además de estar presente en proyectos de innovación como el desarrollo de bioplástico a partir del yute producido localmente para generar bolsas de plástico en Bangladesh, sonali es el nombre del producto que es la palabra bengalí para bolsas de oro.

A nivel nacional no se cuenta con registros oficiales de cuanta es la superficie cultivada con yute. Según el estudio: “Mapas de zonificación de aptitud productiva del territorio nacional de especies vegetales con potencial de producción de biocombustibles” de la ODEPA⁴ en 2010, se determina que las regiones más adecuadas para el cultivo de yute con altos niveles de biomasa van desde Coquimbo hasta el BíoBío.

PRINCIPALES VENTAJAS DEL YUTE

- 100% biodegradable, resistente y es reutilizable.
- Reciclable. Se puede reciclar más de una vez.
- Es un recurso sustentable. Toda la planta se utiliza.
- Es abundante
- Eco-amigable: una hectárea en solo 100 días, periodo natural de crecimiento
- Absorbe 15 toneladas de CO₂ (dióxido de carbono) de la atmósfera.
- Emite 11 toneladas de O₂ (oxígeno)
- La basura generada en la confección de artículos se utiliza como fertilizante
- Su proceso no irrita la piel ni produce daños.

TABLA 2.6
Principales ventajas del yute.
Alinsa Chile, 2019. Recuperada de: <https://bit.ly/35C7NwR>

2.2.1.3 Características y propiedades de componentes

Dentro de las matrices y refuerzos existen características de estos componentes las cuales son fundamentales dentro de la manufactura de los materiales compuestos, dos de las más importantes son la viscosidad y la permeabilidad.

Viscosidad (μ)

La viscosidad de un fluido es una medida de su resistencia a las deformaciones graduales que son producidas por tensiones de tracción. Corresponde al concepto informal de “espesor” de un fluido. Es una propiedad física característica de los fluidos que resulta de las constantes colisiones de las partículas del fluido que se mueven a velocidades distintas, provocando una resistencia al movimiento.

Si el movimiento de un fluido es forzado, por ejemplo, introducirlo por un tubo, las partículas se mueven más rápido en el eje longitudinal del tubo y más despacio cerca de las paredes del tubo.

La viscosidad se puede medir con viscosímetros y reómetros.

Permeabilidad (k)

La permeabilidad es la capacidad existente en un material de permitirle a un flujo pasar su estructura interna. Se puede de un material permeable si es que éste deja pasar a través de él una cantidad considerable de fluido en un tiempo determinado. En este caso, cuando se habla de material, se refiere al refuerzo (fibras) de los materiales compuestos, mientras que el fluido es la matriz (resina).

La velocidad con la que el fluido atraviesa el material depende de tres factores básicos:

- La porosidad del material.
- La densidad del fluido considerado, afectada por su temperatura.
- La presión a que está sometido el fluido.

La Ley de Darcy explica las características del movimiento del agua a través de un medio poroso. La permeabilidad intrínseca de cualquier material poroso se mide a través de la fórmula de la Ley de Darcy que sigue así:

$$K_I = C \cdot d^2$$

Donde:

K_I es el esfuerzo de cedencia.

C , la densidad

d , módulo de elasticidad

ECUACIÓN 2.3 Permeabilidad intrínseca

La aplicabilidad de esta característica es de gran relevancia para los procesos de molde cerrado, que serán explicados más adelante en la investigación.

Para ser permeable, un material debe ser poroso, es decir, debe contener espacios vacíos o poros que le permitan absorber fluido. A su vez, tales espacios deben estar interconectados para que el fluido disponga de caminos para pasar a través del material.

Por otro lado, hay que hablar de una "permeabilidad intrínseca" (también llamada "coeficiente de permeabilidad"); como constante ligada a las características propias o internas. Y de una "permeabilidad real" o de Darcy, como función de las características del fluido.

Medición de permeabilidad

La mayoría de las técnicas de medición de permeabilidad se basan en la monitorización del flujo de un fluido no reactivo, de viscosidad conocida, a través del refuerzo a caracterizar. El estudio del flujo se realiza bajo condiciones definidas de manera que la aplicación de la Ley de Darcy sea posible para expresar las variables que definen el flujo (presión y velocidad) en función de la permeabilidad, de la viscosidad del fluido y del tiempo.

La permeabilidad se calcula posteriormente mediante el ajuste de las predicciones de Darcy a las mediciones experimentales de la presión y de la velocidad.

Método de medición unidireccional

Consiste en inyectar un fluido a través de un refuerzo fibroso situado en una cavidad rectangular. El supuesto es que se asume que no se produce ningún flujo hacia los lados, por lo que se obtiene un flujo en dirección longitudinal a la cavidad, como se puede apreciar en la Imagen 2.10.

Es posible realizar una medición tanto en régimen saturado como insaturado.

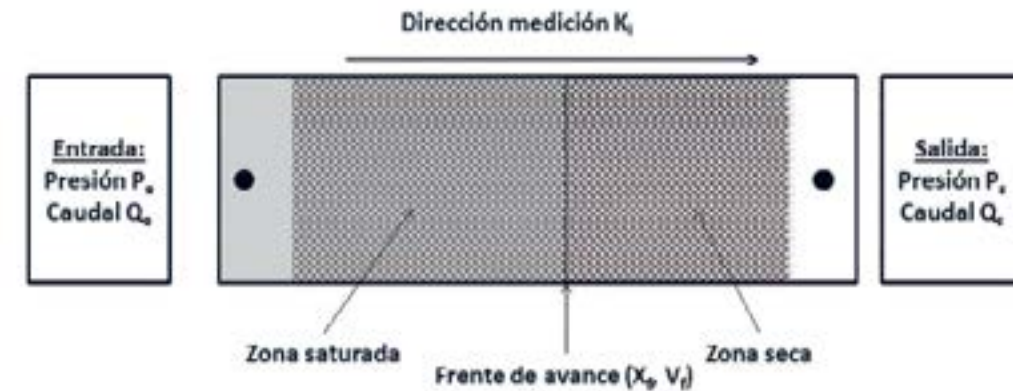


IMAGEN 2.10 Método de medición unidireccional.

Fuente: Fabricación mediante procesos de transferencia de resina y caracterización mecánica de materiales compuestos a partir de matrices poliméricas reforzadas con fibra de basalto, R. Hoto, 2015.

El experimento en régimen insaturado se puede realizar o bien a presión de inyección constante o a caudal de inyección constante. Cuando se utiliza una presión constante para impulsar el fluido a través del refuerzo, el flujo se vuelve inestable a causa de las variaciones del vector velocidad durante el transcurso del experimento. Finalmente se obtiene la permeabilidad mediante la siguiente fórmula:

$$K = \frac{\mu\Phi}{2\Delta P} \cdot \frac{x_f^2}{t_f}$$

Donde:

K , es la permeabilidad en la dirección del flujo

$\mu\Phi$, es la porosidad del refuerzo

$\Delta P = (p_1 - p_2)$, es la presión de inyección

x_f , es la posición del frente de avance en el tiempo t_f que es el tiempo transcurrido desde el inicio de la inyección.

ECUACIÓN 2.4 Permeabilidad en dirección de flujo.

Método de medición radial

El fluido es inyectado (presión o caudal constante) a través del refuerzo mediante un punto de inyección situado en el centro de un molde normalmente cuadrado (Ver Imagen 2.11). Se realiza en régimen insaturado y el flujo obtenido es radial.

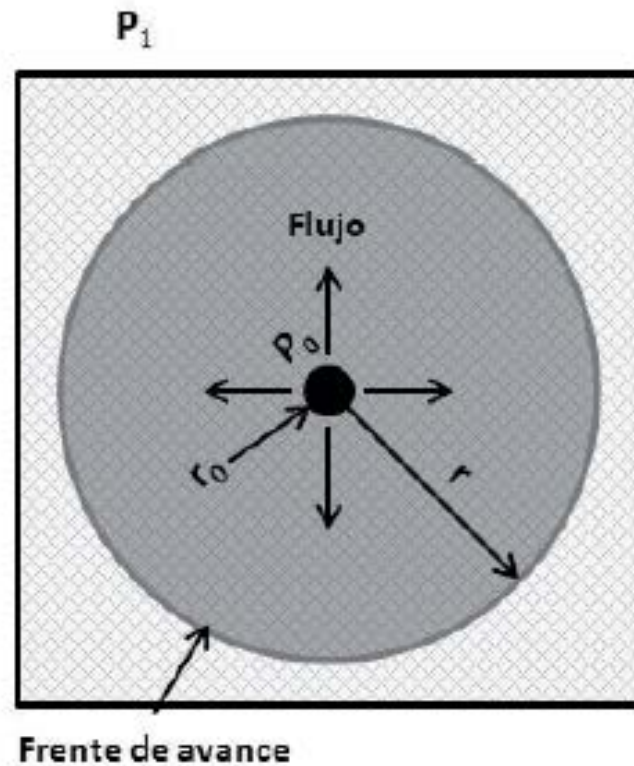


IMAGEN 2.11
Método de medición radial.
Fuente: Fabricación mediante procesos de transferencia de resina y caracterización mecánica de materiales compuestos a partir de matrices poliméricas reforzadas con fibra de basalto, R. Hoto, 2015

2.2.2 Tecnología y clasificación de los materiales compuestos

Las propiedades del material compuesto dependen de las propiedades de las fases que lo conforman, sus cantidades relativas y la geometría de la fase dispersa (Vélez, 2007)

Los materiales compuestos se pueden clasificar de varios modos como se puede apreciar en el esquema 2.5.

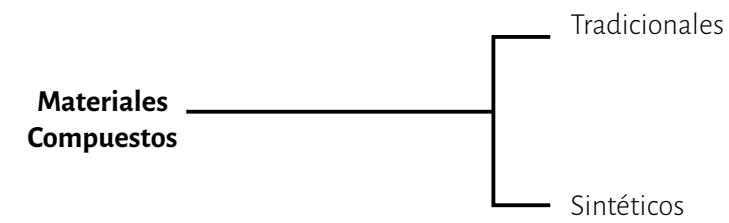
Clasificación según origen

La primera clasificación diferencia entre los materiales compuestos tradicionales y compuestos sintéticos.

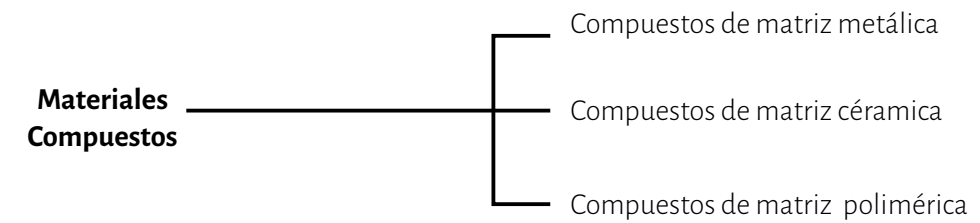
Los compuestos tradicionales son aquellos que se pueden encontrar en la naturaleza, o bien que han sido producidos por los hombres durante muchos años.

Un ejemplo de material tradicional que se puede encontrar en la naturaleza es la madera. Por otra parte, otro material tradicional pero fabricado por el hombre es el concreto, el cual es una mezcla de grava con asfalto y se ha utilizado en la construcción durante mucho tiempo (Vélez 2007).

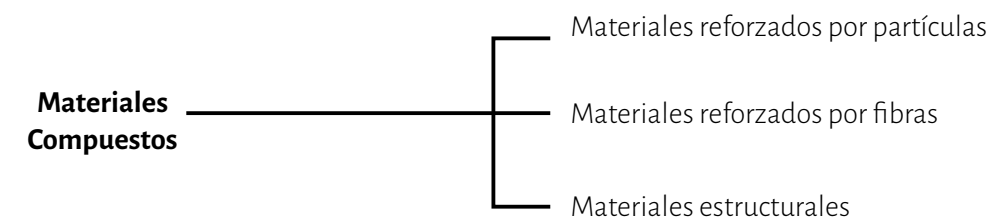
Clasificación según origen



Clasificación según matriz



Clasificación según refuerzo



ESQUEMA 2.5
Tipos de clasificaciones de los Materiales Compuestos.
Fuente: Elaboración propia, basado en el libro Materiales Industriales- Teoría y aplicaciones, L. Vélez, 2007.

Los compuestos sintéticos son sistemas de materiales modernos que se relacionan mayoritariamente con la industria manufacturera y el desarrollo tecnológico, donde se producen primero los componentes por separado y después se combinan de forma controlada para poder obtener la estructura, propiedades y forma deseada. Estos materiales sintéticos son los compuestos en que es normal pensar en el contexto de los productos manufacturados (Vélez, 2007).

Clasificación según matriz

Como se explicó anteriormente, la fase de la matriz es cualquiera de los tres tipos de familias de materiales: polímeros, metales o cerámicos. El método de clasificación según fase de matriz divide a los materiales en los siguientes:

- Compuestos de matriz metálica (MMC) incluyen mezclas cerámicas y metales, tales como los carburos cementados y otros cermets, así como aluminio o magnesio reforzado por fibras fuertes de alta rigidez.
- Compuestos de matriz cerámica (CMC) son los de la categoría menos común. El óxido de aluminio y el carburo de silicio son los materiales que es posible incrustar con fibras para mejorar sus propiedades, en especial en aplicaciones de temperatura elevada.

- Compuestos de matriz de polímero (PMC). Las resinas termofijas son los polímeros de mayor uso como PMC. Es común mezclar epóxicos y poliéster con fibras de refuerzo, y se mezcla fenol con polvos. Frecuentemente, los compuestos de termoplástico moldeado son reforzados con polvos.

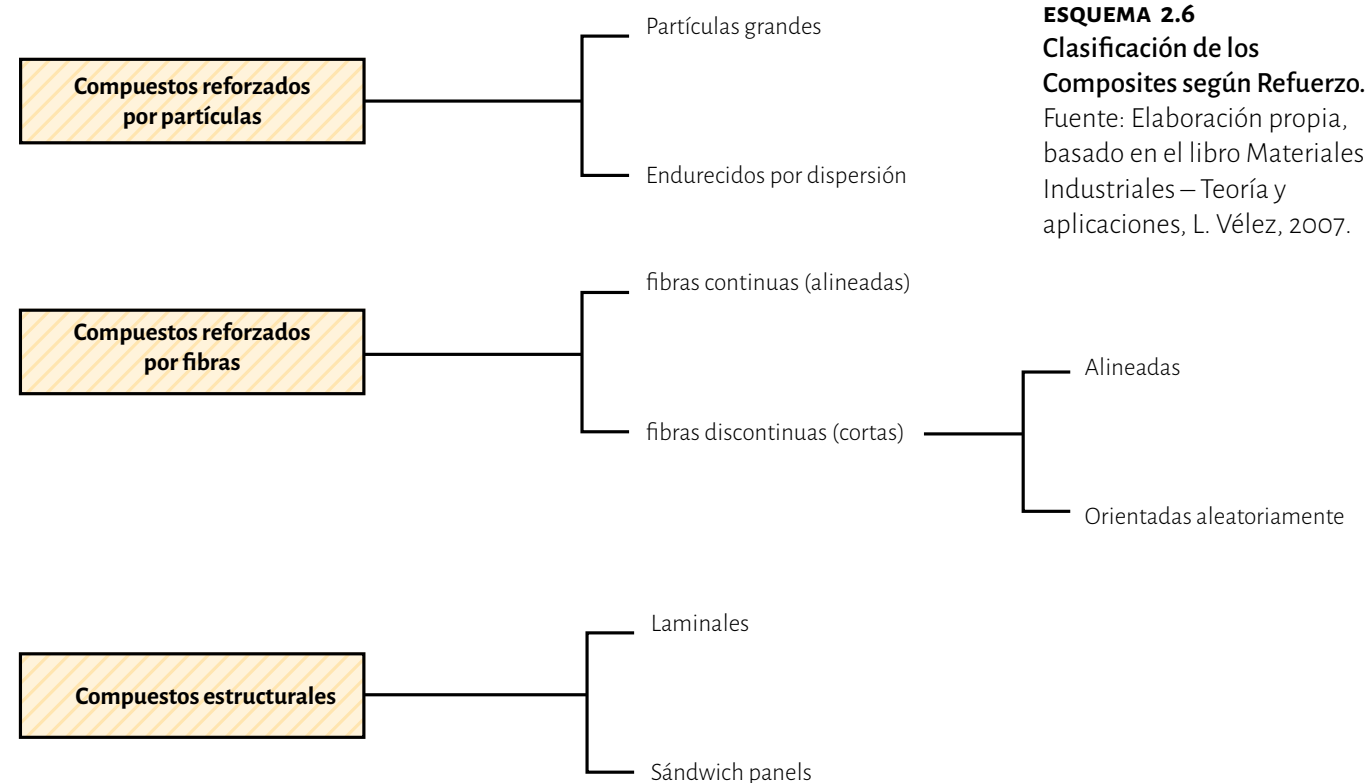
Esta clasificación se puede aplicar a compuestos tradicionales y a sintéticos. Por ejemplo, el concreto es un compuesto de matriz cerámica, en tanto que el asfalto y la madera son compuestos de matriz de polímero.

Saber el material del cual estará hecha la matriz es crucial, ya que éste otorgará distintas funciones al compuesto final. Primero proporciona la forma general del producto o la pieza a realizar en material compuesto. En segundo lugar, se sabrá si la fase quedará incrustada en su lugar, generalmente la fase es encerrada y ocasionalmente se oculta. Finalmente, si se aplica una carga, la matriz recibe parte de la carga de la fase secundaria, y en ciertos casos se deforma de manera que la fuerza es soportada por el agente reforzador.

Clasificación según refuerzo

Basados en el criterio de la naturaleza de la microestructura de la fase secundaria para la clasificación de los materiales compuestos se pueden establecer tres grandes grupos:

- Compuestos reforzados con partículas.
- Compuestos reforzados con fibras
- Compuestos estructurales.



A su vez, estos grupos presentan subdivisiones que se pueden apreciar en el Esquema 2.6. Los materiales compuestos estructurales presentan una combinación de materiales homogéneos y las propiedades dependen más de la geometría del diseño de los elementos estructurales que de la naturaleza de los materiales constituyentes. Estas capas de materiales suelen ser laminares o sándwiches y son muy anisotrópicas. Por ejemplo, la madera contrachapada es un ejemplo común. (Vélez, 2007).

5 Micra: unidad de longitud equivalente a una milésima parte de un milímetro.

Materiales Compuestos Reforzados con Partículas

Los materiales compuestos reforzados con partículas, a su vez se clasifican en materiales reforzados con partículas grandes y otros endurecidos por dispersión.

El término “grande” se utiliza para indicar las interacciones entre la matriz y las partículas a un nivel macroscópico. El material compuesto reforzado con partículas grandes más común es el hormigón. Las partículas son la arena o grava en una matriz cerámica compuesto por silicatos y aluminatos hidratados.

Las partículas pueden tener una gran variedad de geometría pero suelen tener aproximadamente las mismas dimensiones en todas las direcciones, por lo que son equiaxiales, característica que es la gran diferencia con las fibras. El reforzamiento es más efectivo cuanto menor tamaño tienen las partículas y más homogéneamente distribuidas están en la matriz. Las propiedades mecánicas mejoran con el contenido en partículas o lo que es lo mismo con el incremento de la relación partículas/matriz.

Todos los materiales (metales, polímeros y cerámicas) se utilizan para fabricar este tipo de materiales. Los compuestos metal-cerámica, cermets. El cermet más común es un carburo cementado, por ejemplo, WC o TiC impregnados en una matriz metálica de cobalto o níquel.

En el caso de los polímeros son comunes los materiales reforzados con negro de humo que son micropartículas (con diámetros entre 20 y 50 μm^5) esencialmente esféricas de carbono producidas por la combustión incompleta del gas natural u otros derivados del petróleo.

Materiales Compuestos Reforzados con Fibras

Estos son los materiales compuestos más conocidos por sus buenas propiedades mecánicas y el alto valor agregado del compuesto final.

La fase dispersa o refuerzo consta de fibras, las cuales son una microestructura muy anisotrópica, hilos o cilindros de aproximadamente 2 a 10 μm de diámetro y 1 mm. de longitud.

Mientras que el módulo de elasticidad no cambia con el tamaño del material, solo depende de las fuerzas que unen los átomos y la resistencia mecánica si cambia con la forma de la muestra.

Probetas de menor más estrechas o de un tamaño menor presentan resistencias comparativamente más altas. Esto se debe a que la probabilidad de encontrar defectos a nivel macro-microscópico disminuye, aportando a la prevención de grietas y

fracturas. Esto fue demostrado por Griffith en el año 1920, con su ensayo de barras de vidrio de diámetros progresivamente menores. Si consideramos lo anterior se puede decir que las fibras presentan mejores prestaciones mecánicas porque la probabilidad de encontrar defectos disminuye y además se anclan en la matriz que rodea uniformemente a las “fibrillas”. Por esto, desde el punto de vista de las propiedades mecánicas son aconsejables las fibras de diámetro lo menor posible.

Sin embargo, por razones de coste y de seguridad se limita a $1\ \mu\text{m}$ de diámetro porque fibras menores (con longitudes también menores) son más caras y se pueden liberar en el mecanizado de las piezas originando partículas fibrosas en suspensión (como los asbestos) que pueden causar problemas de salud. Los precios aproximados de los materiales reforzados con fibras se presentan a continuación en la Tabla 2.7 y se comparan con otros materiales.

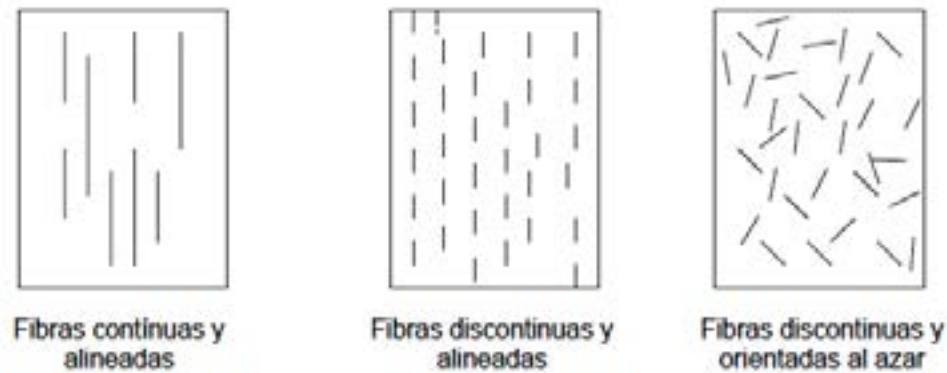


IMAGEN 2.12
Disposición de fibras.
Fuente: Materiales Industriales-Teoría y aplicaciones, L. Vélez, 2007.

Materiales compuestos con fibras continuas y alineadas.

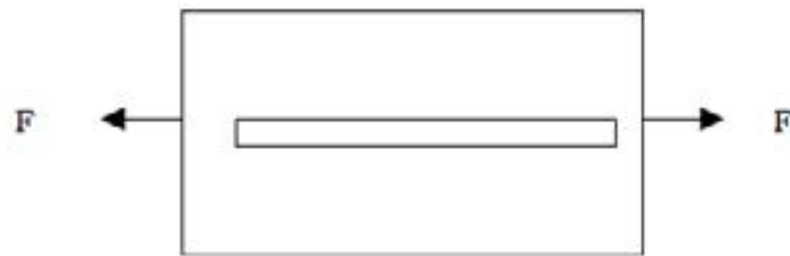


IMAGEN 2.13
Material compuesto con fibras continuas y alineadas.
Fuente: Materiales Industriales-Teoría y aplicaciones, L. Vélez, 2007.

De forma general las matrices son resinas epoxi o poliéster. Las propiedades mecánicas son generalmente anisotrópicas y varían mucho según el grado de ordenamiento de las fibras en el interior del material: ordenadas uniaxialmente, parcialmente ordenadas y desordenadas.

Por ejemplo, en la Imagen 2.10 se muestra un compuesto donde se aplica la fuerza en la misma dirección en que está alineada la fibra.

material	Precio ~ (€/kg)	ρ (g/cc)	E (GPa)	S (GPa)
Hormigón term. (Cemento, Ladrillo)	0.04 0.07	2.8	45	0.005
Acero (Acero 18/8)	0.5 (5.0)	7.8	210	2.8
PVC-no plastif.	0.7	1.3	0.4	0.035
Aluminio	1.3	2.7	70.5	0.045
Vidrio E ¹	1.8	2.54	72	1.5
Latón 70/30	2.2	8.5	100	0.55
Vidrio S ²	18	2.48	82	3.0
Carbono HS ³	30	1.7	200	4-6
Kevlar49 ⁴	30	1.5	140	3.0
UHPE ⁵	120	0.97	120	2.6
LDPE	0.7	0.92	0.2	0.001-0.016
Carbono-UHM ⁶	300	1.85	600	2

¹Fibra de vidrio eléctrico normal. ²Fibra de vidrio de alta resistencia. ³Fibra de carbono de alta resistencia. ⁴Fibra de poliamida. ⁵Poliétileno de ultra-alto peso molecular. ⁶Fibra de carbono de ultra-alto módulo.

TABLA 2.7
Propiedades y precios aproximados de materiales y materiales reforzados por fibra.

Fuente: Materiales Industriales-Teoría y aplicaciones, L. Vélez, 2007. ly/35C7NwR

2.2.3 Procesos de conformado de los materiales compuestos

Además de la gran variedad de combinaciones de materiales en los compuestos, también existen distintas formas de realizar su procesamiento o manufactura. El hecho de tener estas opciones proporciona una mayor flexibilidad en cuanto a la optimización de la forma, propiedades y coste de producción de los Composites.

Procesos de molde abierto

Existen tres procesos de molde abierto que son los más utilizados y destacados en los materiales Compuestos, hablamos del Hand Lay-out, Spray-up y Filament Winding.

Hand Lay-out o Laminado Manual

El moldeo o laminación manual es el método más sencillo y común para fabricar una pieza reforzada con fibra. El proceso se lleva a cabo en un molde abierto, debidamente acondicionado (pulido y agentes desmoldantes). La resina utilizada se mezcla con un catalizador, de lo contrario, el curado puede llevar días o incluso semanas. Luego, el molde se moja con la mezcla mediante vertido o brochas y pinceles. Inicialmente se puede aplicar una capa de gelcoat en el molde, el cual es un tipo especial de resina poliéster que se puede pigmentar para dar acabados de color, lo que conforma el acabado estético de las piezas).

Las láminas de fibra de vidrio o carbono se colocan sobre el molde y se asientan en el molde con rodillos de acero. Dependiendo del esquema de refuerzo que contenga la pieza, se van agregando capas de fibra las cuales van siendo humectadas con la resina a utilizar. Una vez terminadas las capas necesarias pasa al curado final de la pieza. El material debe quedar firmemente compactado en el molde para que el aire no quede atrapado entre fibras, y así no generar la aparición de burbujas en la pieza final, por lo mismo se utilizan los rodillos entre capa y capa, además la rapidez con la que se hace el trabajo también es importante para evitar defectos.

La relación resina/fibra suele ser de 60-40% respectivamente, en los procesos de laminado manual, pero varía según el producto y la habilidad del operario.

También se pueden utilizar distintas medidas de catalizador para controlar el tiempo de curado de la resina. Es importante el uso de una proporción correcta de catalizador en la resina, un 1% de catalizador es un curado lento, 2% es el recomendado para este proceso y 3% resultará en un curado rápido. La adición de más del 4% puede ser peligrosos ya que puede endurecer la resina antes de terminar el proceso de laminado manual.

El proceso de laminado manual se puede utilizar para la fabricación de piezas desde cero, o bien para recubrimiento de superficies, productos con núcleos de otros materiales, generalmente espuma de poliuretano (como tablas de surf).



IMAGEN 2.14
Proceso de laminado manual.
Fuente: Tecnología de los plásticos, blogspot, Entrada, Moldeo Manual de Materiales Compuestos, 2011.

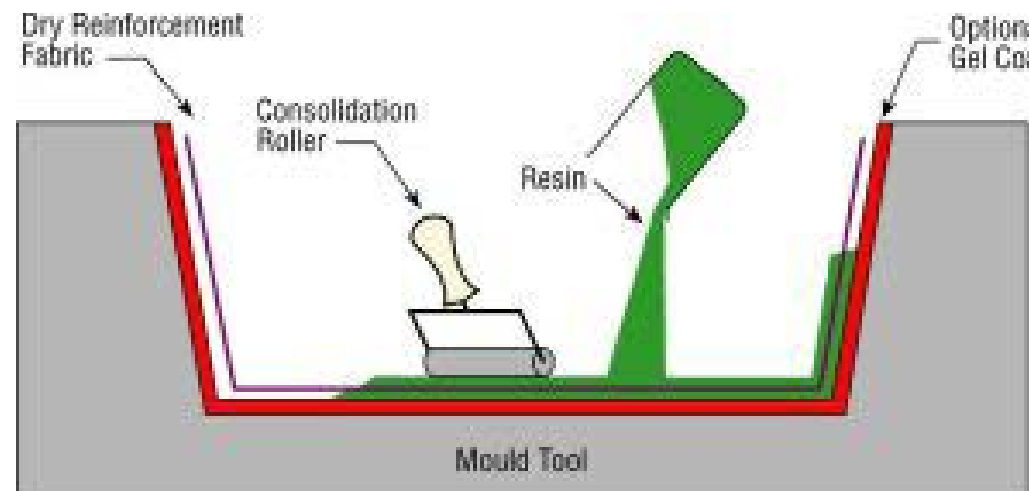


IMAGEN 2.15
Proceso de laminado manual.
Fuente: Rhinonerd, blogspot, Entrada, Materiales Compuestos, 2011.

Hand Lay-out o Laminado Manual

Con spray-up, el roving de fibra de vidrio alimenta una pistola con cortador (chopper), el cual corta fibra de vidrio en longitudes predeterminadas. Esta fibra de vidrio va directamente a un flujo de resina. La combinación de estos materiales es dirigida a la cavidad del molde cuando la parte compuesta tiene formas.

El roving para pistola es manufacturado a partir de filamentos continuos de fibra de vidrio, sin torceduras mecánicas y es empacado en tubos que se entregan listos para ser usados en las operaciones del cliente.

En el procedimiento spray-up, después de curar el gelcoat, es rociada resina catalizada (usualmente poliéster o viniléster con una viscosidad de 500 cps a 1.000 cps, junto con fibra de vidrio cortada). Los cortes de fibra de vidrio roving van directamente dentro de la resina rociada, de tal forma que todos los materiales son aplicados simultáneamente al molde. Empleando resinas con bajo contenido de estireno o sin estireno,

Pistolas rociadoras de alto volumen/baja presión o rodillos de presión para alimentar resina como aplicadores, se ayuda a reducir las emisiones de compuestos orgánicos volátiles.

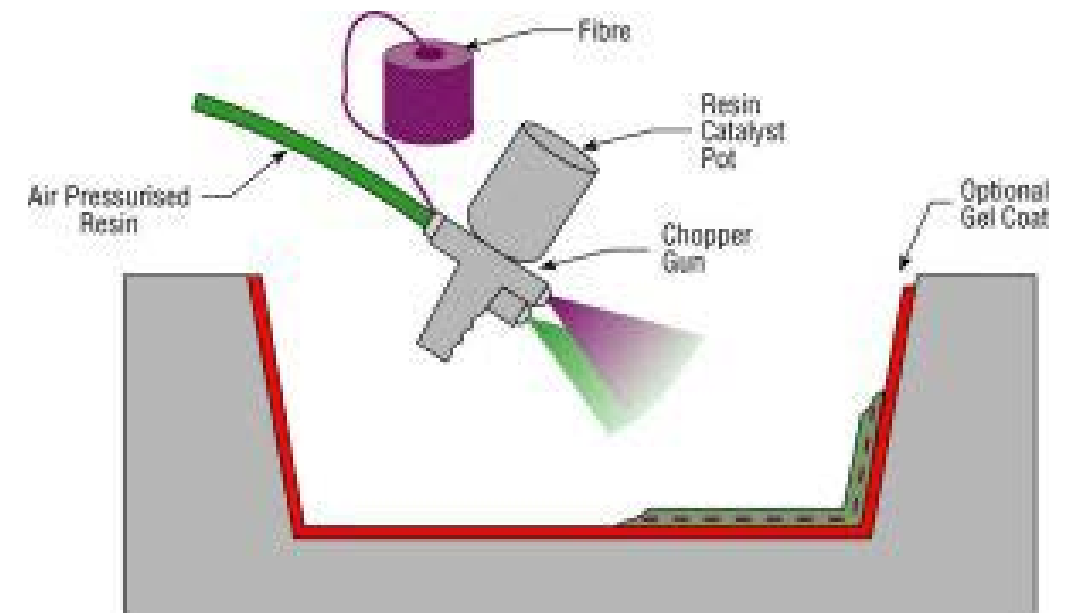


IMAGEN 2.16
Proceso de pulverizado.
Fuente: Rhinonerd, blogspot, Entrada, Materiales Compuestos, 2011.



IMAGEN 2.17
Proceso de pulverizado.
Fuente: Rhinonerd, blogspot, Entrada, Materiales Compuestos, 2011.

Filament Winding

Proceso de fabricación en el que se enrollan refuerzos continuos a grandes velocidades y de forma precisa sobre un mandril que rota en torno a su eje de giro. Las velocidades de trabajo se encuentran entre los 90 - 100 m/min para fibras de vidrio y entre los 15 - 30 m/min para fibras de carbono y aramida. Mediante este proceso se pueden alcanzar volúmenes de fibra de hasta un 75%, siendo posible controlar el contenido de resina. No obstante, es necesario que la pieza sea de revolución y sin curvaturas entrantes. La forma de la pieza debe permitir la extracción del mandril. Existen tres modelos de bobinado:

- Bobinado helicoidal: el movimiento de rotación del mandril se combina con el movimiento de traslación longitudinal del cabezal de impregnación.
- Bobinado circunferencial: se trata de una variante del bobinado helicoidal pero con un ángulo de enrollado de 90°.
- Bobinado polar o plano: tanto el movimiento de rotación como el de traslación longitudinal es realizado por el mandril, permaneciendo fijo el cabezal de impregnación.

Este proceso se utiliza para producir cilindros huecos de alta resistencia. La fibra es proporcionada a través de un baño de resina y después es bobinada sobre un cilindro apropiado. Cuando han sido aplicadas suficientes capas, el cilindro (mandril) se cura en un horno. Por último, la pieza moldeada es separada del mandril.

Las aplicaciones a este proceso incluyen tanques químicos y de almacenamiento de combustibles, recipientes a presión y cubiertas de motores de cohetes.

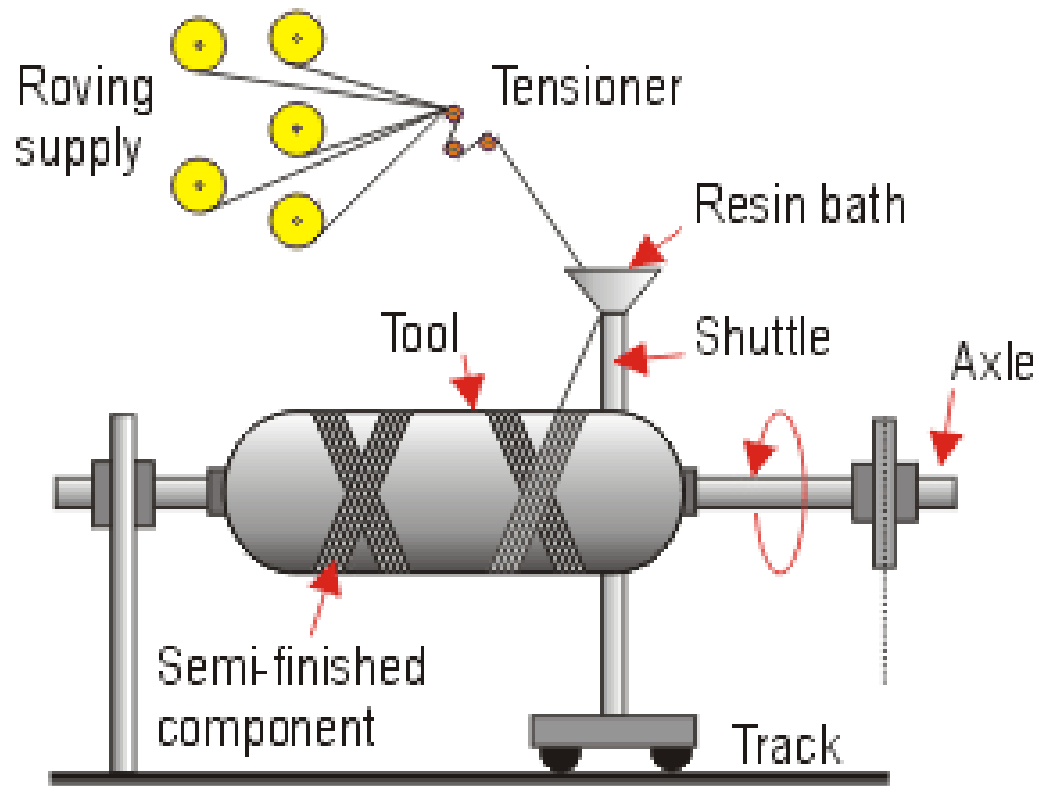


IMAGEN 2.18
Proceso de Filament Winding.

Fuente: Rhinonerd, blogspot, Entrada, Materiales Compuestos, 2011.



IMAGEN 2.19
Proceso de Filament Winding.

Fuente: Rhinonerd, blogspot, Entrada, Materiales Compuestos, 2011

Procesos de molde cerrado

Los procesos de molde cerrado son aquellos donde la resina no tiene contacto directo con el aire, si no que se procesa únicamente cuando el molde se encuentra cerrado de forma hermética, de tal forma que no existen compuestos orgánicos volátiles o estireno que sean liberados a la atmósfera. Esta característica hace que los procesos de este tipo sean los menos contaminantes en cuanto a la manufactura de los materiales compuestos, además de aportar ventajas de fabricación industrial, como por ejemplo la cantidad de piezas que se pueden obtener en un tiempo determinado, el cual es bastante menor al tiempo empleado con los procesos de molde abierto.

Entre los principales procesos de molde cerrado se encuentran los siguientes:

- Infusión
- RTM (Resin Transfer Moulding) (Moldeo por transferencia de resina)
- RTM-Light
- Compresión Húmeda

Algunas de las características de estos procesos se presentan a continuación en la Tabla 2.8

	Infusión	Compresión humedad	RTM-Light	RTM
Serie (para 1 turno)	1 a 2 piezas x día	2 a 8 piezas x día	7.0-8.0	287-597
Tamaño y forma de la pieza	Hasta 100m ² Complejidad baja a media	Hasta 15m ² Complejidad baja a alta	Hasta 75m ² Complejidad baja a alta	Hasta 15m ² Complejidad baja a alta
Apariencia de la superficie de la pieza	Acabado en un lado	Acabado en ambos lados	Acabado en ambos lados	Acabado en ambos lados
Moldes	Molde inferior con frecuencia en el material compuesto (composites) Molde superior = film consumible	Composite	Composite	Composite o metálico
Índice de inversión	100	150	200	400-1000

Estudios realizados por empresas importantes dentro de la Industria de los materiales compuestos, como Owens Corning, muestran que la tendencia del uso de procesos de molde cerrado está presente en Norteamérica y Europa, continentes líderes en el uso y estudio de los materiales compuestos.

TABLA 2.8
Comparación de Procesos de Molde cerrado.
Fuente: Procesos de Molde Cerrado, Owens Corning, 2009.

MERCADOS FINALES QUE UTILIZAN PROCESOS DE MOLDE CERRADO



IMAGEN 2.20
Material compuesto en el mundo.
Fuente: Procesos de Molde Cerrado, Owens Corning, 2009.

Proceso de Infusión

El proceso de infusión consiste en la impregnación de una o varias capas de refuerzo colocadas en un molde de material compuesto (Composites) y cubiertas herméticamente por un film usado como molde superior. La resina se lleva por medio de vacío hacia el refuerzo entre el molde y el plástico, y no entra en contacto con el aire. Una vez que la resina ha curado, el film puede retirarse.

Los refuerzos utilizados en la infusión son principalmente más, unidireccionales, multiaxiales, tejidos y Unifilo®, también se utilizan complejos tridimensionales.

Puede depositarse un medio de flujo en la parte superior de las capas de refuerzo para ayudar a la resina a fluir sobre la superficie antes de que impregne las capas de profundidad. Para las piezas de bajo espesor, el medio de flujo superficial puede no ser necesario cuando la permeabilidad en el plano del refuerzo es suficientemente alta. La infusión permite hacer piezas muy grandes, como cascos de barcos o palas de molinos de viento, con un contenido de vidrio de hasta el 70%.

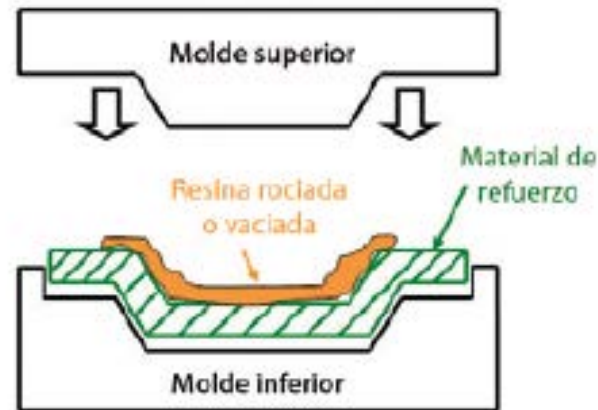
Generalmente, los moldes de materiales compuestos están hechos mediante el proceso Hand Lay-Up (moldeo manual) y/o por proyección de una resina altamente cargada. Los moldes también pueden fabricarse por infusión, lo que permite lograr un alto contenido de vidrio, rigidez, alta resistencia al impacto y muy buen envejecimiento después de numerosos picos exotérmicos repetitivos.

IMAGEN 2.21
Material compuesto con fibras continuas y alineadas
Fuente: Procesos de Molde Cerrado, Owens Corning, 2009.



Compresión Húmeda o Moldeo por Presión

Este proceso consiste en colocar una o varias capas de refuerzo en la cavidad del molde, rociando o vaciando resina sobre el molde y cerrándolo mediante presión o a la mano a través de un vacío periférico. La presión que el molde aplica sobre la resina al cerrar hace que la resina fluya e impregne los refuerzos.



Moldeo por Transferencia de Resina (RTM)

El proceso de moldeo por transferencia de resina (RTM) es una alternativa a la infusión, donde se utiliza un molde en la parte superior, en vez del plástico de infusión, por lo que garantiza espesores constantes y buena terminación en ambas caras de la pieza.

Consiste en la inyección de una resina en un molde cerrado en el cual se han colocado una o varias capas de refuerzo antes de cerrar el molde. La presión de inyección de la resina varía desde varios bares hasta varias decenas de bares, los moldes tienen que ser muy rígidos para soportar la presión de inyección sin deformarse. Con frecuencia, están hechos de acero o de aluminio, pero también pueden estar hechos de materiales compuestos, con un revestimiento metálico electrodepositado. Los moldes son de temperatura controlada, lo que permite acelerar el curado de la resina y reducir el tiempo del ciclo. Puede ser necesario usar una alta capacidad de presión para abrir y

IMAGEN 2.22
Proceso de Compresión Húmeda.

Fuente: Procesos de Molde Cerrado, Owens Corning, 2009.

cerrar los moldes pesados. Por lo general, la inyección se realiza desde un solo punto central, aunque en el caso de piezas grandes o formas complejas una mejor opción puede ser varios puntos de inyección bien ubicados.

Es necesario que el material de refuerzo sea muy estable y resistente al “efecto de lavado” debido a la alta presión de inyección. El proceso de RTM permite usar resina cargada con aditivos de baja contracción para lograr una excelente apariencia de superficie de la pieza terminada.

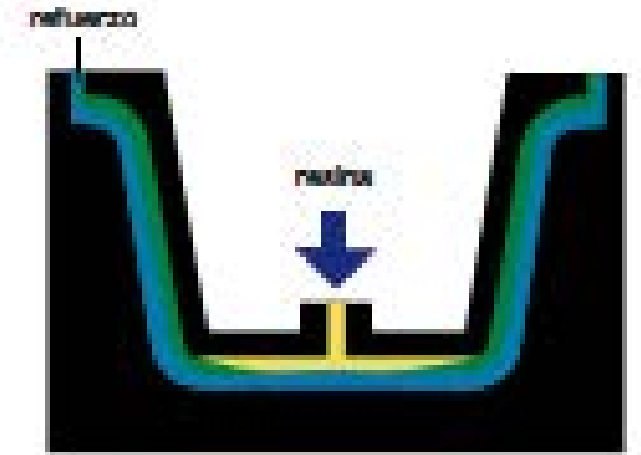


IMAGEN 2.23
Proceso de RTM.

Fuente: Procesos de Molde Cerrado, Owens Corning, 2009.

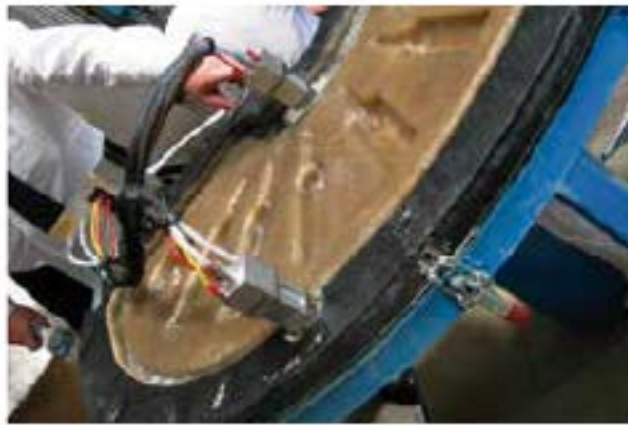
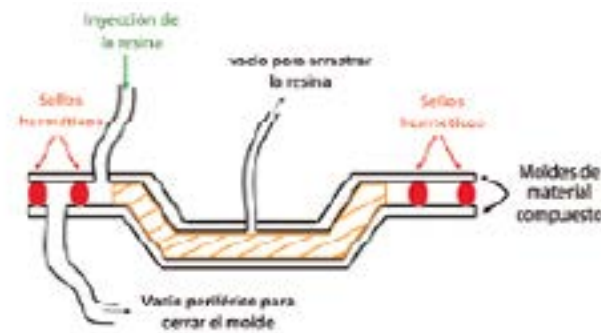
Moldeo por Transferencia de Resina-Light (RTM-Light)

Moldeo por transferencia de resina (RTM) es el proceso de conformado de materiales compuestos poliméricos reforzados con fibra de mayor popularidad para volúmenes de producción de bajo a medio, dado a que RTM-light tiene muchas ventajas sobre otros procesos de fabricación, incluyendo menor coste de trabajo, tiempo de ciclo más corto, fabricación de estructuras grandes y complejas con menor impacto ambiental, y la producción de piezas con superficies acabadas en ambos lados.

A diferencia del RTM, el RTM-Light puede realizarse con moldes de composites, ya que se trabaja a menores presiones por lo general, la presión de inyección es inferior a 3 bares y, en la mayoría de los casos, la resina empieza a llenar un canal periférico antes de impregnar las capas de refuerzo, algunas veces conectadas a otro puerto de vacío para ayudar al flujo de resina. En cuanto a costos de inversión es mucho más barato que el original. Podríamos decir que RTM-Light es RTM adaptado a menores costos y menor volumen de producción.

El proceso de moldeo por transferencia de resina ligero consiste en la inyección de una resina en un molde cerrado de material compuesto en el cual se han colocado una o varias capas de refuerzo. El cierre del molde puede realizarse mecánicamente o por medio de vacío aplicado entre dos sellados en la brida periférica del molde. El proceso RTM-Light puede usarse para fabricar piezas pequeñas de materiales compuestos, como cajas, asientos y bancos, cubiertas, soportes para consola, etc., aunque también permite moldear plataformas amplias si los moldes están bien diseñados.

La producción de Composites poliméricos a través de inyección de resina ha crecido fuertemente en los últimos años para una amplia variedad de aplicaciones industriales. Las técnicas de manufactura son optimizadas constantemente para mejores y más rápidos ciclos de producción y Composites de alto rendimiento son necesarios para satisfacer los requerimientos de la industria. Actualmente, la reducción de costos y el tiempo de ciclo es la principal motivación para el proceso de simulación de moldeo líquido de Composites (Liquid Composites Molding). En este contexto, la caracterización de la permeabilidad de la preforma es un punto clave en el análisis numérico del fluido.



2.2.4 Procesos de diseño para plásticos reforzados con fibras

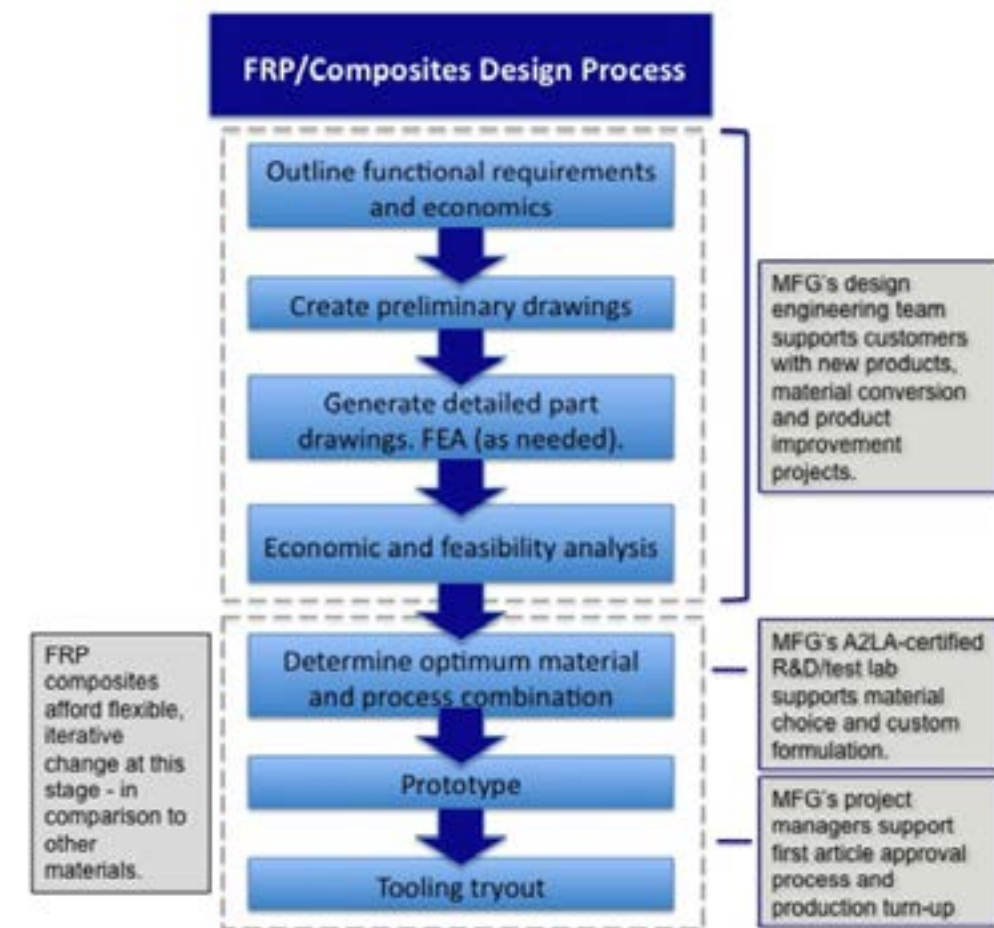
Dentro del área ingenieril existe un proceso de diseño para generar los plásticos reforzados con fibras de cualquier tipo, propuesto por la asociación MFG (Moulding Fiber Glass) que abarca varias empresas del rubro que trabajan con materiales compuestos. El paso a paso se describe en el Esquema 2.7.

