



## UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE – SEDE LATACUNGA

### DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE ENERGÍA Y MECÁNICA

### CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**“Diseño y construcción de estructuras tubulares con fibras naturales utilizadas en elementos de protección de puertas de vehículos tomando en consideración la orientación de las fibras”**

Maila Cuñas, Alex David y Ramos Alvarado, Luis Carlos

Trabajo de integración curricular previo a la obtención del título de Ingeniería Automotriz

Ing. Iza Tobar, Henry Heriberto Mgs.

Latacunga, Agosto del 2023



# ÍNDICE DE CONTENIDO

## **Capítulo I: Planteamiento del problema de la investigación**

1. Planteamiento del problema
2. Justificación, importancia y alcance
3. Objetivos

## **Capítulo II: Fundamento Teórico**

1. Elementos estructurales y no estructurales del vehículo
2. Materiales compuestos

## **Capítulo III: Desarrollo**

1. Selección de materiales y procesos
2. Proceso de construcción de las estructuras tubulares

## **Capítulo IV: Resultados y discusión**

## **Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones**



# Capítulo I

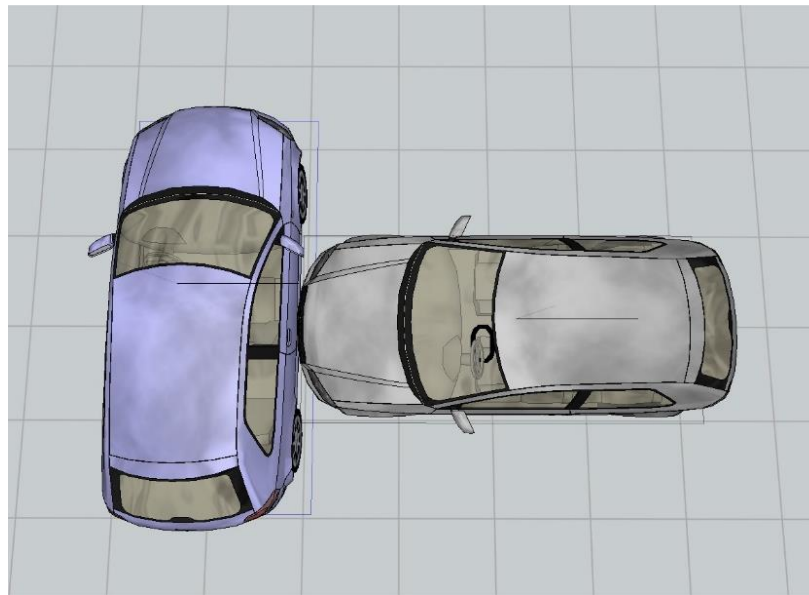
## *Planteamiento del problema de la investigación*

1. Planteamiento del problema
2. Justificación, importancia y alcance
3. Objetivos



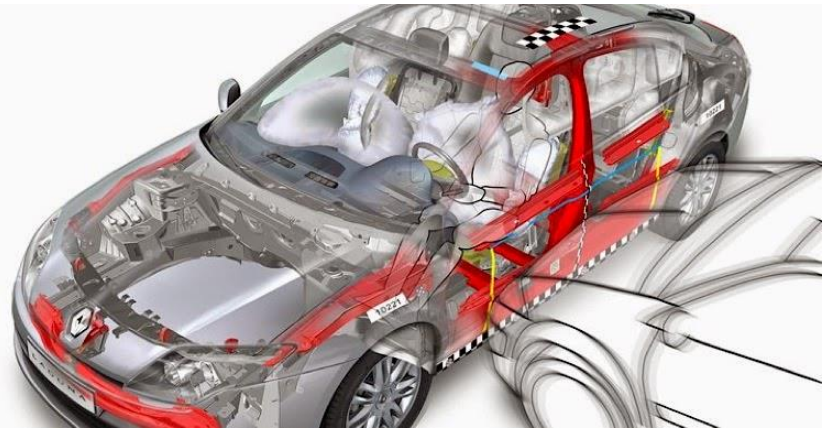
# 1 Planteamiento del problema

- Los estudios de los elementos destinados a la absorción de energía de una colisión se han centrado en los tubos de pared delgada fabricados con materiales compuestos, ya que proporcionan una amplia gama de posibilidades de utilización, tanto como elementos absorbentes de energía como de elementos estructurales, incluso con ambas funcionalidades simultáneamente.
- Durante una colisión la estructura está sometida a cargas dinámicas, por tanto, un estudio correcto de este fenómeno requiere realizar ensayos de impacto.
- El trabajo que se quiere abordar estará centrado en elementos estructurales simples como tubos de sección circular de pared delgada fabricados con un material de fibra natural en matriz polimérica.

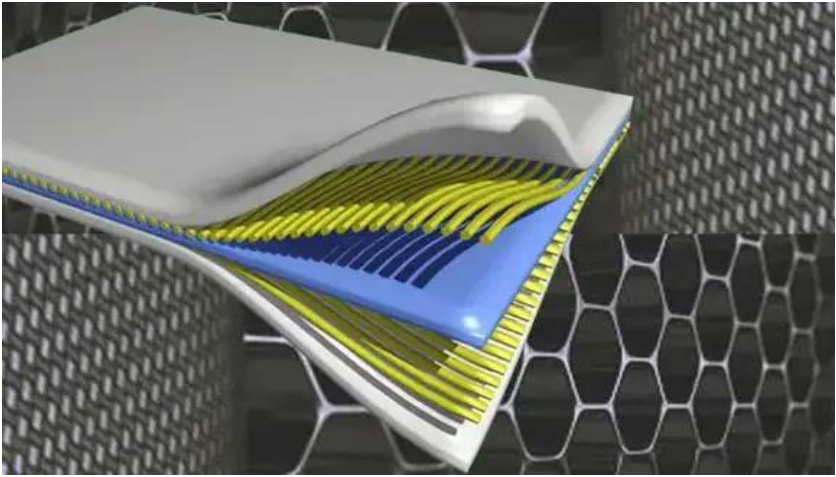




## 2 Justificación, importancia y alcance



- El presente proyecto se enmarca en la innovación de sistemas de seguridad, exactamente en la protección de las puertas de vehículos, debido a que la incorporación de materiales compuestos por fibras naturales es algo nuevo en la industria automotriz.
- Por tal motivo la fibra natural debe cumplir con ciertas propiedades mecánicas, dichas propiedades mecánicas deben asemejarse o incluso superar las propiedades de los materiales convencionales y ser seguros para poderlos implementar en el vehículo, además de ser viable tanto en lo económico como productivo.
- El alcance del proyecto se basa en la importancia que tiene la disposición de las fibras en la estructura tubular, y de manera general del material compuesto, para así conseguir datos que se puedan comparar con los materiales convencionales y decidir si es una opción viable para poder aplicarlo en el sistema de seguridad pasiva de los vehículos.



## 3 Objetivos

### ***Objetivo General***

- Diseñar y construir estructuras tubulares con fibras naturales utilizadas en elementos de protección de puertas de vehículos tomando en consideración la orientación de las fibras.

### ***Objetivos específicos***

- Determinar el tipo de fibra natural a utilizar en el diseño y construcción de la estructura tubular.
- Definir la orientación de las fibras para la construcción de las estructuras tubulares.
- Determinar los procesos de fabricación para las estructuras tubulares.
- Realizar una modelización de la estructura tubular con la fibra natural.
- Construir las