- Esbozar los requerimientos funcionales y económicos: en primer lugar, se contextualiza el proyecto, viendo cuales son los requerimientos funcionales del producto a desarrollar. El ámbito económico se refiere a una primera aproximación de la fabricación, si será de alto coste o bajo coste.

IMAGEN 2.24
Proceso de RTM-Light.
Fuente: Procesos de Molde
Cerrado, Owens Corning, 2009.

- Creación de dibujos preliminares: Como en todo proceso de diseño, luego de tener los requerimientos se comienza con la exploración de forma o maquetas del producto, en el mundo de la Ingeniería estas maquetas generalmente se realizan en modelados 3D.
- Generar dibujos de partes detalladas: Una vez que se tiene el conjunto, el producto como un todo, se procede al diseño de detalle, es decir, el diseño de cada parte por separado.
- Análisis de viabilidad y costos: Se hace un estudio de la factibilidad técnica del proyecto, luego de estar diseñado. El ámbito económico se refiere a los costes de materias primas, producción y distribución, que también se considera para realizar los presupuestos a los clientes.
- Determinar la combinación de material y proceso óptima: Dependiendo del material del que debe ser el producto, se escogerá el proceso, o viceversa. Al ser dos factores que aportan características al producto por si solos se debe hacer una matriz comparativa para obtener la combinación más adecuada.
- Prototipo: Construcción del prototipo final.

Y finalmente los detalles finales del producto en el Tooling Tryout a través de pruebas.



ESQUEMA 2.7
Proceso de Diseño para plásticos reforzados por fibra.
Fuente : Technical Design Guide for FRP Composite Products and Parts, MFG, 2009.

2.3 Diseño y percepción de materiales

El diseño ha evolucionado rápidamente, utilizando criterios y teorías diferentes, y dando importancia a la forma, otras veces a la función, o las dos por igual, desde aquí nacen las distintas tendencias de diseño.

Como relata el autor Aquiles Gay, en su libro *El diseño industrial en la historia del 2006*, en un principio el foco de diseño estaba en la ornamentación del producto, que no mostrara su funcionalidad, luego se consideró que las cualidades de los materiales y la función del producto eran los principales factores que agregaban valor estético. Es así como diferentes formas de concebir el diseño manifiestan las siguientes tendencias:

- La relevancia de la forma sobre la función.
- El predominio de la función sobre la forma.
- La consideración de la forma y la función con la misma importancia.

Con el inicio de la fabricación industrial de productos existía la preocupación por esconder su "fealdad", por lo que la función y la forma práctica se disimulaban bajo un aspecto bello, aquí es donde toma relevancia la forma por sobre la función, cercano a la tradición artística y artesana, lo que provocó el uso excesivo de ornamentos. Hoy por hoy esto se ve reflejado en la tendencia de Styling (ejemplo en Imagen 2.9), que es una opción de diseño que busca la modificación externa del objeto, sin tener en cuenta su funcionalidad, lo que puede otorgar nuevos valores simbólicos, con la finalidad de sorprender y fomentar el consumo.

Otro movimiento importante dentro del Diseño Industrial es el Funcionalismo. Este movimiento se consolidó a fines del siglo XX y habla sobre como las formas del pasado obstaculizan la función y los nuevos objetos. En el funcionalismo un objeto es bello cuando sus aspectos formales están limitados por la función, es decir, cuando la calidad de los materiales y los procesos de producción enmarcan la imaginación del diseñador. La idea de belleza deja de ser el foco de diseño y se convierte en una consecuencia, la belleza viene por añadidura si se logra un buen diseño, tal como definió la BAUHAUS.

De izquierda a derecha:
IMAGEN 2.25
Pink Chair de Vladimir Tsesler.

IMAGEN 2.26
Silla Wassily de Marcel Breuer.

IMAGEN 2.27
Estantería estética funcional.
Forma y función, tendencias de diseño, Blogspot, 2016

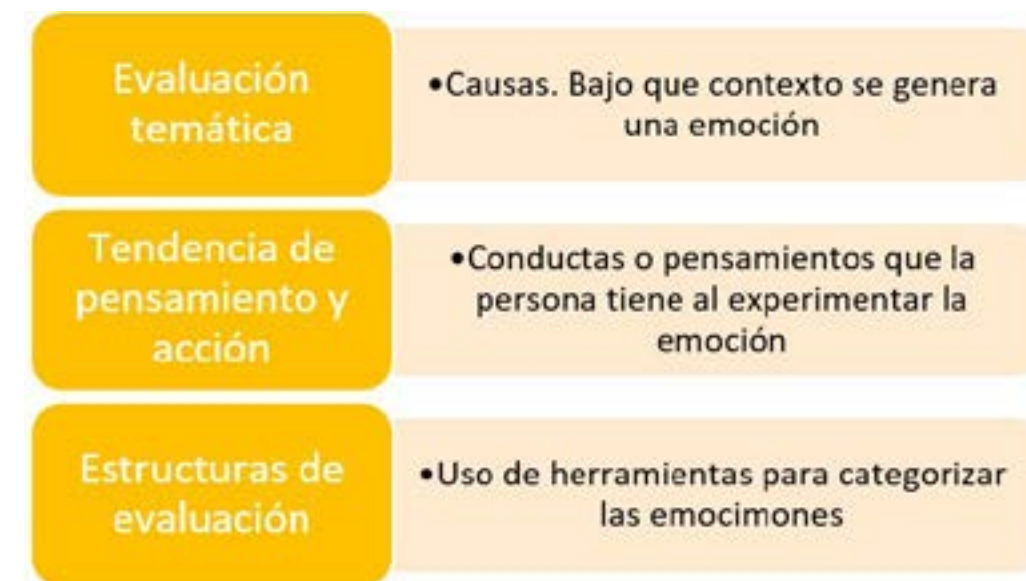


Actualmente los diseñadores deben considerar ambos aspectos en el proceso por igual, planteándolos conjuntamente. Un objeto puede ser bello por que satisface una necesidad y, a su vez, por que presenta una forma que comunica la función y complace visualmente al usuario.

A la hora de analizar el diseño también se presenta atención en las funciones, se considera la función práctica, estética y simbólica. Las funciones prácticas del diseño se refieren a las funciones técnicas u operativas del producto y determina la utilidad y uso del objeto estando estrechamente relacionada a la función estética, ya que la forma debe indicar las funciones que cumple.

Cuando un diseño responde a la función estética, se busca la belleza a través de las formas, colores y texturas, más allá de la combinación de la forma y la función, queriendo que el objeto destaque por su atractivo visual y finalmente, conquistar al usuario. Un ejemplo de diseño donde predomina esta función es en la industria de la moda.

Finalmente, si la función predominante de un objeto es la simbólica, quiere decir que no satisfacen las necesidades básicas del usuario y el producto se convierte en un medio para establecer, por ejemplo, estatus social o poder, como por ejemplo las joyas de metales y piedras sofisticadas, y también la marca de ropa que son más caras. Es importante saber que simbólicamente también el objetivo de un objeto puede ser transmitir emociones las cuales pueden variar teniendo en cuenta la cultura involucrada en las causas que provocan una u otra emoción, según la Teoría Cognitiva (Piaget, 1927). Las emociones son sentimientos con una duración, que generalmente son cortas o tienen tiempo determinado, tienen una cierta intensidad (excitación), pueden ser negativas y positivas. Ocurren por estímulos internos tanto como externos y son subjetivas. Para realizar el proceso de evaluación de emociones se deben tomar en cuenta algunos criterios, los cuales se aprecian en el Esquema 2.8.



ESQUEMA 2.8
Criterios de evaluación de emociones,
Elaboración propia, 2020.

Como se explicó anteriormente, los productos se diferencian unos de otros no solo en funcionalidad, sino que también en la forma en que complacen a sus usuarios. Las propiedades sensoriales de los materiales influyen en si un producto entrega el feedback adecuado o si da una experiencia emocional placentera.

Cuando un producto satisface a un usuario en utilidad, seguridad y confort, luego el énfasis del consumidor se enfocará en apariencia, atributos emocionales y símbolos (Crilly, Moultrie & Clarkson, 2004)

Los materiales de un producto determinan el rango de función, durabilidad, costos, feedback y experiencia de uso. Cuando los usuarios interactúan con productos, sus sentidos están en contacto con los materiales de esos productos. Los usuarios ven los colores de los materiales, sienten la textura y peso y escuchan los sonidos que hace el material cuando se mueve. Estas percepciones sensoriales contribuyen a la usabilidad del producto y a la experiencia de uso (Hekkert, 2006).

Los diferentes aspectos de un material se pueden categorizar en dos grupos: aspectos técnicos y aspectos de interacción con el usuario. (Por ejemplo, el brillo de un material puede influir en que tan bien puedes leer en una pantalla).

Los diseñadores de producto usan los materiales para crear estas percepciones sensoriales (Ashby y Johnson 2002,2003) y cuando se quiere crear una cierta personalidad para un producto, el diseñador puede usar productos y materiales existentes como ejemplos de lo que se pretende transmitir (comparación de materiales tanto en aspectos técnicos como visuales).

Para poder definir la personalidad de un material, Groover (2004) propone las categorías que se presentan en la Tabla 2.9.

TABLA 2.9
Categorías de propiedades que se pueden usar para describir el perfil de un material.
Groover, 2009.

Propiedad	Descripción	Ejemplos
Perceptual (P)	Más subjetivo; incluye percepciones, emociones y asociaciones de materiales, marcas o productos	Outdoor, moderno, personal, reconocible, específico para un grupo, natural
Uso (U)	Uso (U)	Usable, resistente a condiciones ambientales, higiénico
Sensorial (S)	Menos subjetivo: todos los aspectos del material que pueden ser sentidos	Textura, calor, color, suavidad, blando, duro, etc.
Técnico (T)	El menos subjetivo: propiedades de materialidad y manufactura	Resistencia a rallado, durabilidad, precio, adecuado para producción en masa
Material (M)	Concreto: nombres de materiales	Plástico, madera, metal.

Para definir la dimensión perceptual (P) se pueden usar herramientas como el Diferencial Semántico (Aros & Narváez, 2009), el cual se explicará con más detalle durante la aplicación. Para el uso (U) se toman en cuenta los aspectos relacionados al uso que tendrá el material, esto también se mezcla con el aspecto técnico (T) donde sus propiedades son fundamentales para su posible uso. Casi terminando, el material (M) se refiere netamente al nombre del material, pero para poder completar la descripción completa del material se debe incluir la dimensión sensorial (S), la cual es la más subjetiva y es por esto que se necesitan ayudas para lograr realizar una buena evaluación, algunas de las propiedades que se miden a nivel de sentidos se presentan en la Tabla 2.10.

Luz	Refleja - no refleja Pulido - mate Transparente - Traslúcido - Opaco Brillante - no brillante Aspero - Liso Textura regular - irregular
Presión	Se abolla - no se abolla Blando - duro Amortiguamiento rápido - lento Sólido masivo - poroso
Sonido	Silencioso - ruidoso Tono alto - bajo
Color	Matiz de color 1 color - muchos colores Descolorido - multicolor Oscuro - Luminoso Color intenso - desteñido Patrón de color
Manipulación	Rígido - Flexible Ductil - duro Frágil - duro Liviano - pesado
Fricción	Pegajoso - no pegajoso Seco - mojado - aceitoso Duro - suave
Olor y gusto	Olor natural - sin olor - frgante Aroma Sabor
Temperatura	Caliente - Frío
Radiación de luz	Baja - alta

TABLA 2.10
Lista de propiedades sensoriales de materiales.,
Elaboración propia.

3. Proceso de experimentación y diseño

3.1 Desarrollo de test panel

La medición de la permeabilidad se realizó con un test panel basado en el desarrollado por Poliworx, el cual se puede apreciar en la Imagen 3.1.



IMAGEN 3.1
Medidas generales de test panel para pruebas de permeabilidad con proceso de RTM-Light e Infusión.
Fuente: Set-up for Test Panel FV-TPIF-090909, Poliworx (2009).

Las medidas de avance en este test panel se realizan cada 60 segundos y se utiliza el método de medición unidireccional ya mencionada anteriormente, donde se asume que el flujo no se mueve hacia los lados, sino que solo longitudinalmente para simplificar los cálculos. Se miden en un eje la distancia (mm) v/s tiempo (sg) y luego esos resultados se procesaron con una ecuación que los estima y proyecta a una situación tridimensional como realmente es.

En primera instancia se realiza una prueba con fibra de vidrio, esquema de refuerzo 4M/T/M/T/M en el test panel de Polyworx para tener un acercamiento al proceso de infusión. Al ver que las dimensiones eran demasiado amplias, se decidió diseñar y fabricar una opción más pequeña para hacer la experimentación con mayor cantidad de combinaciones de esquemas de refuerzo, pero de menor tamaño para disminuir el uso de recursos.

6 Esquema de refuerzo se le llama a la composición de capas que tiene un material compuesto.

Se desarrolló un test panel para pruebas rápidas, inspirado en test panel de Polyworx para RTM-Light/Inyección/Infusión. Desde la abstracción del test panel original se determinan los aspectos importantes del molde y el proceso para realizar las pruebas. Se mantiene el largo del instrumento referenciado ya que es la horizontalidad de la succión la que permitirá realizar las marcaciones para el cálculo de permeabilidad de la arpillera en las probetas.

Se definió ésta como la herramienta para el experimento de descarte y selección rápida para hacer las pruebas de permeabilidad con más combinaciones de probetas para evitar el gasto innecesario de material e insumos en esta etapa de experimentación.

Se validó la reducción del molde de forma digital en primera instancia con el programa RTM-Workx, simulando las probetas con las nuevas dimensiones.

El test panel propuesto es una maqueta del test panel recortada, fabricado con fibra de vidrio a través de laminado manual en una matriz de melamina y sellado con gelcoat gris, con un esquema de refuerzo de M/T/M/T/M.

IMAGEN 3.2
Medidas generales de test panel para pruebas de permeabilidad con proceso de RTM-Light e Infusión.
Fuente: Set-up for Test Panel FV-TPIF-090909, Poliworx (2009).

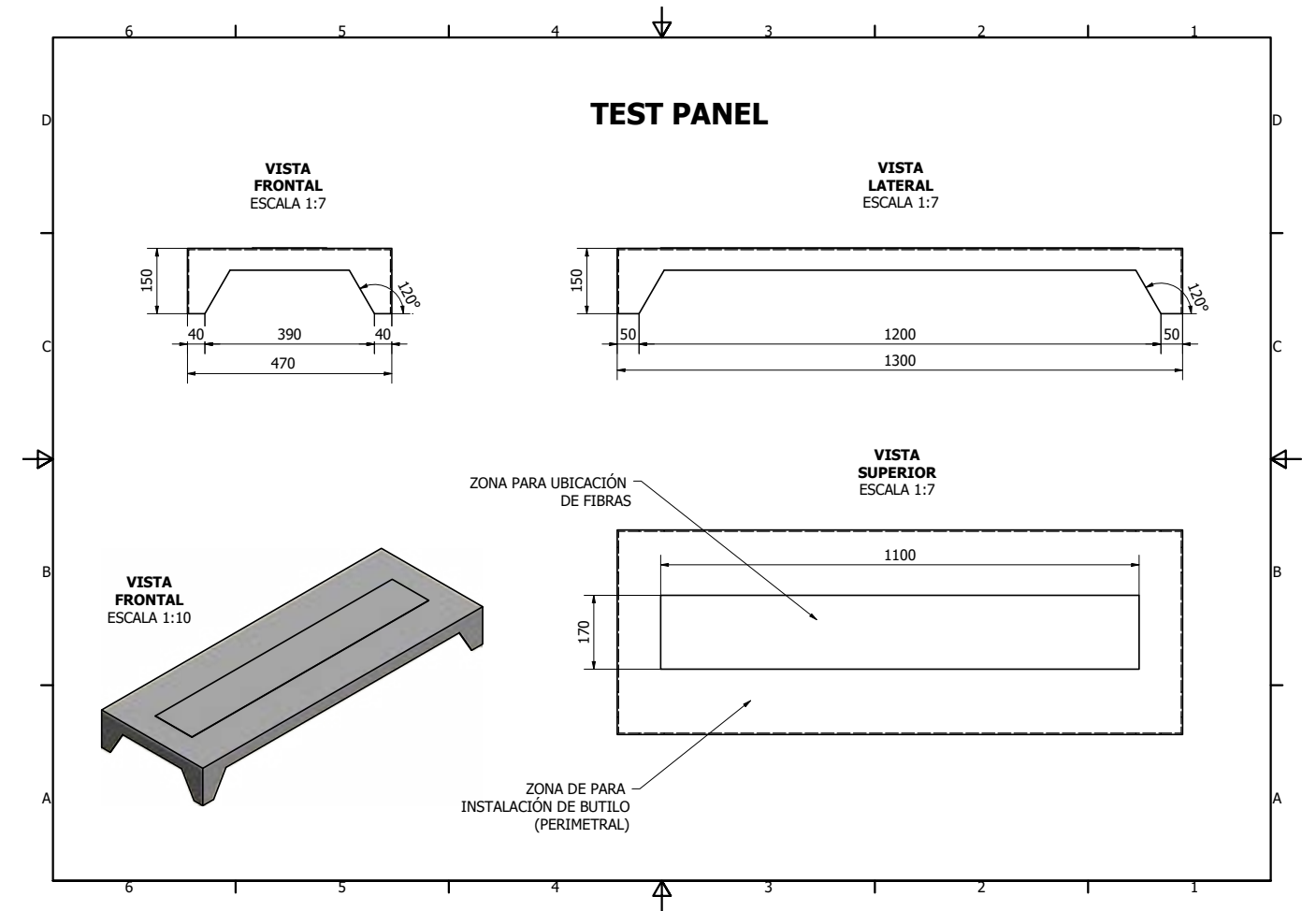
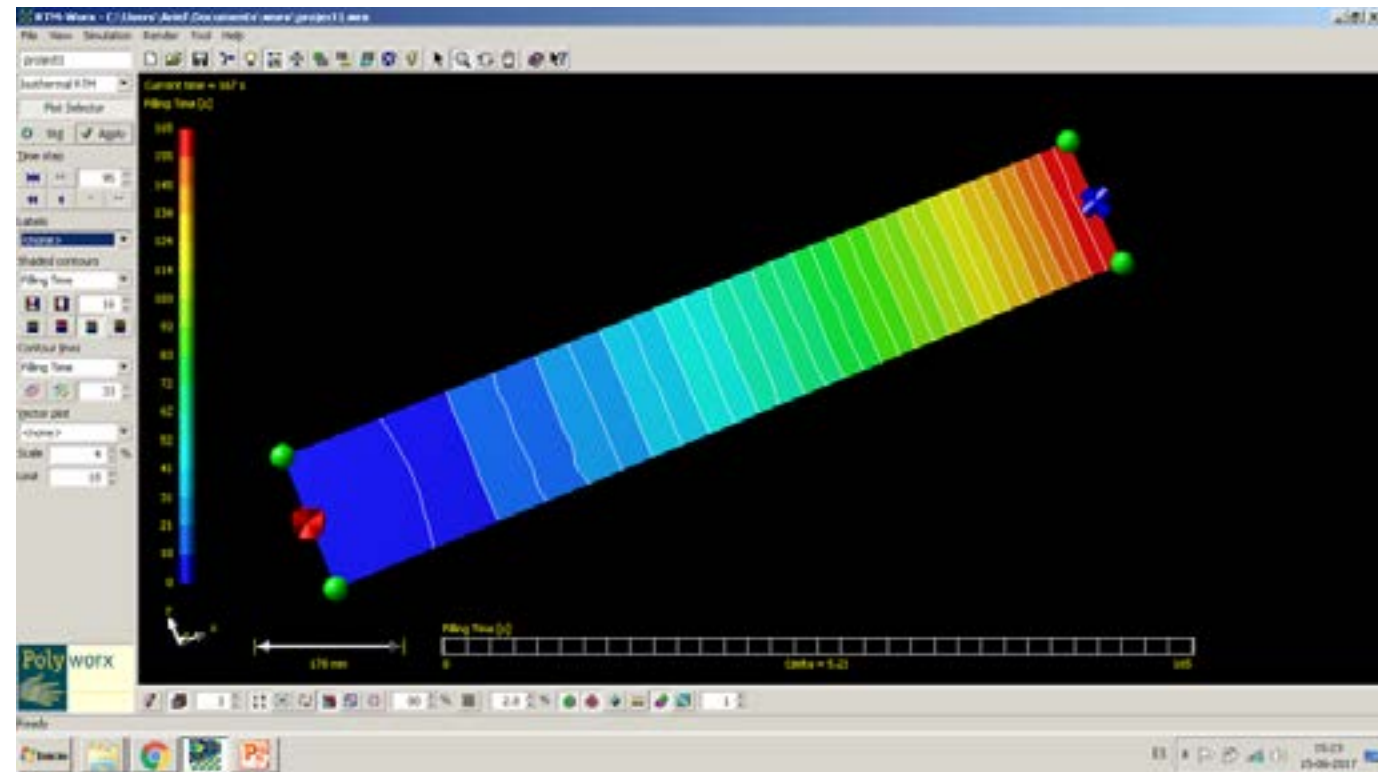


IMAGEN 3.3
Planimetría test panel reducido.
Elaboración personal. 2020.

IMAGEN 3.4
Test panel reducido para pruebas rápidas de infusión.
Elaboración propia, 2020.

3.2 Pruebas de permeabilidad

Se realizaron las pruebas según procedimiento de experimentación de infusión asistida por vacío, el cual se encuentra en los anexos.

Se define realizar la primera etapa de probetas con el objetivo de encontrar el esquema de refuerzos que brinde una mejor permeabilidad a la arpillera y que tenga buenas propiedades visuales y de terminación. Se fabricarán varias probetas de cada familia, cuyos esquemas se especifican en la Tabla 3.1.

TABLA 3.1
Esquema de refuerzo de probetas por cada familia para pruebas de permeabilidad.
Fuente: Elaboración propia (2020).

TIPO DE FAMILIA	COMPOSICIÓN (ESQUEMA)	ESPESOR NOMINAL (mm)	MEDIDAS (mm)	RESINA
FAMILIA 1	A/A/M/T/M/A	5,9 mm nom.	1100x180	PALATAL VINIL ÉSTER A430
FAMILIA 2	A/A/M/T/C/M/A/A	11,9 mm nom.	1100x180	PALATAL VINIL ÉSTER A430
FAMILIA 3	V/A/A/Bx/A/A/V	6 mm nom.	1100x180	PALATAL VINIL ÉSTER A430
FAMILIA 4	A/A/Tx/C/A/A	10,5 mm nom.	1100x180	PALATAL VINIL ÉSTER A430
FAMILIA 5	A/A/Tx/C/A/A	10,5 mm nom.	1100x180	PALATAL VINIL ÉSTER A430
FAMILIA 6	A/A/A/A	4 mm nom.	1100x180	PALATAL VINIL ÉSTER A430
FAMILIA 7	A/A/A/A/Bx/A/A/A/A	9,2 mm nom.	1100x180	PALATAL VINIL ÉSTER A430
FAMILIA 8	A/A/A/A/A/A/A/A	8 mm nom.	1100x180	PALATAL VINIL ÉSTER A430

Además del esquema de refuerzo, la muestra tiene malla difusora y peel ply para evitar que la malla se pegue a la pieza. Estos dos componentes no son parte de la pieza final.

Para realizar las pruebas no se contaba con stock de peel ply por lo que se utilizó tela negra para las probetas en primera instancia, también se analizó su comportamiento.

Se realiza un tratamiento de superficie al molde para evitar la adherencia de la pieza a éste aplicándole 10 capas de cera tártara desmoldante marca Handson y esperando 10 minutos entre cada capa. Luego se posicionan las mangueras, el butilo por el perímetro y las telas del esquema de refuerzo, el resultado antes de posicionar el plástico de infusión se muestra en la Imagen 3.5, posteriormente se realizan los ensayos preñiendo la bomba de vacío. El detalle del procedimiento se encuentra en el anexo, como ya se mencionó anteriormente.

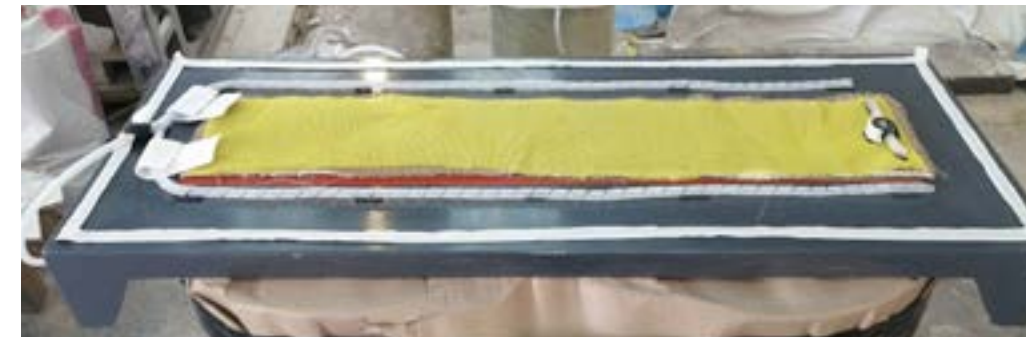


IMAGEN 3.5
Ensayo de infusión en test panel reducido.
Elaboración propia. 2020.

Se utiliza una bomba con presión de vacío de -0,8 bar para las pruebas. También se cuenta con una trampa de resina, como la que se ve en la Imagen 3.6, para evitar que la resina se vaya directo a la bomba en caso de filtraciones por el molde o que se haya utilizado mucha resina



De izquierda a derecha:
IMAGEN 3.6
Trampa de resina.
Elaboración propia. 2020.

IMAGEN 3.7
Bomba de vacío.
Elaboración propia. 2020.

IMAGEN 3.8
Presostato de bomba de vacío marcado -0,8.
Elaboración propia. 2020.

En primera instancia se infusionan piezas largas, de las cuales posteriormente se obtendrán equis cantidad de probetas por familia. Las características de las familias son las siguientes:



IMAGEN 3.9
Detalle de pieza Familia 1.
Elaboración propia, 2020.

FAMILIA 1

Esquema de esfuerzo	A/A/M/T/M/A
Espesor nominal⁷	5,9 mm nominal
Espesor real	3,3 mm promedio
Resina	Vinilester Palatal A430
T° Resina	36°C
Acelerado (Cobalto)	0,35%
Catalizado (Peróxido)	2,5%.
Peso de fibras	362,5 gr.
Resina de probeta	300 gr.
Resina sobrante	200 gr.

T° Ambiente	16°C	Humedad Ambiente	49%	Fecha	21/07/2020
Hora de inicio	13:45	Hora de término	13:55		
Hora geltime vaso	13:50	Hora geltime pieza	13:55		

OBSERVACIONES

1. Catalizado muy alto, solo se llegó a impregnar $\frac{1}{3}$ del molde. Se decide bajar el % de catalización para la siguiente pieza.
2. Pieza útil 39 cm de largo y 18 cm de ancho, se utilizará para obtener las probetas. A pesar de que no se llenara el molde las probetas obtenidas de la pieza son válidas para realizar las pruebas físicas, mecánicas y visuales solicitadas.
3. Se termina de secar pieza con pistola de calor, dadas las condiciones ambientales frías. Esto no afecta en el resultado final de la pieza.

TABLA 3.2

Tabla de especificaciones experimento Familia 1.

Elaboración propia, 2020.

⁷ Para espesores nominales se consideran los siguientes espesores

A=1mm; M= 8,0mm; T= 1,3mm; V=0,4mm; C=5mm; Bx=1,2mm; Tx= 1,5mm.

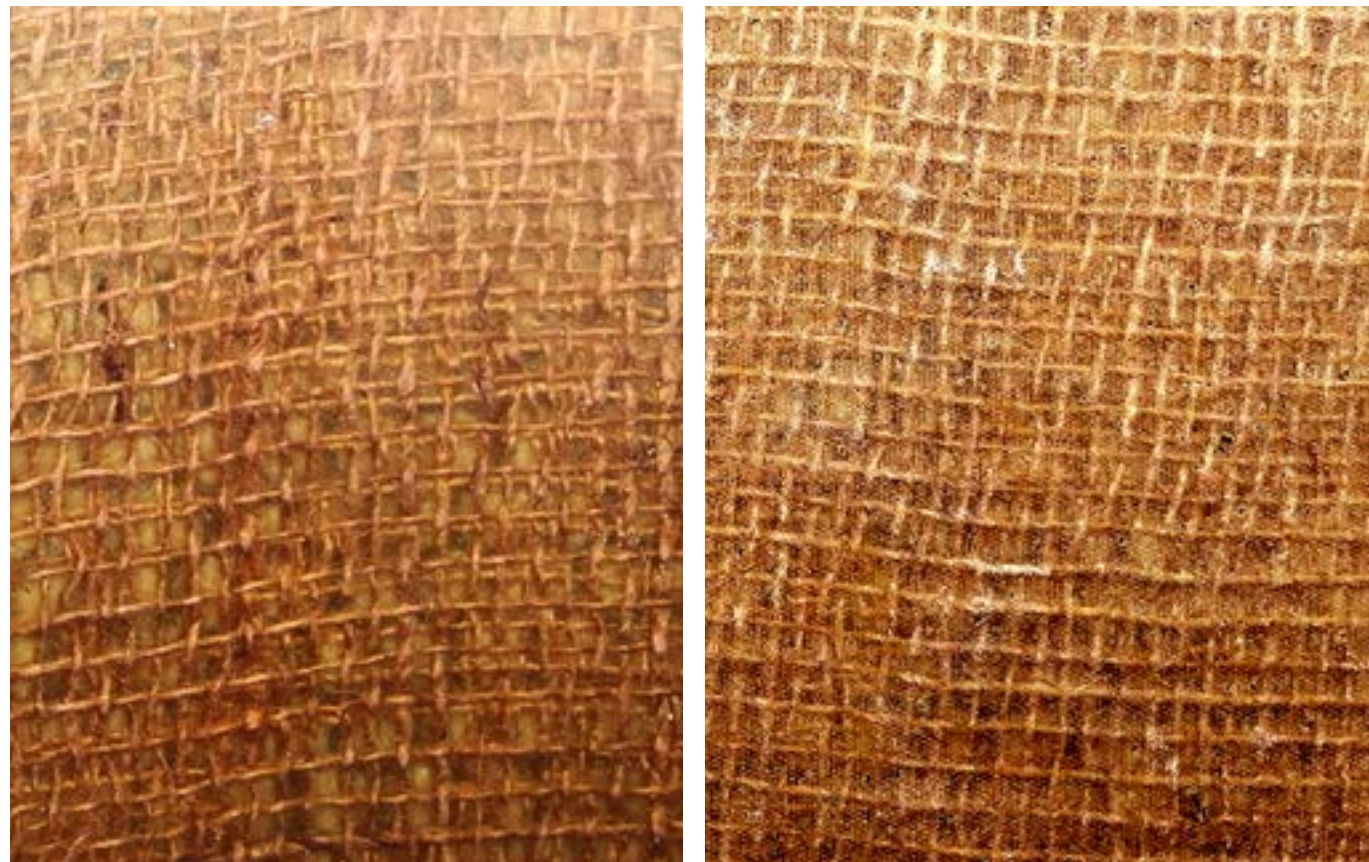


IMAGEN 3.10
Detalle de pieza Familia 2.
Elaboración propia, 2020.

FAMILIA 2

Esquema de esfuerzo	A/A/M/T/C/M/A/A
Espesor nominal⁸	11,9 mm nominal
Espesor real	6,2 mm promedio
Resina	Vinilester Palatal A430
T° Resina	20°C
Acelerado (Cobalto)	0,35%
Catalizado (Peróxido)	1,5%.
Peso de fibras	450 gr.
Resina de probeta	500 gr.
Resina sobrante	350 gr.

T° Ambiente	8°C	Humedad Ambiente	78%	Fecha	21/07/2020
Hora de inicio	17:03	Hora de término	17:22		
Hora geltime vaso	17:17	Hora geltime pieza	Toda la noche		

OBSERVACIONES

1. Catalizado sigue siendo muy alto, solo se llegó a impregnar ½ del molde. Siguiendo prueba se bajará el catalizado a 1%.
2. Pieza útil 40 cm de largo y 18 cm de ancho, se utilizará para obtener las probetas. A pesar de que no se llenara el molde las probetas obtenidas de la pieza son válidas para realizar las pruebas físicas, mecánicas y visuales solicitadas.
3. Se termina de secar pieza durante la noche con sellado, dadas las condiciones de temperatura y humedad.
4. Se decide implementar el uso de velo en las siguientes pruebas para probar si potencia las características visuales de las probetas, ya que al ser una fibra que queda rica en resina, podría aportar en la visualización de color.

TABLA 3.3

Tabla de especificaciones experimento Familia 2.

Elaboración propia, 2020.

⁸ Para espesores nominales se consideran los siguientes espesores

A = 1mm; M = 0,8mm; T = 1,3mm; V = 0,4mm; C = 5mm; Bx = 1,2mm; Tx = 1,5mm

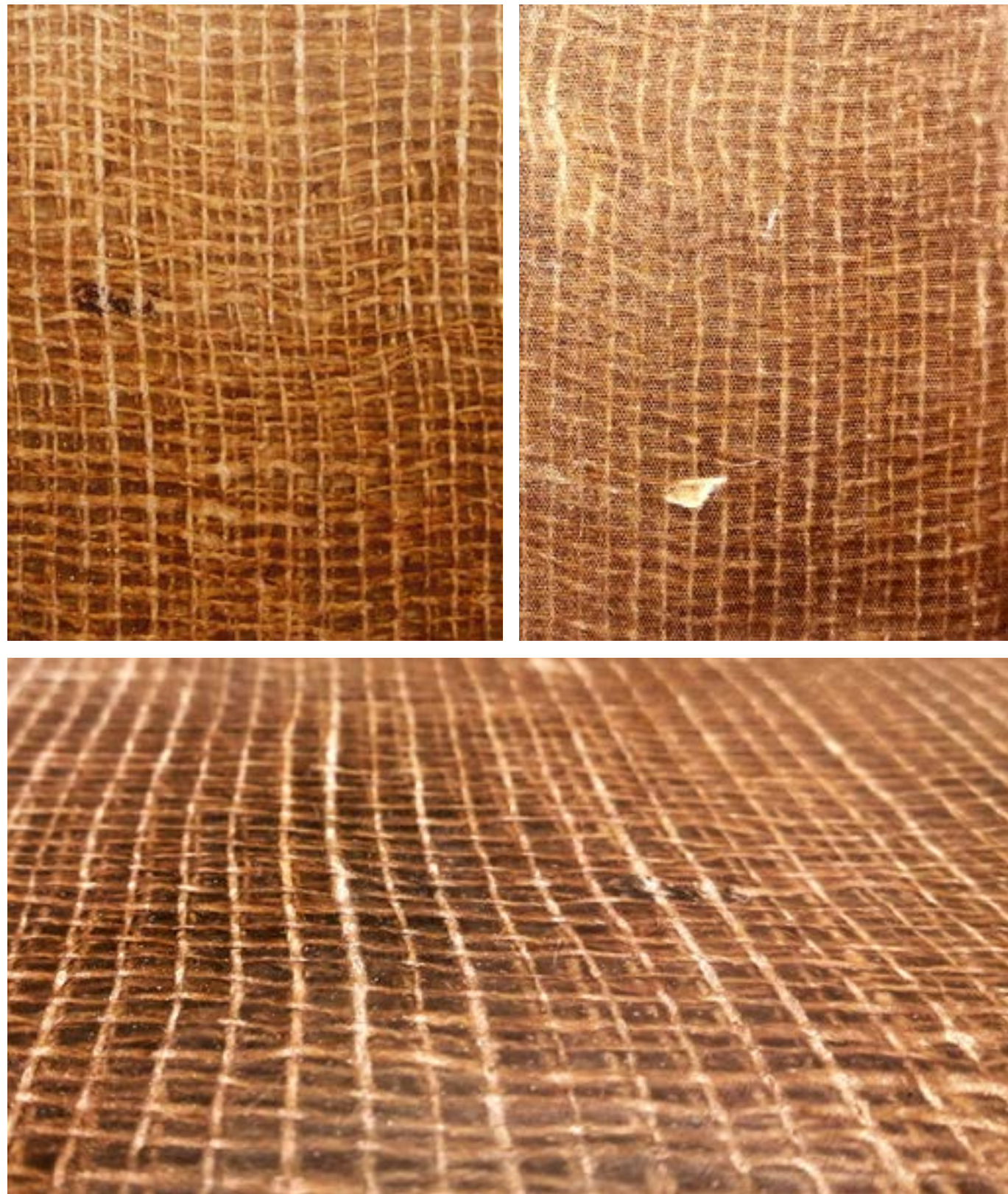


IMAGEN 3.11
Detalle de pieza Familia 3.
Elaboración propia, 2020.

FAMILIA 3

Esquema de esfuerzo	V/A/A/Bx/A/A/V
Espesor nominal⁹	6 mm nominal
Espesor real	3,4 mm promedio
Resina	Vinilester Palatal A430
T° Resina	29°C
Acelerado (Cobalto)	0,35%
Catalizado (Peróxido)	1%.
Peso de fibras	362 gr.
Resina de probeta	600 gr.
Resina sobrante	200 gr.

T° Ambiente	14,8°C	Humedad Ambiente	49%	Fecha	22/07/2020
Hora de inicio	11:31	Hora de término	11:51		
Hora geltime vaso	11:49	Hora geltime pieza	14:00		

OBSERVACIONES

1. Catalizado sigue siendo alto, solo se llegó a impregnar un poco más de ½ del molde.
2. Pieza útil 59 cm de largo y 190 de ancho, se utilizará para obtener las probetas. A pesar de que no se llenara el molde las probetas obtenidas de la pieza son válidas para realizar las pruebas físicas, mecánicas y visuales solicitadas.
3. Se descarta el uso del velo para las siguientes pruebas ya que no aporta como se esperaba visualmente.
4. Se decide intentar próxima prueba sin la tela negra de poliéster (ya que no es la ideal para este trabajo) es probable que este material esté frenando el avance de la resina. Se aplicará solo la malla aunque ésta quede pegada permitirá revisar si mejora sin la malla y buscar la posibilidad de encontrar otro sustituto del peel ply.

TABLA 3.4

Tabla de especificaciones experimento Familia 3.
Elaboración propia, 2020.

⁹ Para espesores nominales se consideran los siguientes espesores
A = 1mm; M = 0,8mm; T = 1,3mm; V = 0,4mm; C = 5mm; Bx = 1,2mm; Tx = 1,5mm



IMAGEN 3.12
Detalle de pieza Familia 4.
Elaboración propia, 2020.

FAMILIA 4

Esquema de esfuerzo	A/A/Tx/C/A/A
Espesor nominal¹⁰	10,5 mm nominal
Espesor real	6,4 mm promedio
Resina	Vinilester Palatal A430
T° Resina	33°C
Acelerado (Cobalto)	0,35%
Catalizado (Peróxido)	1%
Peso de fibras	400 gr.
Resina de probeta	800 gr.
Resina sobrante	0 gr.

T° Ambiente	12,4°C	Humedad Ambiente	46%	Fecha	22/07/2020
Hora de inicio	17:03	Hora de término	17:15		
Hora geltime vaso	17:09	Hora geltime pieza	Toda la noche		

OBSERVACIONES

1. Catalizado correcto, se llegó a impregnar $\frac{3}{4}$ del molde.
2. Pieza útil 64cm de largo y 180cm de ancho, se utilizará para obtener las probetas. A pesar de que no se llenara el molde las probetas obtenidas de la pieza son válidas para realizar las pruebas físicas, mecánicas y visuales solicitadas.
3. Se decide intentar con una prueba pequeña un sustituto para la tela negra como peel play. Se decide utilizar PEBD (Polietileno de Baja Densidad o bolsa de basura).
4. Esta probeta queda con malla difusora unida a su composición.

TABLA 3.5

Tabla de especificaciones experimento Familia 4.

Elaboración propia, 2020.

10 Para espesores nominales se consideran los siguientes espesores

A = 1mm; M = 0,8mm; T = 1,3mm; V = 0,4mm; C = 5mm; Bx = 1,2mm; Tx = 1,5mm



IMAGEN 3.13
Detalle de pieza Familia 5.
Elaboración propia, 2020.

FAMILIA 5

Esquema de esfuerzo	A/A/Tx/C/A/A
Espesor nominal¹¹	10,5 mm nominal
Espesor real	5,7 mm promedio
Resina	Vinilester Palatal A430
T° Resina	20°C
Acelerado (Cobalto)	0,35%
Catalizado (Peróxido)	1%.
Peso de fibras	400 gr.
Resina de probeta	500 gr.
Resina sobrante	100 gr.

T° Ambiente	18,4°C	Humedad Ambiente	36%	Fecha	22/07/2020
Hora de inicio	12:15	Hora de término	12:36		
Hora geltime vaso	13:00	Hora geltime pieza	17:00		

OBSERVACIONES

1. Catalizado y temperatura de la resina correcta, permitió completar el molde.
2. Pieza útil 100cm de largo y 18cm de ancho, se utilizará para obtener las probetas.

TABLA 3.6

Tabla de especificaciones experimento Familia 5.
Elaboración propia, 2020.

¹¹ Para espesores nominales se consideran los siguientes espesores
A = 1mm; M = 0,8mm; T = 1,3mm; V = 0,4mm; C = 5mm; Bx = 1,2mm; Tx = 1,5mm

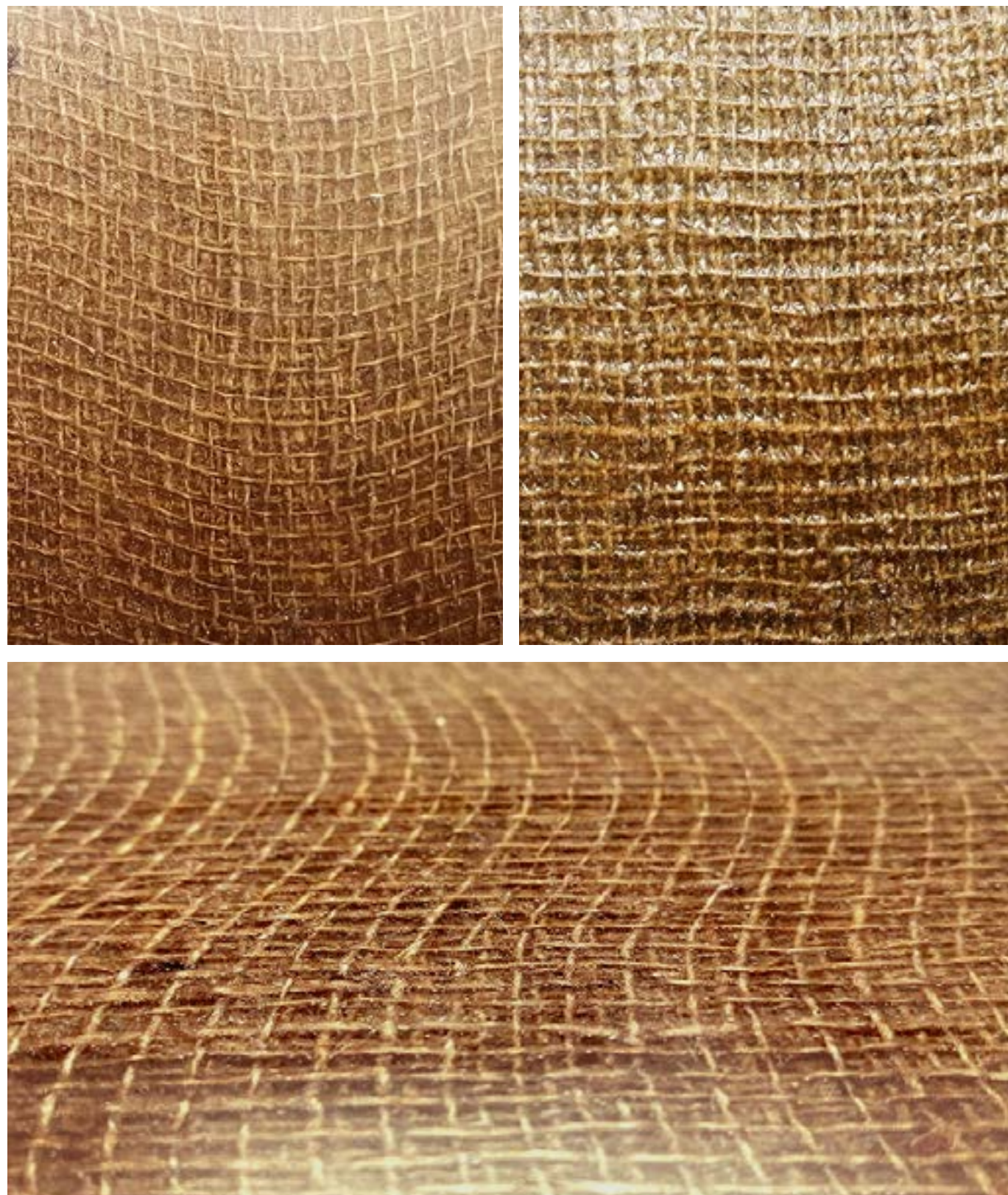


IMAGEN 3.14
Detalle de pieza Familia 6.
Elaboración propia, 2020.

FAMILIA 6

Esquema de esfuerzo	A/A/A/A
Espesor nominal¹²	4 mm nominal
Espesor real	2,7 mm promedio
Resina	Vinilester Palatal A430
T° Resina	25°C
Acelerado (Cobalto)	0,35%
Catalizado (Peróxido)	1%.
Peso de fibras	150 gr.
Resina de probeta	250 gr.
Resina sobrante	0 gr.

T° Ambiente	20°C	Humedad Ambiente	40%	Fecha	03/08/2020
Hora de inicio	15:25	Hora de término	15:40		
Hora geltime vaso	15:36	Hora geltime pieza	15:50		

OBSERVACIONES

1. Catalizado y temperatura de la resina correcta, permitió completar el molde.
2. Pieza útil 100cm de largo y 18cm de ancho.

TABLA 3.7

Tabla de especificaciones experimento Familia 6.
Elaboración propia, 2020.

¹² Para espesores nominales se consideran los siguientes espesores
A = 1mm; M = 0,8mm; T = 1,3mm; V = 0,4mm; C = 5mm; Bx = 1,2mm; Tx = 1,5mm

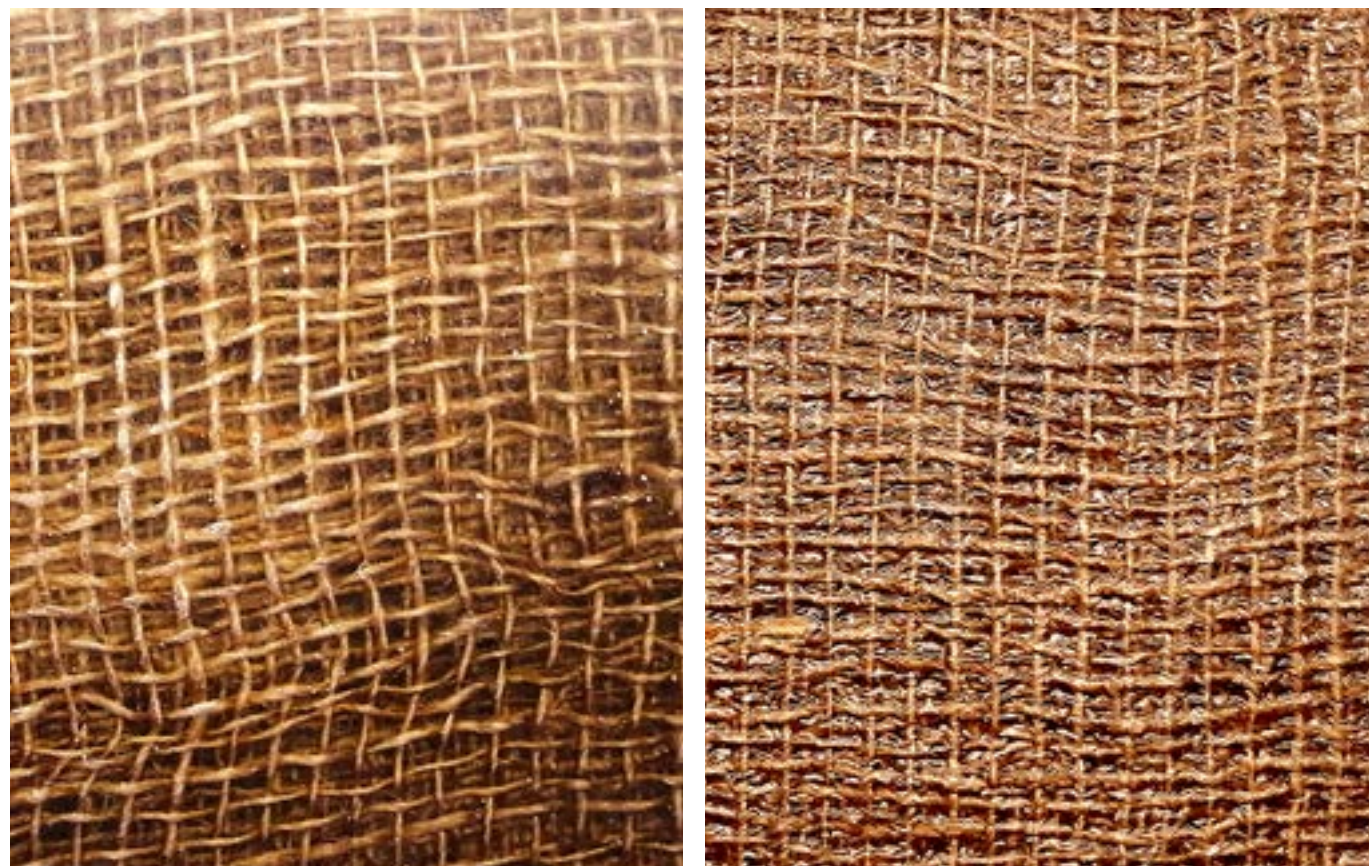


IMAGEN 3.15
Detalle de pieza Familia 7.
Elaboración propia, 2020.

FAMILIA 7

Esquema de esfuerzo	A/A/A/Bx/A/A/A/A
Espesor nominal¹³	9,2 mm nominal
Espesor real	5,4 mm promedio
Resina	Vinilester Palatal A430
T° Resina	22°C
Acelerado (Cobalto)	0,35%
Catalizado (Peróxido)	1%.
Peso de fibras	500 gr.
Resina de probeta	500 gr.
Resina sobrante	0 gr.

T° Ambiente	18,6°C	Humedad Ambiente	49%	Fecha	04/08/2020
Hora de inicio	13:00	Hora de término	13:30		
Hora geltime vaso	13:15	Hora geltime pieza	14:00		

OBSERVACIONES

1. Catalizado y temperatura de la resina correcta, permitió completar el molde.
2. Pieza útil 100cm de largo y 18cm de ancho.

TABLA 3.8

Tabla de especificaciones experimento Familia 7.
Elaboración propia, 2020.

¹³ Para espesores nominales se consideran los siguientes espesores
A = 1mm; M = 0,8mm; T = 1,3mm; V = 0,4mm; C = 5mm; Bx = 1,2mm; Tx = 1,5mm

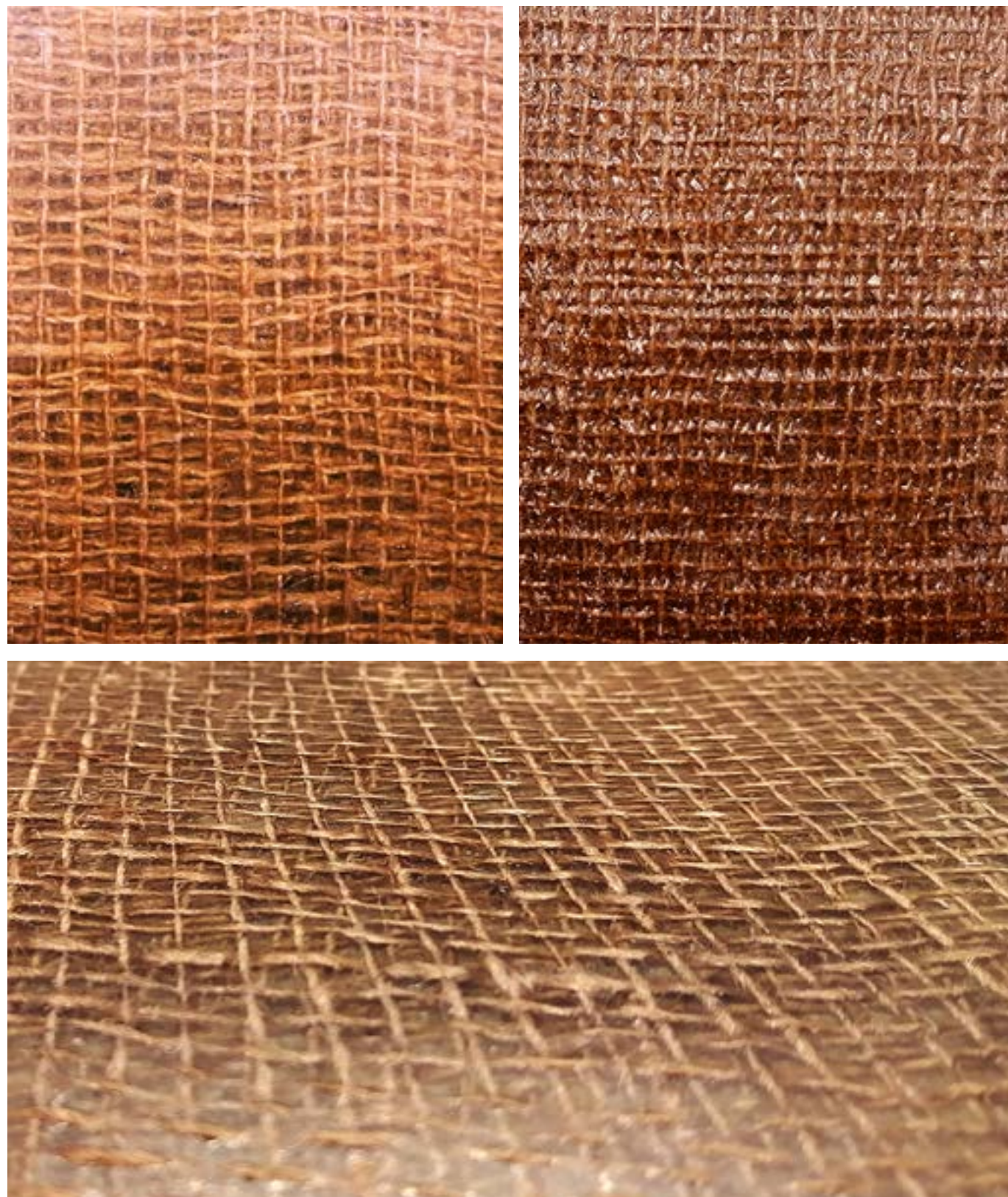


IMAGEN 3.16
Detalle de pieza Familia 8.
Elaboración propia, 2020.

FAMILIA 8

Esquema de esfuerzo	A/A/A/A/A/A/A
Espesor nominal¹⁴	8 mm nominal
Espesor real	4,8 mm promedio
Resina	Vinilester Palatal A430
T° Resina	23°C
Acelerado (Cobalto)	0,35%
Catalizado (Peróxido)	1%.
Peso de fibras	300 gr.
Resina de probeta	300 gr.
Resina sobrante	0 gr.

T° Ambiente	22°C	Humedad Ambiente	29%	Fecha	04/08/2020
Hora de inicio	16:28	Hora de término	16:50		
Hora geltime vaso	16:48	Hora geltime pieza	Toda la noche		

OBSERVACIONES

1. Catalizado y temperatura de la resina correcta, permitió completar el molde.
2. Pieza útil 100cm de largo y 18cm de ancho.

TABLA 3.9

Tabla de especificaciones experimento Familia 8.
Elaboración propia, 2020.

¹⁴ Para espesores nominales se consideran los siguientes espesores
A = 1mm; M = 0,8mm; T = 1,3mm; V = 0,4mm; C = 5mm; Bx = 1,2mm; Tx = 1,5mm

3.2.1 Prueba PEBD (Polietileno de Baja Densidad)



De izquierda a derecha:
IMAGEN 3.17
 Pieza Familia 4 con malla difusora y punto de inyección adherida por no uso de tela ni PEBD.
 Elaboración propia, 2020.

IMAGEN 3.18
 Bolsa de PEBD con perforaciones para utilizar como peel ply en pruebas de infusión.
 Elaboración propia. 2020.

IMAGEN 3.19
 Pieza familia 4 sin adherencia de PEBD.
 Elaboración propia, 2020.

Para la pieza de la Familia 4 no se utilizó la tela negra debido a que frenaba mucho el avance de la resina, pero al no tener esta capa la malla difusora e insumos se adhirieron a la pieza, como se puede ver en la Imagen 3.17. Se decidió usar como reemplazo PEBD o bolsas de basura para probar su efectividad en reemplazo del peel ply.

Como se puede apreciar en la Imagen 3.18, se hacen unas pequeñas perforaciones en la bolsa con la ayuda de una aguja, esto permitirá que el material respire. Se corta la bolsa de basura de la medida correspondiente para la probeta (1100x190mm) y se instala 1 capa antes de la malla difusora.

Se realizó una pequeña inyección de resina para que llene la primera parte de la probeta, esta se dejó gelar durante la noche. Al desmoldar la muestra, se ve que el PEBD no tiene ninguna adherencia a la muestra, por lo que se acepta como un sustituto aceptable para el peel ply en reemplazo de la tela negra.

A partir de la Familia 5, se utilizó la malla difusora y el PEBD en el proceso.

Resultados de pruebas de permeabilidad

Finalmente se obtienen 8 tipo de familias con distintos esquemas de refuerzo y características.

Una de las primeras decisiones a tomar es que la Familia 4 es eliminada de las muestras a analizar, ya que al quedar la malla difusora unida a la pieza no pasa el primer análisis visual, además de no calificar para los análisis técnicos ya que suma la malla difusora que no está incluida en la composición final del material.

A continuación, se presenta tabla y gráfico con datos de avance de la resina, y una imagen que muestra el avance final de las probetas durante las pruebas de infusión.

3.2.2 Resultados pruebas de permeabilidad

TIEMPO (seg)	DISTANCIA ACUMULADA (mm)							
	FAMILIA 1	FAMILIA 2	FAMILIA 3	FAMILIA 4	FAMILIA 5	FAMILIA 6	FAMILIA 7	FAMILIA 8
5	135	50	40	110	50	100	60	75
20	190	125	90	180	100	150	100	120
40	265	175	140	230	140	200	130	165
60	310	210	200	280	165	245	160	210
90	365	270	250	320	195	285	195	260
120	400	310	280	370	210	330	225	290
180	450	380	350	420	250	400	270	340
240	480	420	390	460	280	450	310	380
300	510	440	420	490	300	470	350	410

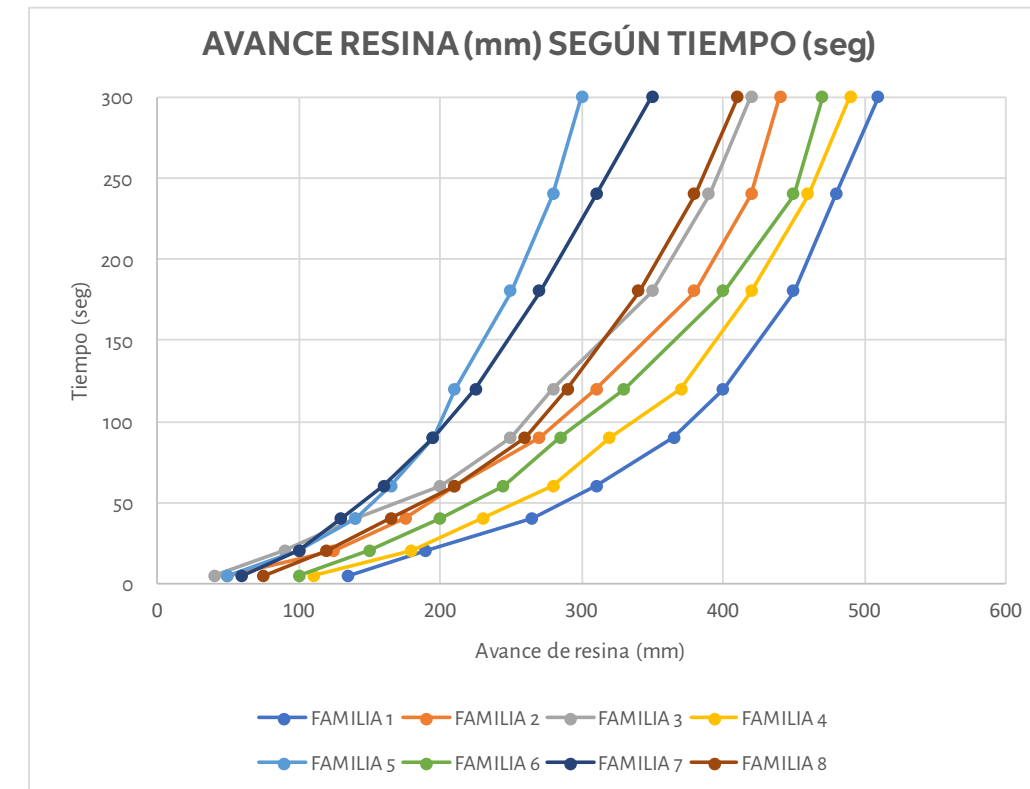
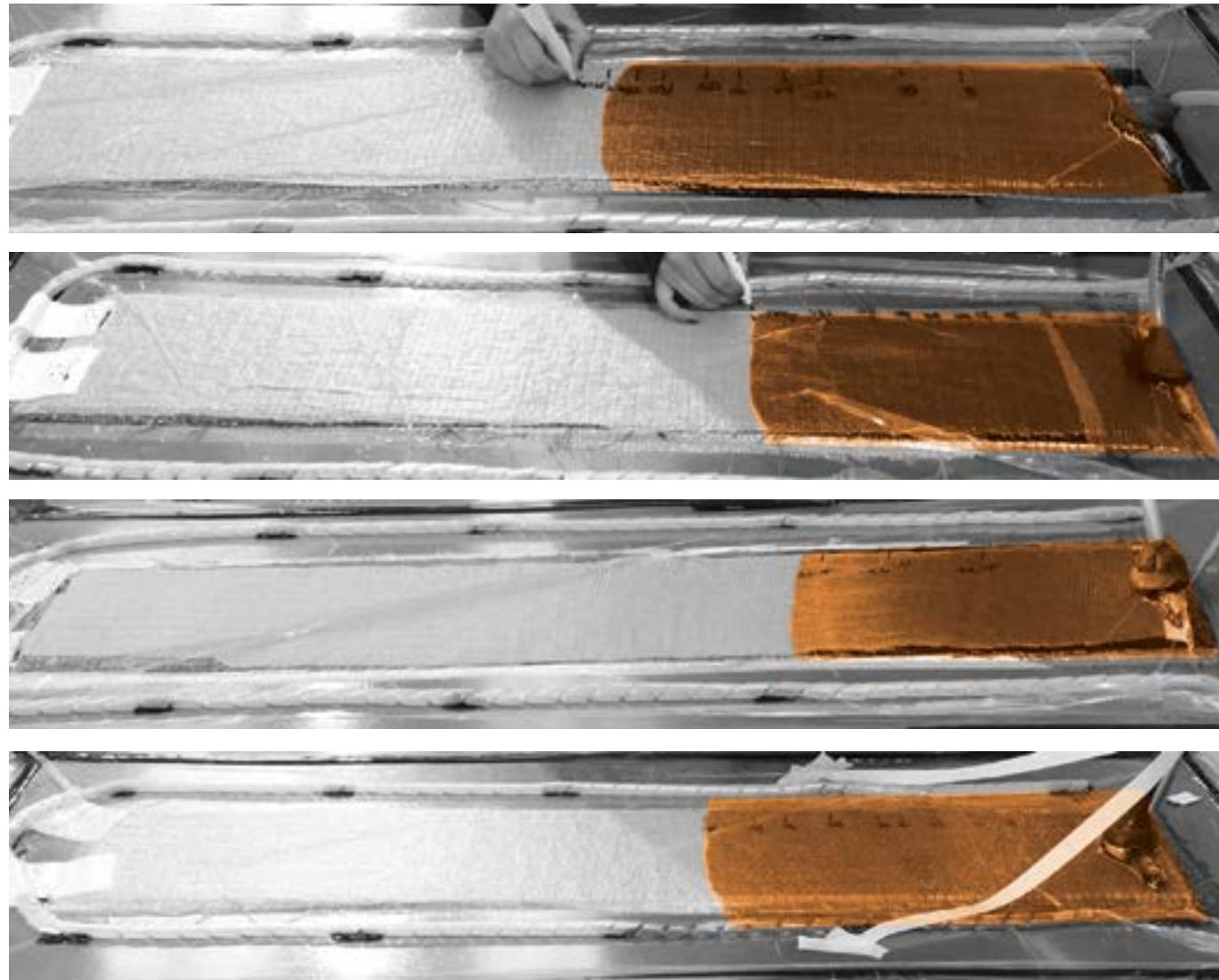


TABLA 3.10
 Pruebas de permeabilidad en Infusión, avance de resina según tiempo.
 Elaboración propia. 2020

GRÁFICO 3.1
 Pruebas de permeabilidad en Infusión, avance de resina según tiempo.
 Elaboración propia. 2020

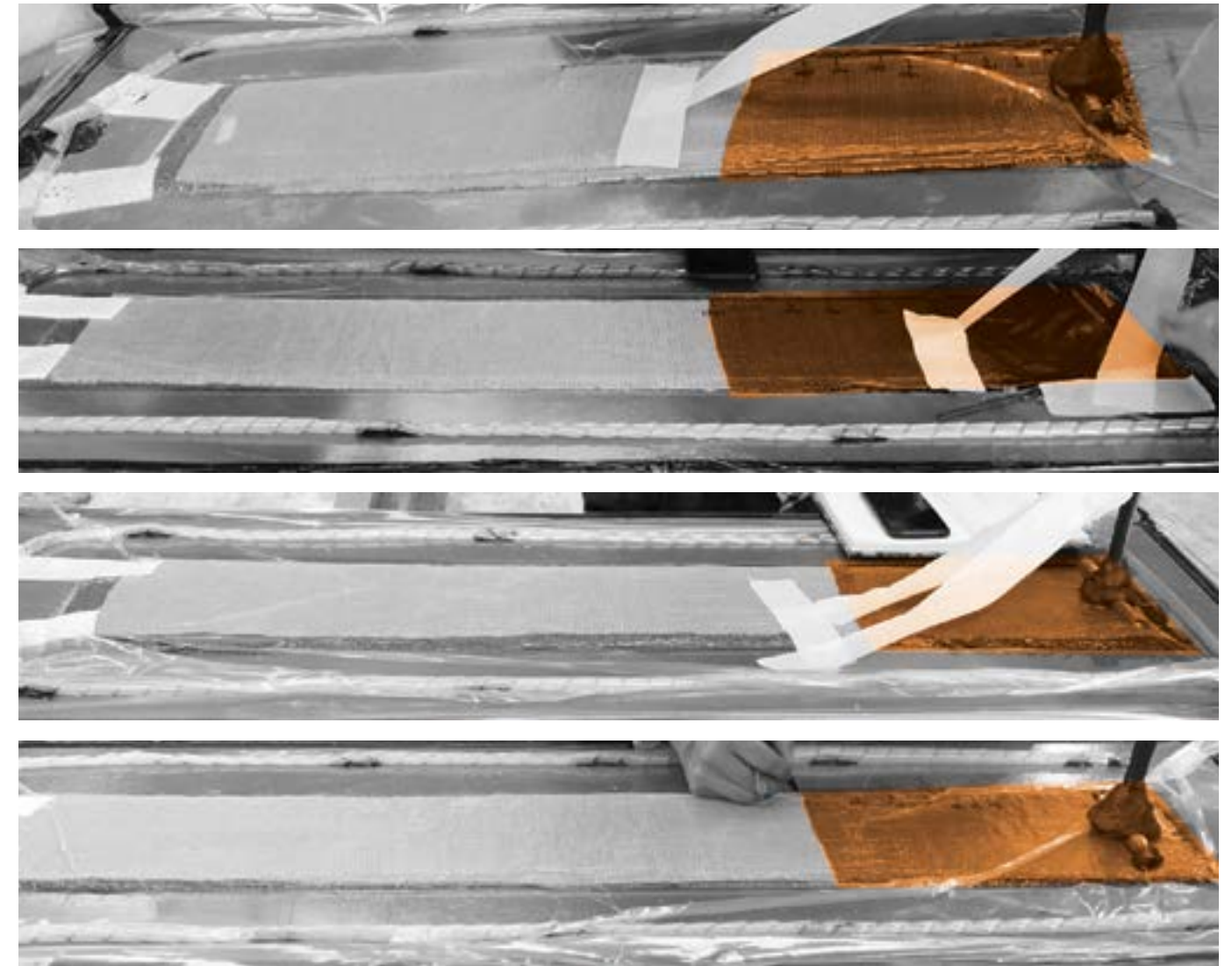


Las mediciones de avance se realizaron hasta los 5 minutos (300 segundos), ya que según el procedimiento anexo se determina que es suficiente la distancia obtenida para realizar los cálculos de permeabilidad aproximados.

Como se puede ver tanto en la Imagen 3.20 como en el Gráfico 3.1, la familia que logró avanzar más en el tiempo determinado fue la Familia 1, en segundo lugar se encuentra la familia 4, pero se presume que su buen desempeño es producto de que no se utilizó la tela negra, porque la resina avanzó más distancia y más rápido por la pieza debido a que la malla difusora estaba en contacto directo con las fibras. Se descarta este resultado como un pro, ya que la pieza final no fue la esperada.

El orden en que quedan las probetas según la mayor distancia de avance en el molde y el mayor porcentaje de llenado a los 300 segundos de prueba es el siguiente: Familia 2, Familia 6, Familia 3, Familia 8, Familia 7, Familia 5, respectivamente.

IMAGEN 3.20
Comparación de avance de resina a los 5 minutos de cada Familia.
Elaboración propia, 2020.



Cabe destacar que el análisis realizado es solo para tener una noción de cómo se comporta la resina frente a los refuerzos propuestos.

Para realizar los cálculos de permeabilidad se necesita la viscosidad de la resina utilizada, especificaciones que se encuentran en la Tabla 3.11

TABLA 3.11
Características Resina Vinil éster Palatal A-430,
Extraída de Certificado de análisis de lote, Lab. Control de Calidad, BASF, 2019.

Caract.inspección	Unidades	Resultados	Inf. Limite	Sup. Limite
contenido de sólidos	%	60,7	59,0	62,0
VISCOSIDAD BROOKFIELD RVT	mPa.s	480	440	500
ASPECTO		Corresponde		
END.FRÍO TIEMPO DE 25°C-35°C	min	12,0	10,0	13,0

Se realiza el cálculo de permeabilidad de las probetas de la siguiente forma:

Distancia (mm)	Tiempo (min)	Tiempo (seg)	Flujo (mm/seg)	x2 (m2)	x2/t (m2/s)	y (m2/s)
135	0,08	5	27,00	1,82E-02	3,65E-03	4,26E-02
190	0,33	20	9,50	3,61E-02	1,81E-03	5,48E-02
265	0,67	40	6,63	7,02E-02	1,76E-03	7,11E-02
310	1,00	60	5,17	9,61E-02	1,60E-03	8,74E-02
365	1,50	90	4,06	1,33E-01	1,48E-03	1,12E-01
400	2,00	120	3,33	1,60E-01	1,33E-03	1,36E-01
450	3,00	180	2,50	2,03E-01	1,13E-03	1,85E-01
480	4,00	240	2,00	2,30E-01	9,60E-04	2,34E-01
510	5,00	300	1,70	2,60E-01	8,67E-04	2,83E-01

TABLA 3.12
Cálculo de permeabilidad Familia 1.
Elaboración propia, 2020.

Diferencia Presión	0,0 (bar)
Fración de fibra/volumen	50%
Viscosidad de Resina	0,48 (Pa.s)

11,6032 (psi) 80000 (Pa)

400 (cP)

Pendiente	8,16E-04
Intercepción	3,85E-02

$2 \cdot DP / ((1 - Vf) \cdot \eta)$	6,67E+05
Permeabilidad ajustada	1,22E-09 m2

NOTAS: El resultado de las celdas naranjas es la permeabilidad
La gráfica de x2 vs tiempo debe ser una línea recta, de otra forma el análisis no es válido
No todos los puntos de dato serán incluidos en el ajuste, verifica pendiente e intercepción
La intercepción debe ser muy cercana a cero; no se utiliza para calcular la permeabilidad.

Velocidad de Flujo vs Distancia

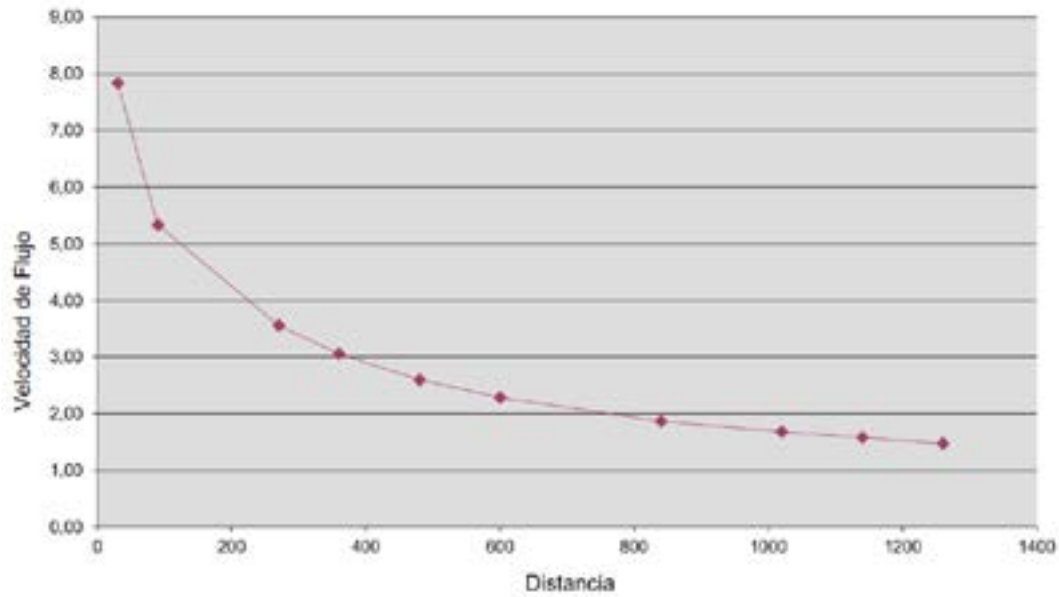


GRÁFICO 3.2
Velocidad de Flujo vs Distancia Familia 1.
Elaboración propia, 2020.

El gráfico 3.2 muestra la relación decreciente de avance en la prueba. Esto se repite en todas las piezas ya que al principio de las pruebas la resina entra de forma rápida y avanza más, luego, con el pasar del tiempo y a medida que empieza el proceso de catalización (endurecimiento), esta velocidad se ve disminuida. El resto de los cálculos y gráficos de las demás piezas se encuentran en los anexos.

	PERMEABILIDAD AJUSTADA (m2)
FAMILIA 1	1,10E-9
FAMILIA 2	1,09E-9
FAMILIA 3	1,15E-9
FAMILIA 4	1,56E-9
FAMILIA 5	4,93E-10
FAMILIA 6	1,40E-9
FAMILIA 7	5,99E-10
FAMILIA 8	8,43E-10
FAMILIAFRP	1,10E-9

TABLA 3.13
Velocidad de Flujo vs Distancia Probeta 1.
Elaboración propia, 2020.

Permeabilidad Ajustada (m2)

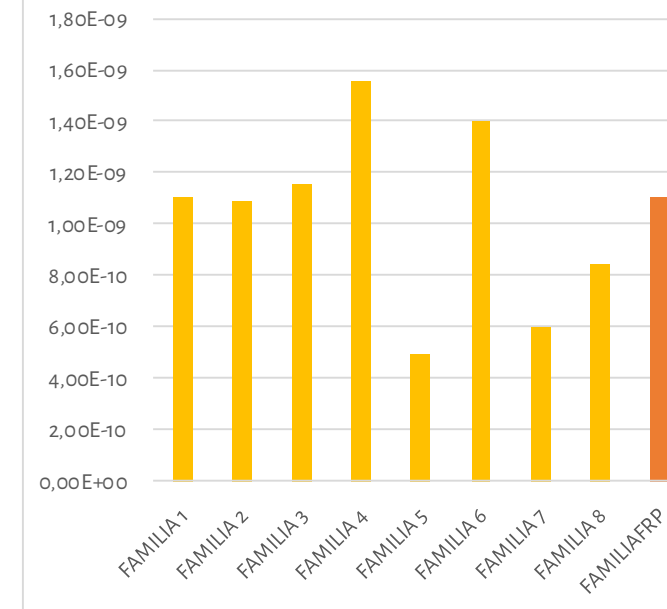


GRÁFICO 3.3
Velocidad de Flujo vs Distancia Probeta 1.
Elaboración propia, 2020.

Luego de los cálculos se puede observar que la Familia 4, que no utilizó ningún tipo de capa antiadherente, fue la que tuvo mejor permeabilidad ya que permitió un mejor avance del fluido (resina) entre las fibras, pero al tener la malla difusora pegada queda fuera del estudio.

Las Familias 1, 2 y 3 obtuvieron una permeabilidad similar entre $1,10E-09$ m² y $1,15E-09$ m². Estas tres piezas resultantes tienen fibra de vidrio en sus esquemas de refuerzo, específicamente un *cover*, un *cover* con *coreflow* y *biaxial* respectivamente.

El mejor resultado de permeabilidad lo obtuvo la Probeta 6 con $1,40 E-09$ m² ($0,0000000140$ m²) que está compuesta por cuatro capas de arpillera solamente, por lo que se comprueba que el yute arpillera permite que la resina fluya y se impregne de buena forma para generar el compuesto. Además, la permeabilidad de la Familia 8, que está compuesta por ocho capas de arpillera, se ve reducida en un 40 % del valor de la Familia 6, resultando en $8,43E-10$ m² ($0,0000000084$ m²).

El valor de la permeabilidad de la pieza fabricada solo con mats y telas (M/T/M/T/M/T/M) es de $1,10E-09$ m² ($0,0000000110$ m²), cerca de los valores de las probetas fabricadas con fibra dentro de los esquemas, pero no tan distante a la permeabilidad obtenida por la Familia 8 que solo está compuesta por arpillera.

Se concluye que la arpillera es un material apto para utilizar en el proceso de infusión ya que tiene una permeabilidad aceptable frente a resinas con viscosidad similar a la Vinilester Palatal A430 (480 cP).

3.3 Ensayos de físicos

3.2.1 Prueba PEBD (Polietileno de Baja Densidad)



De izquierda a derecha:

IMAGEN 3.21
Instrumento de medición de dureza durómetro Barcol Rockwell/Brinell/Webster, Elaboración propia, 2020.

IMAGEN 3.22
Medición de dureza Barcol en probeta 3.1. Elaboración propia, 2020.

La dureza es la propiedad física que establece la oposición de los materiales a cualquier tipo de modificación superficial como rayado, cortes o abrasión. Las mediciones de dureza barcol se realizaron con el durómetro Hardness Tester Rockwell/Brinell/Webster como el que se muestra en la Imagen 3.21, calibrado y certificado en Servicio de Metrología Integral número SMI-112752DU (certificado en anexos). Se procedió a testear las probetas de cada familia en una superficie plana y resistente, aplicando presión con el instrumento en 6 puntos distintos de la probeta. Los valores de dureza resultantes se presentan en siguientes tablas:

FAMILIA 1								
A/A/M/T/M/A								
PROBETA	DUREZA BARCOL (HBa)						PROM (Hba)	OBSERVACIÓN
1.1	10	-	-	-	12	15	12	Dificultad de medición, fibra muy expuesta, aguja se clava en pieza
1.2	12	15	-	-	-	15	14	
1.3	16	16	-	-	-	18	17	PROMEDIO DUREZA PROBETAS
1.4	15	-	12	-	-	10	12	13,83

TABLA 3.14
Resultados de dureza probetas Familia 1. Elaboración propia, 2020.

FAMILIA 2								
A/A/M/T/X/M/A/A								
PROBETA	DUREZA BARCOL (HBa)						PROM (Hba)	OBSERVACIÓN
2.1	20	28	15	18	24	20	21	No existe dificultad de medición
2.2	22	15	22	18	25	15	20	
2.3	15	18	20	15	19	13	17	PROMEDIO DUREZA PROBETAS
2.4	14	15	15	18	20	18	17	

TABLA 3.15
Resultados de dureza probetas Familia 2.
Elaboración propia, 2020.

FAMILIA 3								
V/A/A/Bx/A/A/V								
PROBETA	DUREZA BARCOL (HBa)						PROM (Hba)	OBSERVACIÓN
3.1	12	-	15	-	-	18	15	Dificultad de medición, fibra expuesta, aguja se clava en pieza
3.2	18	10	-	-	-	10	13	
3.3	18	22	18	-	-	20	20	
3.4	12	18	-	12	-	25	17	PROMEDIO DUREZA PROBETAS
3.5	12	18	-	15	-	18	16	

TABLA 3.16
Resultados de dureza probetas Familia 3.
Elaboración propia, 2020.

FAMILIA 5								
A/A/Tx/C/A/A								
PROBETA	DUREZA BARCOL (HBa)						PROM (Hba)	OBSERVACIÓN
5.1	20	18	15	20	18	20	19	No existe dificultad de medición
5.2	22	15	22	18	20	18	19	
5.3	15	20	15	18	22	18	18	
5.4	20	22	18	20	15	18	19	
5.5	20	20	18	22	18	20	20	
5.6	22	22	20	18	18	15	19	
5.7	20	20	15	18	20	18	19	PROMEDIO DUREZA PROBETAS
5.8	20	22	18	22	20	18	20	

TABLA 3.17
Resultados de dureza probetas Familia 5.
Elaboración propia, 2020.

FAMILIA 6								
A/A/A/A								
PROBETA	DUREZA BARCOL (HBa)						PROM (Hba)	OBSERVACIÓN
6.1	20	18	15	18	18	20	18	No existe dificultad de medición
6.2	20	18	20	22	24	25	22	
6.3	27	22	18	20	15	20	20	
6.4	18	18	22	22	25	25	22	
6.5	20	20	18	15	15	22	18	
6.6	25	22	22	18	15	22	21	PROMEDIO DUREZA PROBETAS
6.7	22	20	22	18	18	20	20	

TABLA 3.18
Resultados de dureza probetas Familia 6.
Elaboración propia, 2020.

FAMILIA 7								
A/A/A/Tx/A/A/A								
PROBETA	DUREZA BARCOL (HBa)						PROM (Hba)	OBSERVACIÓN
7.1	18	16	15	22	18	18	18	No existe dificultad de medición
7.2	12	15	18	20	15	20	17	
7.3	20	22	18	20	22	15	20	
7.4	20	20	18	18	22	25	21	
7.5	28	25	20	22	25	22	24	
7.6	20	18	15	15	15	22	18	
7.7	15	15	18	20	22	22	19	
7.8	18	18	20	22	25	25	21	
7.9	20	15	20	22	18	20	19	
7.10	25	22	22	20	18	18	21	19,57

TABLA 3.19
Resultados de dureza probetas Familia 7.
Elaboración propia, 2020.

FAMILIA 8								
A/A/A/A/A/A/A								
PROBETA	DUREZA BARCOL (HBa)						PROM (Hba)	OBSERVACIÓN
8.1	20	20	18	22	22	20	20	No existe dificultad de medición
8.2	15	18	25	25	18	20	20	
8.3	12	12	18	12	12	12	13	
8.4	18	20	22	15	18	25	20	
8.5	25	22	22	20	22	20	22	
8.6	25	30	25	28	30	32	28	
8.7	25	25	18	15	22	20	21	
8.8	22	25	20	18	25	22	22	
8.9	20	28	20	18	22	22	22	
8.10	22	22	18	20	25	27	22	
PROMEDIO DUREZA PROBETAS							21,02	

TABLA 3.20
Resultados de dureza
probetas Familia 8.
Elaboración propia, 2020.

Las dificultades de medición que se presentaron en las probetas de las familias 1, 2 y 3 se debe a que no se logró obtener un material compuesto homogéneo y sellado, la aguja del medidor se clavaba en las fibras expuestas que no tenían resina, por lo que no se obtuvieron resultados positivos.

Para FRP los valores de dureza barcol ideales son de 30-70 Hba, pero considerando que este material tiene fibra vegetal, se considera una dureza aceptable para un composite valores iguales o superiores a 18 Hba (ASTM D2583), por lo que las probetas que no cumple con este criterio son las familias número 1 y 3. Las demás probetas resultaron tener valores similares a la dureza de la fibra de vidrio sola, por lo que se encuentran dentro de la norma y se considera un atributo del material.

3.2.2 Filtro defectos técnicos y visuales

Se realiza un filtro intermedio considerando los defectos técnicos y visuales que presentaron las probetas realizadas. Se evalúa del 1 al 3, siendo 1 completamente existente el defecto, 2 medianamente existente y 3 no existente.

	Defectos Técnicos			Defectos Visuales		
	Burbujas	Mala Humectación	Falta de Dureza	Terminación Rugosa	Poco Protagonismo Arpillera	Poco Traslúcido
PROBETAS F1	3	1	1	1	3	1
PROBETAS F2	1	2	2	3	1	1
PROBETAS F3	3	2	1	2	3	1
PROBETAS F4	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
PROBETAS F5	2	3	3	3	2	1
PROBETAS F6	3	3	2	3	3	3
PROBETAS F7	2	3	3	3	3	2
PROBETAS F8	3	3	3	3	3	2

TABLA 3.21
Evaluación de defectos
técnicos y visuales de
probetas según familia.
Elaboración propia, 2020.

Se sumaron los valores presentados en la tabla 3.21 de las probetas, siendo los 6 aspectos igualmente importantes, y se obtienen los siguientes totales:

P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
10	10	12	0	14	17	16	17

Según los criterios establecidos en primera instancia (permeabilidad, medición de dureza barcol, control de defectos), se descartan las 4 familias de probetas que obtienen el menor resultado, en este caso serían las probetas de familias número 1-2-3-4.

En conclusión, se descartan las siguientes familias:

FAMILIA 1 (P1.1 a P1.4):

- Permeabilidad aceptable, pero falla en prueba.
- Defectos técnicos evidentes, presencia en gran parte de fibra expuesta (peligro de ingreso de humedad a material al ser fibra orgánica), burbujas y terminación rugosa por cara posterior.
- Defecto de dureza, dificultad para la medición debido a las fibras expuestas, además de tener un promedio de 12, lo que está bajo de norma para polímeros con resinas vinil éster.

FAMILIA 2 (2.1-2.4):

- Permeabilidad aceptable, pero falla en prueba.

- Defectos técnicos, presencia de fibra expuesta en pequeñas zonas, pero se mantiene el peligro de ingreso de humedad al material, además de terminación rugosa y opaca en cara posterior.
- Sin bien la dureza está dentro de los parámetros aceptables, los dos criterios antes mencionados hacen que la probeta sea descartada.

FAMILIA 3 (3.1 – 3.5):

- Permeabilidad aceptable, pero falla en prueba.
- Defectos técnicos, presencia de fibra expuesta en pequeñas zonas, pero se mantiene el peligro de ingreso de humedad al material, además de presencia de muchas burbujas, terminación rugosa y opaca en cara posterior.

FAMILIA 4:

- Se descarta principalmente por la terminación de cara posterior, que quedó con malla difusora incrustada en probeta, lo que no es aceptable para el estudio.
- No se mide dureza por la misma razón.
- Probetas de Familia 5 tiene mismo esquema de refuerzo, por lo que se considera como una pérdida aceptable.

3.3.3. Ensayos de hinchamiento y absorción de agua

Para los ensayos de hinchamiento y absorción de agua, se sumergieron 2 probetas en un recipiente de 220x220x60mm con 1.5 litros de agua.

Para que la prueba sea válida se deben sumergir 24 horas y ahí evaluar si existen cambios en el espesor (hinchamiento) o en su peso (absorción de agua).

La Probeta 5.4 y 6.4 se sumergen juntas con un peso (ya que su densidad es $<1 \text{ gr/cm}^3$ por lo que flotan), y las Probetas 7.6 y 8.6 se sumergen juntas sin peso ya que se hunden (densidad $>1 \text{ gr/cm}^3$).

Se evaluaron las 4 probetas pasadas las 24 horas en cuanto a peso y dimensiones, obteniendo como resultado los mismos valores anteriores, por lo que se puede determinar que el material no tiene la capacidad de hinchamiento y absorción de agua.

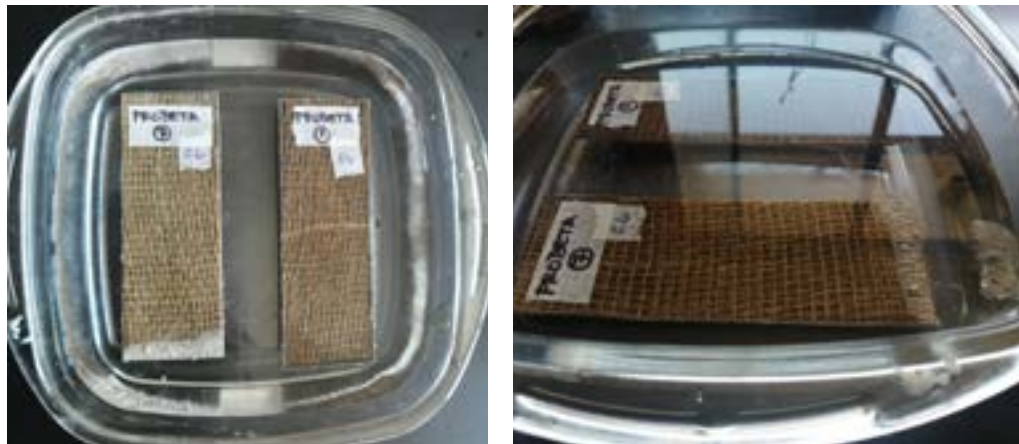


IMAGEN 3.23
Probetas 7.6 y 8.6 sumergidas.
Elaboración propia, 2020

3.3.4. Ensayos de quemado

El ensayo de quemado del material fue realizado con el objetivo de ver que sucedía con las fibras vegetales, ya que la fibra de vidrio no se quema a 600°C .

Para las pruebas se utilizó el horno Thermo Scientific (Imagen 3.24) y una placa de cerámica para posicionar las probetas (Imagen 3.25).

Se realiza la prueba con la probeta 8.1 (esquema A/A/A/A/A/A/A/A) con dimensiones $54 \times 50 \text{ mm}$ y peso de $13,01 \text{ gr.}$ a 600°C durante 45 minutos. Pasado ese tiempo se obtuvo como resultado que la fibra vegetal se vuelve polvo como se puede ver en la Imagen 3.27, debido a que la temperatura es demasiado alta para este tipo de fibra.

Se repite el procedimiento con una segunda porción de probeta 8.1 con dimensiones $38 \times 50 \text{ mm}$ y peso $10,27 \text{ gr.}$ a 500°C por 30 minutos, obteniendo el mismo resultado anterior.

Se pesó de igual forma el resultado, obteniendo $0,07 \text{ gr.}$ y $0,05 \text{ gr.}$ respectivamente, por lo que ambas probetas redujeron en un $99,5 \%$ su peso.



IMAGEN 3.24
Horno de quemado Thermo Scientific Thermolyne.
Elaboración propia, 2020

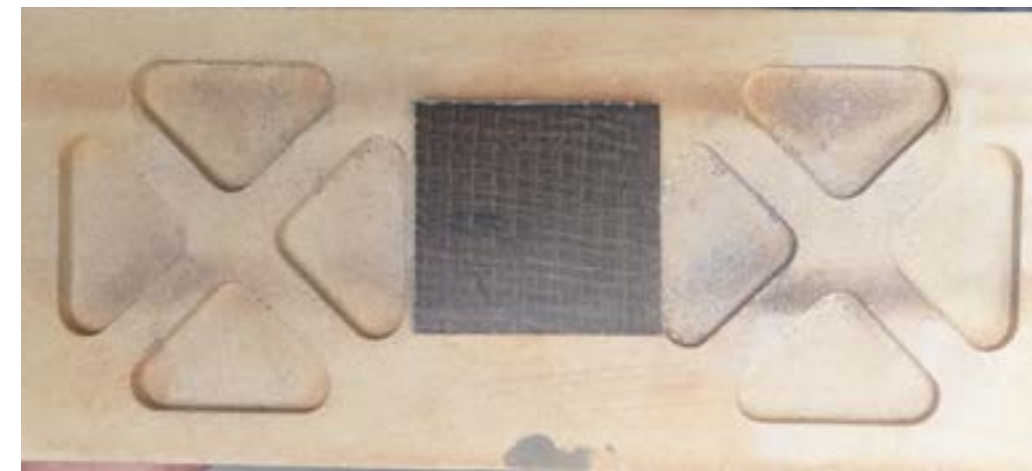


IMAGEN 3.25
Placa de cerámica para.
Elaboración propia, 2020.

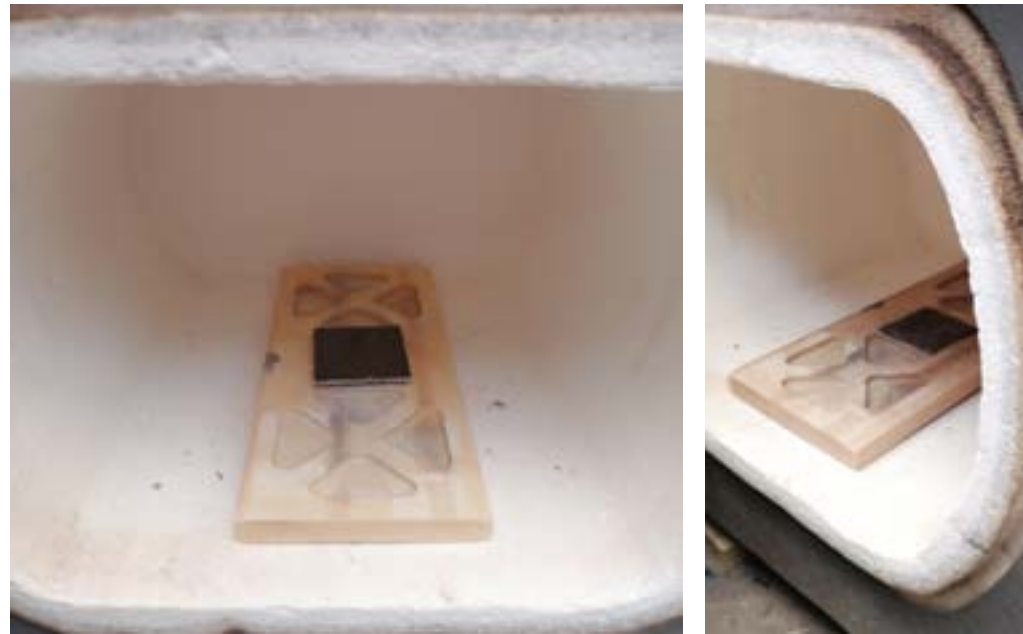


IMAGEN 3.26
Extractos de Probeta 8.1 en horno de quemado.
Elaboración propia, 2020.



IMAGEN 3.27
Resultado probeta después de prueba de quemado.
Elaboración propia, 2020.

Se concluye que para poder realizar esta prueba con la finalidad de obtener la proporción fibra resina correcta, se debe realizar con probetas que contengan fibra de vidrio para tener cargas consideradas que no se quemen como la arpillera, también se recomienda que se realice a una temperatura de 350 – 400°C máximo bajo supervisión cada 15 minutos para ver cómo se comporta el composite.

3.4 Ensayos mecánicos

Para los ensayos de flexión y tracción, las probetas necesarias se obtuvieron como resultado de cortar las placas infusionadas, con una separación de 156 mm entre corte, considerando normal ASTM D-647. Las dimensiones de las probetas a utilizar se especifican a continuación.

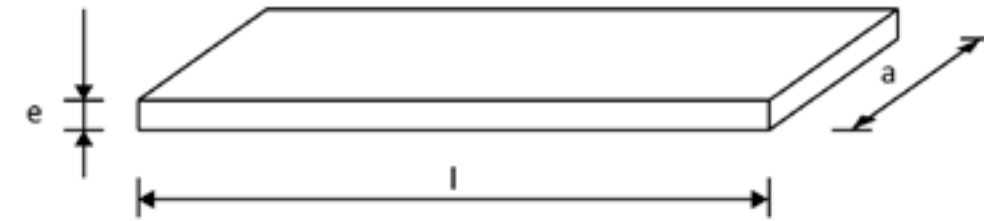


IMAGEN 3.28
Figura tipo dimensiones probetas.
Elaboración propia, 2020.

FAMILIA 5										
A/A/Tx/C/A/A										
PROBETA	LARGO (mm)	ANCHO (mm)	ESPEORES (mm)			E PROM (mm)	ÁREA (cm ²)	VOLUMEN (cm ³)	MASA (gr)	DENSIDAD (gr/cm ³)
5.1	155	55	5,8	5,5	5,5	5,6	3,1	47,7	43,6	0,9133
5.2	155	55	5,8	5,6	5,7	5,7	3,1	48,6	44,5	0,9158
5.3	156	54	5,4	5,6	5,7	5,6	3,0	46,9	42,6	0,9084
5.4	155	53	5,7	5,5	6,0	5,7	3,0	47,1	41,4	0,8790
5.5	154	57	5,7	5,8	5,8	5,8	3,3	50,6	44,3	0,8752
5.6	154	53	5,7	5,7	5,7	5,7	3,0	46,5	39,3	0,8447
5.7	154	53	6,0	5,8	5,5	5,8	3,1	47,1	41,3	0,8775
5.8	153	56	6,0	5,8	5,8	5,9	3,3	50,3	42,5	0,8455
DENSIDAD PROMEDIO (gr/cm ³)										
0,8824										

TABLA 3.22
Información características físicas probetas Familia 5.
Elaboración propia, 2020.

FAMILIA 6											
A/A/A/A											
PROBETA	LARGO (mm)	ANCHO (mm)	ESPESORES (mm)			E PROM (mm)	ÁREA (cm ²)	VOLUMEN (cm ³)	MASA (gr)	DENSIDAD (gr/cm ³)	
6.1	156	54	2,6	2,6	2,3	2,5	1,4	21,1	20,5	0,9734	
6.2	157	53	2,7	2,7	2,6	2,7	1,4	22,2	21,0	0,9464	
6.3	158	57	2,7	2,7	3,0	2,8	1,6	25,2	26,5	1,0509	
6.4	157	55	3,0	2,9	2,7	2,9	1,6	24,8	23,3	0,9413	
6.5	156	56	2,6	3,0	2,6	2,7	1,5	23,9	22,4	0,9381	
6.6	155	54	2,6	3,0	2,4	2,7	1,4	22,3	20,5	0,9185	
6.7	154	57	2,5	2,7	2,6	2,6	1,5	22,8	19,9	0,8719	

DENSIDAD PROMEDIO (gr/cm ³)	
0,9486	

FAMILIA 7											
A/A/A/A/Tx/A/A/A/A											
PROBETA	LARGO (mm)	ANCHO (mm)	ESPESORES (mm)			E PROM (mm)	ÁREA (cm ²)	VOLUMEN (cm ³)	MASA (gr)	DENSIDAD (gr/cm ³)	
7.1	158	53	5,3	5,6	5,6	5,5	2,9	46,1	51,6	1,1204	
7.2	159	57	5,7	5,2	5,5	5,5	3,1	49,5	52,0	1,0496	
7.3	157	54	5,0	5,0	5,1	5,0	2,7	42,7	50,1	1,1741	
7.4	158	55	5,6	5,3	5,3	5,4	3,0	46,9	52,4	1,1167	
7.5	160	55	5,5	5,3	5,3	5,4	3,0	47,2	54,2	1,1477	
7.6	158	57	5,5	5,3	5,2	5,3	3,0	48,0	54,5	1,1347	
7.7	158	54	5,8	5,6	5,5	5,6	3,0	48,1	50,0	1,0403	
7.8	158	56	6,0	6,4	6,2	6,2	3,5	54,9	50,4	0,9187	
7.9	151	54	5,4	5,5	5,5	5,5	3,0	44,6	49,0	1,0993	
7.10	152	58	5,2	5,2	5,6	5,3	3,1	47,0	49,0	1,0421	

DENSIDAD PROMEDIO (gr/cm ³)	
1,0843	

TABLA 3.23
 Información características físicas probetas Familia 6.
 Elaboración propia, 2020.

TABLA 3.24
 Información características físicas probetas Familia 7.
 Elaboración propia, 2020.

PROBETA 8											
A/A/A/A/A/A/A/A											
PROBETA	LARGO (mm)	ANCHO (mm)	ESPESORES (mm)			E PROM (mm)	ÁREA (cm ²)	VOLUMEN (cm ³)	MASA (gr)	DENSIDAD (gr/cm ³)	
8.1	159	51	4,4	5,0	4,5	4,6	2,4	37,6	38,4	1,0220	
8.2	158	55	4,9	4,9	4,6	4,8	2,6	41,7	45,1	1,0812	
8.3	157	57	4,5	4,4	4,6	4,5	2,6	40,3	43,3	1,0752	
8.4	157	52	4,4	4,5	4,8	4,6	2,4	37,3	39,7	1,0648	
8.5	158	53	4,7	4,4	4,4	4,5	2,4	37,7	40,7	1,0801	
8.6	160	55	6,0	5,2	6,0	5,7	3,2	50,5	45,2	0,8959	
8.7	153	56	4,1	5,5	4,6	4,7	2,7	40,6	39,1	0,9641	
8.8	153	54	4,3	4,2	4,2	4,2	2,3	35,0	37,0	1,0579	
8.9	157	57	4,4	4,4	4,5	4,4	2,5	39,7	41,6	1,0485	
8.10	158	54	4,6	4,9	4,9	4,8	2,6	41,0	40,1	0,9792	

DENSIDAD PROMEDIO (gr/cm ³)	
1,0269	

TABLA 3.25
 Información características físicas probetas Familia 8.
 Elaboración propia, 2020.

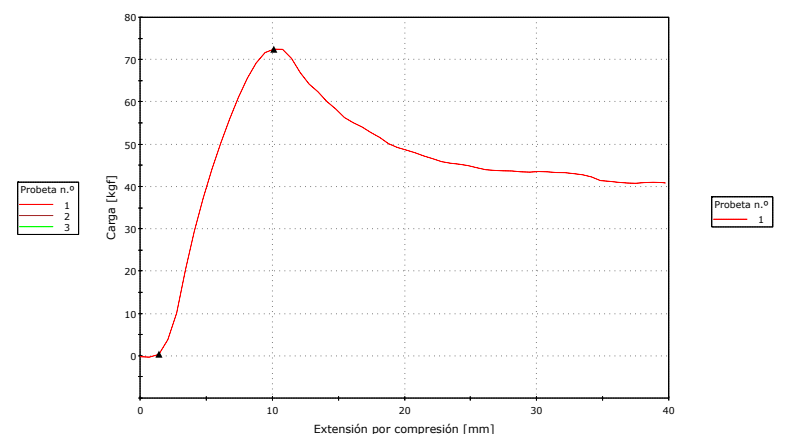
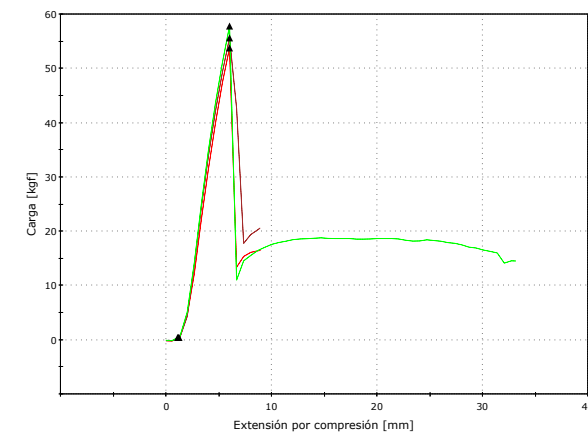


GRÁFICO 3.4 Y 3.5
 Ensayo de Flexión Probetas 5.1, 5.2, 5.4 (izquierda) y Probeta 5.3 inv. (derecha).
 Software Instron Tecsis 3369, 2020.

FAMILIA 5		4 CAPAS COMBI TRI	
A/A/C/Tx/A/A	CARGA MAX (kgf)	DESP. MAX (mm)	d PRECARGA (mm)
PROBETA 5.1	53,7589	6,0133	1,1815
PROBETA 5.2	55,6093	6,0133	1,2266
PROBETA 5.4	57,8047	6,0133	1,1009
MEDIA	55,7243	6,0133	1,1697
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	2,0254	0,0000	0,0637
A/A/Tx/C/A/A	CARGA MAX (kgf)	DESP. MAX (mm)	d PRECARGA (mm)
PROBETA 5.3	72,4625	10,1067	1,4273
MEDIA	72,4625	10,1067	1,4273
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	-	-	-

TABLA 3.26
Resultados pruebas de flexión probetas Familia 5.
Software Instron Tectis, 2020.

3.4.1 Ensayos de Flexión

Los ensayos de flexión se realizaron en el Laboratorio de Materiales de la Universidad Tecnológica Metropolitana (UTEM), prueba de alta velocidad de deformación o impacto en flexión con 3 apoyos según Norma Europea¹⁵. Se utilizaron 3 probetas de cada familia.



De izquierda a derecha:
IMAGEN 3.29
Máquina para ensayos de Flexión Instron.
Elaboración propia, 2020.

IMAGEN 3.30
Ensayo de Flexión.
Elaboración propia, 2020.

¹⁵ UNE-EN 14598-2 Norma Europea. Compuestos de moldeo termoestables reforzados. Especificaciones para compuestos de masa pre-impregnada (SMC) y compuesto de moldeo en masa (BMC). Métodos de ensayo y requisitos generales, 2006

Los ensayos arrojaron la siguiente información:

FAMILIA 6		4 CAPAS	
A/A/A/A	CARGA MAX (kgf)	DESP. MAX (mm)	d PRECARGA (mm)
PROBETA 6.1	12,6015	20,1200	1,3026
PROBETA 6.2	11,9466	16,0133	1,4438
PROBETA 6.3	14,4714	12,1200	1,0016
MEDIA	13,3398	16,0844	1,2493
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	1,2826	4,0005	0,2258

TABLA 3.27
Resultados pruebas de flexión probetas Familia 6.
Software Instron Tectis, 2020.

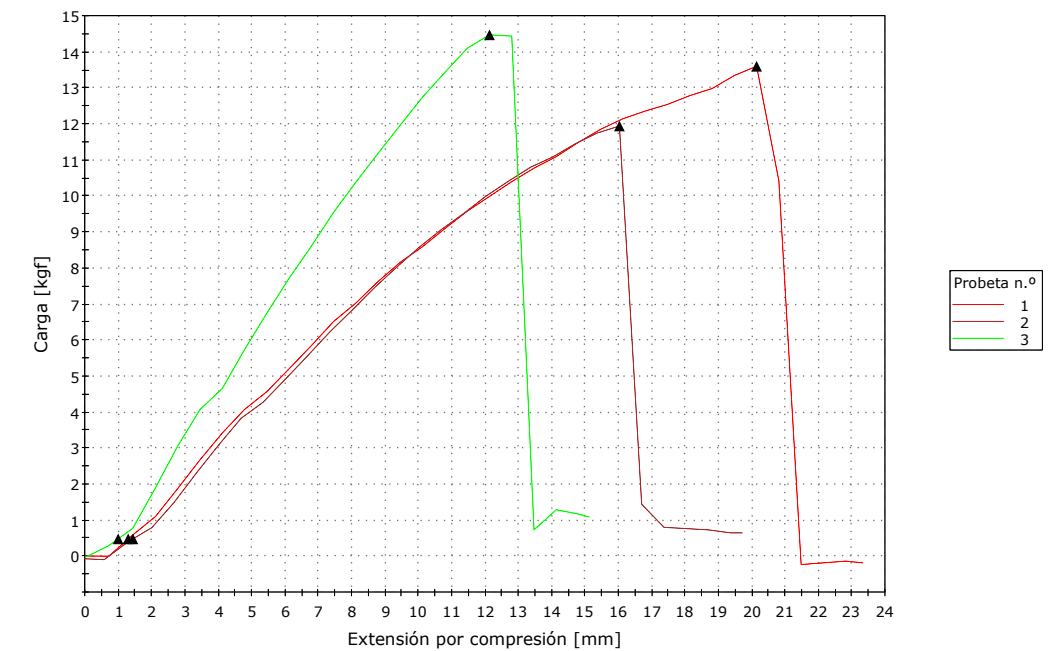


GRÁFICO 3.6
Ensayo de Flexión Probetas 6.1, 6.2, 6.3.
Software Instron Tectis 3369, 2020.

FAMILIA 8		8 CAPAS	
A/A/A/A/A/A/A	CARGA MAX (kgf)	DESP. MAX (mm)	d PRECARGA (mm)
PROBETA 8.2	62,7471	8,6798	0,7812
PROBETA 8.3	50,1044	8,6799	1,1395
PROBETA 8.4	51,6585	10,6801	1,3725
MEDIA	54,8367	9,3466	1,0977
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	6,8946	1,1548	0,2978

TABLA 3.28
Resultados pruebas de flexión probetas Familia 8. Software Instron Tecsis, 2020.

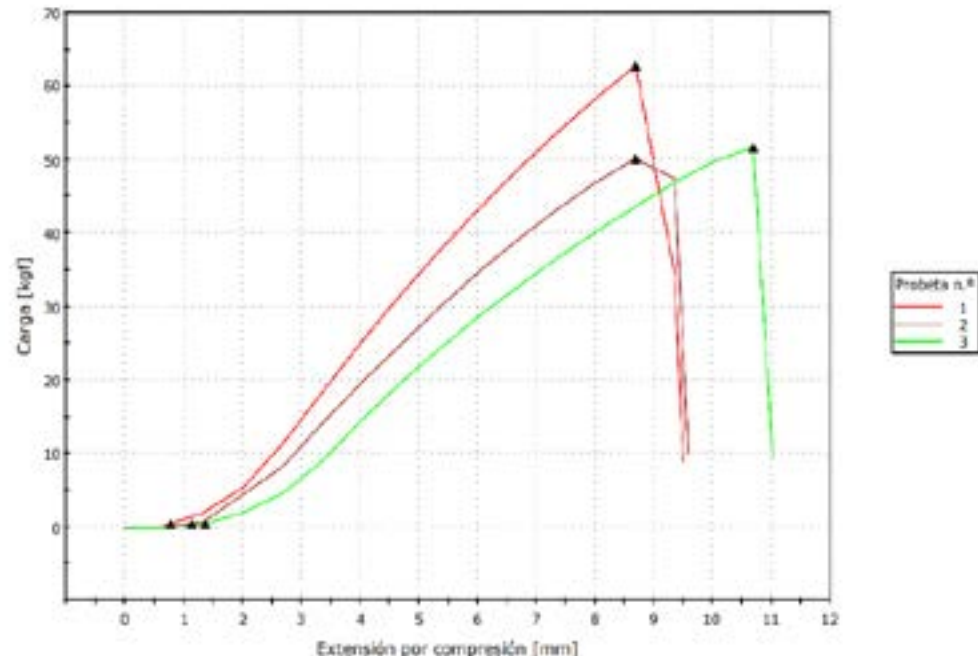


GRÁFICO 3.7
Ensayo de Ensayo de Flexión Probetas 8.2, 8.3, 8.4. Software Instron Tecsis 3369, 2020.



IMAGEN 3.31
Detalle rotura de probeta 8.2 post prueba de flexión. Elaboración propia, 2020.

Con los datos obtenidos se realizaron los siguientes cálculos:

1. Esfuerzo:

$$\sigma_{max} = \frac{Mc}{I}$$

ECUACIÓN 3.1
Esfuerzo máximo

Donde:

σ , es el esfuerzo máximo.

M , es momento flector que se calcula $M = \frac{Kl}{2}$ donde K es la carga y l la distancia entre apoyos.

c , es el momento resistente que se calcula $c = \frac{e}{2}$ donde e es espesor de la probeta.

I , es la inercia que para un corte rectangular se calcula $I = \frac{be^3}{12}$ donde b es el ancho de la probeta y e es el espesor.

2. Módulo de Flexión o Elasticidad: Relación del esfuerzo máximo en la fibra con la deformación máxima, dentro del límite elástico del diagrama carga-deformación obtenido en el ensayo de flexión.

$$E = \frac{l^3 m}{4bd^3}$$

ECUACIÓN 3.2
Módulo de flexión

Donde:

m , es la pendiente de la tangente a la porción inicial de la línea recta de la curva de carga-extensión de deflexión.

b , es el ancho de la probeta.

d , es el espesor de la probeta.

Estos cálculos se realizaron con la base de datos entregada por cada probeta testada y los datos se presentaron de siguiente forma:

PROBETA 6.1

l (mm)	105 Lo (mm)	54 l (distancia entre apoyos)
Ancho (mm)	54 A (mm ²)	135
Espesor (mm)	2,5	

Tiempo (sg)	Extensión (mm)	Carga (kgf)	Esfuerzo ($\frac{kgf}{mm^2}$)
0.00000	0,01263	0,02584	2,41,E-02
0.10000	0,71906	0,01933	1,80,E-02
0.20000	1,43313	0,60755	5,67,E-01
0.30000	2,11531	1,11788	1,04,E+00
0.40000	2,78531	1,90241	1,78,E+00
0.50000	3,45306	2,69659	2,52,E+00
0.60000	4,11988	3,43918	3,21,E+00
0.70000	4,78669	4,09306	3,82,E+00
0.80000	5,45338	4,58018	4,27,E+00
0.90000	6,11994	5,21989	4,87,E+00
1.00000	6,78656	5,85931	5,47,E+00
1.10000	7,45337	6,53091	6,10,E+00
1.20000	8,12012	7,03717	6,57,E+00
1.30000	8,78656	7,64019	7,13,E+00
1.40000	9,45331	8,17365	7,63,E+00
1.50000	10,12000	8,60691	8,03,E+00
1.60000	10,78656	9,10191	8,50,E+00
1.70000	11,45337	9,58198	8,94,E+00
1.80000	12,12000	9,99545	9,33,E+00
1.90000	12,78675	10,39971	9,71,E+00
2.00000	13,45344	10,77645	1,01,E+01
2.10000	14,12000	11,09751	1,04,E+01
2.20000	14,78656	11,49652	1,07,E+01
2.30000	15,45331	11,85317	1,11,E+01
2.40000	16,12000	12,14399	1,13,E+01
2.50000	16,78669	12,35842	1,15,E+01
2.60000	17,45331	12,54662	1,17,E+01
2.70000	18,12006	12,78448	1,19,E+01
2.80000	18,78669	12,98442	1,21,E+01
2.90000	19,45338	13,34740	1,25,E+01
3.00000	20,12000	13,60145	1,27,E+01
3.10000	20,78669	10,42437	9,73,E+00
3.20000	21,45344	-0,21305	-1,99,E-01
3.30000	22,11994	-0,16072	-1,50,E-01
3.40000	22,78663	-0,11617	-1,08,E-01
3.47800	23,30675	-0,16127	-1,51,E-01

ESFUERZO DE FLUENCIA
DE FLEXION

Base de datos del experimento correspondiente a la Probeta 6.1, donde la zona destacada corresponde al esfuerzo de fluencia de la pieza. El resto de las bases de datos se encuentran en los anexos.

$$\delta = \frac{EI}{M} \quad E = \frac{\delta M}{I}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{Mc}{I}$$

$$E = \frac{l^3 m}{4bd^3}$$

INERCIA (I) 70,3125 (mm⁴)

MOMENTO RESISTENTE (c) 1,25 (mm)

ESFUERZO DE FLUENCIA 1,27,E+01 ($\frac{kgf}{mm^2}$) 124,492349 (MPa)

ESFUERZO MÁXIMO 1,27,E+01 ($\frac{kgf}{mm^2}$) 124,492349 (MPa)

MODULO DE FLEXIÒN 253,82 (kgf/mm²)

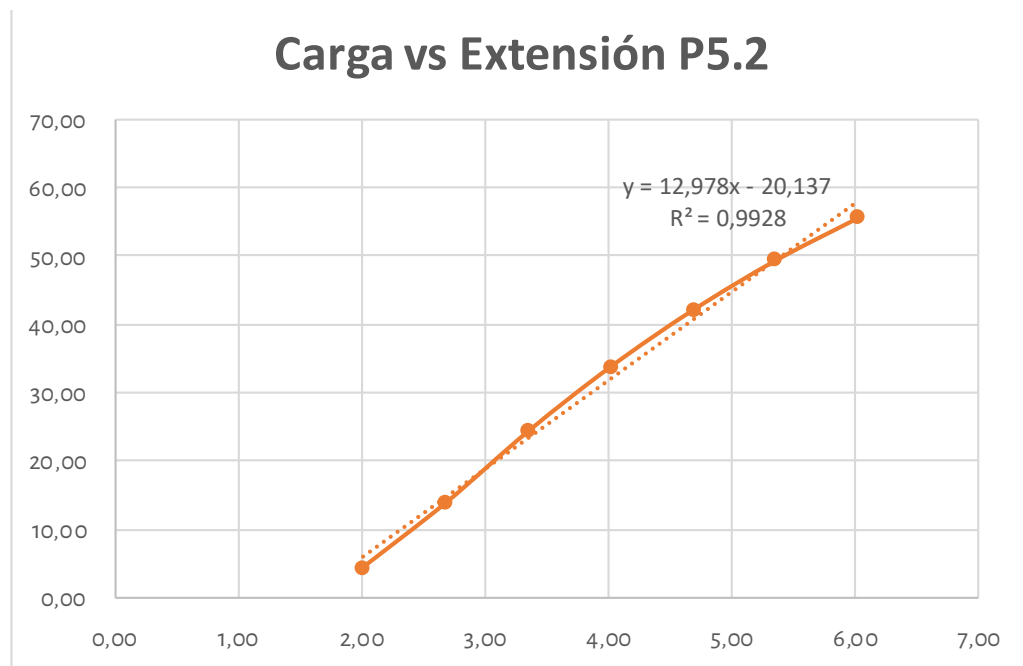
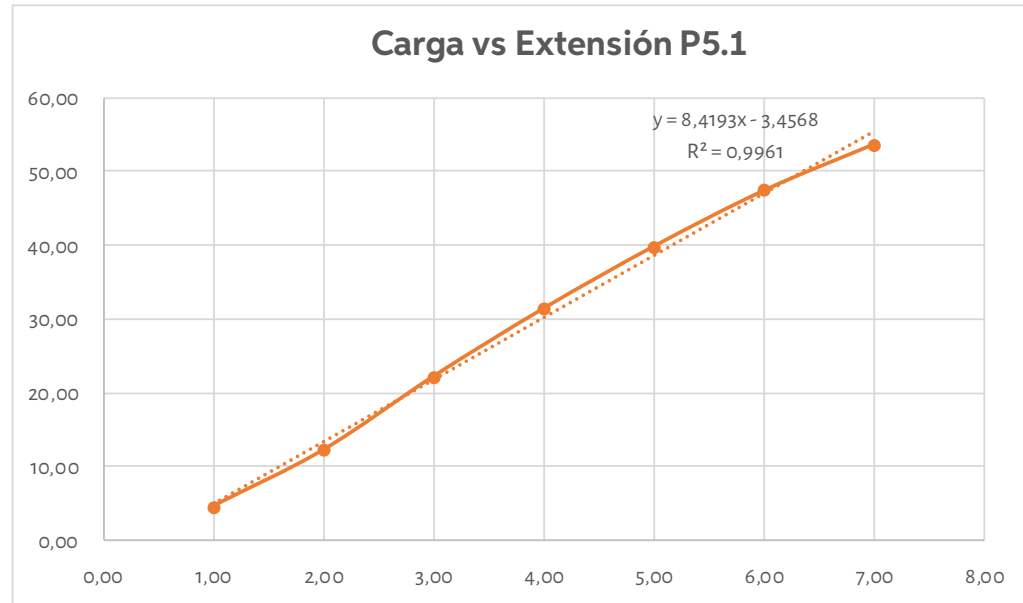
MODULO DE FLEXIÒN 25382 (kgf/cm²)

MODULO DE FLEXIÒN 1975,94 (MPa) 1,97594 (GPa)

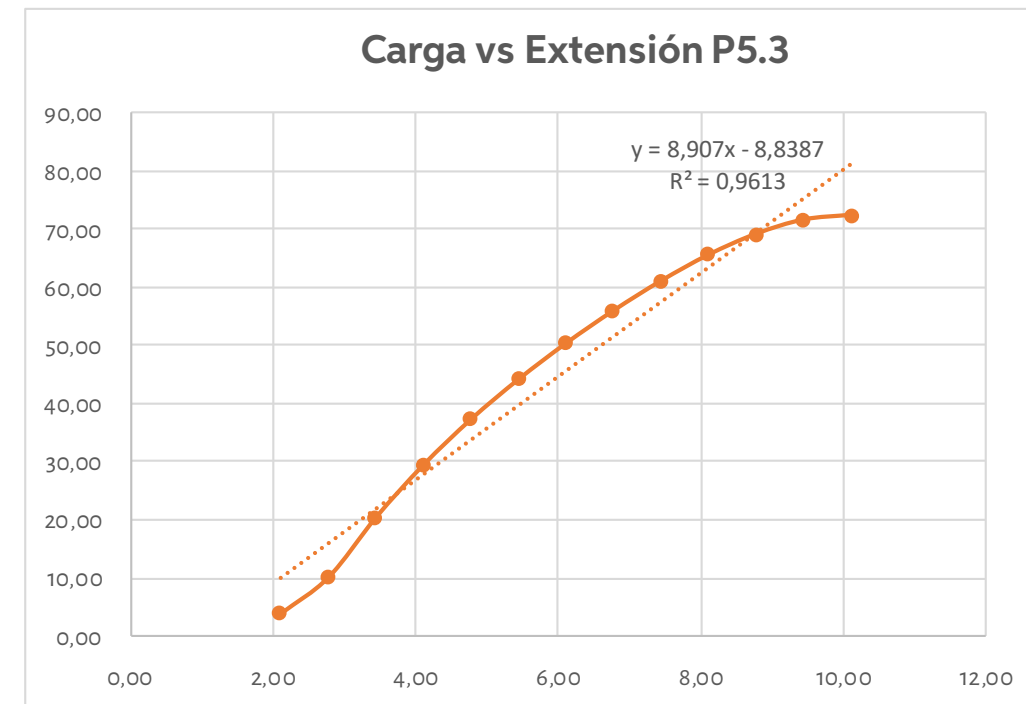
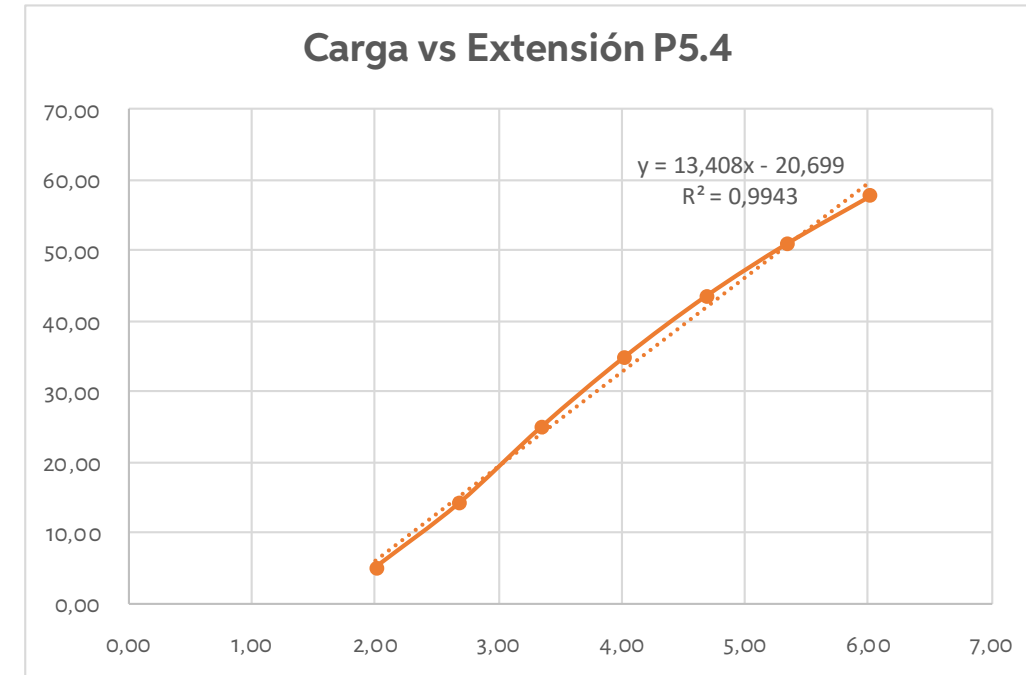
A continuación, se presentan las tablas y gráficos correspondientes al resultado de los cálculos en flexión de cada familia.

RESULTADOS DE PROBETAS FAMILIA 5 EN FLEXIÒN			
PROBETA	ESFUERZO DE FLUENCIA	ESFUERZO MÁXIMO	MÓDULO DE YOUNG
PROBETA 5.1	96	96	2
PROBETA 5.2	96	96	4
PROBETA 5.4	104	104	4
PROBETA 5.3 INV*	2	2	3
PROMEDIO	99	99	3

TABLA 3.29
Resultados promedio de cálculos probetas Familia 5.
Elaboración propia, 2020.



GRÁFICOS 3.8, 3.9
Resultados promedio de cálculos probetas Familia 5.
Elaboración propia, 2020.



GRÁFICOS 3.10, 3.11
Resultados promedio de cálculos probetas Familia 5.
Elaboración propia, 2020.

RESULTADOS DE PROBETAS FAMILIA 6 EN FLEXIÓN			
PROBETA	ESFUERZO DE FLUENCIA	ESFUERZO MÁXIMO	MÓDULO DE YOUNG
PROBETA 6.1	124	124	2
PROBETA 6.2	96	96	2
PROBETA 6.3	100	100	3
PROMEDIO	107	107	2

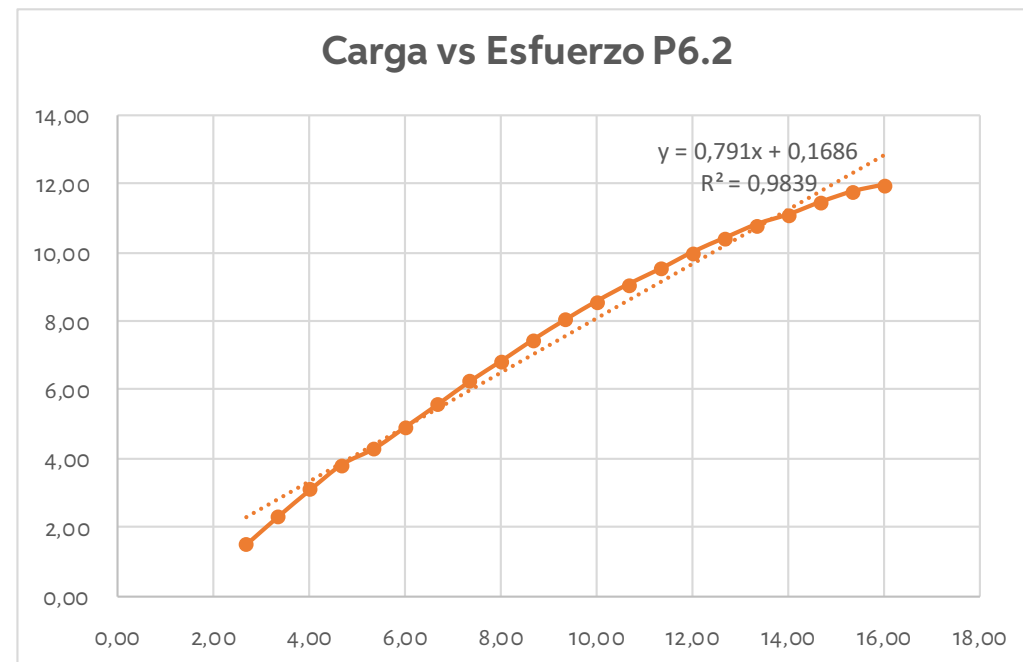
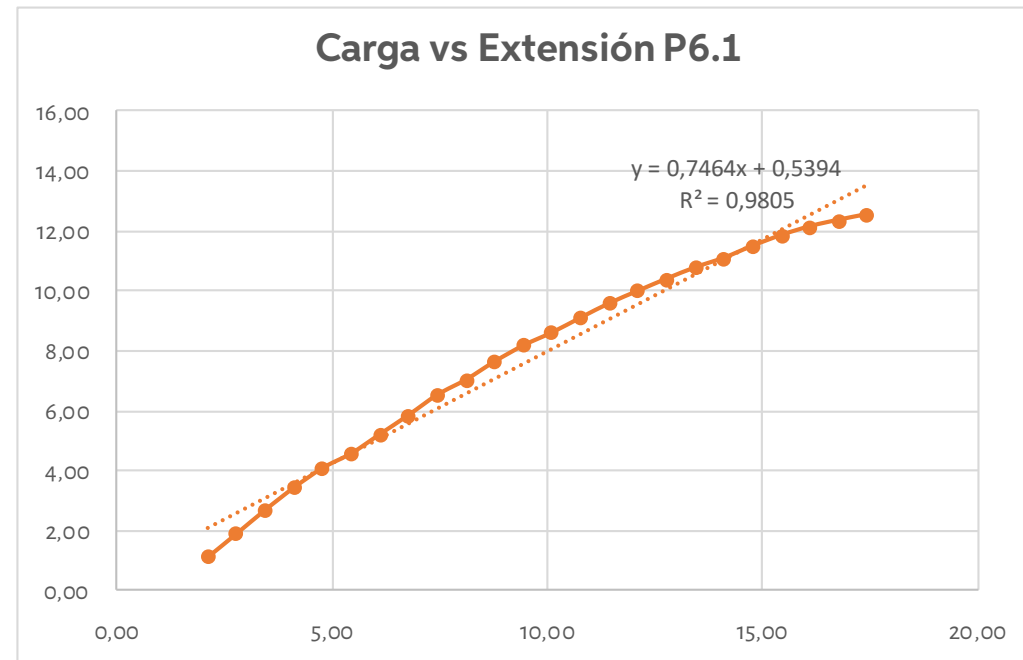
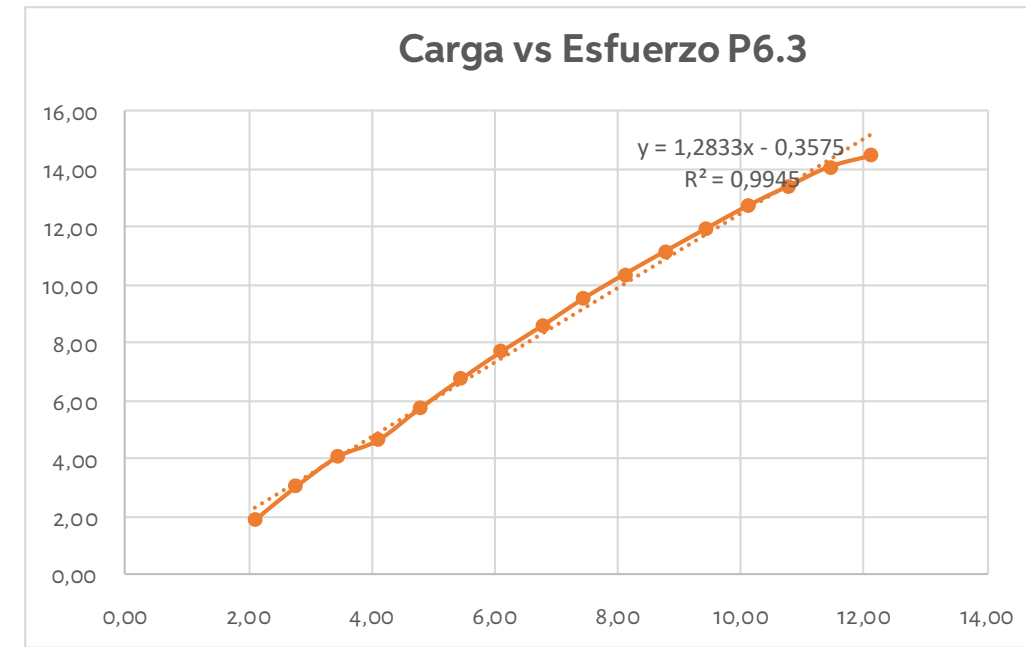


TABLA 3.30
Resultados promedio de cálculos probetas Familia 6.
Elaboración propia, 2020.

GRÁFICOS 3.12, 3.13
Resultados promedio de cálculos probetas Familia 6.
Elaboración propia, 2020.



GRÁFICOS 3.14
Resultados promedio de cálculos probetas Familia 6.
Elaboración propia, 2020.

RESULTADOS DE PROBETAS FAMILIA 7 EN FLEXIÓN			
PROBETA	ESFUERZO DE FLUENCIA	ESFUERZO MÁXIMO	MÓDULO DE YOUNG
PROBETA 7.1	141	141	3
PROBETA 7.2	125	125	3
PROBETA 7.3	164	164	4
PROMEDIO	143	143	3

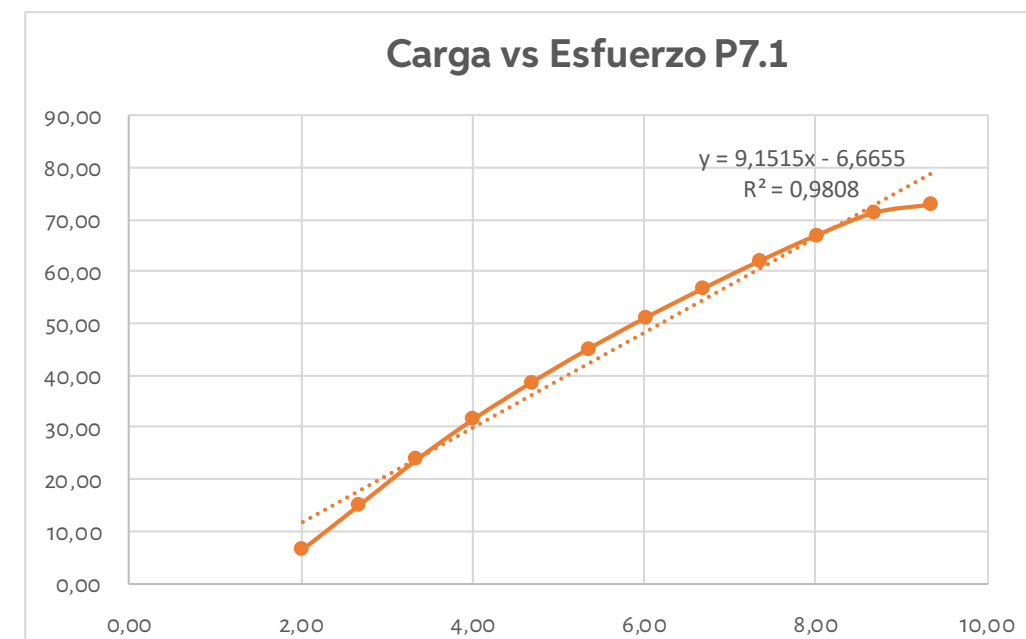
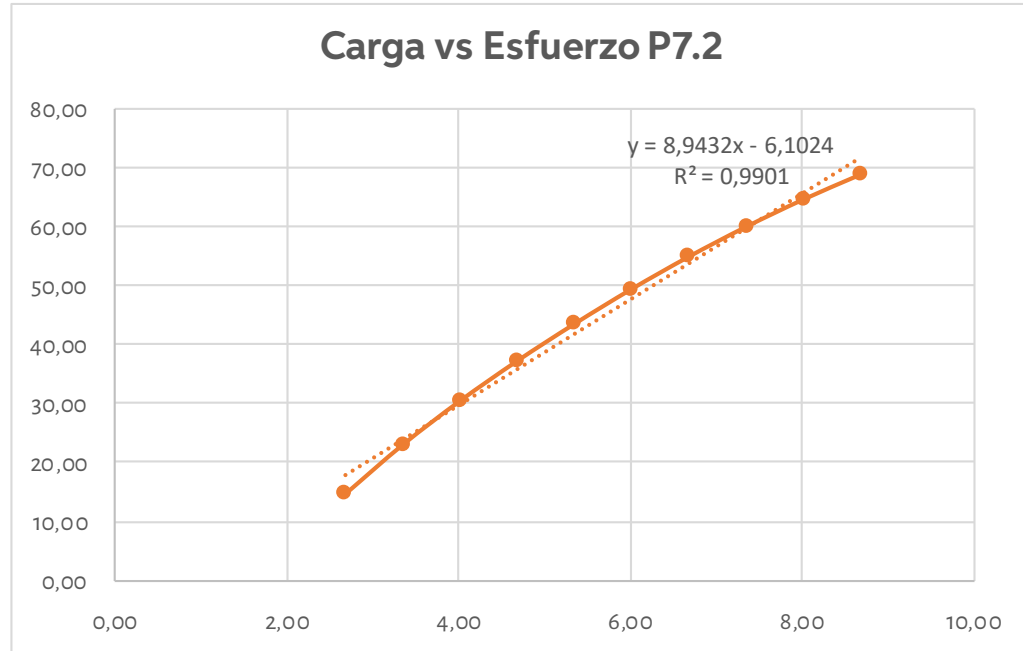
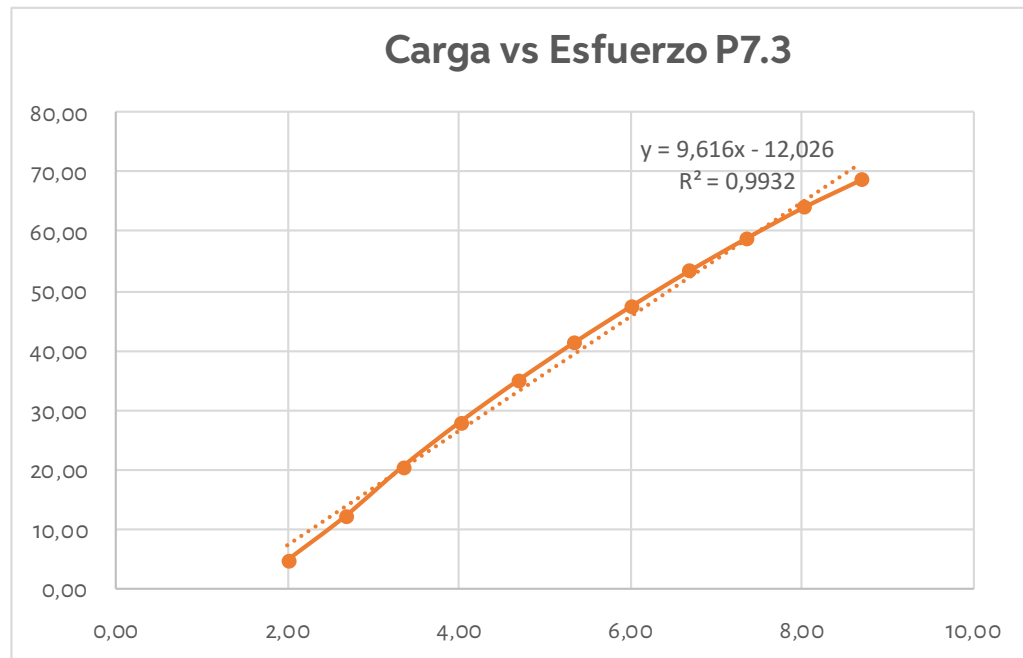


TABLA 3.31
Resultados promedio de cálculos probetas Familia 7.
Elaboración propia, 2020.

GRÁFICOS 3.15
Resultados promedio de cálculos probetas Familia 7.
Elaboración propia, 2020.



GRÁFICOS 3.16, 3.17
Resultados promedio de cálculos probetas Familia 7.
Elaboración propia, 2020.



RESULTADOS DE PROBETAS FAMILIA 8 EN FLEXIÓN			
PROBETA	ESFUERZO DE FLUENCIA	ESFUERZO MÁXIMO	MÓDULO DE YOUNG
PROBETA 8.2	167	167	5
PROBETA 8.3	134	134	4
PROBETA 8.4	145	145	3
PROMEDIO	149	149	4

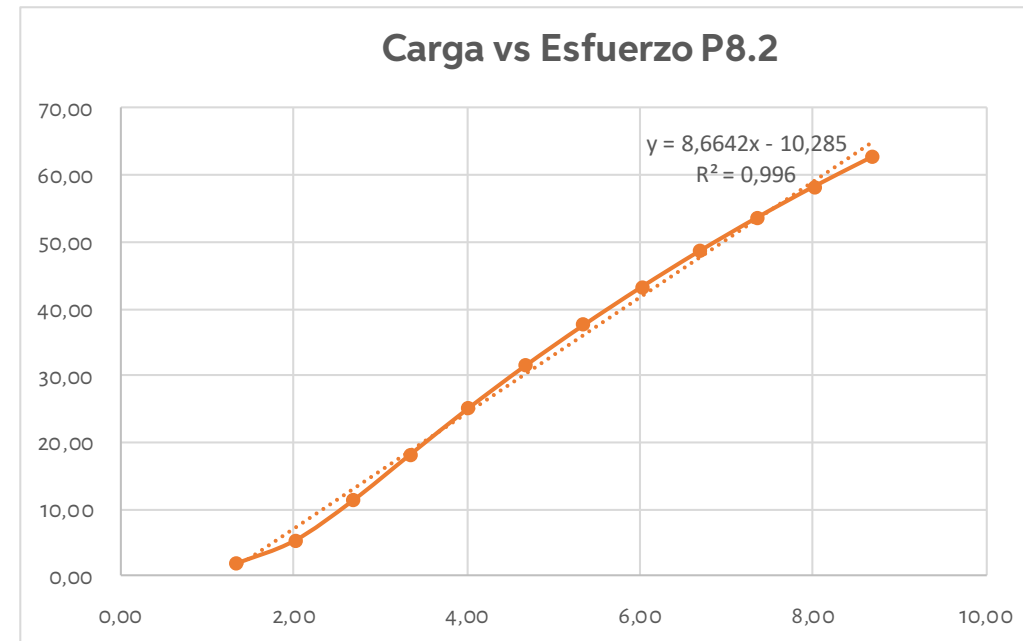
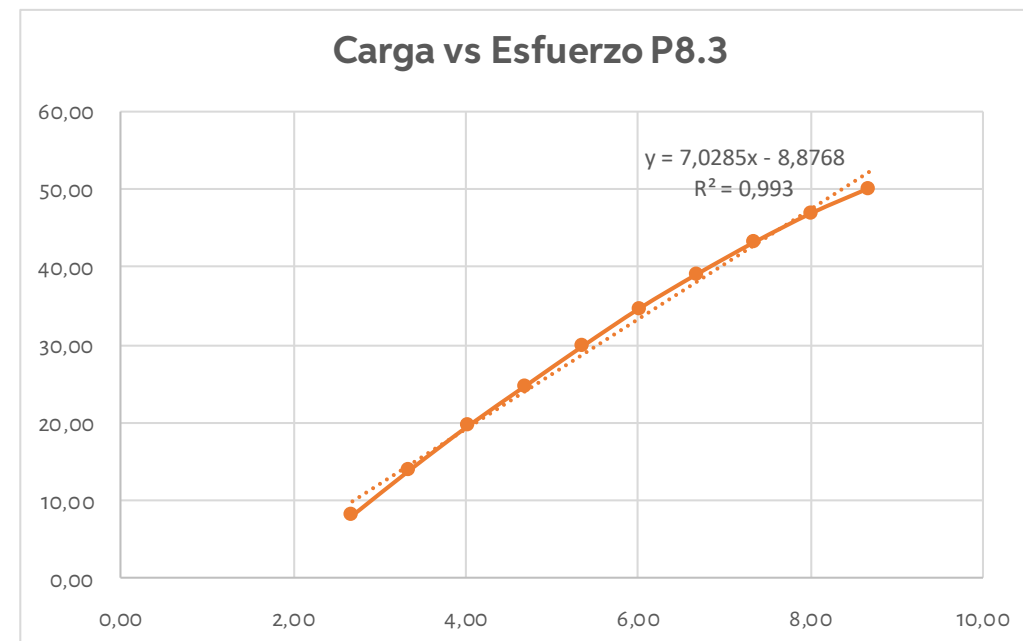
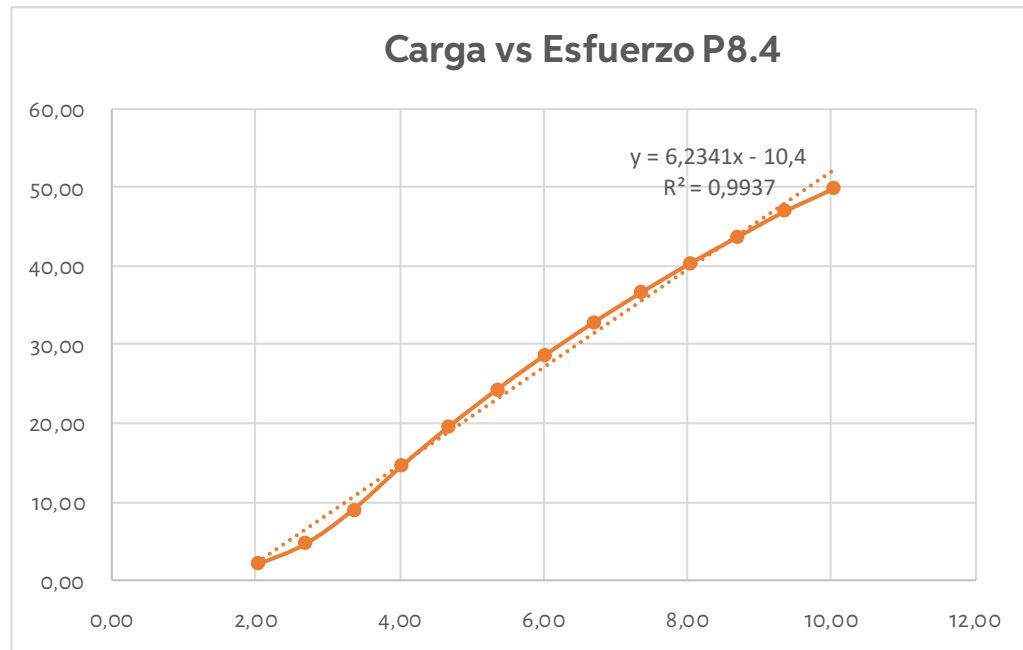


TABLA 3.32
Resultados promedio de cálculos probetas Familia 8.
Elaboración propia, 2020.



GRÁFICOS 3.18, 3.19
Resultados promedio de cálculos probetas Familia 8.
Elaboración propia, 2020.



GRÁFICOS 3.20
Resultados promedio de cálculos probetas Familia 8.
Elaboración propia, 2020.

Se testean las probetas 5.1, 5.2 y 5.4 en flexión, manteniendo el siguiente esquema de abajo hacia arriba (primero la cara que va sobre la máquina y termina con la que recibe la fuerza en primer momento) A/A/C/Tx/A/A. Este tipo de probeta como no tiene las mismas capas desde el núcleo es ensayada nuevamente pero invertida, esquema A/A/Tx/C/A/A, con el triaxial más cerca de la fuerza.

La Tabla 3.35 muestra los resultados de cada probeta, y su valor promedio dentro del tipo, excluyendo la probeta INV* (Probeta 5.3)

El Gráfico 3.8 es un extracto del gráfico de pruebas de flexión donde se analiza solo la porción elástica de probeta. Los datos de tablas y gráficos de las demás probetas se interpretan de la misma forma ya antes descrita.

El esfuerzo de fluencia es igual al esfuerzo máximo en el caso de las pruebas de flexión, ya que pasa del estado elástico a la fractura de forma inmediata, sin tener zona plásticas. Los valores mayores y menores los obtuvo la Familia 8 y 5, con 148,50 MPa y 98,70 MPa respectivamente

+	ESFUERZO DE FLUENCIA Y MÁXIMO		-
F8	F7	F6	F5

El Módulo de Young es la relación que existe entre el esfuerzo aplicado al material a lo largo del eje longitudinal de la probeta y la deformación unitaria que se genera en ese mismo eje. El valor promedio del Módulo de Young de las familias fue muy cercano entre ellas, Familia 5 y Familia 7 que son las que tienen fibra de vidrio en su esquema,

obtuvieron casi el mismo valor con 3,32 GPa y 3,22 GPa respectivamente. La Familia 6 tuvo el menor resultado con 2,34 GPa y Probeta 8 el mayor con 3,97 GPa, lo que es positivo ya que la Familia 8 está compuesta solo por arpillera yute y la Familia 6 tiene la mitad del esquema de refuerzo. Si bien los valores están lejos de ser cercanos a la fibra de vidrio, valor cercano a los 170 GPa, estos resultados se traducen en que el material es menos rígido que la fibra de vidrio, por lo que con menos carga se estira más.

+	MÓDULO DE YOUNG		-
F8	F5	F7	F6

La Familia 8 resultó ser el más rígido, lo que se vió reflejado también durante los ensayos, ya que el material mostraba poca elasticidad antes del quiebre pasando del estado elástico a la fractura inmediatamente, con poca zona plástica, pero si más resistencia en cuanto a tiempo comparativamente con las demás familias, esto explica su mayor valor en cuanto al esfuerzo de fluencia y máximo. En el caso de la Familia 6, que es la que tiene la mitad del esquema de refuerzo de la Familia 8, se ve que obtuvo el menor valor de Módulo de Young resultando ser más elástica a la rotura pero menos resistente. Es importante tener en cuenta que entre menor es la resistencia al esfuerzo, menor es la resistencia de uso, por lo que teniendo esto en cuenta la Familia 8 es la que tendría una mayor vida útil de uso, criterio importante a tener en cuenta a la hora de analizar algún diseño.

3.4.2 Ensayos de Tracción



IMAGEN 3.32
Ensayo de Tracción.
Elaboración propia, 2020.

Los ensayos de tracción se realizaron en el Laboratorio de Materiales de la Universidad Tecnológica Metropolitana (UTEM), prueba donde la probeta es sujeta por mordazas con un torque definido y donde se somete un esfuerzo axial de tracción creciente. Las pruebas se realizaron según la norma ASTM D3039, se utilizaron 3 probetas de cada familia y se obtuvieron los siguientes datos.

TRACCIÓN FAMILIA 5

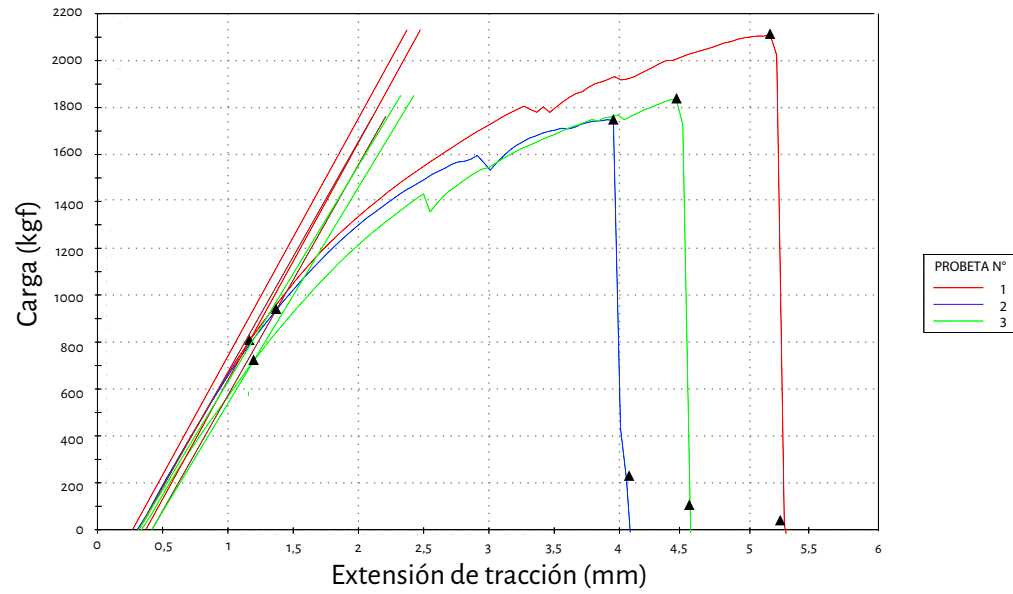


GRÁFICO 3.21
Resultados de pruebas de tracción probetas Familia 5.
Software Instron Tectsis
3369,2020.

TRACCIÓN FAMILIA 6

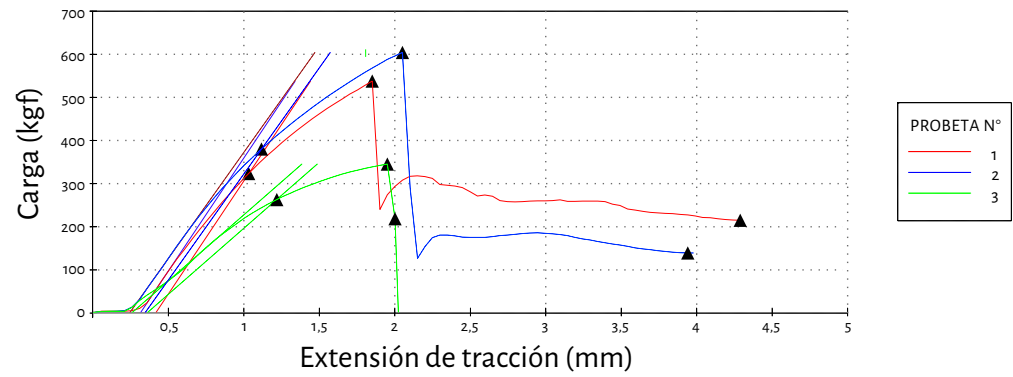


GRÁFICO 3.22
Resultados de pruebas de tracción probetas Familia 6.
Software Instron Tectsis
3369,2020.

TRACCIÓN FAMILIA 7

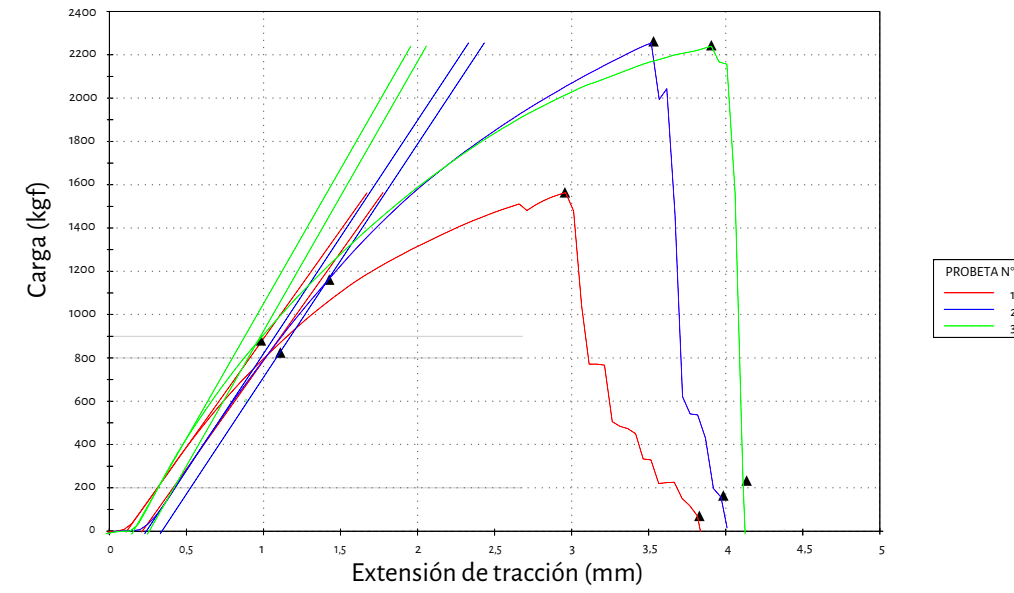


GRÁFICO 3.23
Resultados de pruebas de tracción probetas Familia 7.
Software Instron Tectsis
3369,2020.

TRACCIÓN FAMILIA 8

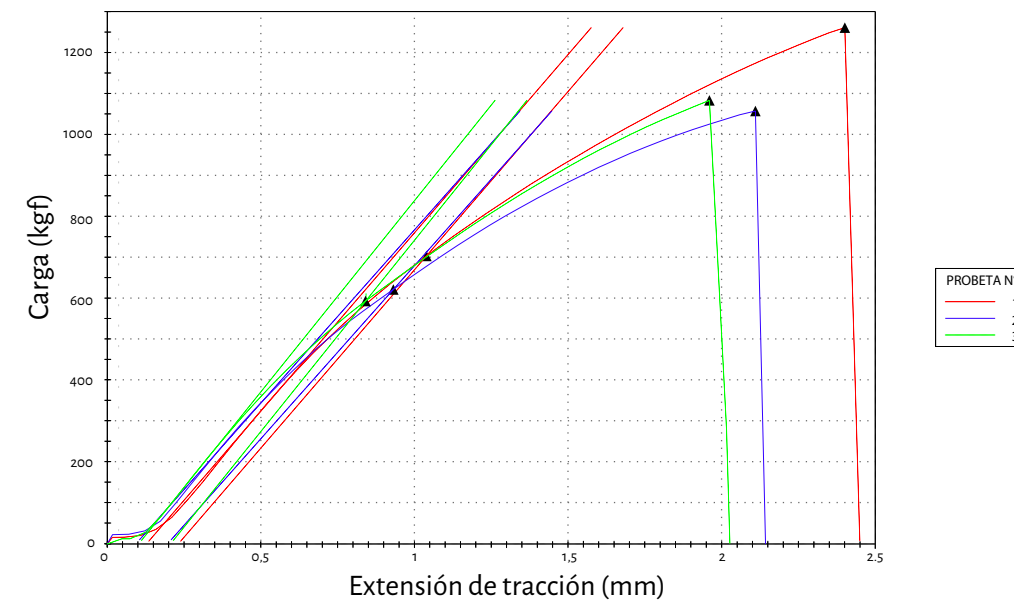


GRÁFICO 3.24
Resultados de pruebas de tracción probetas Familia 8.
Software Instron Tectsis
3369,2020.

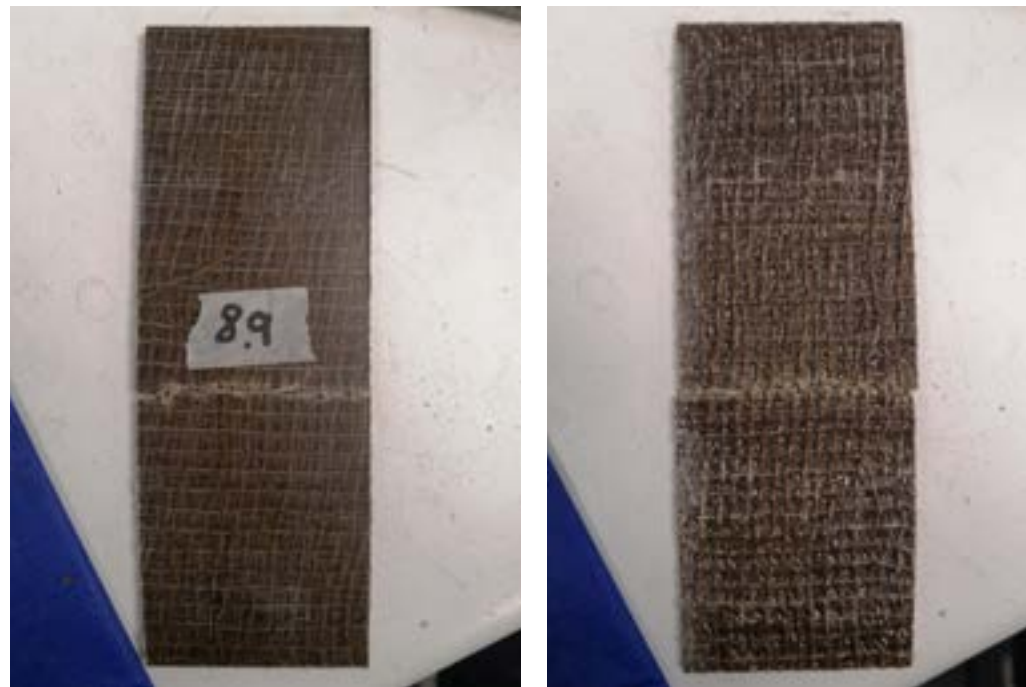


IMAGEN 3.33
Detalle rotura de probeta 8.9 post prueba de tracción. Elaboración propia, 2020.

Durante las pruebas no se pudo obtener la base de datos como con la que se trabajó para los ensayos de flexión, pero se realizó un análisis de gráficos para lograr obtener las coordenadas del punto de fluencia para realizar los cálculos, como se muestra a continuación. El resto de los cálculos realizados con las demás probetas se encuentran en los anexos.

TRACCIÓN									
PROBETA 6									
PROBETA 4 CAPAS									
				ESFUERZO DE FLUENCIA	MÓDULO DE YOUNG				ESFUERZO MÁXIMO
Probeta	X	x/largo probeta	Y	y/area (kgf/cm ²)	modulo elastico (kgf/cm ²)	X	x/largo probeta	Y	y/area (kgf/cm ²)
(1) P 6.4	1,031	0,066	325,0	203,1	3092,424242	1,858	0,118	535,0	334,4
(2) P 6.5	1,125	0,072	382,5	255,0	3536,000000	2,058	0,132	601,1	400,7
(3) P 6.6	1,219	0,079	265,0	189,3	2407,326007	1,958	0,126	342,7	244,8
PROMEDIO				215,8	3011,916750				326,6
				21,1628	2953,68	MPa			32,0285
				MPa	2,95368	GPa			MPa

Luego de los cálculos se obtienen los siguientes resultados promedio en prueba de tracción:

RESULTADOS PROMEDIO DE PROBETAS FAMILIAS EN TRACCIÓN			
PROBETA	ESFUERZO DE FLUENCIA	ESFUERZO MÁXIMO	MÓDULO DE YOUNG
PROBETA 5	25,3208	59,291	3,18739
PROBETA 6	21,1628	32,0285	2,95368
PROBETA 7	37,6575	80,2674	5,11454
PROBETA 8	25,1344	44,4339	4,15429

El resultado más alto de esfuerzo de fluencia y máximo lo obtuvo la Familia 7 con 37,65 MPa y 80,26 MPa respectivamente, estos valores fueron más elevados porque al tener fibra de vidrio biaxial en su núcleo le permitió a las probetas resistir mejor a la prueba, solo se rompieron las fibras de arpillera. Esto también explica los valores promedios obtenidos por la Familia 5, con 25,32 MPa en esfuerzo de fluencia y 59,29 MPa en esfuerzo máximo. Las Familias 6 y 8 que son las compuestas por arpillera yute obtuvieron resultados más bajos, lo que es concordante con la falta de fibra de vidrio en su esquema

TABLA 3.33
Resultados promedio de cálculos de tracción familias. Elaboración propia, 2020.

+	ESFUERZO DE FLUENCIA Y MÁXIMO		-
F7	F5	F8	F6

En cuanto al Módulo de Young, lo que influyó en que los valores fueran mayores o menores tienen que ver con el espesor y esquemas de las probetas de cada familia. La Familia 7 fue la con mayor resultado con 5,11 GPa, la sigue la Familia 8 con 4,15 GPa. Ambas familias tienen esquemas similares, ya que ambas tienen 8 capas de arpilleras pero la Familia 7 tiene una capa de biaxial adicional, lo que le brinda la rigidez extra obtenida, además de ser las probetas con mayores espesores. La Familia 6 obtuvo en promedio el resultado más bajo, con 2,95 MPa siendo la más elástica debido a su bajo espesor.

+	MÓDULO DE YOUNG		-
F7	F8	F5	F6

Se concluye que al agregarle el doble de capas de arpillera al esquema se alcanza casi un 200 % del valor original, obteniendo 4,15 GPa como es el caso de la Probeta 8, ayudando a aumentar considerablemente la rigidez del compuesto. Si bien las probetas con fibra fueron las resistentes a la tracción, las probetas de la Familia 8 obtuvieron un valor aceptable no tan lejano a la Familia 5, por lo que aumentando espesor se podrían evaluar usos donde se requiera de resistencias mayores.

3.4.3. Clasificación de Material

Con los datos obtenidos se realizó una clasificación de familia de materiales en el software CES Edupack, ubicando las probetas en el gráfico de familias para tener una referencia visual de a que materiales es similar el resultante. Se generó un gráfico para flexión y uno para tracción de los siguientes tipos:

- 1.Densidad vs. Módulo de Young
- 2.Densidad vs. Esfuerzo de Fluencia
- 3.Módulo de Young vs. Esfuerzo de Fluencia

Densidad vs. Módulo de Young

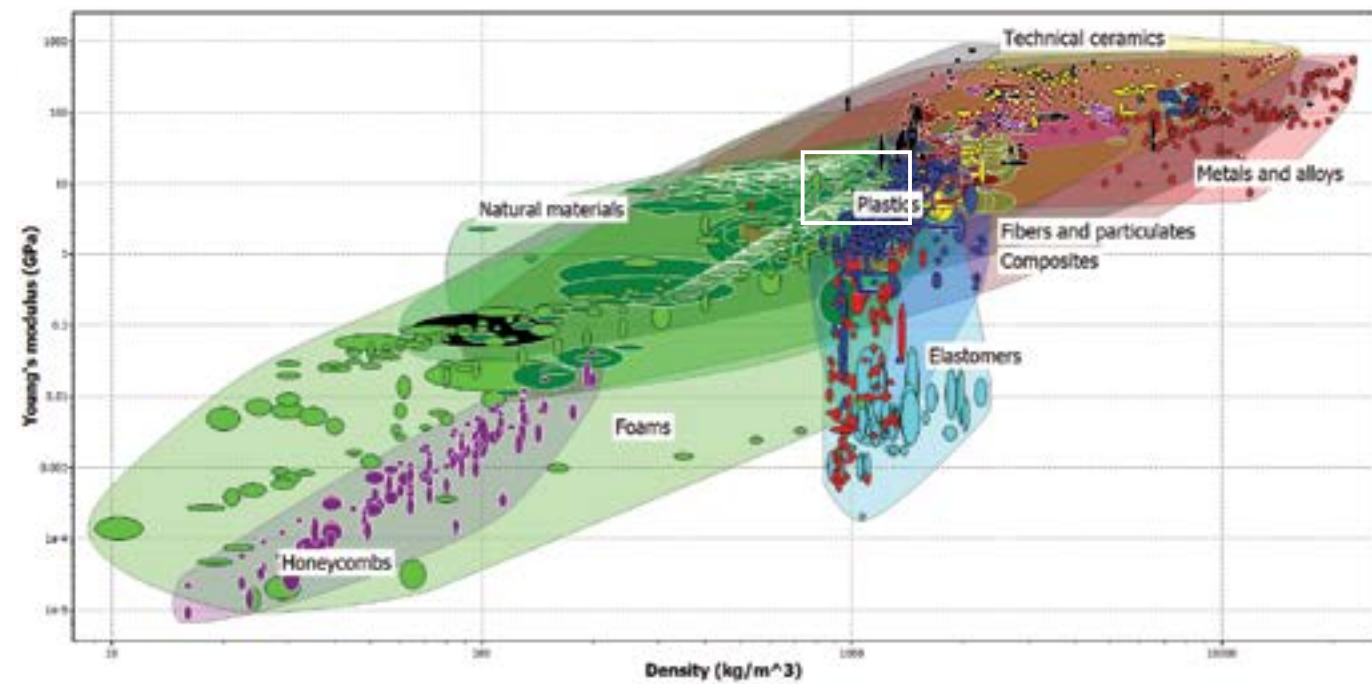
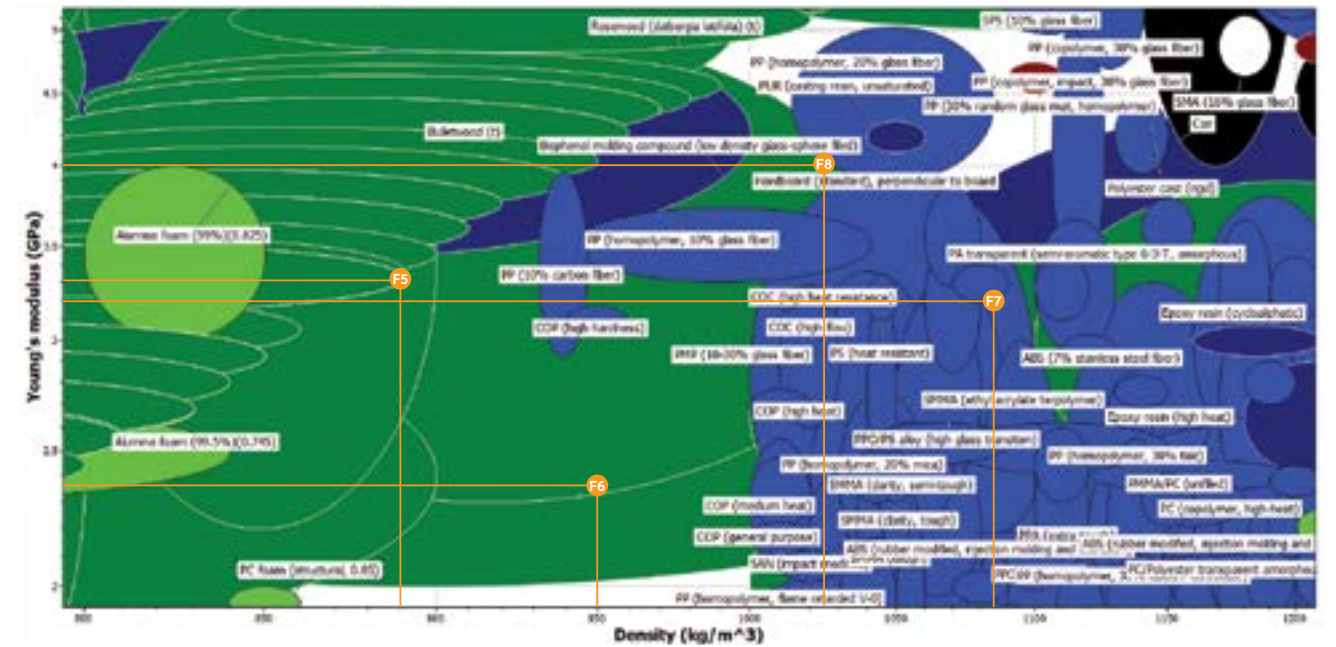
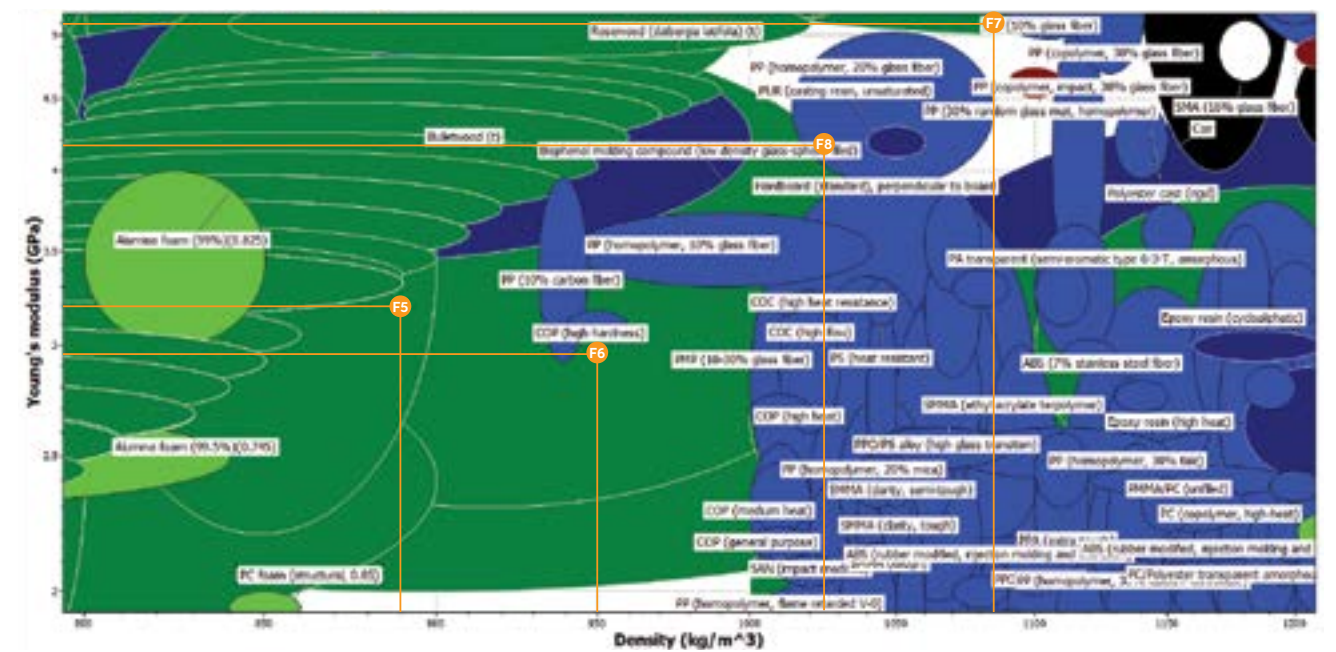


GRÁFICO 3.25
 Comparación de Densidad vs Módulo de Young con Familias de Materiales existentes.
 Elaboración propia, 2021.

DENSIDAD VS MÓDULO DE YOUNG EN FLEXIÓN



DENSIDAD VS MÓDULO DE YOUNG EN TRACCIÓN



De arriba hacia abajo

GRÁFICO 3.26
 Zoom Comparación de Densidad vs Módulo de Young en Flexión con Familias de Materiales existentes.
 Elaboración propia, 2021.

GRÁFICO 3.27
 Zoom Comparación de Densidad vs Módulo de Young en Tracción con Familias de Materiales existentes.
 Elaboración propia, 2021.

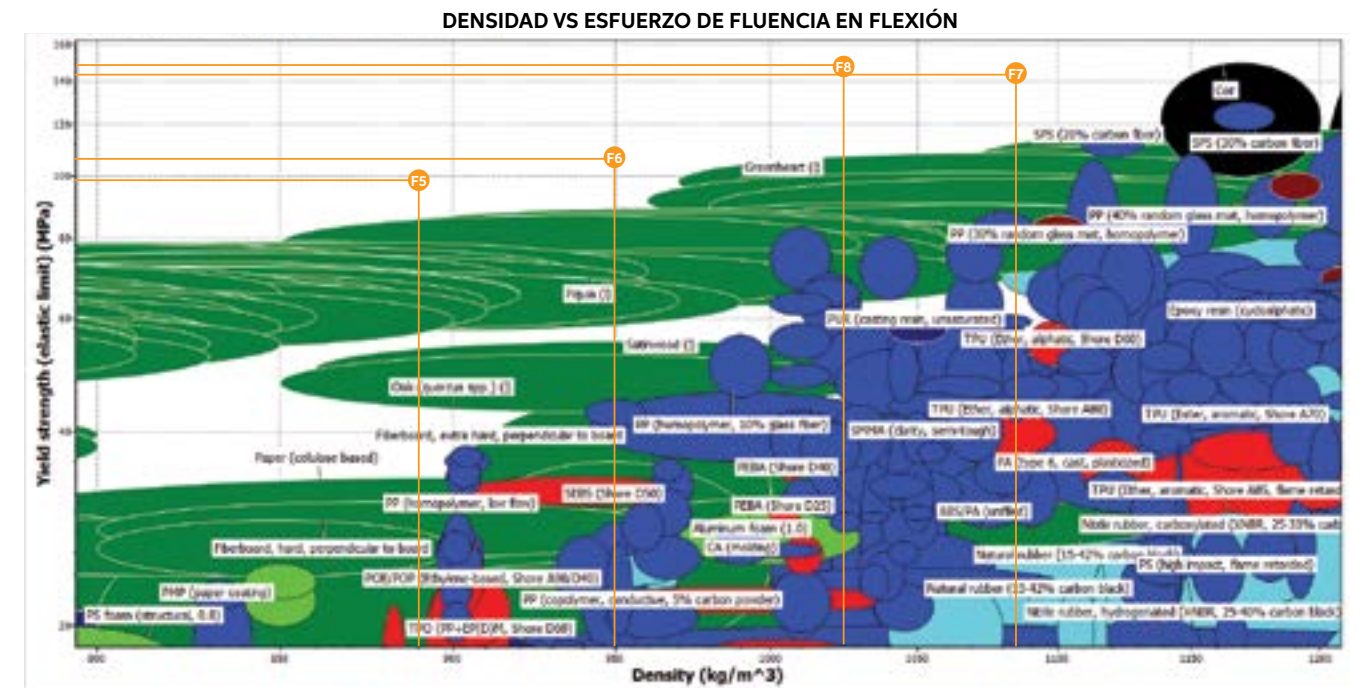
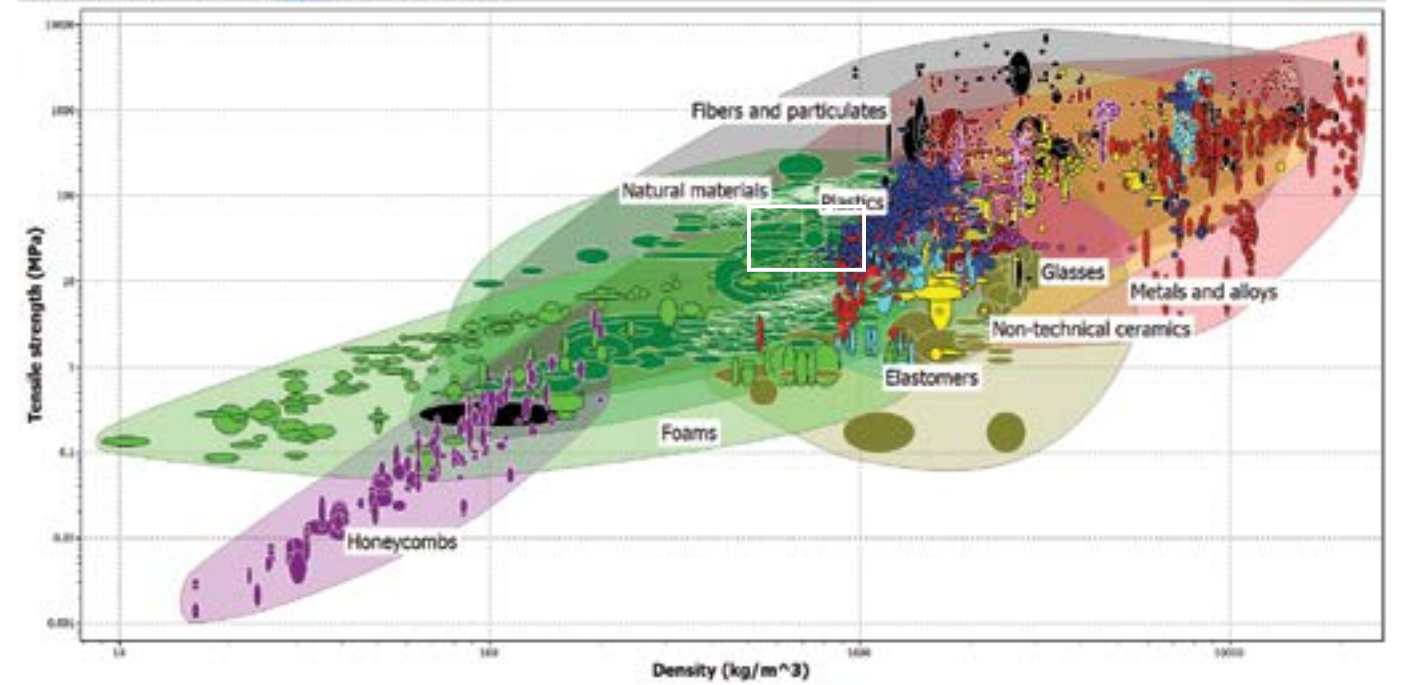
La Familia 5 tiene valores muy similares en flexión y tracción, ubicándola en la familia de los materiales naturales (principalmente diferentes tipos de maderas), por el valor de densidad también vemos que flota (< a 1000 kg/m³). La Familia 6 se comportó más como un plástico en tracción, siendo similar al COP (o COC Cyclic olefin copolymer) y al PP (polipropileno), en el caso de la flexión, se mantiene en la familia de los materiales naturales más alejado de los polímeros. Las Familias 7 y 8 se alejaron de los materiales naturales ya que tienen una densidad mayor y están más cerca de los plásticos en ese sentido, la Familia 7 tuvo resultados más altos en tracción, incluso acercándose a algunos composites. La Probeta 8 fue la que se ubicó casi en el mismo lugar tanto en flexión como en tracción, siendo similar a polímeros como el PUR o el PP

GRÁFICO 3.26: DENSIDAD VS MÓDULO DE YOUNG FLEXIÓN			
FAMILIA	ESQUEMA DE REFUERZO	DENSIDAD PROMEDIO	MÓDULO DE YOUNG PROMEDIO
FAMILIA 5	4 CAPAS COMBITRI	882,4	3,320
FAMILIA 6	4 CAPAS	948,6	2,343
FAMILIA 7	8 CAPAS BIAXIAL	1084,3	3,220
FAMILIA 8	8 CAPAS	1026,9	3,973

GRÁFICO 3.27: DENSIDAD VS MÓDULO DE YOUNG TRACCIÓN			
FAMILIA	ESQUEMA DE REFUERZO	DENSIDAD PROMEDIO	MÓDULO DE YOUNG PROMEDIO
FAMILIA 5	4 CAPAS COMBITRI	882,4	3,187
FAMILIA 6	4 CAPAS	948,6	2,954
FAMILIA 7	8 CAPAS BIAXIAL	1084,3	5,115
FAMILIA 8	8 CAPAS	1026,9	4,154

TABLA 3.34, 3.35
 Coordenadas para gráficos 3.26 y 3.27 respectivamente.
 Elaboración propia, 2021.

Densidad vs. Esfuerzo de Fluencia

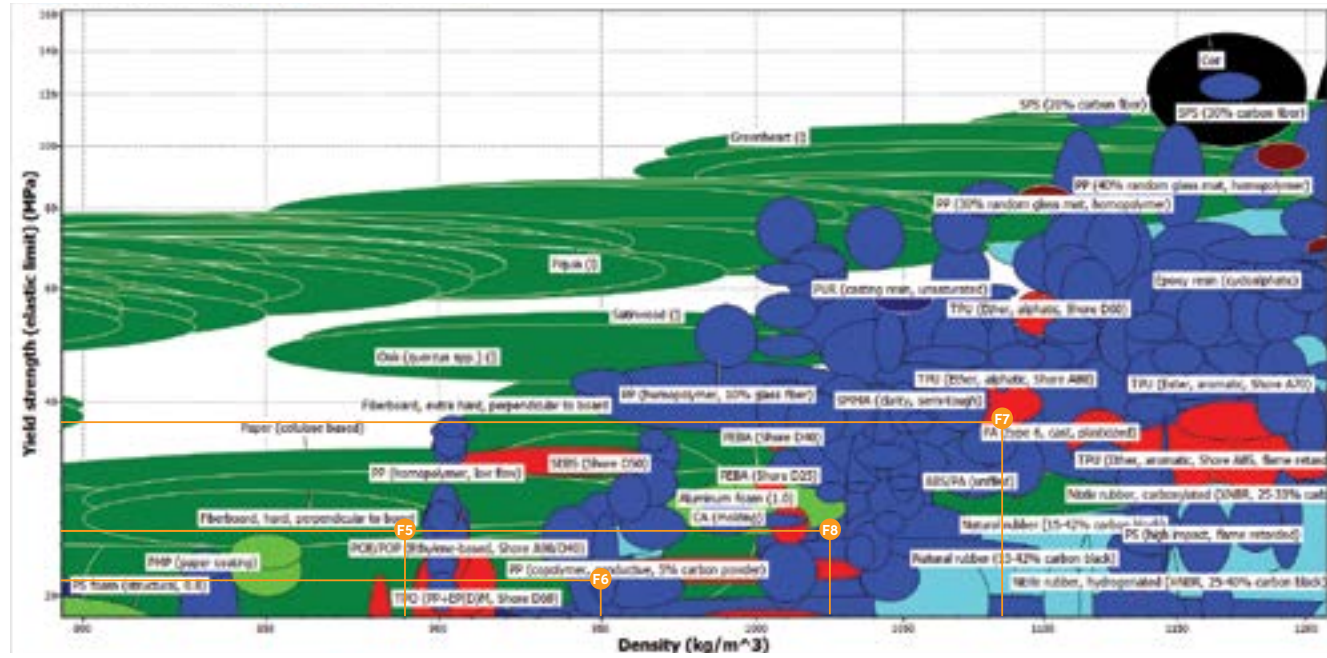


De arriba hacia abajo

GRÁFICO 3.28
 Comparación de Densidad vs Esfuerzo de Fluencia con Familias de Materiales existentes.
 Elaboración propia, 2021.

GRÁFICO 3.29
 Zoom Comparación de Densidad vs Esfuerzo de Fluencia en Flexión con Familias de Materiales existentes.
 Elaboración propia, 2021.

DENSIDAD VS ESFUERZO DE FLUENCIA EN TRACCIÓN



El esfuerzo de fluencia es el esfuerzo máximo elástico. Como se ve en el gráfico 3.29, en el caso de las pruebas de flexión, todas las familias se ubican por sobre los materiales naturales. La resina aumenta la resistencia al esfuerzo del yute arpillera en el compuesto, dejándolo ubicado en una condición mecánica similar a los polímeros termoplásticos.

En el caso de la tracción, las Familias se mantienen cerca de los materiales naturales, pero también muy cerca de los plásticos. La Familia 6 es similar al PP (polipropileno), Familia 7 a TPU (Poliuretano termoplástico) y Familia 8 al PEBA (polieter amida) que es un plástico duro pero elástico, lo que es positivo para el composite conformado solo con arpillera

GRÁFICO 3.29: DENSIDAD VS ESFUERZO DE FLUENCIA FLEXIÓN			
FAMILIA	ESQUEMA DE REFUERZO	DENSIDAD PROMEDIO	ESFUERZO DE FLUENCIA PROMEDIO
FAMILIA 5	4 CAPAS COMBITRI	882,4	98,70
FAMILIA 6	4 CAPAS	948,6	106,68
FAMILIA 7	8 CAPAS BIAxIAL	1084,3	143,15
FAMILIA 8	8 CAPAS	1026,9	148,56

GRÁFICO 3.30 Zoom Comparación de Densidad vs Esfuerzo de Fluencia en Tracción con Familias de Materiales existentes, Elaboración propia, 2021.

TABLA 3.36, 3.37 Coordenadas para gráficos 3.29 y 3.30 respectivamente. Elaboración propia, 2021.

GRÁFICO 3.30: DENSIDAD VS ESFUERZO DE FLUENCIA TRACCIÓN			
FAMILIA	ESQUEMA DE REFUERZO	DENSIDAD PROMEDIO	ESFUERZO DE FLUENCIA PROMEDIO
FAMILIA 5	4 CAPAS COMBITRI	882,4	25,321
FAMILIA 6	4 CAPAS	948,6	21,163
FAMILIA 7	8 CAPAS BIAxIAL	1084,3	37,658
FAMILIA 8	8 CAPAS	1026,9	25,134

Módulo de Young vs. Esfuerzo de Fluencia

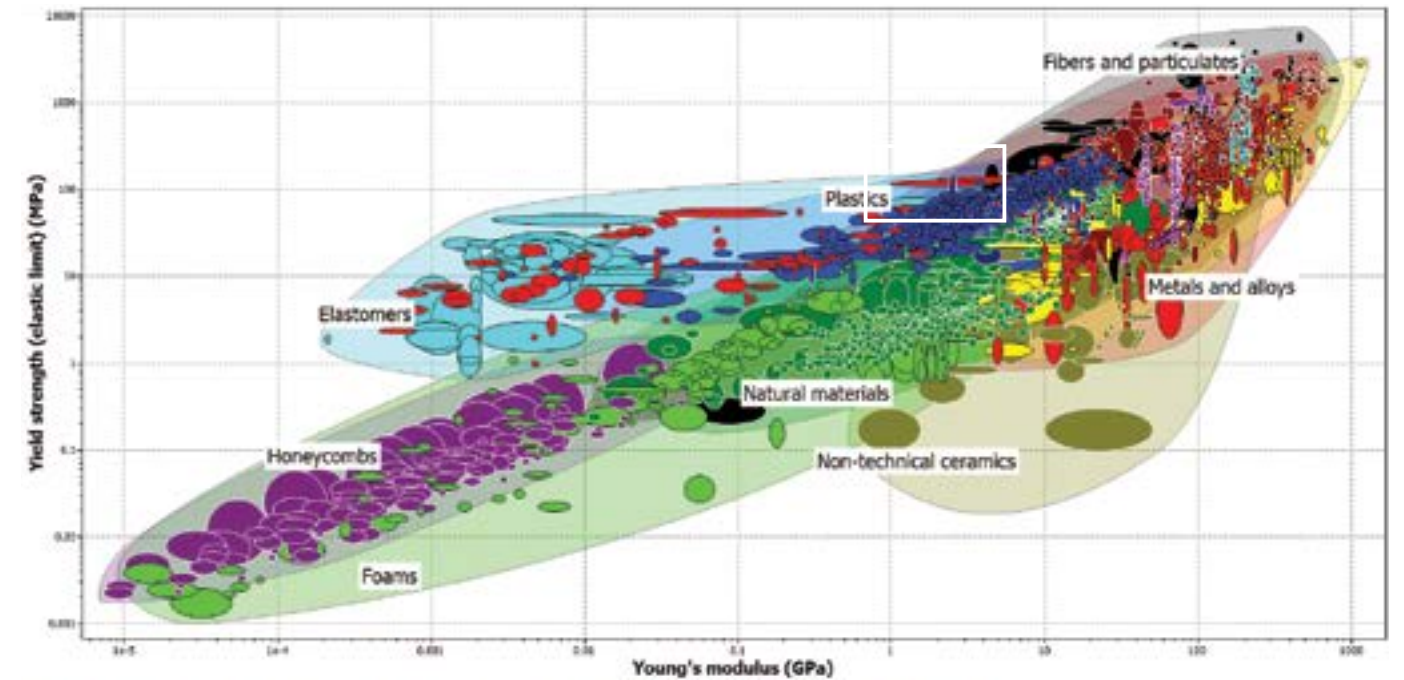
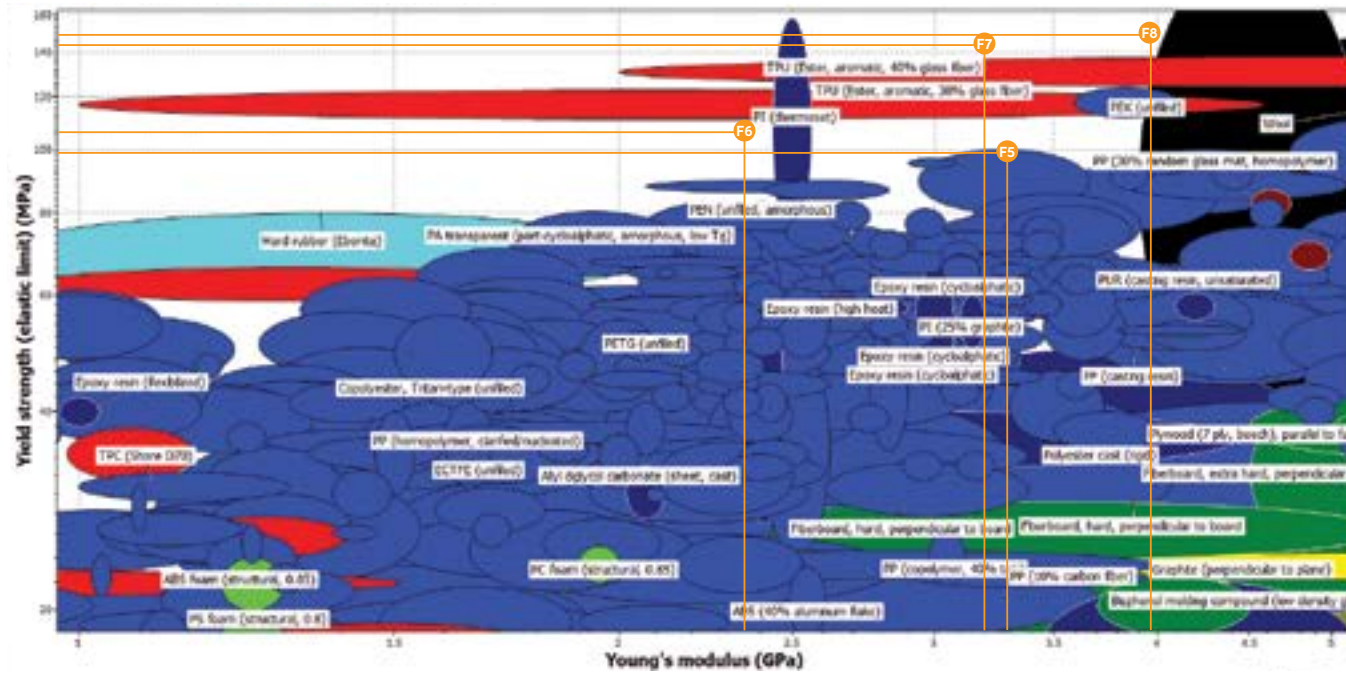
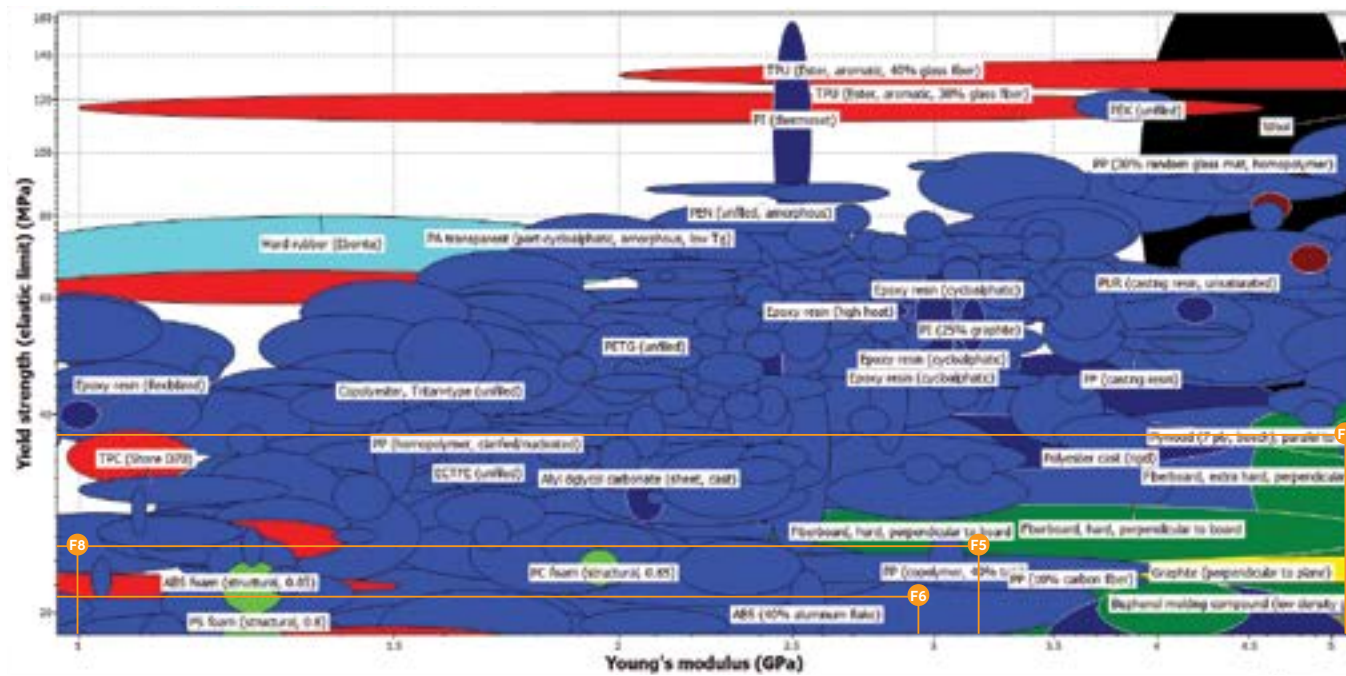


GRÁFICO 3.31 Comparación de Módulo de Young vs Esfuerzo de Fluencia con Familias de Materiales existentes. Elaboración propia, 2021.

MÓDULO DE YOUNG VS ESFUERZO DE FLUENCIA EN FLEXIÓN



MÓDULO DE YOUNG VS ESFUERZO DE FLUENCIA EN TRACCIÓN



De arriba hacia abajo:

GRÁFICO 3.32

Zoom Comparación de Módulo de Young vs Esfuerzo de Fluencia en Flexión con Familias de Materiales existentes.

Elaboración propia, 2021.

GRÁFICO 3.33

Zoom Comparación de Módulo de Young vs Esfuerzo de Fluencia en Tracción con Familias de Materiales existentes.

Elaboración propia, 2021.

GRÁFICO 3.32: MÓDULO DE YOUNG VS ESFUERZO DE FLUENCIA FLEXIÓN

FAMILIA	ESQUEMA DE REFUERZO	MÓDULO DE YOUNG PROMEDIO	ESFUERZO DE FLUENCIA PROMEDIO
FAMILIA 5	4 CAPAS COMBITRI	3,320	98,70
FAMILIA 6	4 CAPAS	2,343	106,68
FAMILIA 7	8 CAPAS BIAXIAL	3,220	143,15
FAMILIA 8	8 CAPAS	3,973	148,56

TABLA 3.38, 3.39
Coordenadas para gráficos 3.32 y 3.33 respectivamente. Elaboración propia. 2021

GRÁFICO 3.33: MÓDULO DE YOUNG VS ESFUERZO DE FLUENCIA TRACCIÓN

FAMILIA	ESQUEMA DE REFUERZO	MÓDULO DE YOUNG PROMEDIO	ESFUERZO DE FLUENCIA PROMEDIO
FAMILIA 5	4 CAPAS COMBITRI	3,187	25,32
FAMILIA 6	4 CAPAS	2,954	21,16
FAMILIA 7	8 CAPAS BIAXIAL	5,115	37,66
FAMILIA 8	8 CAPAS	1,027	25,13

Por último, se analizan los gráficos que comparan Módulo de Young y Esfuerzo de Fluencia (Gráfico 3.32 y 3.3). En el caso de las familias en flexión, se posicionan por sobre los plásticos, acercándose a algunos termoplásticos como el TPU y PI (Plástico Poliimida), materiales resistentes a altas temperaturas. La Familia 8 se acercó mucho al PEK (Polietercetona), que es un plástico que tiene buenas propiedades térmicas y mecánicas, además de buena resistencia al desgaste y deslizamiento. En flexión las familias resultaron tener menos plasticidad por lo que se comportan de una manera más rígida que en tracción, es por esto que en el Gráfico 3.33 las familias se posicionan más cerca de los plásticos rígidos, obteniendo valores más pequeños de esfuerzo de fluencia y módulo de Young.

En conclusión, el material resultó ser coherente con sus componentes, ya que se posicionó en zonas intermedias entre los materiales naturales y los polímeros. Teniendo en cuenta que la arpillera yute es un material natural que no tiene ninguna propiedad mecánica por si sola, se comprueba que la resina (polímero) le aporta la resistencia suficiente para acercarse a los plásticos de uso tanto artesanal como industrial.

3.5 Percepción del material

El análisis perceptual del material se realiza a través de Diferencial Semántico, que busca obtener una medición del significado que tiene un objeto para una persona (Osgood, Suci y Tannenbaum, 1957). Se define una lista de conceptos bipolares (Aros & Narváez, 2009) los cuales son valorados del 1 al 7, donde el 1 sería la valoración máxima para el concepto, 4 neutro y 7 la valoración máxima para el concepto opuesto. La encuesta compara 2 probetas, una fabricada con fibra de vidrio (V/M/M/M/T/M/T/M) y otra fabricada solo con arpillera (Familia), el instrumentos es aplicado a 40 personas y los resultados se presentan en la Imagen X:

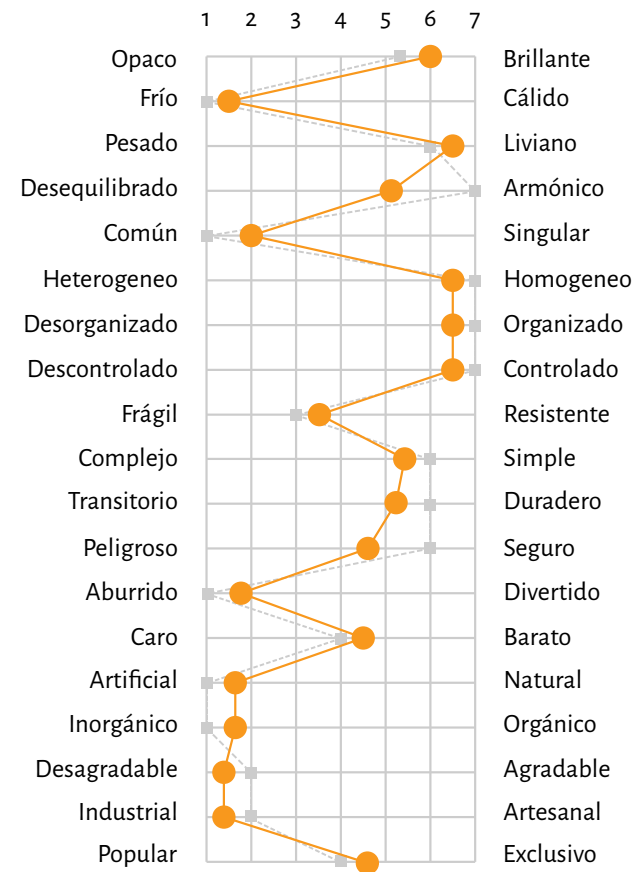
De izquierda a derecha:

IMAGEN 3.34
Probeta de Fibra de Vidrio utilizada para encuesta.
 Elaboración propia. 2021.

IMAGEN 3.35
Probeta de Arpillera utilizada para encuesta.
 Elaboración propia. 2021

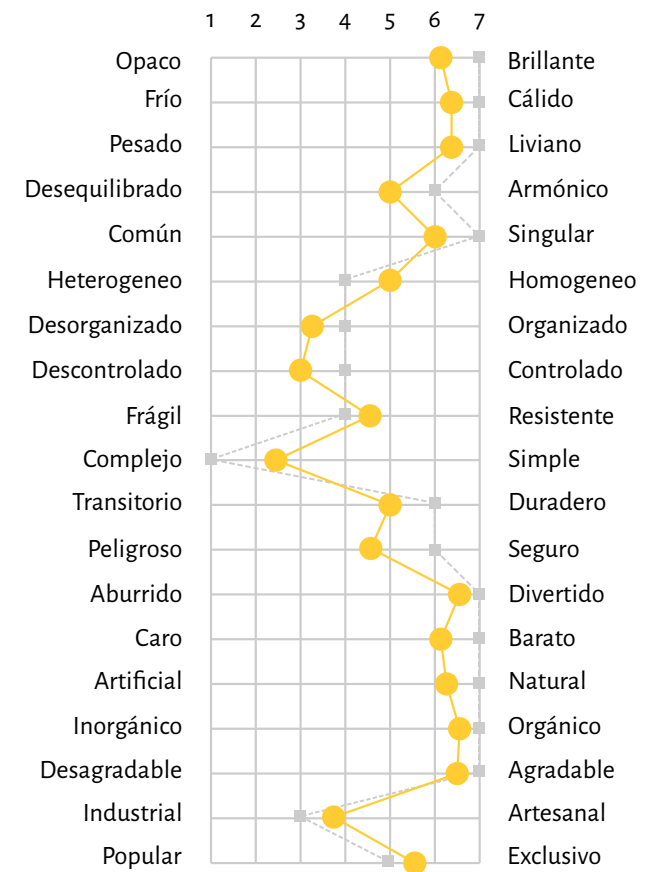


DIFERENCIAL SEMÁNTICO
PROBETA FIBRA DE VIDRIO
(M/T/M/T/M/T/M)



● Promedio de las evaluaciones
 ■ Moda de las evaluaciones

DIFERENCIAL SEMÁNTICO
PROBETA ARPILLERA
(A/A/A/A/A/A/A)



● Promedio de las evaluaciones
 ■ Moda de las evaluaciones

Área de Desempeño	Conoce FRP.	Conoce Arpillera.
CONTABILIDAD	0	0
DISEÑO	9	8
EDUCACIÓN	0	2
INGENIERIA	5	2
SALUD	0	4
TRANSPORTE	1	0
VENTAS	1	1

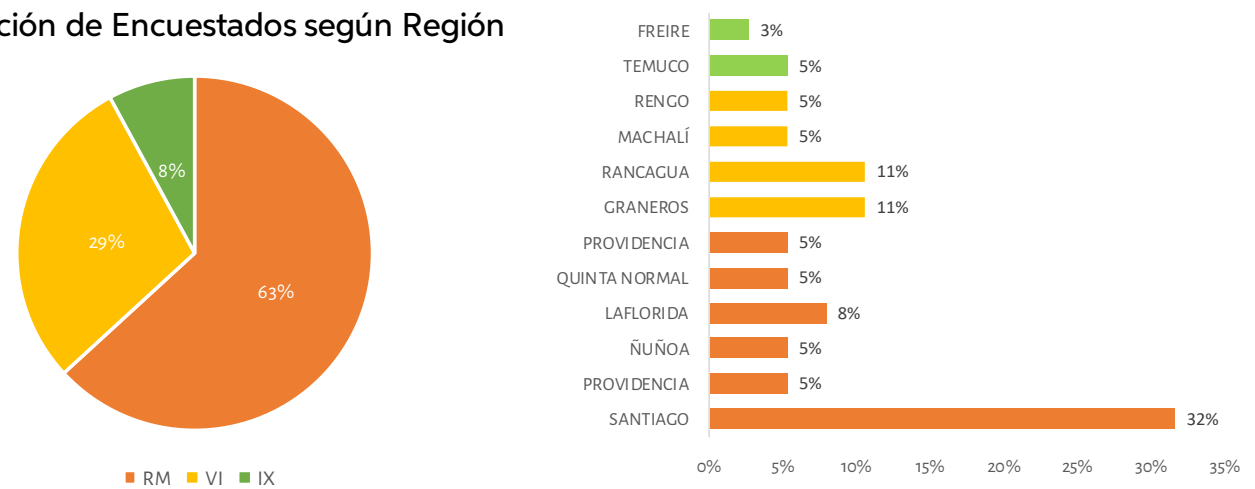
De arriba hacia abajo:
GRÁFICOS 3.34, 3.35
Resultados de Diferencial Semántico probeta Fibra de Vidrio y probeta Arpillera respectivamente.
 Elaboración propia. 2021

TABLA 3.40
Conocimiento de Fibra de Vidrio y Arpillera según área de desempeño.
 Elaboración propia. 2021.

Ambos gráficos muestran el promedio (círculos naranjos) y moda (cuadrados grises) que obtuvo cada par de características. En el caso de la probeta compuesta por arpillera (Familia 6 y 8), se ve una tendencia hacia los aspectos que se encuentran a la derecha, con calificaciones sobre 5 y 6 mayoritariamente, a diferencia de la probeta fabricada con fibra de vidrio, que muestra calificaciones más equilibradas hacia ambos lados. Ambos materiales son percibidos como livianos, pero medianamente poco seguros y menos duraderos. En el resto de los pares se notó una polarización de las evaluaciones, entre lo que más destaca son aspectos que tienen que ver con la dimensión estético formal como lo cálido, brillante y agradable. Otro aspecto importante es que en cuanto a lo natural/artificial, los resultados fueron extremos, ya que el material propuesto logró mostrar las fibras del material de buena forma lo cual es mucho más orgánico y singular.

La encuesta fue realizada a 21 mujeres y 17 hombres, de nacionalidad chilena, entre las edades 21 y 66 años (con una edad promedio de 33 años). Geográficamente, los encuestados eran mayoritariamente de la RM, pero también se encuestaron personas de otras regiones, como se ve en el Gráfico X.

Distribución de Encuestados según Región



Ante la pregunta de si les llama la atención el material propuesto y si les gustaría ver alguna aplicación de éste en algún objeto, tuvo la aprobación de un 70 %, por lo que sí es atractivo visualmente para los futuros usuarios.

De izquierda a derecha:

GRÁFICO 3.36 Distribución de encuestados según región.

Elaboración propia. 2021.

GRÁFICO 3.37 Distribución de encuestados según comuna.

Elaboración propia. 2021.

3.6 Costos del material

Se realizó un Análisis de Precios Unitarios de las familias resultantes (familias 5-8), teniendo en cuenta su volumen, rendimiento de materias primas, densidad y esquemas de refuerzo de las probetas que determinan el espesor de las probetas.

En cuanto al cálculo de los costos directos, están compuestos por el valor de la materia prima y la mano de obra directa (horas hombre) empleadas en su fabricación, asumiendo que no se utiliza maquinaria pesada. Los costos indirectos y gastos generales se calcularon en base a estudios de presupuesto, donde se define que la suma de estos no supera el 25 % de los costos directos (Vera, 2015), por lo que se aplicó un 15 % y un 10 % respectivamente. En la Tabla 3.47, se presenta el costo de fabricar una probeta de 159x56mm según cada familia, así como también su precio de venta teniendo un 10 % de margen sobre el costo.

TABLA 3.41 Comparación de costo y precio venta de una probeta 159x56mm de cada familia. Elaboración propia. 2021.

Valores	Familias			
	5	6	7	8
Promedio de Espesor Real (mm)	6,3	2,4	5,7	4,8
Promedio de Peso Real (kg)	0,09	0,03	0,08	0,05
Promedio de Costo Resina A430	\$240	\$71	\$231	\$140
Promedio de Costo MP	\$313	\$85	\$290	\$165
Promedio de Costo HH	\$518	\$518	\$518	\$518
Promedio de Costo Directo	\$830	\$602	\$807	\$683
Promedio de Costo Indirecto (15%)	\$125	\$90	\$121	\$102
Promedio de Gastos Generales (10%)	\$83	\$60	\$81	\$68
Promedio de Costo Total	\$1.038	\$753	\$1.009	\$853
Promedio de Precio Venta	\$1.153	\$836	\$1.121	\$948

Valores	Probetas	
	Probeta Arpillera	Probeta Fibra de Vidrio
D ancho (mm)	56	56
H largo (mm)	159	159
Área (cm2)	97,94	97,94
Volumen (cm3)	42,74	43,63
Espesor Real (mm)	4,80	4,90
Peso Real (kg)	0,05	0,08

TABLA 3.42 Dimensiones utilizadas para costeo de probeta de fibra de vidrio y arpillera. Elaboración propia. 2021.

Además, era importante tener un paralelo de costos entre una probeta de la Familia 8, que está compuesta únicamente con arpillera, versus una probeta fabricada con fibra de vidrio (esquema estándar V/M/M/M/T/M). Ambas probetas tienen similares dimensiones, espesor y resina, además se mantiene el proceso de conformación con todas sus variables iguales para ambos casos. Se obtiene que el m² de material compuesto con arpillera es un 14 % más barato que el fabricado con fibra de vidrio, \$ 97.811 vs \$ 111.872 respectivamente.

Valores	Probetas	
	Probeta Arpillera	Probeta Fibra de vidrio
Espesor Real (mm)	4,8	4,9
Peso Real (kg)	0,05	0,08
Costo Resina A430.	\$146	\$220
Mat450.	\$-	\$29
Costo Arpillera.	\$18	\$-
Costo MP.	\$172	\$271
Costo HH.	\$518	\$518
Costo Directo.	\$690	\$789
Costo Total.	\$862	\$986
Precio Venta.	\$958	\$1.096
Costo Unitario (CLP/m²)	\$88.030	\$100.685
Precio Unitario (CLP/m²)	\$97.811	\$111.872
Delta Precio Venta		14%

TABLA 3.43
Comparación de costo y precio venta de probeta fibra de vidrio versus probeta de arpillera.
Elaboración propia. 2021.

En conclusión, la estructura de costos del composite permite tener precios competitivos de venta y que sea una opción viable para su aplicación en la industria del FRP local, otorgando la posibilidad de ampliar sus opciones de producción. Además, hay que considerar que es común que las piezas de fibra de vidrio lleven una capa de gelcoat en su cara externa para otorgarle color y rasgos estéticos a la pieza (además de protección a los rayos UV). En el caso del material propuesto no aplica, ya que tiene características estéticas por sí solo, por lo que también significa un ahorro de tiempo, material y mano de obra en la aplicación de revestimientos externos. En el caso de requerir resistencia a la corrosión o a mayores temperaturas de operación, puede cambiarse la resina empleada, según las propiedades químicas deseadas, sin afectar el proceso productivo.

3.7 Caracterización del material

Luego de todos los estudios realizados, se procede a la caracterización final del material presentada en la Tabla 3.50, para lo que se utilizará la tabla definida por Groover (Tabla 2.9 Capítulo 2) para la caracterización de un material, se decide caracterizar la Familia 8, ya que es la que no tiene ningún tipo de fibra de vidrio en su esquema y está compuesta únicamente de arpillera en su refuerzo, por lo que es el valor agregado de la probeta:

Propiedad	Resultados
Perceptual (P)	Brillante, cálido, liviano, armónico, singular, duradero, divertido, barato, natural, orgánico, agradable, exclusivo. Medianamente desorganizado, descontrolado, complejo, peligroso e industrial.
Uso (U)	Resistencia a ambientes corrosivos (ácidos y alcalinos), resistencia térmica y buen desempeño en flexión y tracción.
Sensorial (S)	1 cara lisa, 1 cara texturada. Material frío al tacto de color natural entre naranja y café (gama cálida), suave por una cara, duro. Sin defectos técnicos (burbujas, baja humectación).
Técnico (T)	El material tiene un 14 % más barato que fabricar la misma pieza con esquemas de fibra de vidrio. Duradero, reparable. Apto para su uso en exterior (resistencia a la humedad y temperaturas), apto para fabricación en masa de productos en molde cerrado (infusión)
Material (M)	Similar a los composites de baja resistencia, a los polímeros, termoplásticos y materiales naturales.

El análisis perceptual (P) se hizo en base al diferencial semántico, donde resultados iguales o mayores a 5 se consideran como un atributo perceptual del material, bajo esa nota se considera como medianamente del atributo opuesto. El análisis sensorial (S) se realizó con el filtro de probetas realizado teniendo en cuenta defectos técnicos y visuales.

Para el uso (U), se hace referencia a las pruebas físicas-mecánicas realizadas y propiedades de la resina. El análisis de costos aportó en la propiedad técnica (T) junto con las conclusiones de comparaciones realizadas durante el capítulo. Finalmente, la propiedad material (M) se define con la comparación del compuesto con las familias de materiales.

Como resultado se obtiene la ficha del material, que se presenta en la Tabla 3.51.

TABLA 3.44
Resultados de categorías de propiedades que se pueden usar para describir el perfil de un material Groover, 2004.
Elaboración propia. 2020.


MATERIAL COMPUESTO DE ARPILLERA Y RESINA VINIL ÉSTER			
FAMILIA 8			
			
Esquema de Refuerzo	A/A/A/A/A/A/A	Espesor Nominal	8 mm
Resina	Vinil éster Palatal A430 BASF	Espesor Real	4,8 mm
Viscosidad Resina	450 CP	Compresión Espesor	40 %
Conformado	Infusión Vacío -0,8bar	Densidad	1026,9 kg/m ³
Acelerado Resina	Cobalto 0,35 %	Absorción de agua	No
Catalizado Resina	Peróxido 1 %	Hinchamiento	No
Temperatura Resina	22°C	Módulo Young (F)	3,97 GPa
Tiempo de Gelado	20-30 min.	Módulo Young (T)	4,15 GPa
Permeabilidad	8,43 E-10 m ²	Esfuerzo (F)	148, 56 MPa
Dureza Barcol	21,02 Hba	Esfuerzo (T)	44,43 MPa
Descripciones			
El material no presenta defectos técnicos (burbujas, mala humectación) posterior a su conformado. El material presenta buenas características visuales, teniendo un lado liso y brillante, destacando la arpillera como refuerzo y es medianamente traslúcido.			
Excelente resistencia química, para aplicaciones en ambientes corrosivos (ácidos y alcalinos) Excelente resistencia térmica y a la flexión. Medianamente resistente a la tracción, pero con posibilidades de mejorar su desempeño aumentando espesor. Similar a polímeros como el PEBA y el PEK.			
Percibido como brillante, cálido, liviano, armónico, singular, duradero, divertido, barato, natural, orgánico, agradable y exclusivo.			

TABLA 3.45

Ficha de Material Compuesto de arpillera con resina vinil éster.

Elaboración propia. 2021.



4. Propuesta de diseño

Luego de la caracterización del material, viene la etapa de aplicación de éste, a través de una propuesta conceptual y formal donde el material sea utilizado de forma coherente, sin caer en la descontextualización de éste.

En primera instancia se pueden definir ciertos parámetros del material que nos dan información como: que tiene alta resistencia y durabilidad gracias a sus propiedades químicas, térmicas y mecánicas, todas características brindadas por la resina, que es la matriz del material compuesto resultante. En cuanto al refuerzo, la arpillera otorga las propiedades perceptuales, agregando belleza y calidez al compuesto. También, al tener su fibra a la vista, es percibido como natural y orgánico. Con estas cualidades ya se puede pensar una posible aplicación, pero para que tenga sentido faltan dos componentes además del material, el contexto y el usuario.

Para poder identificar un área de aplicación, se decidió tomar la arpillera y estudiar sus usos actuales, el contexto donde corresponde y cuales son las personas que podrían relacionarse con ella.

4.1 Significancia de la arpillera



IMAGEN 4.1
Obra "Ante la Incertidumbre".
Fuente: La historia detrás de las arpilleras, Nancy Herrera, 2015.



IMAGEN 4.2
Obra "Afiche" Arpillera
con lanigrafía, Violeta
Parra, 1964.
Fuente: Museo Violeta
Parra, 2021.

Una aplicación importante que tiene la arpillera yute es el uso que le dio Violeta Parra en los años 60. Violeta Parra utilizó arpillera como lienzo para sus obras bordadas, las cuales fueron exhibidas en el Museo de Artes Decorativas de París, ubicado en el pabellón Marsan del Palacio del Louvre, en abril de 1964. Esta técnica de artesanía textil tuvo gran impacto también durante la década de los 70 en Chile, ya que las mujeres de la época "cosían su historia de terror, sufrimiento y dolor" vividas durante la dictadura. Las arpilleras tejidas representaban un diálogo constante con el ausente, el ser querido desaparecido, por lo que las arpilleras se convirtieron en un medio de sustento y protesta, y actualmente memoria de la represión vivida.

El trabajo que hizo Violeta Parra con las arpilleras es parte de su legado más desconocido popularmente, contrario a lo que pasa con su aporte a la música y poesía. Una institución que tiene como objetivo poder difundir estas obras escondidas, es el Museo Violeta Parra ubicado en Santiago e inaugurado en octubre del 2015. Según el periodista y poeta chileno Jorge Montealegre, no es raro que estos trabajos sean desconocidos a nivel nacional pero muy conocidos a nivel internacional, ya que, al igual que ella y su familia, sus obras también sufrieron el exilio y la represión de la dictadura.

Se puede rescatar el significado que tiene la arpillera y además lo versátil que es, ya que como se puede bordar con diferentes técnicas permite su uso como canal de mensajes. Finalmente se puede afirmar que en el contexto local es un material utilizado para una expresión de arte y protesta por mujeres, siendo parte de la identidad nacional y la memoria colectiva.

IMAGEN 4.3
Moodboard Arpilleras
Violeta Parra.





4.2 Propuesta conceptual

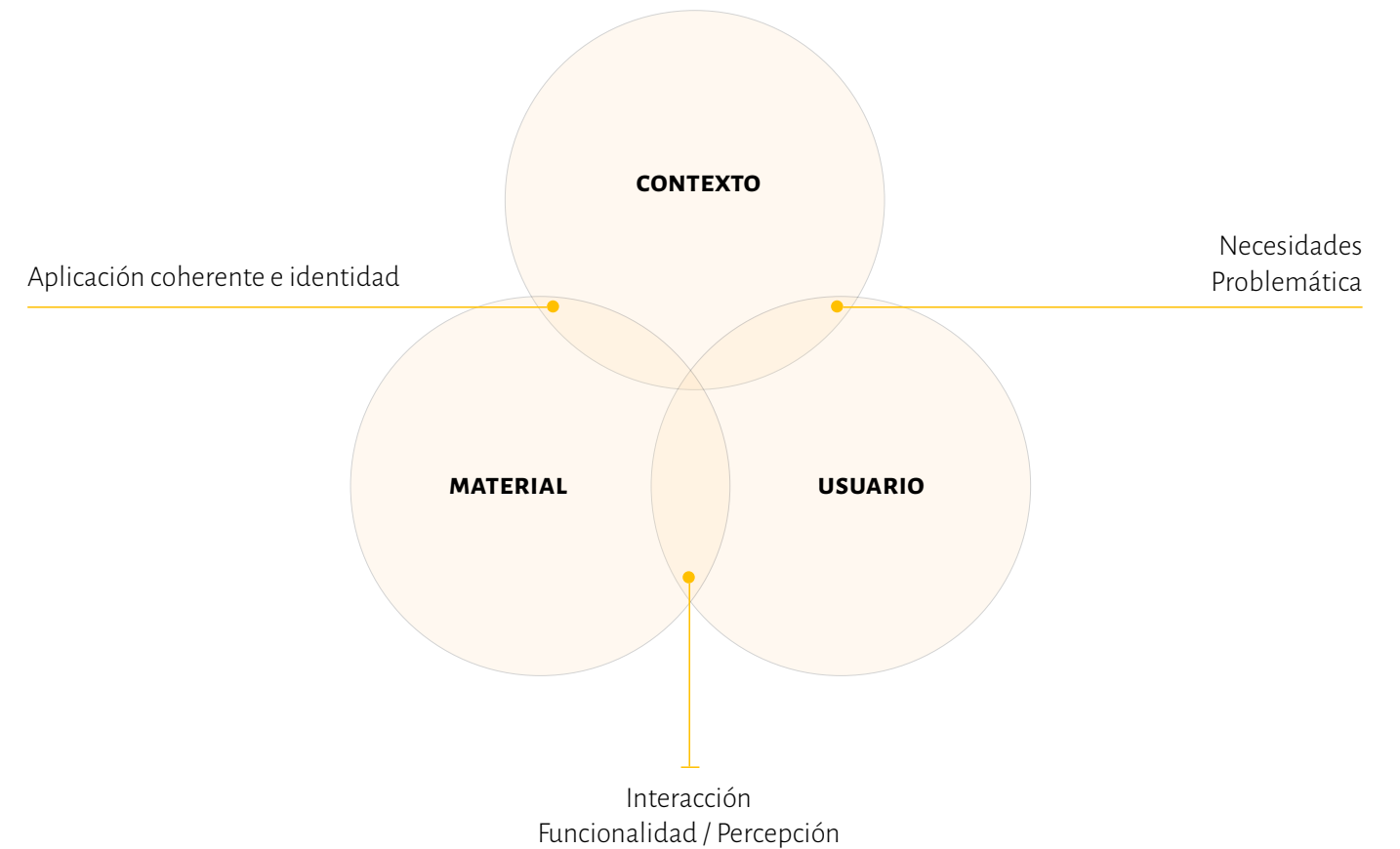
En la triada planteada en el Esquema 4.1, el material con el usuario se relaciona a través de la interacción, la funcionalidad y la percepción, desde el usuario con el contexto se desprenden problemáticas y necesidades, en el contexto con el material es importante que exista una coherencia y un reflejo de la identidad y finalmente teniendo en cuenta estas tres dimensiones nace la propuesta conceptual:

Expresividad Material como muestra de la identidad artística y protestante en Chile

A través del material compuesto se busca generar un objeto que cumple con funcionalidad y simbolismo, y a partir de este concepto se hace una investigación de referentes donde la materialidad entregue un mensaje y pase a ser parte activa dentro de la comunicación del producto, más allá que solo una materia prima para su fabricación.

Dentro de esta línea, es muy importante además el concepto de semiótica, ya que es la encargada de verificar la estructura de signos y la validez que pueden llegar a tener las percepciones culturales para favorecer a la comunicación humana (Campitelli, 2012). Según Zecchetto (2010), además de la traducción de signos y significados, la semiótica incluye a la semiosis, que es la dinámica que existe entre los signos en un contexto social y cultural. En este caso, el signo es el material en si mismo, mientras que el símbolo es comunicar a través de él la identidad y homenajear a Violeta Parra y su obra a través de un producto.

ESQUEMA 4.1
Relación entre variables de diseño.
Elaboración propia. 2021.





4.3 Referentes de materialidad expresiva

4.3.1 Identidad patrimonial

China es un país que posee un patrimonio arquitectónico milenario con una estética muy particular, pero que, debido a la falta de suelos y la tendencia de aprovechamiento de espacio, muchas de estas antiguas construcciones han tenido que ser demolidas e inevitablemente se pierde parte de la tradición en el inconsciente colectivo. Wang Shu y Lu Wenyu destacan por su concepto de trabajo frente a este problema. Ellos se dedican a recuperar materiales de las demoliciones los cuales están cargados de simbolismo, ya que fueron construidas con técnicas ancestrales y son parte de la identidad visual del país. Utilizando estos materiales en sus obras, mezclado con técnicas tradicionales y artesanales de construcción, logran hacer homenaje y mantener viva la identidad arquitectónica de sus ancestros en edificios modernos.

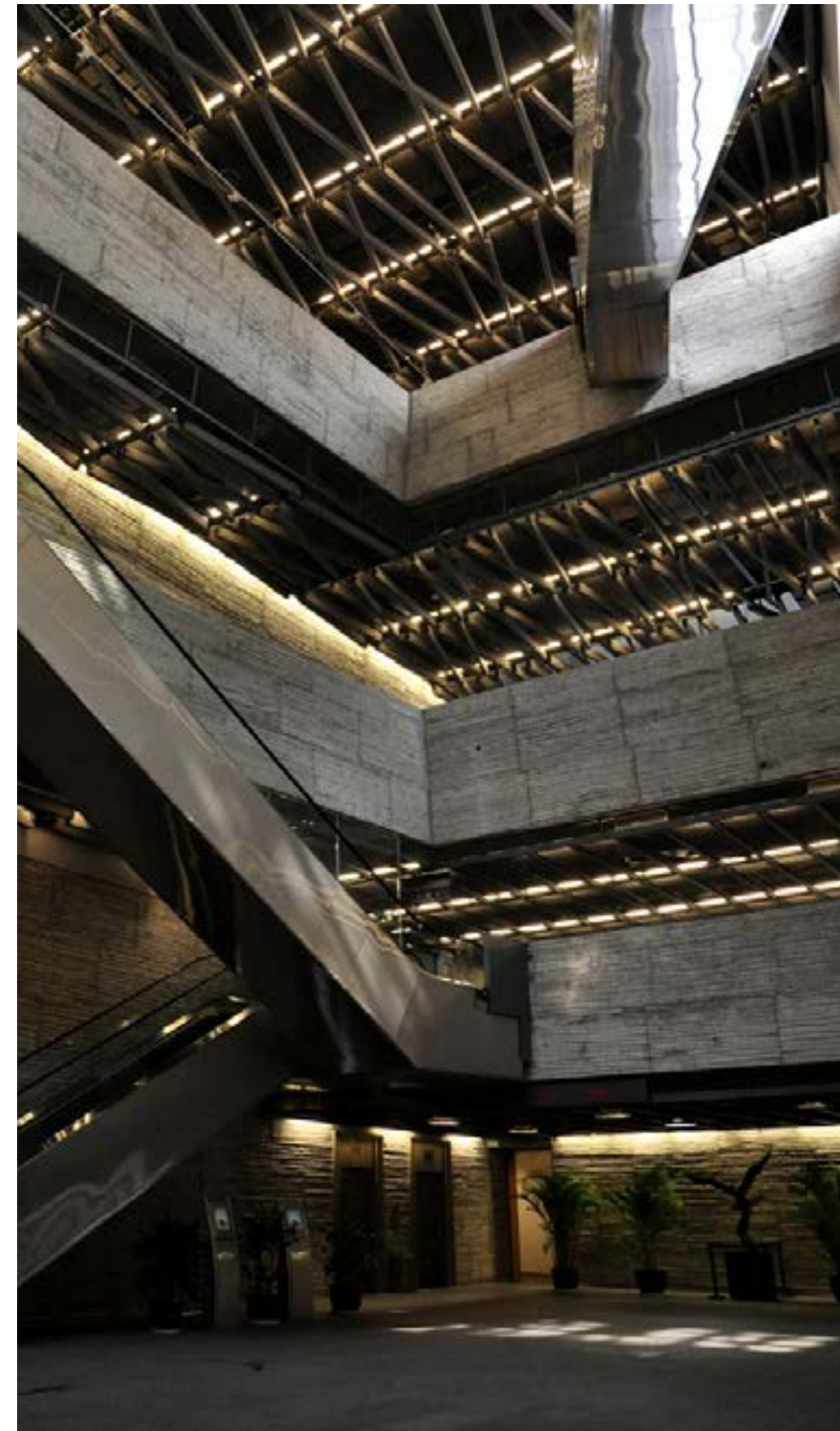


IMAGEN 4.4
Espacio central interior del Museo de Historia de Ningbo.

Fuente: La materialidad expresiva de Shu y Wenyu, Federico García, 2015.



IMAGEN 4.5
Cubierta de troncos de madera en el espacio de acceso al Museo de la Academia de Arte de Zongshan.
Fuente: La materialidad expresiva de Shu y Wenyu, Federico García, 2015.



IMAGEN 4.6
Jardín de Tejas. Bienal de Venecia. Wang Shu y Lu Wenyu.
Fuente: La materialidad expresiva de Shu y Wenyu, Federico García, 2015.

4.3.2 Identidad local

Así como también los materiales pueden ser reutilizados para darles un significado, en Chile existen los materiales que están relacionados con la identidad de una localidad en específico y que son característicos de estos lugares, como es el caso de la greda en Pomaire, y el mimbre en Chimbarongo, entre otros. Esta identidad es muy importante, porque, además de representar la actividad económica de la zona, también tiene un significado muy importante en cuanto al oficio artesanal, siendo una herencia de generaciones que la comunidad se encarga de mantener viva a través del tiempo.



IMAGEN 4.7
Vasija de greda Pomaire.
Fuente: Artesanías de Chile, 2021.

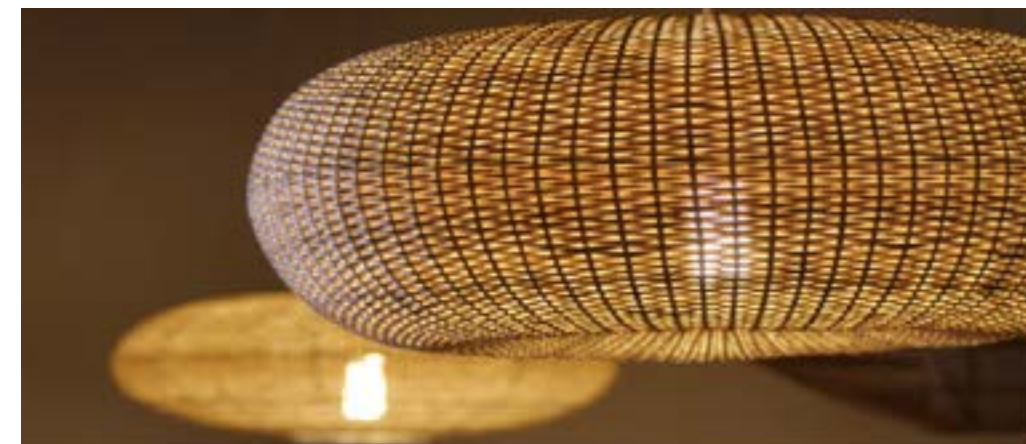


IMAGEN 4.8
Pantalla luminaria en mimbre.
Fuente: Decomimbre, 2021

4.4 Contexto y aplicación

4.4.1 Museo Violeta Parra

El Museo Violeta Parra fue inaugurado el 4 de octubre del 2015 y tiene el objetivo de conservar, restaurar, difundir y poner en valor la vida, obra y legado de la artista. Desde el 2018 el museo empezó con una política medioambiental de “Museo Verde”, donde presentan su compromiso con el medioambiente, tomando medidas sustentables en cuanto al consumo de energía del espacio.

“La obra de Violeta Parra está impregnada de alusiones a la naturaleza, por lo que su mensaje creativo se conecta con la necesidad de cuidarla” (Equipo Museo Violeta Parra, 2018).

Teniendo esto en cuenta, se ve una oportunidad de aportar a la infraestructura móvil del espacio, con el material resultante.

IMAGEN 4.9
Fachada Museo Violeta Parra Santiago.
Fuente: Museo Violeta Parra, 2021.



4.5 Desarrollo de propuesta

4.5.1 Intervención de material

Dentro del concepto de Materialidad expresiva, se decide aportar más elementos visuales al refuerzo utilizado. La arpillera en si es representativa y parte de la identidad de la obra de Violeta Parra, pero no es solo la tela de yute, si no que el bordado en ella, por lo que se decide experimentar con bordado en capas de arpilleras que serán parte del esquema de refuerzo de la pieza final, para generar una especie de encapsulamiento.

Generalmente las arpilleras se bordan con lana, ya que el grosor de los espacios que deja la trama permite que la puntada sea compatible con la lana, pero como es una fibra más gruesa, tiene mayor absorción de líquidos, por lo que podría tener complicaciones para el proceso de conformado en infusión. Se decide probar la técnica de bordado con hilo y ver como el material se comporta.

También es importante el grosor de la tela, como el hilo es más delgado que la lana, se decide probar el bordado en 3 capas de las 8 que llevará la pieza final. Los resultados se muestran en la Imagen 4.11 donde se realizó el bordado del logo del Museo Violeta Parra.

De izquierda a derecha:
IMAGEN 4.10
Trozo de arpillera bordada en Museo Violeta Parra Santiago.
Fuente: Museo Violeta Parra, 2021.

IMAGEN 4.11
Logo Museo Violeta Parra Santiago.
Fuente: Museo Violeta Parra, 2021.



MUSEO
Violeta
Parra



Se comprueba que la arpillera bordada con hilo queda firme, por lo que no debería presentar problemas (como correrse o deformarse) al momento de inyectar la resina en la pieza final.



IMAGEN 4.12
Logo Museo Violeta Parra
bordado en 3 capas de
arpillera.

Fuente: Elaboración propia,
2021.



4.5.2 Paleta cromática

Como se puede ver en la Imagen 4.13 y 4.14, se hizo un análisis de la paleta cromática de la obra "Contra la guerra" de Violeta Parra y de la paleta cromática del material compuesto, respectivamente. Se escogió esa obra ya que es una de las que mantiene el color de la arpillera como fondo de lienzo y además es la más popular colectivamente del set de arpilleras, por lo que se puede decir que es la más representativa.

La interpretación de la obra, según Jorge Montealegre (2017), es que Violeta intenta comunicar un discurso pacifista inspirado en el conflicto con Bolivia que estaba sucediendo en esa época. Violeta borda a 4 personajes que representan personas de distintas nacionalidades y etnias, también se ven símbolos de guerra y el anhelo de la paz. Violeta, tanto en esta obra como en su música y poesía, llamaba a la unión de Latinoamérica y a olvidarnos de que unos son mejores que otros.

IMAGEN 4.13
Paleta cromática basada
en obra "Contra la Guerra",
Violeta Parra, 1962.

Fuente: Museo Violeta
Parra, 2021.



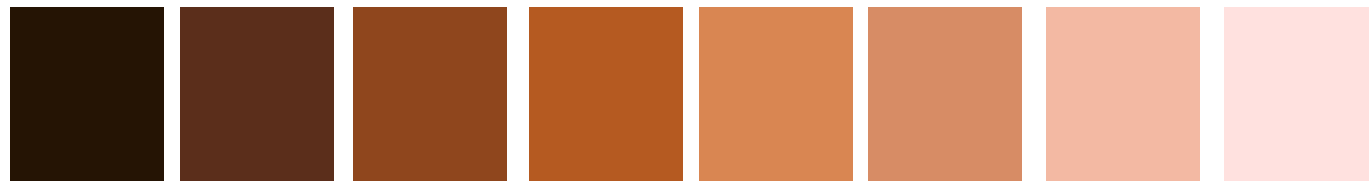


IMAGEN 4.14
Paleta cromática material
compuesto arpillera.
Fuente: Elaboración propia,
2021.

4.5.3 Génesis formal

Se realizó un análisis de geometrías de la obra, obteniendo los resultados presentados en la Imagen 4.15. Cada persona de la obra, tiene gamas de colores y geometrías distintas, por lo que se decide llevar estas geometrías a una composición donde todas interactúen entre ellas, para hacer alusión a la lectura de la obra, apelando a la unión de los pueblos, en este caso los colores y geometrías representarían eso.



IMAGEN 4.15
Abstracción de formas obra
"Contra la Guerra", Violeta
Parra, 1962.
Fuente: Elaboración propia,
2021.



IMAGEN 4.16
Propuesta de abstracción
geométrica y cromática
para bordado en arpillera.
Fuente: Elaboración
propia, 2021.

Se termina obteniendo un tipo de logotipo, que se aprecia en la Imagen 4.16, el cual funciona como un signo de la deconstrucción de la obra de Violeta, coherente con el lenguaje formal y cromático presente en los personajes. Este logotipo será utilizado para ser bordado con lana en algunas zonas de la arpillera y así obtener un lienzo que será utilizado en el esquema de refuerzos del producto final.

Una de las posibles aplicaciones es generar un patrón de esta composición en distintos sentidos, ubicados de manera horizontal como se muestra en la Imagen 4.7.

Cabe destacar que el diseño se aplicará en algunas zonas de la arpillera solamente y no en todo el manto, ya que al ser un trabajo manual, no se puede realizar en un área muy grande sin que tome muchas horas hombre, lo que subiría el costo del producto final.



IMAGEN 4.17
Propuesta de distribución
de abstracción geométrica y
cromática.
Fuente: Elaboración propia,
2021.



IMAGEN 4.18
Moodboard referentes
de mobiliario urbano
fabricados en hormigón,
metal y materiales
compuestos
Fuente: Elaboración propia,
2021.



En cuanto al producto, una manera de aprovechar las propiedades del material como su resistencia a ambientes corrosivos, es su aplicación en mobiliario de uso exterior. Las ventajas de su uso en mobiliario exterior es que tiene resistencia a la humedad, altas y bajas temperaturas, etc. Además, se presenta la oportunidad de aplicarlo en las zonas de exterior que tiene el Museo Violeta Parra, ya sea la facha o jardín.

Para llegar a una aproximación de la forma de este mobiliario se realizaron 2 actividades clave; la primera fue la búsqueda de referentes de mobiliario exterior urbano fabricados en fibra de vidrio, maderas, metales y hormigón, generando un moodboard que se puede ver en la Imagen 4.18. La diferencia principal entre los fabricados con *composites* y los demás materiales es la libertad de forma, se aprecian más curvas y figuras más dinámicas, orgánicas y unificadas.

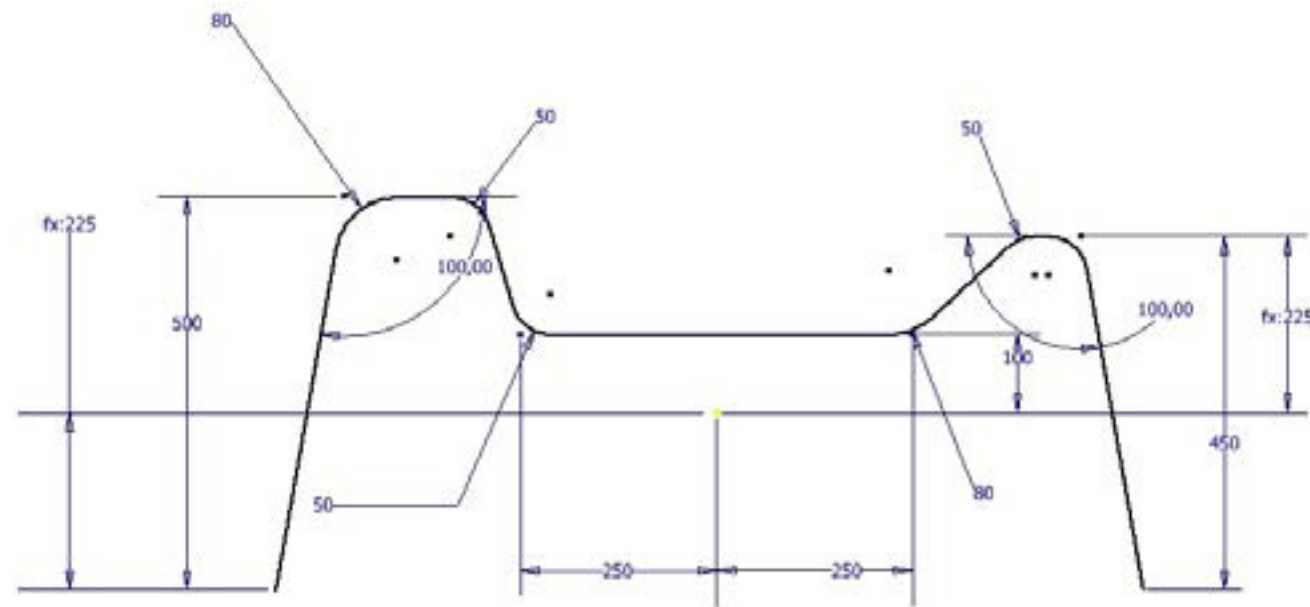
Luego, se hizo también un análisis de la obra, pero esta vez de las contraformas que se generaban dentro de los personajes, como se aprecia en la Imagen 4.19, resultando formas envolventes, con curvas y sin ángulos rectos. También se aprecia la sensación de abrigo o de querer contener "algo".

Teniendo estos conceptos desprendidos de las apreciaciones y sensaciones visuales, se comienza a trabajar en la primera aproximación del producto final.

IMAGEN 4.19
Análisis contraformas obra
"Contra la Guerra",
Violeta Parra, 1962.
Fuente: Elaboración propia,
2021.



IMAGEN 4.20
Primera propuesta formal
de banquillo.
Fuente: Elaboración propia,
2021.



Como el proceso de conformado del producto se realizará en Infusión, hay que tener en cuenta, que entre más compleja la forma, más puntos de inyección deberá tener el molde para que la resina pueda llegar a todas las zonas, por lo que para este proyecto se generará un producto con morfología más simple, pero aplicando los elementos extraídos de los análisis antes mencionados.

La primera propuesta de banquillo se observa en la Imagen 4.20, donde se hace un primer "doblez" de la lámina del material, pensándolo como una placa con 2 puntos de inyección en el molde, que es como fue probado y donde la permeabilidad tiene un mayor acierto de cálculo.

Posteriormente, se trabaja itera en las curvas de geometría, generando niveles a diferentes alturas, como las curvas observadas en la contraforma. Se agrega un ángulo de salida de la pieza (10° para desmolde) y radios de 50 y 80 mm. en las uniones de las líneas generales, teniendo como resultado el croquis de la Imagen 4.21.

Se obtiene el banquillo de la Imagen 4.22, manteniendo la simplicidad necesaria de la forma, pero agregando dinamismo y continuidad al producto, tratando de generar un espacio de contención para el usuario a través de las curvas en diferentes niveles. Además, se deben agregar unas escuadras de anclaje de 150x150 mm, para fijación al suelo, éstas también serían del mismo material propuesto.

IMAGEN 4.21
Croquis iteración propuesta formal de banquillo.

Fuente: Elaboración propia, 2021.



IMAGEN 4.22
Segunda propuesta formal de banquillo.

Fuente: Elaboración propia, 2021.





IMAGEN 4.23
Fotomontaje de propuesta visual en curva de banquillo.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

IMAGEN 4.24
Fotomontaje de propuesta visual en parte recta de banquillo.

Fuente: Elaboración propia, 2021.



En la Imágenes 4.23 y 4.24 se muestran los fotomontajes de la propuesta visual aplicada al producto, donde la composición podría ubicarse en algunas curvas del producto o bien, en las zonas rectas, para generar la sensación de detalle o firma encapsulada. Está pensada para ser aplicada en las zonas altas del producto, para que los usuarios puedan apreciarla al sentarse.

Finalmente, se propone una forma más esférica, siendo un objeto de una sola pieza, que no necesitaría adicionales para el anclaje y que no sufriría apertura dada su geometría. Esta propuesta se muestra en la Imagen 4.26, y su proceso de conformado en Infusión sería similar al utilizado en las tapas bombeadas para estanques de acumulación, como se muestra en la Imagen 4.25. Al ser una forma más compleja, el procedimiento, insumos y planificación de la fabricación también debe considerar más factores para evitar errores y pérdidas de material.

Se recomienda utilizar el software RTM-Worx para realizar una simulación de la pieza a conformar, para calcular de manera correcta los puntos de inyección y las zonas críticas del molde donde puede que la resina no llegue. También, al ser un proyecto de I+D, se deben realizar las etapas de prototipado a escala antes de fabricar el producto final en el tamaño real.

IMAGEN 4.25
Infusión de tapa bombeada para estanque de acumulación de agua.

Fuente: Engineering Composites, 2021.





IMAGEN 4.26
Propuesta formal más compleja de mobiliario.
Fuente: Elaboración propia, 2021.



Conclusiones

Las problemáticas dentro de la industria manufacturera de los materiales compuestos son variadas y generalmente nacen por el estancamiento de los conocimientos y procesos. Luego de detectar una de las problemáticas más importantes, que es la constante descontextualización de los materiales y el uso excesivo de las fibras más contaminantes en objetos que no lo necesitan, se logró obtener un material compuesto a base de fibra vegetal (arpillera yute) que:

- Resultó tener propiedades físicas y mecánicas similares a los polímeros y composites por lo que es aprobado para su utilización en objetos que no estén expuestos a grandes esfuerzos mecánicos.
- Las cualidades visuales del material resultaron ser muy positivas y agradables, por lo que es su mayor atributo a la hora de utilizarlo como un material que genere un impacto distinto al del FRP. Estos atributos permitieron su aplicación simbólica, además de la funcionalidad.
- El precio de los componentes también fue un plus, ya que si es muy elevado los costos financieros de la investigación y el futuro uso del material se podrían ver afectados de forma negativa. Resultó ser un 14 % más barato que un compuesto de fibra de vidrio con la misma resina, por lo que también significa un ahorro a la hora de querer generar un producto.
- El material es apto para el proceso de infusión en molde cerrado, por lo que permite su fabricación en masa a través de un proceso de conformado que es más amigable con el medio ambiente que el laminado manual, ya que la catalización de la resina se produce en un molde sellado, por lo que no se emiten gases tóxicos hacia los operarios y el ambiente.
- Dada la importancia de la arpillera, el material logró ser expresivo en el contexto de las obras de Violeta Parra, cargando la arpillera con significado e identidad de uso. Encontrar estos lazos en materiales que utilizamos es de gran importancia ya que nos permiten establecer distintos vínculos entre usuarios y objetos, dándole sentido al diseño, más allá del consumo y la industria.

Finalmente se concluye que la investigación es una oportunidad para inspirar a más diseñadores a estudiar los materiales y a que los ingenieros busquen significancia en los mismos, para proponer soluciones más integrales que sean un aporte para la sociedad tanto práctica como simbólicamente.

Proyecciones futuras

Una de las restricciones que tuvo el proyecto, en cuanto a disponibilidad y acceso, fue la resina. Se utilizó la resina vinil éster Palatal A430 porque era la que tenía la viscosidad apropiada para el proceso de molde cerrado (el cual era prioridad para bajar las emisiones de gases tóxicos, tener una buena terminación de la pieza y posibilidad de fabricación en masa a nivel industrial). Se propone que en el futuro se pueda realizar el estudio de permeabilidad con una resina más ecológica que tenga viscosidades aceptables para el proceso de conformado.

El cambio de resina también podría permitir una disminución en los costos del material, ya que tiene un valor muy elevado, por lo que el ahorro a nivel de fabricación podría ser mayor a lo calculado.

En cuanto a procesos de fabricación, se pueden estudiar opciones de manufactura con otros procesos de molde cerrado además de la infusión, como el RTM-Light, para ver diferencias entre propiedades físico-mecánicas, terminaciones superficiales (calidades visuales), etc. Relacionado con esto, también se puede realizar un estudio de cómo las fibras vegetales se comportan en un proceso de inyección radial, con las mismas variables utilizadas en esta investigación.

Sobre sus aplicaciones, este proyecto abarcó su uso en un objeto funcional y simbólico. También se presentan proyecciones en diversos campos, como por ejemplo el desarrollo de módulos para la decoración de muros, objetos decorativos, etc. que actualmente son fabricados en FRP y que puede funcionar como un reemplazo para disminuir el consumo de fibra de vidrio en la industria de los compuestos. También podría funcionar como recubrimiento exterior para productos industriales como estanques de acumulación, piping etc. Dadas las calidades visuales que presenta, se puede generar una mejor estética evitando el uso de gelcoat, con la correspondiente adición de aditivo UV para no afectar la vida útil del producto.

En cuanto a la forma del producto final, también se pueden explorar formas más complejas donde se analicen los conceptos desde otro punto, ya que en esta investigación se privilegió disminuir el error de fabricación, dado el tiempo y los recursos con los que se contaban.

La libertad de uso de la arpillera abre las posibilidades de intervención del refuerzo a otras formas distintas al bordado, como teñido, pintado, probar con distintas profundidades e inclinación de las capas del esquema de composición, etc.

Bibliografía

Abmaco. (2007). RPI Resina Poliéster Insaturada.

AIMPLAS. (n.d.). Desarrollo sostenible de materiales termoplásticos compuestos basados en fibras naturales para la aplicación en el sector automoción.

Alcalá, U. de. (n.d.). Materiales Compuestos.

Amigó, V., Salvador, M. D., & Sahuquillo, O. (2007). Aprovechamiento de residuos de fibras naturales como elementos de refuerzo de materiales poliméricos. In Quinto congreso internacional de fibras naturales con énfasis en materiales de construcción.

Anaya, A. (2006). Estudio teórico-práctico del sistema de moldeo cerrado por infusión con vacío y contramolde flexible de silicona, para la fabricación de piezas en poliéster reforzado con fibra de vidrio.

Askeland, D. R. (1998). Materiales compuestos. *Ciencia e Ingeniería de Los Materiales*, 524–526.

Callister, W. (2009). *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*.

Company, O. C. (2009). *Procesos de molde cerrado*.

Demari, C., Ruiz, E., & Trochu, F. (2007). In-Plane Anisotropic Permeability Characterization of Deformed Woven Fabrics by Unidirectional Injection . Part II : Prediction Model and Numerical Simulations. <http://doi.org/10.1002/pc>

García, S. (2007). Análisis de laminados de materiales compuestos con precarga en su plano y sometidos a impacto. Universidad Carlos III de Madrid.

Gómez, J. S. (2009). Diseño de un material compuesto con fibra natural para sustituir la utilización de fibra de vidrio.

Groover, M. (2009). *Fundamentos de manufactura moderna*.

Hoto, R. (2015). Fabricación mediante procesos de transferencia de resina y caracterización mecánica de materiales compuestos a partir de matrices poliméricas reforzadas con fibras de basalto. Universidad Politécnica de Valencia.

Hutchinson, J. R., & Schubel, P. J. (2014). A coupled structural and flow approach for numerical simulation of the light resin transfer moulding process . II : Fabric permeability and compaction characterisation , model results and a 6-kW wind turbine blade case study. <http://doi.org/10.1177/0731684414527806>

ISO. (2010). *NORMAS ISO 14000*.

Joubaud, L., Achim, V., & Trochu, F. (2005). Numerical simulation of resin infusion and reinforcement consolidation under flexible cover. *Polymer Composites*, 26(4), 417–427. <http://doi.org/10.1002/pc.20069>

Juan, L., Kirschenbaum, M., & Crowe, C. (2000). *Materiales y materias primas*.

Kunze, J., Mahrholz, T., & Sinapius, M. (2016). Identification and quantitation of processing parameters controlling the surface quality of carbon fibre-reinforced composites. <http://doi.org/10.1177/0731684415626803>

Latorre, G., & Vargas, F. (1999). Orgánicos utilizados como refuerzo de tuberías de conducción de fluidos, 1, 113–124.

Maclaren, O., Gan, J. M., Bickerton, S., Kelly, P. A., & Zealand, N. (2010). THE RTM-LIGHT MANUFACTURING PROCESS : EXPERIMENTATION AND MODELLING.

Maclaren, O., Kelly, P. A., Gan, J. M., Hickey, C. M. D., & Bickerton, S. (2016). THE RTM-LIGHT MANUFACTURING PROCESS : EXPERIMENTATION AN MODELLING.

Materiales Compuestos. (2005), (Mmc), 1–8.

Mejía, A. H. (2006). DISEÑO Y FABRICACIÓN DE GABINETES PARA MEDIDORES DE GAS EN POLIÉSTER REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO POR EL SISTEMA DE INYECCIÓN POR MOLDE CERRADO “RTM.”

Miravete, A., & Cuartero, J. (2007). Actas del V congreso nacional de Materiales Compuestos, 953.

Peñaloza, J. Á. (2015). Elaboración de materiales compuestos a base de fibras orgánicas con posibles aplicaciones aeronáuticas.

Pinilla, A. M., & Veloza, L. T. (2010). Fibras naturales y biocomposites.

Plástico, T. del. (2016). Información y técnica de negocios para la industria plástica latinoamericana, 3–4.

Poveda, S. (n.d.). MATERIALES COMPUESTOS.

Pré Sustainability. (1999). Anexo Eco-indicador '99.

REICHHOLD. (2007). RTM Light.

Rhinonerd. (2011). Rhinonerd: Un poco de Diseño Industrial, Materiales, Tecnologías, Tutoriales y todo lo que nos pueda ser útil para nuestros proyectos.

Rodríguez, E. S. (2012). DESARROLLO DE MATERIALES COMPUESTOS AVANZADOS BASADOS EN FIBRAS DE CARBONO PARA LA INDUSTRIA AEROESPACIAL, 64, 1–6.

Salit, M. S., Jawaid, M., Bin, N., & Hoque, E. (2015). Manufacturing of Natural Fibre Reinforced Polymer Composites.

Santiago, D., Lombera, G., & Urquiza, S. (2007). Modelado Numérico Del Proceso “Resin Transfer Moulding” (Rtm). *Mecánica Computacional*, XXVI, 931–937.

Sustainability, P. (n.d.). Making Sustainability Measurable. Retrieved from <https://www.pre-sustainability.com>

Technical, O., Guide, D., & Products, F. R. P. C. (2000). Technical Design Guide for FRP Composite.

Tecnología de los plásticos. (2011). Tecnología de los plásticos. Retrieved from <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.cl/2011/11/moldeo-manual-de-materiales-compuestos.html>

Vélez, L. (2007). *Materiales industriales, teoría y aplicación*, 151–160.

Anexos

Anexo 1: Entrevista

René Hoto, PhD en Procesos de Materiales Compuestos (Skype)

MV: Hola René, ¿cómo estás?

RH: Buena, estoy bien, ¿y tú?

MV: René, bueno para empezar te voy a comentar de nuevo lo que estoy haciendo.

RH: Bueno cuéntame.

MV: Finalmente yo estoy desarrollando una investigación de tipo experimental donde voy a analizar la permeabilidad de distintas fibras naturales para aplicarlo después al sistema de RTM-Light o Infusión, eso aún no lo tengo muy claro, eso lo tengo que ver en la segunda etapa.

RH: ¿Y qué fibras naturales vas a trabajar?

MV: Tampoco hago el filtro todavía. Y por eso te quería preguntar, que me recomiendas tu, cómo puedo hacer el filtro.

RH: Si puedes hacerlo con fibras naturales sería interesante, pero no cualquier fibra vale la pena. También quiero que seas consiente de donde te vas a meter, porque al final es un poco complicado.

MV: ¿En qué sentido?

RH: Es complicado porque tienes que diseñar una especie de banco de permeabilidad. Si no lo tienes, yo te puedo ayudar a diseñarlo porque en mi tesina de máster hice una y también en mi doctorado hice otra. Así que yo te puedo ayudar a diseñarla.

MV: Ah ya, eso no lo sabía.

RH: Realmente lo que vas a hacer es básicamente imitar el experimento de Darcy para poder llegar a esto, porque se puede simular, pero el mayor problema de la simulación es que son necesarios los experimentos de otras personas, entonces nunca vas a llegar, no vas a lograr nada, y además son técnica que intentan ahí asimilar formas muy complejas a formas geométricas normales porque al final que haces, un hilo en un tejido por ejemplo no tiene una forma redonda pero en todas las técnicas de simulación se transforma eso a círculos, a cuadrados y al final, siempre pierdes información. Entonces lo primero es diseñar un banco de permeabilidad ¿Tienes medios para diseñarlo ahí?

MV: Sí.

RH: Vale, más o menos te puedo pasar información, porque estoy en una especie de grupo de investigación a nivel internacional donde haremos medición de permeabilidad concurrente, cada uno mide en su casa luego comparamos los resultados y sacamos valores medios. Tenemos un marco, un documento, que sirve de base para poder tener el mismo banco de permeabilidad más o menos, ese ya está diseñado, es mejor basarte en algo hecho, que está comprobado, que inventar la rueda otra vez.

MV: Sí, eso sí.

RH: Entonces eso está hecho.

MV: OK. Bueno, te quería hacer una pregunta más general, yo quería saber cuál es tu experiencia con los materiales compuestos, cómo te metiste a esto, ¿cómo te empezaste a interesar?

RH: Yo a materiales compuestos me metí porque yo trabajaba como diseñador de locomotoras y de trenes ligeros. Entonces el último año que estuve en esta empresa pues se me encargo diseñar el interior de una locomotora. Entonces pues ahí son prácticamente materiales compuestos, pero era más bien por un tema estética.

MV: Ah era por un tema de terminación, que siempre quedan mejor visualmente que otros materiales.

RH: Sí, y también la forma, la ergonomía, etc. Pues al final fui a congreso par a ver de que hablaban y ahí conocí a mi director de tesis y pues nos caímos bien y ya está.

MV: Ya, otra pregunta René. Rubén me contó que tu habías trabajado con “ingenieros en diseño” creo que le dicen allá en España?

RH: Sí

MV: Nosotros somos diseñadores industriales que es más o menos lo mismo, y quería saber cómo haz sentido tú el trabajo interdisciplinario, con diseñadores si es que dentro de los mismos materiales compuestos es posible relacionarlo, vincularlo con Diseño.

RH: Hombre, por supuesto. Ósea ahí de hecho creo que hace falta más ingenieros en diseño metidos en el tema de los materiales compuestos.

MV: Sí, porque yo tengo la experiencia acá que la gente que trabaja en materiales compuestos generalmente son ingenieros mecánicos.

RH: Yo soy muy técnico, muy muy técnico, ósea yo no tengo el lado estético ni nada, para mí los materiales compuestos deben cumplir una función y punto, el resto, da igual.

MV: De eso yo me he dado cuenta también.

RH: Entonces el resto me da igual, pero me he dado cuenta trabajando con los de diseño también es importante porque daban forma a todo lo que un técnico sabe y eso, por mucho que digan, hace falta gente de diseño. Pues, he trabajado con dos diseñadores en materiales compuestos, trabaje con uno y juntos hicimos una bici de bambú y materiales compuestos, y a mí la idea no se me podía ocurrir diseñar eso estéticamente, por ejemplo.

MV: Ósea, ustedes también tienen un poco más de relación para ver los tipos de aplicaciones de los materiales compuestos, que en realidad lo que yo he visto en la práctica es que está super estandarizado donde se aplica, que se hace con materiales compuestos, pero no se va más allá de hacer cosas nuevas, por ejemplo.

RH: Eso está relacionado con el precio también, porque la mayoría de las empresas que trabaja con materiales compuestos de principio se pensó para tecnología aeroespacial, y estas empresas necesitan normativa porque o si no cualquiera diseñaría un avión, por eso está tan estandarizado. Pero fuera de ahí si no hay un componente estructural se pueden hacer maravillas con los materiales compuestos. Depende de que campo, donde te metes, si te metes en aeroespacial, todo está estipulado, pero fuera de ahí no está tan estipulado, en ferroviario, por ejemplo, en ferroviario cumple más funciones de estética, como separación o como embellecedor en el interior, pero realmente no hace nada más para mí.

MV: En otras industrias también ves el factor estético por la utilización de los materiales compuestos, aparte del ferroviario? Te ha tocado ver?

RH: Digamos transporte en general. Locomotoras también me dice autobuses. Luego en el ocio también hay muchas aplicaciones de materiales compuestos, todos los toboganes, cuando vas a un parque por ejemplo acuático, todo lo que ves ahí es material compuesto, de otra manera no se podía hacer porque ni aguantaría las cargas.

MV: Okay, René, bueno yo sé que tu haz trabajado con esto de las fibras naturales y quería saber en realidad como funciona cual es la tendencia internacional del uso de las fibras naturales, si es que tu estás viendo si es que se ha salido un poco de las fibras de carbono o las fibras de vidrio, porque por lo menos acá todavía todo es fibra de carbono y fibra de vidrio no se ha salido de eso.

RH: Vale, cuando digas fibras naturales, hay que tener en cuenta dos cosas, cuando uno dice naturales la gente piensa en fibras vegetales directamente y es cierto, tienes lino, o si no tienes cáñamo y todo eso, lo peligroso de las fibras vegetales es que nunca, nunca, prácticamente nunca acabas de quitar todo lo que es digamos la humedad, porque al final es natural que absorba cierta parte de humedad. Entonces con el cáñamo o lino por ejemplo el peligro es ese, así que cuando tu diseñas al final tienes que tapar bien, debes tener un gelcoat muy potente para que permita que penetre la humedad, si no siempre se puede volver a hinchar, porque ósea absorbe humedad y se hincha. Eso es lo que puede provocar, es, como se llama, la interfaz entre fibra y matriz se puede despegar, sabes? Luego, fibra natural también puede ser fibra de basalto, porque el basalto es roca fundida.

MV: Vi que tu trabajaste con fibra de basalto.

RH: Yo trabajo con fibra de basalto, se conforta igual que una fibra de vidrio, exactamente igual, ósea parece vidrio, pero es natural. Te voy a pasar mi tesis doctoral, en la introducción por ejemplo puedes leer un montón de cosas, luego hay un diseño también de un banco de permeabilidad en mi tesis doctoral.

MV: Ah muy bien, eso es lo que yo necesito para esta etapa.

RH: Mientras cites a la gente, no te digo que me cites a mí, me da igual, pero si coges información cítala. Porque citar es respetar, para mí.

MV: René entonces, hablando de esto de las fibras naturales y todo, tú me dices que la tendencia entonces, por estas complicaciones técnicas que tiene un poco trabajar con las fibras naturales, tú ves que no se trabaja esto mucho por ejemplo en Europa, en la industria

RH: En Europa, por ejemplo, mira vamos a hablar de números. Por ejemplo, en el 2010, justo antes del 2010, 2008 2010, España y Portugal eran los mayores fabricantes de Materiales Compuestos, fabricantes y aplicadores, la gente que los materializa. y que ha pasado con esto, no se han desarrollado ni técnicas ni se ha intentado avanzar en conocimientos, entonces ahora mismo los que llevan el tema de los Materiales Compuestos son los ingleses y los alemanes, por qué? Porque mientras nosotros estábamos fabricando de manera artesanal, ellos ya creaban carreras basadas en Materiales Compuestos, entonces ellos ahora ya tienen el conocimiento, nosotros somos mano de obra para ellos. Ese es el problema aquí en España de los Materiales Compuestos, de que para hacer cosas "tontas" por así decirlo, todo el mundo puede hacerlo, porque para coger un molde y hacer un laminado manual todo el mundo lo puede hacer, hasta mi hermano pequeño puede hacerlo, el truco es donde tu has llegado, ahí llegar a ese nivel, intentar avanzar, eso es lo difícil, porque allí es donde mucha gente se queda atascada. Entonces, sí que es necesario que avancemos todos, ósea yo realmente te quiero ayudar porque sé que va a ser una persona más que sabe de Materiales Compuestos.

MV: No si, y acá todo es de fibra de vidrio, todo es de fibra de carbono y todos los hacen de la misma forma aplicándolas donde mismo.

RH: Desconocen, no es por otra cosa, desconocen, y es necesario que tu hagas un buen trabajo para difundirlo. La gente no conoce esto. En la gran mayoría, por ejemplo, todo es fibra de vidrio, pero si la gente se detuviera a pensar un poquito como se fabrica la fibra de vidrio te juro que dejarían de utilizar fibra de vidrio. Es altamente tóxico, porque tiene silicio, y aparte de tener silicio tienes que añadir un montón de aditivos, porque el silicio no se funde, no tendría la viscosidad necesaria como la para sacar la fibra que se hace por gravedad. Entonces sería algo muy denso que no podría fluir, y lo que se hace es añadir aditivos químicos, y esos aditivos químicos justamente son lo peligroso. Además, el modo de rotura del vidrio es muy peligroso porque se rompe en modo polvo y eso se puede inhalar. El basalto no se rompe de esta manera, el basalto se fractura y no lo puedes inhalar, ósea lo puedes inhalar, pero no llegaría a los pulmones, se quedaría antes. Además, el basalto es inerte, esto tienes que apuntarlo en algún sitio, el que sea inerte es importante. Pues nosotros hicimos un experimento, que, aunque tengas un pedacito de fibra de basalto incrustado dentro de tu piel, si te pinchas no te hace nada, la piel crece encima no pasa nada, la piel crece encima, ósea es importante que sea inerte, el vidrio no lo es, el carbono tampoco lo es.

MV: Volviendo un poco a las fibras naturales ya me contaste las desventajas de utilizarlas, pero ves alguna ventaja de usar fibras naturales, por sobre la de carbono por ejemplo?

RH: La de mayor relación peso resistencia es el carbono, ósea al carbono no te lo vas a quitar de encima, es necesario que haya carbono. Pero hay que poner carbón donde se necesita carbono, no poner carbono en todos los sitios, una estructura, por ejemplo, hay que ponerlo en las partes que realmente aguantan las cargas y no ponerlo en parte que son para decorar, en esas partes no hace falta ponerle carbono, puede ser otra cosa perfectamente. Entonces, ya es un diseño multidisciplinar y ya optimizando mucho, lo importante es ponerlo en las zonas que tú lo necesitas, si no sería inútil poner material por poner material. Entonces ahí hace falta un poco de trabajo, un poco de diseño, un poco de gente que sabe de estructuras, hacer un mix de ambas cosas, para poder llegar a un buen producto.

MV: René, leí, probablemente en linkdn, ¿que tu trabajaste con una bioepoxi? Yo no estoy familiarizada con ese término, ¿qué es?

RH: Una epoxy normal los componentes son derivados del petróleo. Con la bioepoxy reducimos en un 36% los derivados del petróleo, no llega a ser limpio del todo, pero reducir un 36% de residuos de petróleo me parece un avance fenomenal, estamos en ingeniería y eso hay que valorarlo. Entonces el bioepoxy es menos contaminante.

MV: Y el hecho de por ejemplo yo usar fibras naturales con una epoxy normal podemos hablar igual de un composite verde?

RH: Hombre, se puede hablar de un composite verde por que la mayor fuente de, vamos a ver, en un composite por ejemplo tienes 20% de resina, y si reduces el 80% ya el impacto es menor y es un avance considerable. ósea yo creo que tiene que medir un poquito lo que haces porque la gente se cree que verde, tiene que ser verde del todo, y no tiene por qué ser verde del todo, porque estructuralmente sería inviable, sabes, entonces yo lo considero un avance importante si llegas a reducir, aunque sea un 5%, ya has quitado, ya no estad haciendo algo convencional.

MV: Yo me he dado cuenta también que en el mundo de los composites es de eso también, es que cuando uno trata de ser más verde, siempre se habla de reducción no de eliminación de los contaminantes porque es imposible creo.

RH: Es imposible, no se puede.

MV: Sobre todo por los procesos, igual por algo quiero trabajar con RTM e infusión, por que como es molde cerrado hay menos partículas contaminantes y que también es algo positive, comparado con el laminado manual.

RH: Eso es importante, ya lo has dicho, por lo visto ya has leído bastante, el simple hecho de cerrarlo porque durante la polimerización se generan gases. Y yo conozco una empresa holandesa, por ejemplo, que dentro del recinto tienen molde cerrado, y además pone un filtro de carbón activo, entonces lo poco que puede escaparse, ya lo tienen filtrado, pero no intentan hacerlo con la fibra porque es casi imposible, todos los parámetros, que intervienen en la fabricación intentar controlarlos y reducirlos al máximo su impacto es difícil, entonces sumando todo esto como no pueden reducir tanto en la resina o en la fibra, lo reducen durante el proceso, y son cosas de las que nadie se da cuenta, ósea nadie toma en cuenta los gases que se generan durante la polimerización. Esto de todas formas cuando empieces a trabajar vamos a hacer un marco y ver en qué parte podemos reducir y así vender un producto mucho más verde.

MV: Si o sea es mi idea, yo quería trabajar con un tema más verde, cuando entré a esta etapa de mi Carrera, pero cuando me metí a los materiales compuestos me di cuenta que yo no iba a poder hacer un material totalmente ecológico o totalmente amigable en un 100%, pero si leyendo me he dado cuenta que puedo hacer reducciones significativas para poder aportar en el proceso que ya en sí es contaminante.

RH: Te digo cuatro aspectos, porque cuando leas mi tesis te das cuenta de que he tocado cosas sueltas muy diferentes pero que, en su conjunto, desde mi punto de vista, reducían. No he tocado permeabilidad por ejemplo, la permeabilidad en si misma es una, digamos, una tontería jaja, pero las ventajas de la permeabilidad, saber medir permeabilidad es que puedes ver lo que va a pasar antes de hacerlo, y el simple hecho de simular significa que todo lo que son ensayo y error y ate lo ahorras, si tenía que hacer una pieza, romperla par a ver si ha funcionado o no, ya ese paso me lo quito, si me lo quito significa que todo lo que voy a hacer ya está ahorrando, en cuanto a sostenibilidad, va a ser mucho más sostenible. Porque sostenibilidad no tiene que ver con el material mismo, sino que tiene que ver con el proceso de fabricación también, entonces si antes de fabricarlo ya es óptimo, está siendo más sostenible.

MV: Claro entonces ya no voy a tener tanto desperdicio de pieza, que no van a servir para nada digamos.

RH: Eso depende de la situación en la que te poner y en la cual vas a mirar, porque si abres ese espectro puedes ver un montón de cosas y reducir el riesgo en un montón de aspectos, pero si yo tengo una tesis tan rara. Entonces empiezo con permeabilidad, para demostrar que puedo optimizar, después introduzco fibra de basalto, fibra de lino, introduzco también corcho natural como elemento separador para hacer un sandwich, entonces al final acabo haciendo un material multifuncional, porque el ultimo material que hicimos por ejemplo es un material para locomotoras de por un lado tiene basalto y al medio corcho y por el otro lado lino, y ahora tiene su sentido, porque en una locomotora por ejemplo tu te puedes apoyar en la pared, sí, pero al otro lado nadie se apoya, significa que el basalto tiene que estar en el exterior y el lino en el interior porque se puede doblar un poquito. La parte que tiene que aguantar la tracción es la de basalto aguanta mucho y es capaz de sostener al peso complete.

MV: Como llegas a elegir esas fibras, Por que lino, por que basalto, por que corcho?

RH: Leyendo. El lino trabaja bien a compresión, los composites en general no trabajan a compresión, el único material que he encontrado que trabaja bien a compresión es el lino, por eso es mi capa interior. Y el basalto trabaja bien a tracción, por eso va en el exterior, porque en un sandwich hay una parte que trabaja a tracción y otra a compresión. Mira el lema es sencillo no te compliques la vida, tienes que poner los materiales donde vayan a cumplir su función, donde mayor van a hacer su función. ósea toda la teoría que hemos visto es así, a la hora de ponernos técnicos es así, pero en la práctica hay que poner los materiales donde trabajan mejor, y para eso, si analizas el cuerpo humano, al final somos nosotros los que nos complicamos la vida. Yo empecé a leer cosas sobre anatomía, por ejemplo, para entender mejor, los huesos por ejemplo trabajan así, si tu coges un hueso por ejemplo y lo partes te das cuenta de que la capa exterior va bien, pero a medida que vas avanzando pierde densidad, las burbujas en los huesos están más hacia el interior, pues eso es lo que

intenté reproducir básicamente. Porque si un cuerpo humano aguanta bien, porque esto no va a aguantar, y listo ese fue mi lema, más que la técnica, las teorías o las ecuaciones, fue ese.

MV: Sí, es un poco lo que hacemos nosotros, en diseño en general, como buscando referentes naturales, porque al final la naturaleza siempre tiene como la respuesta, y por qué no se va a poder replicar en un objeto que más o menos va a hacer lo mismo, entre comilla

RH: Esa es la dirección, porque es que nos complicamos mucho la vida, eso es mucho más sencillo de lo que hacemos nosotros. Es más complicado para mí, y cuando algo se hace muy complicado es que no va a funcionar, tiene que ser sencillo.

MV: René, la última pregunta que tengo, que es un poco para proceso.

RH: Igual yo no tengo prisa.

MV: Sí, si es más por lo que tenía estipulado que te iba a preguntar desde un principio, pero ahora me interesaría leer tu tesis, para ver si puedo sacar más dudas de ahí y si tienes tiempo podemos hablar de Nuevo cuando ya lea tu tesis.

RH: Yo te mando mi tesis, títulos que he seleccionado también básicos que creo que tienes que leer, de permeabilidad, no son los artículos más complicados, pero son las bases, que los tienes que leer.

MV: Sí, y es lo que yo necesito ahora en esta etapa, porque yo en la Universidad tengo IBM, la investigación base memoria y después tengo el Título. Dentro del IBM es solo la investigación del marco teórico, un estado del arte. Eso es lo que yo tengo que hacer ahora y después ya en el proyecto de título es que y ahí me voy a meter a calcular el tema de las permeabilidades diseñar los experimentos, a ver cuáles son las utilidades más aptas según las permeabilidades que obtenga de las fibras que elija, etc. Cuál es el objeto que voy a hacer, todo eso.

RH: prepárate, por que medir permeabilidad es, no es difícil, pero son muuuuchos ensayos.

MV: Acá yo he visto que hacen un test de permeabilidad con un test panel que sirve para infusión o RTM-light porque tiene el macho encima, y ponen las fibras le inyectan la resina en unos puntos que están estandarizados y después van midiendo según tiempo, las distancias. Creo que después lo ingresan a un programa, y creo que tira el número solo.

RH: Nada más hay un programa, el programa son cuatro ecuaciones, es un Excel con las fórmulas, yo te voy a pasar mi versión, pero con explicaciones. Es super sencillo, de matemáticas lo más complicado que te vas a encontrar y ate lo digo, si dominas integraciones de primer nivel ya está. Es básicamente coger la fórmula de Darcy e integrarla.

MV: Ah no es tan complejo, que de repente yo veo las ecuaciones y no sé qué hacer.

RH: Para nada yo te lo explico rápidamente. Cuando tú estás midiendo, tiene por ejemplo en tu molde varias divisiones, entonces que haces, porque la ley de Darcy te habla de velocidad, la velocidad de un líquido dentro de un medio poroso es pro-

porcional a la permeabilidad. Entonces tú tienes velocidad a un lado de la ecuación y después tienes los otros términos, y el otro factor también es el gradiente de presión. Entonces la mejor manera de obtener velocidad es medir posición y tiempo, porque si vemos la posición respecto del tiempo, tengo la velocidad. ósea si tengo un aparato para medir directamente la velocidad no lo haría, con una Cámara, por ejemplo, lo descompongo que cosas mucho más sencillas y ya está y mido posición respecto del tiempo y eso es todo. Y después otra ventaja, por ejemplo, te acuerdas de los tensores? Un tensor es una matriz, pero son sentido físico, básicamente es una manera de ordenar bien, pero dándole un sentido físico y siempre se puede montar. Lo que hacemos nosotros es medir en tres dimensiones y luego hacer una matriz de permeabilidad y se acabó. Así de sencillo es. Luego te voy a pasar otro programa, tenemos que hacer un Dropbox o un Google Drive, para dejarte el software de simulación el PAM RTM.

MV: Si lo conozco, acá el que tienen es el RTM Works, pero no sé si funciona igual.

RH: Podemos hacer las cosas en los dos programas, yo lo puedo hacer acá con el PAM RTM y tú lo haces allá con el otro y lo comparamos.

MV: En la empresa donde yo estoy trabajando tienen licencia del programa así que no me es complicado accede a él.

RH: Vale, perfecto. Entonces te voy a pasar más información, lo lees te tomas el tiempo y vuelves a contactar conmigo. Si hay algo que no entiendes, me vuelves a escribir y hablamos del tema.

MV: Ya, muchas gracias, René. Chao que estés bien.

RH: Ahí hablamos cualquier cosa me avisas. ¡Saludos!

Anexo 2: Procedimiento de experimentación

Proceso de infusión asistida de vacío

La infusión de resina es un proceso mediante el cual el vacío succiona resina hacia un laminado de fibra seca en un molde de un solo lado. Se coloca una membrana de película rígida o flexible sobre la parte superior y se sella alrededor de la periferia del molde. La infusión de resina se considera un “proceso a molde cerrado”)

Entre los beneficios de la infusión de resina, en comparación con el curado de compuestos laminados sin bolsa de vacío, se encuentran:

- Una mejor relación fibra a resina
- Un laminado más resistente
- Un bajo contenido nulo
- Se reduce la exposición de operador a emisiones perjudiciales
- Se reduce el uso de resina debido a tela precompactada
- Laminación más rápida de la tela

El siguiente procedimiento tiene por objetivo describir el proceso de infusión de piezas en material compuesto.

Nota: Para estos ensayos no se utilizará pintura base (gel-coat) en el molde, solo la Resina y Fibras correspondientes.

Definiciones necesarias para entender el procedimiento:

1. Infusión: Proceso semicontinuo que consiste en hacer que un polímero en estado líquido ingrese (por una manguera de alimentación) en un molde cerrado con capas de Fibra de Vidrio con ayuda de vacío (presión negativa), a través de una manguera de succión. En ese molde el material (resina + fibras) se solidifica; ya que la resina viene catalizada, realizando la polimerización de esta dentro del molde sellado. La pieza se obtiene una vez curada la polimerización al abrir el molde.

2. Cera: Agente de uso general utilizado como medio para desmoldar piezas fabricadas a base de resinas. La aplicación de este agente se realiza directamente sobre el molde.

3. Butilo: Pegamento utilizado para sellar las conexiones de vacío, mangueras de inyección y cierres perimetrales de la infusión.

4. Peel ply: Tejido que se instala como capa exterior en el proceso de infusión, con el fin de obtener superficies curadas rugosas, una vez separado del laminado curado. Empleando estos tejidos como capa final de los laminados, el aplicador se evita lijar la superficie del composite para realizar segundos laminados o para llevar a cabo pegados.

5. Malla difusora: Tejido que ayuda al polímero a fluir de forma homogénea en el interior del molde.

6. Trampa de resina: Tubo sellado que se instala entre la Bomba de vacío y el molde de Infusión; que sirve para contener las resinas que se logran absorber por la manguera de succión y así evitar que éstos terminen en la bomba de vacío provocando un daño en el funcionamiento de esta.

Materiales e instalaciones necesarias:

- Bomba de vacío (capacidad -4 a -6 bar)
- Molde (superficie tratada)
- Fibra vegetal (arpillera dimensionada de 45 y 90°)
- Resina (cantidad de acuerdo a la pieza a fabricar)
- Cobalto (en el caso de resinas no aceleradas)
- Peróxido (para catalizar la resina)
- Plástico para Infusión
- Malla Peel Ply
- Malla Difusora
- Butilo
- Manguera para Infusión 10mm 50 mts
- Trampa de resina
- Masking Tape

Descripción del proceso

1. Realización de Gel Time; proceso en el cual se determina la cantidad de cobalto (acelerante) y peróxido (catalizador) que se debe emplear en el proceso de Infusión por medio de pequeñas muestras catalizadas.

2. Preparación del molde: con la superficie del molde seca y libre de suciedad, se debe aplicar una delgada capa de cera desmoldante a temperatura ambiente frotando con paño de algodón libre de pelusa. Esta operación se debe realizar entre 8 a 10 veces consecutivas; en donde en cada etapa se debe dejar reposar entre 10-15 minutos.

3. Instalar butilo por el perímetro del molde, donde no se aplicó cera desmoldante, siempre dejando una pestaña de exceso de la probeta para rectificar corte posteriormente.

4. Posicionar y acomodar el paño de fibra (arpillera) en el molde, se cortan excesos de fibra en caso de existir y se disponen los esquemas de refuerzo correspondientes (detallados en tabla de probetas). Asegurar que las fibras se mantengan posadas sobre la matriz alcanzando la misma geometría (recordar que se debe dejar un perímetro adicional de material (20mm min. aprox).

5. Agregar peel ply sobre las fibras y asegurándola con masking tape, luego realizar lo mismo con malla para infusión.

6. Se instala la manguera de infusión al principio del molde y al final. La manguera del principio será por la cual la resina ingresará al molde, y la del otro extremo estará conectada a la Trampa de vacío, y esta a su vez conectada a la bomba de vacío.

7. Finalmente se posiciona el plástico de infusión, asegurándolo con el perímetro de butilo instalado previamente.

8. Se activa vacío y se hace una prueba en seco (molde sin resina) para ver si hay filtraciones en el sellado de butilo perimetral y todas las mangueras (se puede cortar el flujo que va desde la manguera de la bomba, apagarla y si en 15 minutos más no debe haber cambios de presión, está bien)

9. Una vez que ya se ha asegurado que el vacío está funcionando de manera adecuada, se procede a preparar la resina a utilizar (cantidad calculada anteriormente para evitar desperdicio de material)

10. La resina comenzará a entrar por el molde de manera horizontal. Marcar avances cada 5 segundos y luego cada 20 segundos a medida que vaya disminuyendo la velocidad con la que avanza la resina dentro del molde.

11. Esperar curado completo de la resina inyectada (alrededor de 2 hrs), y luego desmoldar.

Equipo de Protección Personal:

- Zapatos de seguridad
- Lentes de seguridad claros
- Guantes de nitrilo y cabritilla
- Buzo de papel desechable
- Casco
- Protector facial

Anexo 3: Cálculos de permeabilidad de familias de probetas

Distancia (mm)	Tiempo (min)	Tiempo (seg)	Flujo (mm/seg)	x2 (m2)	x2/t (m2/s)	y (m2/s)
135	0,08	5	27,00	1,82E-02	3,65E-03	4,26E-02
190	0,33	20	9,50	3,61E-02	1,81E-03	5,48E-02
265	0,67	40	6,63	7,02E-02	1,76E-03	7,11E-02
310	1,00	60	5,17	9,61E-02	1,60E-03	8,74E-02
365	1,50	90	4,06	1,33E-01	1,48E-03	1,12E-01
400	2,00	120	3,33	1,60E-01	1,33E-03	1,36E-01
450	3,00	180	2,50	2,03E-01	1,13E-03	1,85E-01
480	4,00	240	2,00	2,30E-01	9,60E-04	2,34E-01
510	5,00	300	1,70	2,60E-01	8,67E-04	2,83E-01

Diferencia Presión (Dp)	0,8 (bar)	11,6032 (psi)	80000 (Pa)
Fración de fibra/volumen (Vf)	55%		
Viscosidad de Resina (vis)	0,48 (Pa.s)	480 (cP)	

Pendiente	8,16E-04
Intercepción	3,85E-02

$2^2 Dp / ((1-Vf)^2 vis)$	7,41E+05
Permeabilidad ajustada	1,10E-09

0,0000000011010577

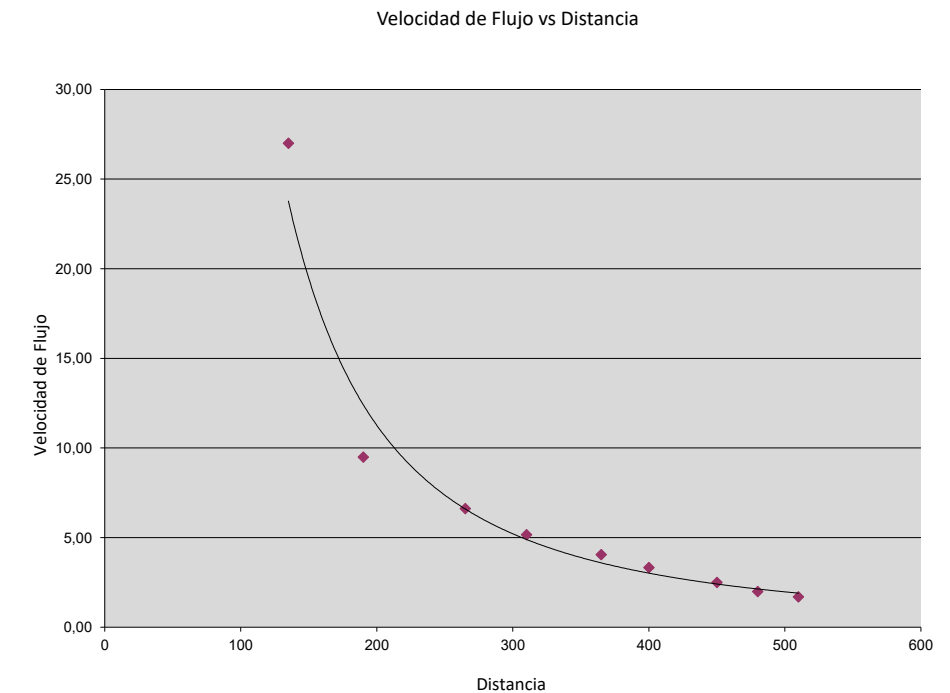
NOTAS:

El resultado de las celdas naranjas es la permeabilidad

La gráfico de x2 vs tiempo debe ser una línea recta, de otra forma el análisis no es válido

No todos los puntos de dato serán incluidos en el ajuste, verifica pendiente e intercepción

La intercepción debe ser muy cercana a cero; no se utiliza para calcular la permeabilidad.



Distancia (mm)	Tiempo (min)	Tiempo (seg)	Flujo (mm/seg)	x2 (m2)	x2/t (m2/s)	y (m2/s)
50	0,08	5	10,00	2,50E-03	5,00E-04	9,58E-03
125	0,33	20	6,25	1,56E-02	7,81E-04	1,98E-02
175	0,67	40	4,38	3,06E-02	7,66E-04	3,35E-02
210	1,00	60	3,50	4,41E-02	7,35E-04	4,72E-02
270	1,50	90	3,00	7,29E-02	8,10E-04	6,77E-02
310	2,00	120	2,58	9,61E-02	8,01E-04	8,81E-02
380	3,00	180	2,11	1,44E-01	8,02E-04	1,29E-01
420	4,00	240	1,75	1,76E-01	7,35E-04	1,70E-01
440	5,00	300	1,47	1,94E-01	6,45E-04	2,11E-01

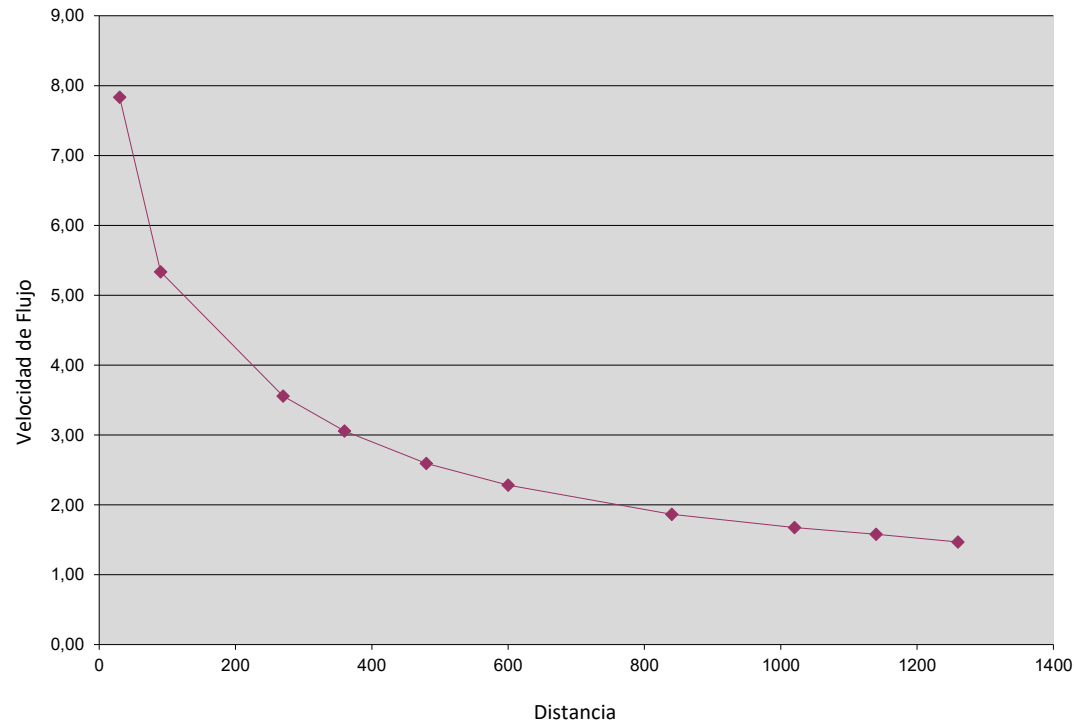
Diferencia de Presión	0,8 (bar)	11,6032 (psi)	80000 (Pa)
Fracción de fibra/volumen	47%		
Viscosidad de Resina	0,48 (Pa.s)	480 (cP)	

Pendiente	6,83E-04
Intercepción	6,16E-03

$2^*DP/((1-Vf).eta)$	6,29E+05
Permeabilidad Ajustada	1,09E-09 m2

NOTAS: El resultado de las celdas naranjas es la permeabilidad
 La gráfico de x2 vs tiempo debe ser una línea recta, de otra forma el análisis no es válido
 No todos los puntos da dato serán incluidos en el ajuste, verifica pendiente e intercepción
 La intercepción debe ser muy cercana a cero; no se utiliza para calcular la permeabilidad.

Velocidad de Flujo vs Distancia



Distancia (mm)	Tiempo (min)	Tiempo (seg)	Flujo (mm/seg)	x2 (m2)	x2/t (m2/s)	y (m2/s)
40	0,08	5	8,00	1,60E-03	3,20E-04	3,90E-03
90	0,33	20	4,50	8,10E-03	4,05E-04	1,32E-02
140	0,67	40	3,50	1,96E-02	4,90E-04	2,56E-02
200	1,00	60	3,33	4,00E-02	6,67E-04	3,80E-02
250	1,50	90	2,78	6,25E-02	6,94E-04	5,66E-02
280	2,00	120	2,33	7,84E-02	6,53E-04	7,52E-02
350	3,00	180	1,94	1,23E-01	6,81E-04	1,12E-01
390	4,00	240	1,63	1,52E-01	6,34E-04	1,50E-01
420	5,00	300	1,40	1,76E-01	5,88E-04	1,87E-01

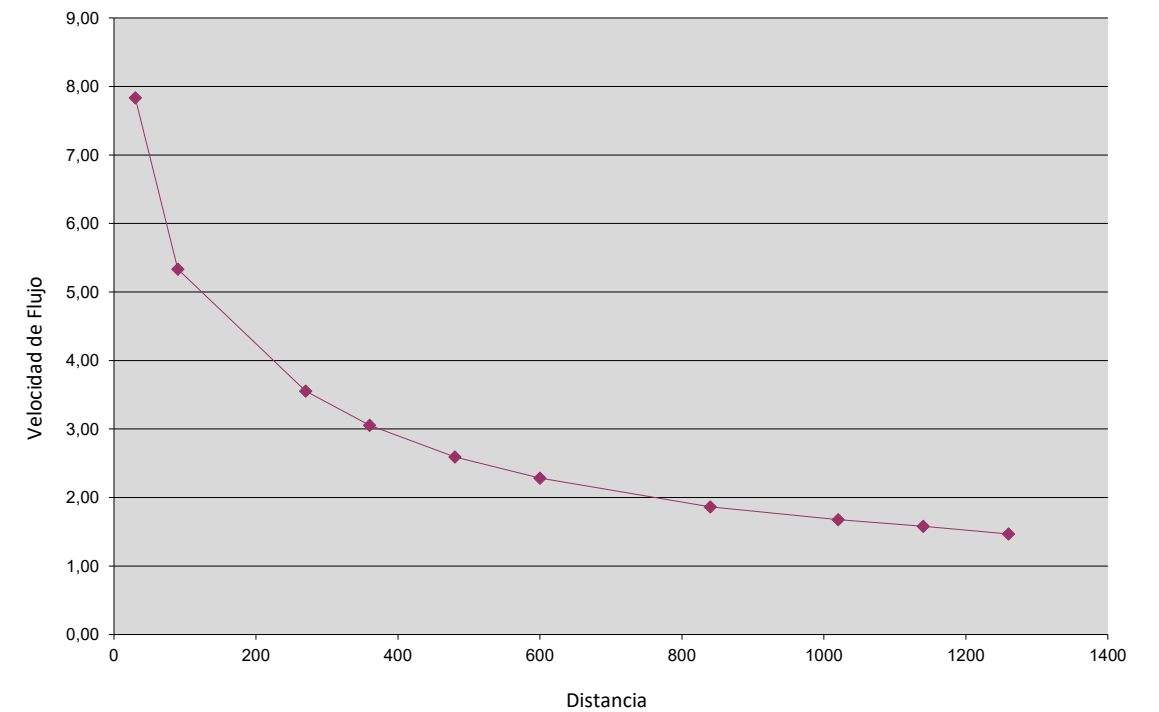
Diferencia de Presión	0,8 (bar)	11,6032 (psi)	80000 (Pa)
Fracción de fibra/volumen	38%		
Viscosidad de Resina	0,48 (Pa.s)	480 (cP)	

Pendiente	6,20E-04
Intercepción	8,01E-04

$2^*DP/((1-Vf).eta)$	5,38E+05
Permeabilidad Ajustada	1,15E-09 m2

NOTAS: El resultado de las celdas naranjas es la permeabilidad
 La gráfico de x2 vs tiempo debe ser una línea recta, de otra forma el análisis no es válido
 No todos los puntos da dato serán incluidos en el ajuste, verifica pendiente e intercepción
 La intercepción debe ser muy cercana a cero; no se utiliza para calcular la permeabilidad.

Velocidad de Flujo vs Distancia



Distancia (mm)	Tiempo (min)	Tiempo (seg)	Flujo (mm/seg)	x2 (m2)	x2/t (m2/s)	y (m2/s)
110	0,08	5	22,00	1,21E-02	2,42E-03	2,89E-02
180	0,33	20	9,00	3,24E-02	1,62E-03	4,06E-02
230	0,67	40	5,75	5,29E-02	1,32E-03	5,61E-02
280	1,00	60	4,67	7,84E-02	1,31E-03	7,16E-02
320	1,50	90	3,56	1,02E-01	1,14E-03	9,48E-02
370	2,00	120	3,08	1,37E-01	1,14E-03	1,18E-01
420	3,00	180	2,33	1,76E-01	9,80E-04	1,65E-01
460	4,00	240	1,92	2,12E-01	8,82E-04	2,11E-01
490	5,00	300	1,63	2,40E-01	8,00E-04	2,58E-01

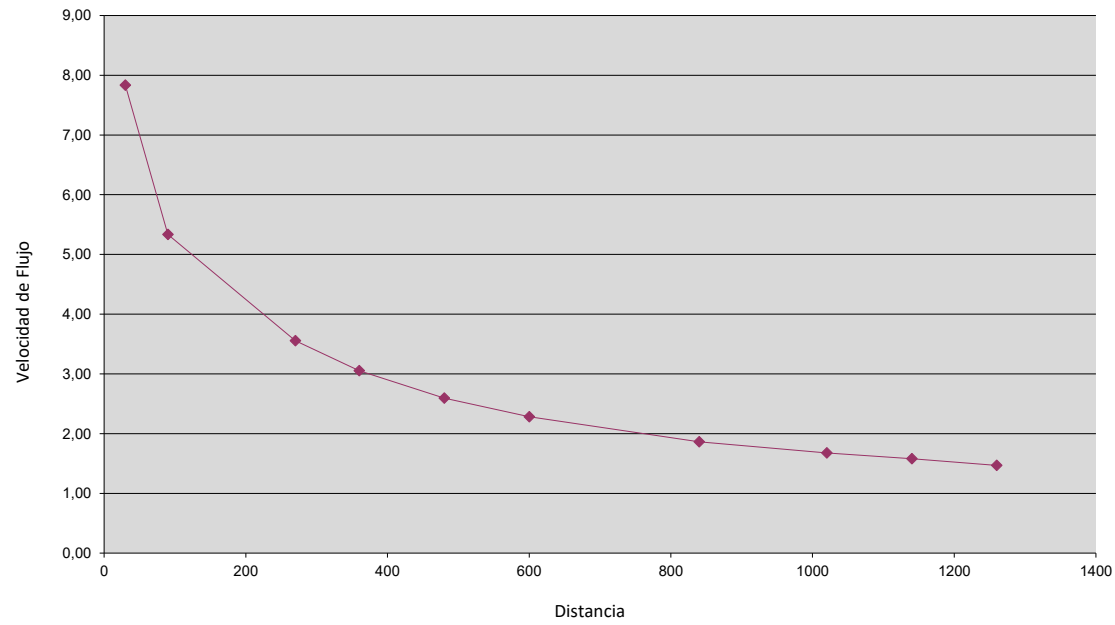
Diferencia de Presión	0,8 (bar)	11,6032 (psi)	80000 (Pa)
Fracción fibra/volumen	33%		
Viscosidad Resina	0,48 (Pa.s)	480 (cP)	

Pendiente	7,75E-04
Intercepción	2,51E-02

$z^2 DP / ((1-Vf) \cdot \eta)$	4,98E+05
Permeabilidad Ajustada	1,56E-09 m2

NOTAS: El resultado de las celdas naranjas es la permeabilidad
 La gráfica de x2 vs tiempo debe ser una línea recta, de otra forma el análisis no es válido
 No todos los puntos da dato serán incluidos en el ajuste, verifica pendiente e intercepción
 La intercepción debe ser muy cercana a cero; no se utiliza para calcular la permeabilidad.

Velocidad de Flujo vs Distancia



Distancia (mm)	Tiempo (min)	Tiempo (seg)	Flujo (mm/seg)	x2 (m2)	x2/t (m2/s)	y (m2/s)
50	0,08	5	10,00	2,50E-03	5,00E-04	8,47E-03
100	0,33	20	5,00	1,00E-02	5,00E-04	1,29E-02
140	0,67	40	3,50	1,96E-02	4,90E-04	1,87E-02
165	1,00	60	2,75	2,72E-02	4,54E-04	2,46E-02
195	1,50	90	2,17	3,80E-02	4,23E-04	3,34E-02
210	2,00	120	1,75	4,41E-02	3,68E-04	4,22E-02
250	3,00	180	1,39	6,25E-02	3,47E-04	5,98E-02
280	4,00	240	1,17	7,84E-02	3,27E-04	7,74E-02
300	5,00	300	1,00	9,00E-02	3,00E-04	9,50E-02

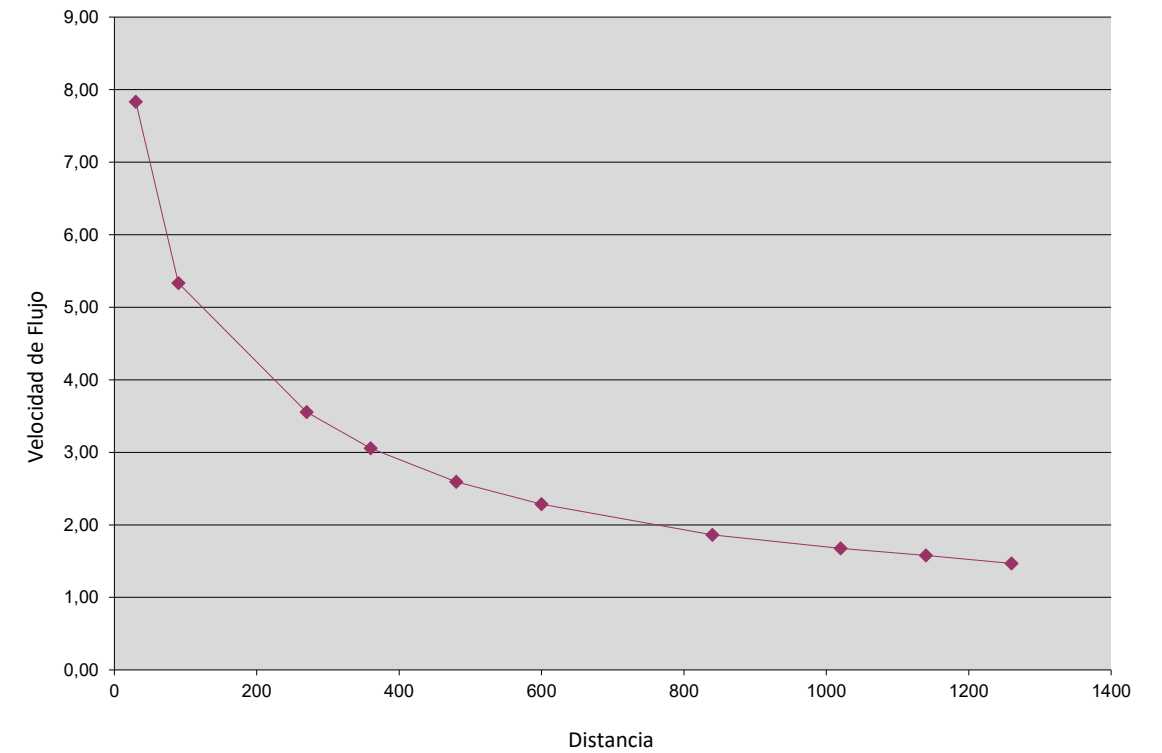
Diferencia de presión	0,8 (bar)	11,6032 psi	80000 Pa
Fracción fibra/volumen	44%		
Viscosidad Resina	0,48 (Pa.s)	480 cP	

Pendiente	2,93E-04
Intercepción	7,00E-03

$z^2 DP / ((1-Vf) \cdot \eta)$	5,95E+05
Permeabilidad Ajustada	4,93E-10 m2

NOTAS: El resultado de las celdas naranjas es la permeabilidad
 La gráfica de x2 vs tiempo debe ser una línea recta, de otra forma el análisis no es válido
 No todos los puntos da dato serán incluidos en el ajuste, verifica pendiente e intercepción
 La intercepción debe ser muy cercana a cero; no se utiliza para calcular la permeabilidad.

Velocidad de Flujo vs Distancia



Distancia (mm)	Tiempo (min)	Tiempo (seg)	Flujo (mm/seg)	x2 (m2)	x2/t (m2/s)	y (m2/s)
100	0,08	5	20,00	1,00E-02	2,00E-03	1,62E-02
150	0,33	20	7,50	2,25E-02	1,13E-03	2,75E-02
200	0,67	40	5,00	4,00E-02	1,00E-03	4,26E-02
245	1,00	60	4,08	6,00E-02	1,00E-03	5,76E-02
285	1,50	90	3,17	8,12E-02	9,03E-04	8,02E-02
330	2,00	120	2,75	1,09E-01	9,08E-04	1,03E-01
400	3,00	180	2,22	1,60E-01	8,89E-04	1,48E-01
450	4,00	240	1,88	2,03E-01	8,44E-04	1,93E-01
470	5,00	300	1,57	2,21E-01	7,36E-04	2,38E-01

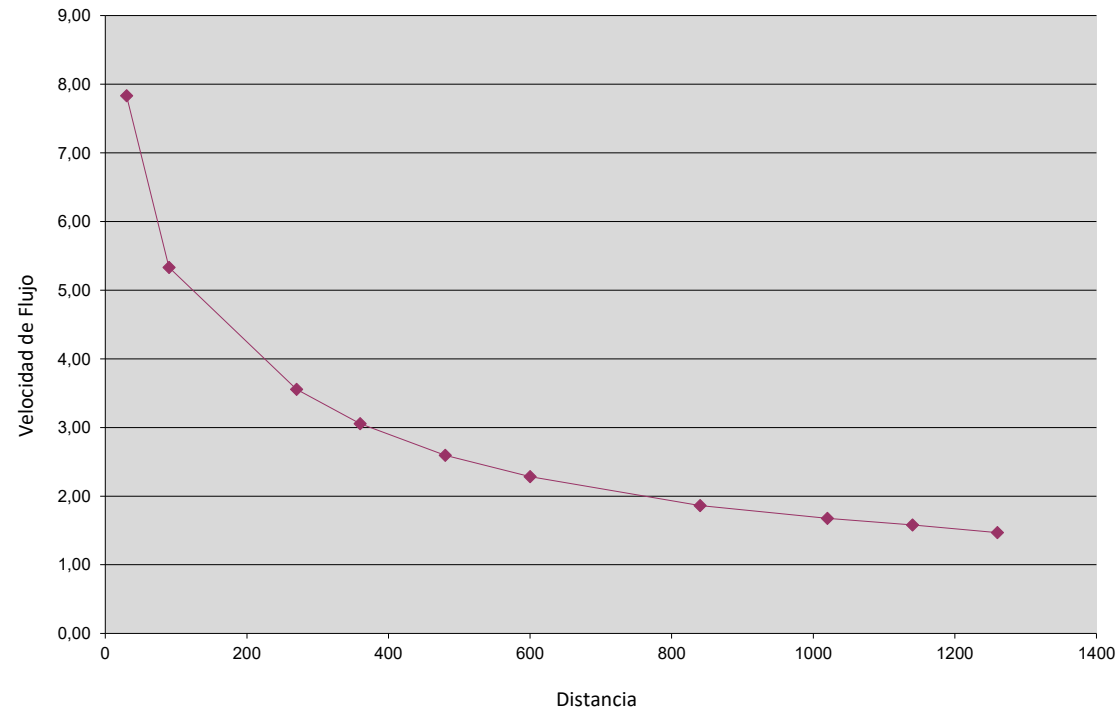
Diferencia de Presión	0,8 (bar)	11,6032 psi	80000 Pa
Fracción fibra/volumen	38%		
Viscosidad Resina	0,48 (Pa.s)	480 cP	

Pendiente	7,52E-04
Intercepción	1,25E-02

$2^*DP/((1-Vf).eta)$	5,38E+05
Permeabilidad Ajustada	1,40E-09 m2

NOTAS: El resultado de las celdas naranjas es la permeabilidad
 La gráfica de x2 vs tiempo debe ser una línea recta, de otra forma el análisis no es válido
 No todos los puntos de dato serán incluidos en el ajuste, verifica pendiente e intercepción
 La intercepción debe ser muy cercana a cero; no se utiliza para calcular la permeabilidad.

Velocidad de Flujo vs Distancia



Distancia (mm)	Tiempo (min)	Tiempo (seg)	Flujo (mm/seg)	x2 (m2)	x2/t (m2/s)	y (m2/s)
60	0,08	5	12,00	3,60E-03	7,20E-04	3,66E-03
100	0,33	20	5,00	1,00E-02	5,00E-04	9,65E-03
130	0,67	40	3,25	1,69E-02	4,23E-04	1,76E-02
160	1,00	60	2,67	2,56E-02	4,27E-04	2,56E-02
195	1,50	90	2,17	3,80E-02	4,23E-04	3,76E-02
225	2,00	120	1,88	5,06E-02	4,22E-04	4,96E-02
270	3,00	180	1,50	7,29E-02	4,05E-04	7,35E-02
310	4,00	240	1,29	9,61E-02	4,00E-04	9,75E-02
350	5,00	300	1,17	1,23E-01	4,08E-04	1,21E-01

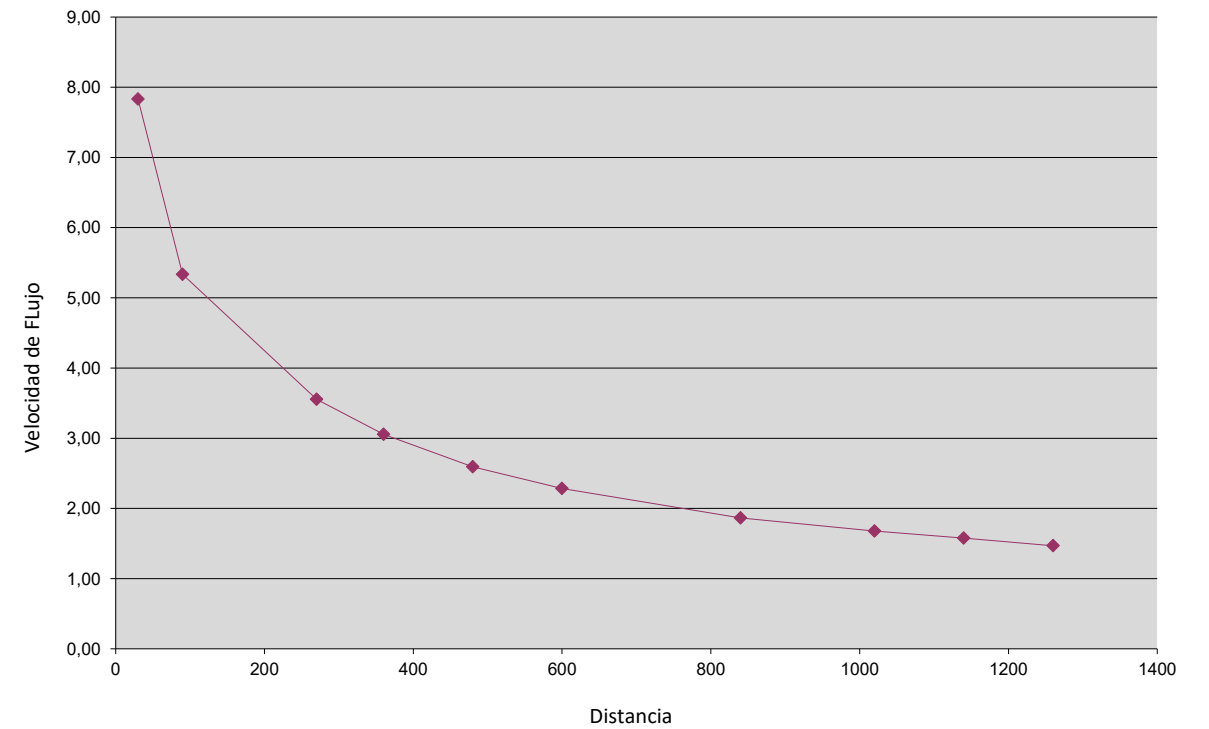
Diferencia de Presión	0,8 (bar)	11,6032 (psi)	80000 (Pa)
Fracción fibra/volumen	50%		
Viscosidad Resina	0,48 (Pa.s)	480 (cP)	

Pendiente	3,99E-04
Intercepción	1,66E-03

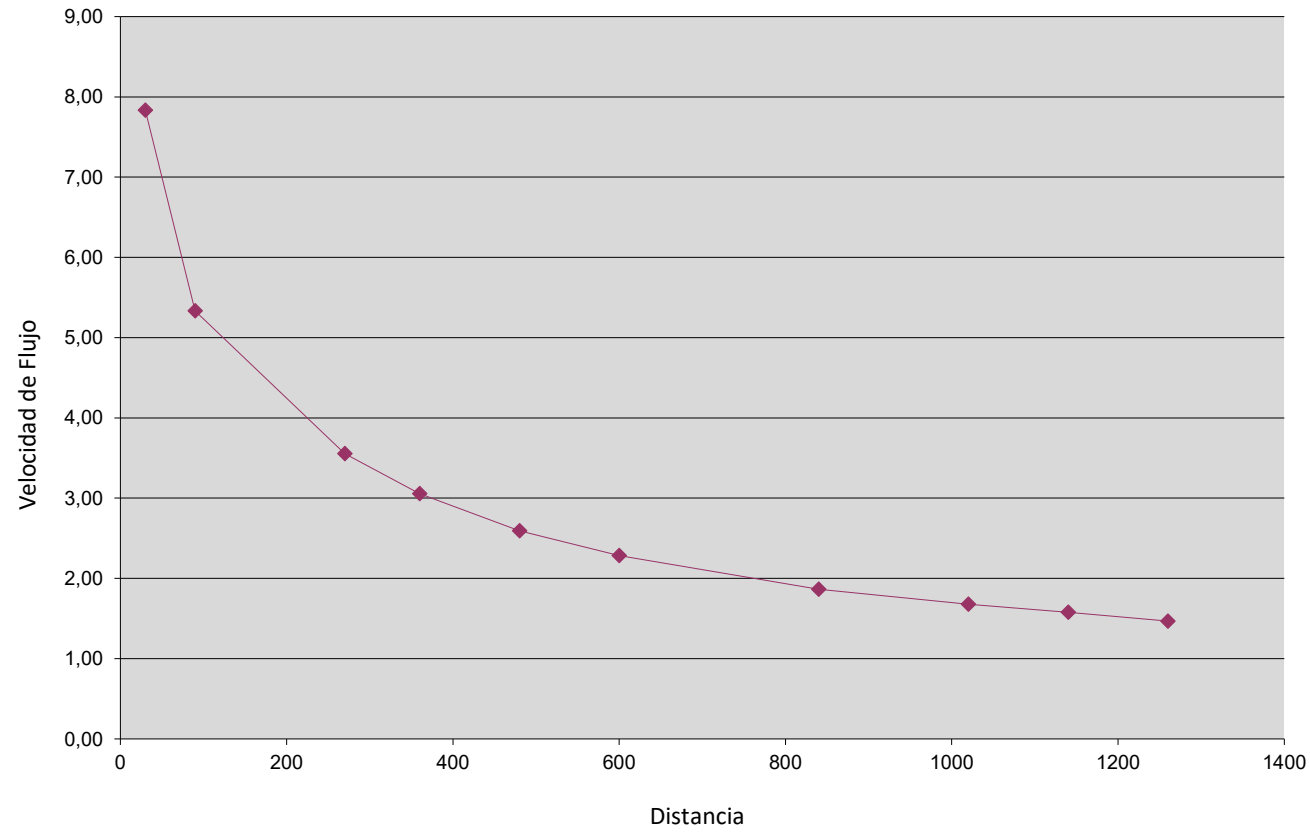
$2^*DP/((1-Vf).eta)$	6,67E+05
Permeabilidad Ajustada	5,99E-10 m2

NOTAS: El resultado de las celdas naranjas es la permeabilidad
 La gráfica de x2 vs tiempo debe ser una línea recta, de otra forma el análisis no es válido
 No todos los puntos de dato serán incluidos en el ajuste, verifica pendiente e intercepción
 La intercepción debe ser muy cercana a cero; no se utiliza para calcular la permeabilidad.

Velocidad de Flujo vs Distancia



Velocidad de Flujo vs Distancia



Anexo 4: Cálculos de flexión familias de probetas

Familia 5

PROBETA 5.1

l (mm) 105 Lo (mm) 55 l (distancia entre apoyos)
 Ancho (mm) 55 A (mm²) 308
 Espesor (mm) 5,6

$$\delta = \frac{EI}{M} \quad E = \frac{\delta M}{I}$$

Tiempo (sg)	d		s
	Extensión (mm)	Carga (kgf)	
0.00000	0,00000	-0,07522	-1,37,E-02
0.10000	0,57956	-0,13426	-2,45,E-02
0.20000	1,32344	0,64950	1,19,E-01
0.30000	2,00756	4,56867	8,34,E-01
0.40000	2,67825	12,21533	2,23,E+00
0.50000	3,34619	22,21460	4,06,E+00
0.60000	4,01319	31,44197	5,74,E+00
0.70000	4,67994	39,87267	7,28,E+00
0.80000	5,34663	47,47182	8,67,E+00
0.90000	6,01331	53,75888	9,82,E+00
1.00000	6,68013	13,44005	2,45,E+00
1.10000	7,34681	15,41814	2,82,E+00
1.20000	8,01344	16,15112	2,95,E+00
1.30000	8,67994	16,44344	3,00,E+00
1.33400	8,90669	16,52460	3,02,E+00

$$\sigma_{max} = \frac{Mc}{I}$$

INERCIA (I) 804,9066667 (mm⁴)
 MOMENTO RESISTENTE (c) 2,8 (mm)

ESFUERZO DE FLUENCIA	9,82,E+00 ($\frac{kgf}{mm^2}$)	96,2814660 (MPa)
ESFUERZO MÁXIMO	9,82,E+00 ($\frac{kgf}{mm^2}$)	96,2814660 (MPa)

$$E = \frac{l^3 m}{4bd^3}$$

MODULO DE FLEXIÒN 251,9864169 (kgf/mm²)
 MODULO DE FLEXIÒN 25198,64169 (kgf/cm²)

MODULO DE FLEXIÒN	2471,14 (MPa)	2,47114 (GPa)
--------------------------	----------------------	----------------------

PROBETA 5.2

l (mm) 105 Lo (mm) 55 l (distancia entre apoyos)
 Ancho (mm) 55 A (mm²) 313,5
 Espesor (mm) 5,7

$$\delta = \frac{EI}{M} \quad E = \frac{\delta M}{I}$$

Tiempo (sg)	d		s
	Extensión (mm)	Carga (kgf)	
0.00000	-0,00006	-0,07438	-1,31,E-02
0.10000	0,58156	-0,08111	-1,43,E-02
0.20000	1,32362	0,58736	1,04,E-01
0.30000	2,00763	4,38044	7,72,E-01
0.40000	2,67819	13,84944	2,44,E+00
0.50000	3,34606	24,36086	4,29,E+00
0.60000	4,01313	33,81806	5,96,E+00
0.70000	4,67981	42,12935	7,43,E+00
0.80000	5,34656	49,37975	8,70,E+00
0.90000	6,01325	55,60928	9,80,E+00
1.00000	6,68000	42,65778	7,52,E+00
1.10000	7,34669	17,82520	3,14,E+00
1.20000	8,01331	19,44532	3,43,E+00
1.30000	8,67988	20,32809	3,58,E+00
1.33200	8,89319	20,63869	3,64,E+00

$$\sigma_{max} = \frac{Mc}{I}$$

INERCIA (I) 848,80125 (mm⁴)
 MOMENTO RESISTENTE (c) 2,85 (mm)

ESFUERZO DE FLUENCIA	9,8,E+00 ($\frac{kgf}{mm^2}$)	96,131584 (MPa)
ESFUERZO MÁXIMO	9,8,E+00 ($\frac{kgf}{mm^2}$)	96,131584 (MPa)

$$E = \frac{l^3 m}{4bd^3}$$

MODULO DE FLEXIÒN 368,519629 (kgf/mm²)
 MODULO DE FLEXIÒN 36851,9629 (kgf/cm²)

MODULO DE FLEXIÒN	3613,94 (MPa)	3,61394 (GPa)
--------------------------	----------------------	----------------------

PROBETA 5.3

l (mm)	105 Lo (mm)	55 l (distancia entre apoyos)
Ancho (mm)	55 A (mm ²)	308
Espesor (mm)	5,6	

$$\delta = \frac{EI}{M} \quad E = \frac{\delta M}{I}$$

Tiempo (sg)	Extensión (mm)	Carga (kgf)	s	Esfuerzo ($\frac{kgf}{mm^2}$)	$\sigma_{max} = \frac{Mc}{I}$	$E = \frac{l^3 m}{4bd^3}$
0.00000	0,00931	-0,08423		-1,54,E-02		
0.10000	0,70363	-0,17815		-5,78,E-04		
0.20000	1,41950	0,46015		1,49,E-03		
0.30000	2,10194	3,93267		1,28,E-02		
0.40000	2,77200	10,17817		3,30,E-02		
0.50000	3,43956	20,49545		6,65,E-02		
0.60000	4,10644	29,51655		9,58,E-02		
0.70000	4,77331	37,34037		1,21,E-01		
0.80000	5,44000	44,20865		1,44,E-01		
0.90000	6,10663	50,39814		1,64,E-01		
1.00000	6,77338	56,02174		1,82,E-01		
1.10000	7,44000	61,12400		1,98,E-01		
1.20000	8,10662	65,61304		2,13,E-01		
1.30000	8,77331	69,19626		2,25,E-01		
1.40000	9,43988	71,64620		2,33,E-01		
1.50000	10,10669	72,46247		2,35,E-01		
1.60000	10,77331	72,42152		2,35,E-01		
1.70000	11,44006	70,30468		2,28,E-01		
1.80000	12,10669	66,92714		2,17,E-01		

INERCIA (I)	804,907 (mm ⁴)
MOMENTO RESISTENTE (c)	2,8 (mm)
ESFUERZO DE FLUENCIA	2,35,E-01 ($\frac{kgf}{mm^2}$)
ESFUERZO MÁXIMO	2,35,E-01 ($\frac{kgf}{mm^2}$)
MODULO DE FLEXIÒN	266,668 (kgf/mm ²)
MODULO DE FLEXIÒN	26666,8 (kgf/cm ²)
MODULO DE FLEXIÒN	2615,12 (MPa)
	2,61512 (GPa)

PROBETA 5.4

l (mm)	105 Lo (mm)	53 l (distancia entre apoyos)
Ancho (mm)	53 A (mm ²)	302,1
Espesor (mm)	5,7	

$$\delta = \frac{EI}{M} \quad E = \frac{\delta M}{I}$$

Tiempo (sg)	Extensión (mm)	Carga (kgf)	s	Esfuerzo ($\frac{kgf}{mm^2}$)	$\sigma_{max} = \frac{Mc}{I}$	$E = \frac{l^3 m}{4bd^3}$
0.00000	-0,00006	-0,01074		-1,96,E-03		
0.10000	0,58131	-0,08180		-1,50,E-02		
0.20000	1,32362	0,74935		1,37,E-01		
0.30000	2,00763	5,14524		9,41,E-01		
0.40000	2,67819	14,15169		2,59,E+00		
0.50000	3,34613	24,99727		4,57,E+00		
0.60000	4,01313	34,84770		6,37,E+00		
0.70000	4,67988	43,57941		7,97,E+00		
0.80000	5,34656	51,14804		9,36,E+00		
0.90000	6,01325	57,80470		1,06,E+01		
1.00000	6,68006	11,07392		2,03,E+00		

INERCIA (I)	817,93575 (mm ⁴)
MOMENTO RESISTENTE (c)	2,85 (mm)
ESFUERZO DE FLUENCIA	1,06,E+01 ($\frac{kgf}{mm^2}$)
ESFUERZO MÁXIMO	1,06,E+01 ($\frac{kgf}{mm^2}$)
MODULO DE FLEXIÒN	395,104765 (kgf/mm ²)
MODULO DE FLEXIÒN	39510,4765 (kgf/cm ²)
MODULO DE FLEXIÒN	3874,65 (MPa)
	3,87465 (GPa)

Familia 6

PROBETA 6.1

l (mm)	105 Lo (mm)	54 l (distancia entre apoyos)
Ancho (mm)	54 A (mm ²)	135
Espesor (mm)	2,5	

$$\delta = \frac{EI}{M} \quad E = \frac{\delta M}{I}$$

Tiempo (sg)	Extensión (mm)	Carga (kgf)	s	Esfuerzo ($\frac{kgf}{mm^2}$)
0.00000	0,01263	0,02584		2,41,E-02
0.10000	0,71906	0,01933		1,80,E-02
0.20000	1,43313	0,60755		5,67,E-01
0.30000	2,11531	1,11788		1,04,E+00
0.40000	2,78531	1,90241		1,78,E+00
0.50000	3,45306	2,69659		2,52,E+00
0.60000	4,11988	3,43918		3,21,E+00
0.70000	4,78669	4,09306		3,82,E+00
0.80000	5,45338	4,58018		4,27,E+00
0.90000	6,11994	5,21989		4,87,E+00
1.00000	6,78656	5,85931		5,47,E+00
1.10000	7,45337	6,53091		6,10,E+00
1.20000	8,12012	7,03717		6,57,E+00
1.30000	8,78656	7,64019		7,13,E+00
1.40000	9,45331	8,17365		7,63,E+00
1.50000	10,12000	8,60691		8,03,E+00
1.60000	10,78656	9,10191		8,50,E+00
1.70000	11,45337	9,58198		8,94,E+00
1.80000	12,12000	9,99545		9,33,E+00
1.90000	12,78675	10,39971		9,71,E+00
2.00000	13,45344	10,77645		1,01,E+01
2.10000	14,12000	11,09751		1,04,E+01
2.20000	14,78656	11,49652		1,07,E+01
2.30000	15,45331	11,85317		1,11,E+01
2.40000	16,12000	12,14399		1,13,E+01
2.50000	16,78669	12,35842		1,15,E+01
2.60000	17,45331	12,54662		1,17,E+01
2.70000	18,12006	12,78448		1,19,E+01
2.80000	18,78669	12,98442		1,21,E+01
2.90000	19,45338	13,34740		1,25,E+01
3.00000	20,12000	13,60145		1,27,E+01
3.10000	20,78669	10,42437		9,73,E+00
3.20000	21,45344	-0,21305		-1,99,E-01
3.30000	22,11994	-0,16072		-1,50,E-01
3.40000	22,78663	-0,11617		-1,08,E-01
3.47800	23,30675	-0,16127		-1,51,E-01

INERCIA (I)	70,3125 (mm ⁴)
MOMENTO RESISTENTE (c)	1,25 (mm)
ESFUERZO DE FLUENCIA	1,27,E+01 ($\frac{kgf}{mm^2}$)
ESFUERZO MÁXIMO	1,27,E+01 ($\frac{kgf}{mm^2}$)
MODULO DE FLEXIÒN	253,82 (kgf/mm ²)
MODULO DE FLEXIÒN	25382 (kgf/cm ²)
MODULO DE FLEXIÒN	1975,94 (MPa)
	1,97594 (GPa)

ESFUERZO DE FLUENCIA DE FLEXION

PROBETA 6.2

l (mm) 105 Lo (mm) 53 l (distancia entre apoyos)
 Ancho (mm) 53 A (mm²) 143,1
 Espesor (mm) 2,7

$$\delta = \frac{EI}{M} \quad E = \frac{\delta M}{I}$$

Tiempo (sg)	d Extensión (mm)	Carga (kgf)	s Esfuerzo (kgf/mm ²)	$\sigma_{max} = \frac{Mc}{I}$	INERCIA (I) 86,93325 (mm ⁴)	MOMENTO RESISTENTE (c) 1,35 (mm)
0.00000	0,00000	-0,05232	-4,27,E-02		ESFUERZO DE FLUENCIA 9,74,E+00 (kgf/mm ²)	95,515206 (MPa)
0.10000	0,58119	-0,07338	-5,98,E-02		ESFUERZO MÁXIMO 9,74,E+00 (kgf/mm ²)	95,515206 (MPa)
0.20000	1,32356	0,43461	3,54,E-01	$E = \frac{l^3 m}{4bd^3}$	MODULO DE FLEXIÒN 219,163302 (kgf/mm ²)	
0.30000	2,00763	0,80673	6,58,E-01		MODULO DE FLEXIÒN 21916,3302 (kgf/cm ²)	
0.40000	2,67831	1,51457	1,23,E+00		MODULO DE FLEXIÒN 2149,26 (MPa)	2,14926 (GPa)
0.50000	3,34625	2,32806	1,90,E+00			
0.60000	4,01319	3,10475	2,53,E+00			
0.70000	4,68006	3,83982	3,13,E+00			
0.80000	5,34656	4,29439	3,50,E+00			
0.90000	6,01319	4,93225	4,02,E+00			
1.00000	6,68000	5,57901	4,55,E+00			
1.10000	7,34663	6,24617	5,09,E+00			
1.20000	8,01344	6,84264	5,58,E+00			
1.30000	8,68006	7,46305	6,08,E+00			
1.40000	9,34662	8,03674	6,55,E+00			
1.50000	10,01331	8,58164	7,00,E+00			
1.60000	10,67994	9,07601	7,40,E+00			
1.70000	11,34663	9,51946	7,76,E+00			
1.80000	12,01331	10,00106	8,15,E+00			
1.90000	12,68006	10,40627	8,48,E+00			
2.00000	13,34669	10,80132	8,81,E+00			
2.10000	14,01331	11,08719	9,04,E+00			
2.20000	14,68000	11,44477	9,33,E+00			
2.30000	15,34656	11,74781	9,58,E+00			
2.40000	16,01331	11,94661	9,74,E+00		ESFUERZO DE FLUENCIA DE FLEXION	
2.50000	16,68006	1,46383	1,19,E+00			
2.60000	17,34663	0,82026	6,69,E-01			
2.70000	18,01338	0,78794	6,42,E-01			
2.80000	18,68006	0,74817	6,10,E-01			
2.90000	19,34656	0,66979	5,46,E-01			
2.95200	19,69338	0,66805	5,45,E-01			

PROBETA 6.3

l (mm) 105 Lo (mm) 57 l (distancia entre apoyos)
 Ancho (mm) 57 A (mm²) 159,6
 Espesor (mm) 2,8

$$\delta = \frac{EI}{M} \quad E = \frac{\delta M}{I}$$

Tiempo (sg)	Extensión (mm)	Carga (kgf)	s Esfuerzo (kgf/mm ²)	$\sigma_{max} = \frac{Mc}{I}$	INERCIA (I) 104,272 (mm ⁴)	MOMENTO RESISTENTE (c) 1,4 (mm)
0.00000	0,01263	-0,00940	-6,63,E-03		ESFUERZO DE FLUENCIA 1,02,E+01 (kgf/mm ²)	100,03488 (MPa)
0.10000	0,72056	0,31134	2,19,E-01		ESFUERZO MÁXIMO 1,02,E+01 (kgf/mm ²)	100,03488 (MPa)
0.20000	1,43325	0,78977	5,57,E-01	$E = \frac{l^3 m}{4bd^3}$	MODULO DE FLEXIÒN 296,052632 (kgf/mm ²)	
0.30000	2,11531	1,91317	1,35,E+00		MODULO DE FLEXIÒN 29605,2632 (kgf/cm ²)	
0.40000	2,78525	3,06851	2,16,E+00		MODULO DE FLEXIÒN 2903,29 (MPa)	2,90329 (MPa)
0.50000	3,45306	4,09054	2,88,E+00			
0.60000	4,11988	4,67252	3,29,E+00			
0.70000	4,78662	5,75148	4,05,E+00			
0.80000	5,45331	6,76144	4,77,E+00			
0.90000	6,11994	7,72472	5,45,E+00			
1.00000	6,78662	8,61761	6,07,E+00			
1.10000	7,45337	9,55322	6,73,E+00			
1.20000	8,12006	10,39112	7,32,E+00			
1.30000	8,78656	11,19025	7,89,E+00			
1.40000	9,45331	11,97262	8,44,E+00			
1.50000	10,12000	12,74957	8,99,E+00			
1.60000	10,78656	13,43420	9,47,E+00			
1.70000	11,45337	14,09771	9,94,E+00			
1.80000	12,12000	14,47142	1,02,E+01			
1.90000	12,78675	14,43456	1,02,E+01		ESFUERZO DE FLUENCIA DE FLEXION	
2.00000	13,45350	0,74885	5,28,E-01			
2.10000	14,12000	1,30725	9,21,E-01			
2.20000	14,78662	1,19038	8,39,E-01			
2.24800	15,10663	1,10853	7,81,E-01			

Familia 7

PROBETA 6.1

l (mm)	105 Lo (mm)	53 l (distancia entre apoyos)
Ancho (mm)	53 A (mm ²)	291,5
Espesor (mm)	5,5	

$$\delta = \frac{EI}{M} \quad E = \frac{\delta M}{I}$$

$$\sigma_{max} = \frac{Mc}{I}$$

$$E = \frac{l^3 m}{4bd^3}$$

INERCIA (I)	734,8229167 (mm ⁴)
MOMENTO RESISTENTE (c)	2,75 (mm)
ESFUERZO DE FLUENCIA	1,43,E+01 ($\frac{kgf}{mm^2}$)
ESFUERZO MÁXIMO	140,505439 (MPa)
MODULO DE FLEXIÓN	300,3067278 (kgf/mm ²)
MODULO DE FLEXIÓN	30030,67278 (kgf/cm ²)
MODULO DE FLEXIÓN	2945,01 (MPa)
	2,94501 (GPa)

Tiempo (sg)	d Extensión (mm)	Carga (kgf)	s Esfuerzo ($\frac{kgf}{mm^2}$)
0.00000	0,00000	-0,03486	-6,85,E-03
0.10000	0,58081	-0,05779	-1,14,E-02
0.20000	1,32369	2,47870	4,87,E-01
0.30000	2,00769	6,71501	1,32,E+00
0.40000	2,67831	15,34947	3,02,E+00
0.50000	3,34613	24,03742	4,72,E+00
0.60000	4,01319	31,86988	6,26,E+00
0.70000	4,68000	38,80707	7,62,E+00
0.80000	5,34663	45,26920	8,89,E+00
0.90000	6,01338	51,26128	1,01,E+01
1.00000	6,67987	56,82632	1,12,E+01
1.10000	7,34669	62,16724	1,22,E+01
1.20000	8,01338	67,10160	1,32,E+01
1.30000	8,67988	71,37741	1,40,E+01
1.40000	9,34662	72,92277	1,43,E+01
1.50000	10,01338	71,87717	1,41,E+01
1.60000	10,68006	68,13642	1,34,E+01
1.70000	11,34663	65,19031	1,28,E+01
1.80000	12,01331	66,07515	1,30,E+01
1.90000	12,68000	66,48430	1,31,E+01
2.00000	13,34663	66,78447	1,31,E+01
2.10000	14,01337	66,56554	1,31,E+01
2.20000	14,68000	66,40682	1,30,E+01
2.30000	15,34675	66,47653	1,31,E+01
2.40000	16,01338	63,24548	1,24,E+01
2.50000	16,68000	63,91167	1,26,E+01
2.60000	17,34656	64,67913	1,27,E+01
2.70000	18,01331	64,88929	1,27,E+01
2.80000	18,68000	64,30223	1,26,E+01
2.90000	19,34663	63,74091	1,25,E+01
3.00000	20,01344	62,90748	1,24,E+01
3.08000	20,54681	62,32230	1,22,E+01

PROBETA 6.2

l (mm)	105 Lo (mm)	57 l (distancia entre apoyos)
Ancho (mm)	57 A (mm ²)	313,5
Espesor (mm)	5,5	

$$\delta = \frac{EI}{M} \quad E = \frac{\delta M}{I}$$

$$\sigma_{max} = \frac{Mc}{I}$$

$$E = \frac{l^3 m}{4bd^3}$$

Tiempo (sg)	d Extensión (mm)	Carga (kgf)	s Esfuerzo ($\frac{kgf}{mm^2}$)
0.00000	0,00000	-0,07049	-1,29,E-02
0.10000	0,58113	0,07374	1,35,E-02
0.20000	1,32362	2,43696	4,45,E-01
0.30000	2,00763	6,48769	1,19,E+00
0.40000	2,67825	14,74877	2,69,E+00
0.50000	3,34613	23,06924	4,21,E+00
0.60000	4,01319	30,49710	5,57,E+00
0.70000	4,67994	37,26679	6,81,E+00
0.80000	5,34663	43,53816	7,95,E+00
0.90000	6,01338	49,44437	9,03,E+00
1.00000	6,67994	54,92913	1,00,E+01
1.10000	7,34663	59,98338	1,10,E+01
1.20000	8,01338	64,61547	1,18,E+01
1.30000	8,67988	68,83302	1,26,E+01
1.40000	9,34662	69,61483	1,27,E+01
1.50000	10,01338	56,43293	1,03,E+01
1.60000	10,68006	56,62966	1,03,E+01
1.70000	11,34663	57,99262	1,06,E+01
1.80000	12,01331	57,95560	1,06,E+01
1.90000	12,68000	57,88139	1,06,E+01
2.00000	13,34663	56,19554	1,03,E+01
2.10000	14,01337	55,67354	1,02,E+01
2.20000	14,68000	56,14299	1,03,E+01
2.30000	15,34675	56,41226	1,03,E+01
2.40000	16,01338	56,80180	1,04,E+01
2.50000	16,68000	57,57990	1,05,E+01
2.59400	17,30663	58,06002	1,06,E+01

INERCIA (I)	790,28125 (mm ⁴)
MOMENTO RESISTENTE (c)	2,75 (mm)
ESFUERZO DE FLUENCIA	1,27,E+01 ($\frac{kgf}{mm^2}$)
ESFUERZO MÁXIMO	124,71904 (MPa)
MODULO DE FLEXIÓN	272,823955 (kgf/mm ²)
MODULO DE FLEXIÓN	27282,3955 (kgf/cm ²)
MODULO DE FLEXIÓN	2675,49 (MPa)
	2,67549 (GPa)

PROBETA 7.3
 l (mm) 105 Lo (mm) 54 l (distancia entre apoyos)
 Ancho (mm) 54 A (mm²) 270
 Espesor (mm) 5

$$\delta = \frac{EI}{M} \quad E = \frac{\delta M}{I}$$

$$\sigma_{max} = \frac{Mc}{I}$$

$$E = \frac{l^3 m}{4bd^3}$$

INERCIA (I)	562,5 (mm ⁴)
MOMENTO RESISTENTE (c)	2,5 (mm)
ESFUERZO DE FLUENCIA	1,67,E+01 (kgf/mm²)
ESFUERZO MÁXIMO	1,67,E+01 (kgf/mm²)
MODULO DE FLEXIÒN	412,02875 (kgf/mm ²)
MODULO DE FLEXIÒN	41202,875 (kgf/cm ²)
MODULO DE FLEXIÒN	4040,62 (MPa)
MODULO DE FLEXIÒN	4,04062 (GPa)

Tiempo (sg)	Extensión (mm)	Carga (kgf)	Esfuerzo (kgf/mm ²)
0.00000	0,00000	-0,07653	-1,79,E-02
0.10000	0,58113	-0,06978	-1,63,E-02
0.20000	1,32362	0,82348	1,92,E-01
0.30000	2,00769	4,72130	1,10,E+00
0.40000	2,67825	12,05597	2,81,E+00
0.50000	3,34613	20,39191	4,76,E+00
0.60000	4,01319	27,89514	6,51,E+00
0.70000	4,67994	34,80050	8,12,E+00
0.80000	5,34663	41,29066	9,63,E+00
0.90000	6,01338	47,41929	1,11,E+01
1.00000	6,67994	53,27805	1,24,E+01
1.10000	7,34663	58,77102	1,37,E+01
1.20000	8,01338	63,96479	1,49,E+01
1.30000	8,67988	68,58990	1,60,E+01
1.40000	9,34656	71,77319	1,67,E+01
1.50000	10,01338	67,65764	1,58,E+01
1.60000	10,68006	63,94049	1,49,E+01
1.70000	11,34663	64,94748	1,52,E+01
1.80000	12,01331	64,03181	1,49,E+01
1.90000	12,68000	63,74306	1,49,E+01
2.00000	13,34663	63,91190	1,49,E+01

Familia 8

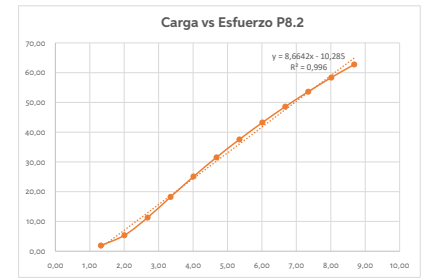
PROBETA 8.2
 l (mm) 105 A (mm²) 253
 Ancho (mm) 55
 Espesor (mm) 4,6

$$\delta = \frac{EI}{M} \quad E = \frac{\delta M}{I}$$

$$\sigma_{max} = \frac{Mc}{I}$$

$$E = \frac{l^3 m}{4bd^3}$$

INERCIA (I)	446,123333 (mm ⁴)
MOMENTO RESISTENTE (c)	2,3 (mm)
ESFUERZO DE FLUENCIA	1,70,E+01 (kgf/mm²)
ESFUERZO MÁXIMO	1,70,E+01 (kgf/mm²)
MODULO DE FLEXIÒN	468,1549431 (kgf/mm ²)
MODULO DE FLEXIÒN	46815,49431 (kgf/cm ²)
MODULO DE FLEXIÒN	4591,03 (MPa)
MODULO DE FLEXIÒN	4,59103 (GPa)



ESFUERZO DE FLUENCIA DE FLEXION

PROBETA 8.3
 l (mm) 105 A (mm) 256,5
 Ancho (mm) 57
 Espesor (mm) 4,5

$$\delta = \frac{EI}{M}$$

$$E = \frac{\delta M}{I}$$

$$\sigma_{max} = \frac{Mc}{I}$$

$$E = \frac{l^3 m}{4bd^3}$$

INERCIA (I)	432,84375 (mm ⁴)
MOMENTO RESISTENTE (c)	2,25 (mm)
ESFUERZO DE FLUENCIA	1,37,E+01 (kgf/mm²)
ESFUERZO MÁXIMO	1,37,E+01 (kgf/mm²)
MODULO DE FLEXIÒN	391,140351 (kgf/mm ²)
MODULO DE FLEXIÒN	39114,0351 (kgf/cm ²)
MODULO DE FLEXIÒN	3835,78 (MPa)
MODULO DE FLEXIÒN	3,83578 (GPa)

Tiempo (sg)	Extensión (mm)	Carga (kgf)	Esfuerzo (kgf/mm ²)
0.00000	0,00000	-0,10359	-2,83,E-02
0.10000	0,58075	-0,07069	-1,93,E-02
0.20000	1,32375	0,68825	1,88,E-01
0.30000	2,00769	4,43121	1,21,E+00
0.40000	2,67831	8,19915	2,24,E+00
0.50000	3,34613	14,03899	3,83,E+00
0.60000	4,01325	19,59196	5,35,E+00
0.70000	4,67994	24,73762	6,75,E+00
0.80000	5,34663	29,83508	8,14,E+00
0.90000	6,01338	34,72219	9,48,E+00
1.00000	6,67994	39,09622	1,07,E+01
1.10000	7,34663	43,18953	1,18,E+01
1.20000	8,01338	46,91887	1,28,E+01
1.30000	8,67988	50,10440	1,37,E+01
1.40000	9,34662	47,35314	1,29,E+01
1.43400	9,57344	9,99156	2,73,E+00

PROBETA 8.4

l (mm)	105 A (mm ²)	239,2
Ancho (mm)	52	
Espesor (mm)	4,6	

$$\delta = \frac{EI}{M} \quad E = \frac{\delta M}{I}$$

Tiempo (sg)	Extensión (mm)	Carga (kgf)	Esfuerzo (kgf/mm ²)
0.00000	-0,00006	-0,04316	-1,24,E-02
0.10000	0,58119	-0,08120	-2,32,E-02
0.20000	1,32362	0,38552	1,10,E-01
0.30000	2,00756	1,98700	5,69,E-01
0.40000	2,67825	4,58466	1,31,E+00
0.50000	3,34606	8,93282	2,56,E+00
0.60000	4,01313	14,42731	4,13,E+00
0.70000	4,67988	19,54503	5,60,E+00
0.80000	5,34656	24,24388	6,94,E+00
0.90000	6,01331	28,61913	8,19,E+00
1.00000	6,67981	32,72380	9,37,E+00
1.10000	7,34656	36,56002	1,05,E+01
1.20000	8,01331	40,20370	1,15,E+01
1.30000	8,67975	43,59255	1,25,E+01
1.40000	9,34650	46,90234	1,34,E+01
1.50000	10,01325	49,75367	1,42,E+01
1.60000	10,68006	51,65847	1,48,E+01
1.65000	11,01356	9,32731	2,67,E+00

$$\sigma_{max} = \frac{Mc}{I}$$

INERCIA (I)	421,789333 (mm ⁴)
MOMENTO RESISTENTE (c)	2,3 (mm)
ESFUERZO DE FLUENCIA	1,48,E+01 (kgf/cm²) 145,028635 (MPa)
ESFUERZO MÁXIMO	1,48,E+01 (kgf/cm²) 145,028635 (MPa)

$$E = \frac{l^3 m}{4bd^3}$$

MODULO DE FLEXIÒN	356,220668 (kgf/mm ²)
MODULO DE FLEXIÒN	35622,0668 (kgf/cm ²)
MODULO DE FLEXIÒN	3493,33 (MPa) 3,49333 (GPa)

Anexo 5: Cálculos de tracción familias de probetas

TRACCIÓN									
FAMILIA 5									
ESQUEMA 4 CAPAS COMBITRI									

Probetas	X	x/largo probeta	Y	ESFUERZO DE FLUENCIA	MÓDULO DE YOUNG	X	x/largo probeta	Y	ESFUERZO MÁXIMO
				y/area (kgf/cm ²)	modulo elastico (kgf/cm ²)				y/area (kgf/cm ²)
(1) P 5.5	1,164	0,074	805,0	268,3	3642,129754	5,158	0,326	2110,8	703,6
(2) P 5.7	1,367	0,087	935,0	267,1	3087,255510	3,951	0,250	1745,5	498,7
(3) P 5.6	1,195	0,079	717,5	239,2	3021,315904	4,458	0,295	1834,1	611,4
PROMEDIO				258,2	3250,233723				604,6
				25,3208	3187,39	MPa			59,291
				MPa	3,18739	GPa			MPa

TRACCIÓN									
FAMILIA 6									
ESQUEMA 4 CAPAS									

Probeta	X	x/largo probeta	Y	ESFUERZO DE FLUENCIA	MÓDULO DE YOUNG	X	x/largo probeta	Y	ESFUERZO MÁXIMO
				y/area (kgf/cm ²)	modulo elastico (kgf/cm ²)				y/area (kgf/cm ²)
(1) P 6.4	1,031	0,066	325,0	203,1	3092,424242	1,858	0,118	535,0	334,4
(2) P 6.5	1,125	0,072	382,5	255,0	3536,000000	2,058	0,132	601,1	400,7
(3) P 6.6	1,219	0,079	265,0	189,3	2407,326007	1,958	0,126	342,7	244,8
PROMEDIO				215,8	3011,916750				326,6
				21,1628	2953,68	MPa			32,0285
				MPa	2,95368	GPa			MPa

Costo Horas Hombre				Presupuesto de Venta										
un	h	h	CLP	CLP	CLP	CLP	%	CLP/cm2	CLP/m2	CLP	CLP/cm2	CLP/m2	CLP	CLP
N° Op	Horas	HH	Costo HH	Costo Directo	Costo Indirecto (15%)	Gastos Generales (10%)	Margen	Costo Unitario	CU	Costo Total	Precio Unitario	PU	Precio Venta	Utilidad
1,0	0,2	0,2	518	789	118	79	10%	10,1	100.685	986	11,2	111.872	1.096	110
1,0	0,2	0,2	518	690	103	69	10%	8,8	88.030	862	9,8	97.811	958	96
1,0	0,2	0,2	518	747	112	75	10%	9,5	95.358	934	10,6	105.953	1.038	104
1,0	0,2	0,2	518	742	111	74	10%	9,7	96.985	927	10,8	107.761	1.030	103
1,0	0,2	0,2	518	732	110	73	10%	10,0	99.986	915	11,1	111.096	1.017	102
1,0	0,2	0,2	518	736	110	74	10%	9,9	98.677	920	11,0	109.641	1.022	102
1,0	0,2	0,2	518	869	130	87	10%	11,7	116.538	1.086	12,9	129.487	1.206	121
1,0	0,2	0,2	518	875	131	87	10%	11,5	115.298	1.094	12,8	128.109	1.215	122
1,0	0,2	0,2	518	875	131	88	10%	11,5	115.211	1.094	12,8	128.013	1.216	122
1,0	0,2	0,2	518	869	130	87	10%	11,6	116.473	1.086	12,9	129.414	1.207	121
1,0	0,2	0,2	518	726	109	73	10%	9,7	97.303	907	10,8	108.115	1.008	101
1,0	0,2	0,2	518	737	111	74	10%	9,4	93.652	922	10,4	104.058	1.024	102
1,0	0,2	0,2	518	730	109	73	10%	9,6	96.042	912	10,7	106.713	1.014	101
1,0	0,2	0,2	518	732	110	73	10%	9,5	95.255	915	10,6	105.838	1.017	102
1,0	0,2	0,2	518	726	109	73	10%	9,7	97.303	907	10,8	108.115	1.008	101
1,0	0,2	0,2	518	834	125	83	10%	11,1	111.222	1.043	12,4	123.580	1.159	116
1,0	0,2	0,2	518	834	125	83	10%	11,1	111.222	1.043	12,4	123.580	1.159	116
1,0	0,2	0,2	518	831	125	83	10%	11,2	112.049	1.038	12,4	124.499	1.154	115
1,0	0,2	0,2	518	823	123	82	10%	11,4	113.825	1.029	12,6	126.472	1.143	114
1,0	0,2	0,2	518	844	127	84	10%	10,9	109.233	1.055	12,1	121.370	1.172	117
1,0	0,2	0,2	518	821	123	82	10%	11,4	114.290	1.026	12,7	126.989	1.140	114
1,0	0,2	0,2	518	821	123	82	10%	11,4	114.290	1.026	12,7	126.989	1.140	114
1,0	0,2	0,2	518	836	125	84	10%	11,1	110.875	1.045	12,3	123.195	1.161	116
1,0	0,2	0,2	518	600	90	60	10%	8,1	80.986	750	9,0	89.985	834	83
1,0	0,2	0,2	518	599	90	60	10%	8,2	81.850	749	9,1	90.945	832	83
1,0	0,2	0,2	518	606	91	61	10%	7,6	76.474	758	8,5	84.971	842	84
1,0	0,2	0,2	518	602	90	60	10%	7,9	79.280	753	8,8	88.089	837	84
1,0	0,2	0,2	518	603	91	60	10%	7,8	78.493	754	8,7	87.214	838	84
1,0	0,2	0,2	518	600	90	60	10%	8,1	81.437	750	9,0	90.485	833	83
1,0	0,2	0,2	518	604	91	60	10%	7,8	78.170	755	8,7	86.856	839	84
1,0	0,2	0,2	518	797	120	80	10%	10,8	108.179	996	12,0	120.199	1.107	111
1,0	0,2	0,2	518	820	123	82	10%	10,3	102.840	1.025	11,4	114.266	1.139	114
1,0	0,2	0,2	518	801	120	80	10%	10,7	107.318	1.001	11,9	119.242	1.112	111
1,0	0,2	0,2	518	808	121	81	10%	10,6	105.625	1.010	11,7	117.361	1.122	112
1,0	0,2	0,2	518	811	122	81	10%	10,5	104.779	1.014	11,6	116.421	1.127	113
1,0	0,2	0,2	518	818	123	82	10%	10,3	103.251	1.023	11,5	114.723	1.137	114
1,0	0,2	0,2	518	802	120	80	10%	10,7	106.879	1.003	11,9	118.754	1.115	111
1,0	0,2	0,2	518	813	122	81	10%	10,4	104.417	1.016	11,6	116.019	1.129	113
1,0	0,2	0,2	518	790	118	79	10%	11,0	110.074	987	12,2	122.305	1.097	110
1,0	0,2	0,2	518	812	122	81	10%	10,5	104.658	1.015	11,6	116.287	1.128	113
1,0	0,2	0,2	518	674	101	67	10%	9,5	94.506	843	10,5	105.006	937	94
1,0	0,2	0,2	518	686	103	69	10%	9,0	89.656	857	10,0	99.618	952	95
1,0	0,2	0,2	518	691	104	69	10%	8,8	87.698	863	9,7	97.442	959	96
1,0	0,2	0,2	518	675	101	68	10%	9,4	94.017	844	10,4	104.464	938	94
1,0	0,2	0,2	518	679	102	68	10%	9,2	92.211	849	10,2	102.456	944	94
1,0	0,2	0,2	518	688	103	69	10%	8,9	88.810	860	9,9	98.678	955	96
1,0	0,2	0,2	518	683	102	68	10%	9,1	90.620	854	10,1	100.689	949	95
1,0	0,2	0,2	518	677	102	68	10%	9,3	93.163	847	10,4	103.514	941	94
1,0	0,2	0,2	518	691	104	69	10%	8,8	87.698	863	9,7	97.442	959	96
1,0	0,2	0,2	518	682	102	68	10%	9,1	90.910	853	10,1	101.011	948	95
		-	24.840	35.957	5.394	3.596				44.952			49.946	4.995

Parámetros

Tipo
A
M
T
V
C
Bx
Tx

Ítem
Tipo de Cambio
Costo HH

Ítem
Mat 450
Tela 600
Velo 30
Arpillera
Coremat
Biaxial
Triaxial
Resina PALATAL A 430
Peróxido LPT
Cobalto 6%
Agente Superficie

Ítem
Área
Espesor
Peso
Peso por Superficie



Esta investigación se terminó de diseñar en julio del 2021, en Santiago de Chile. Para su composición se utilizó en títulos la familia tipográfica *Aspira* del diseñador Ben Blom para *DuroType*, y en textos la familia tipográfica *Alegreya Sans* del diseñador Juan Pablo del Peral para *Huerta Tipográfica*.



FACULTAD DE
ARQUITECTURA
Y URBANISMO

UNIVERSIDAD DE CHILE

Escuela única de pregrado
Carrera de Diseño
Santiago de Chile, julio 2021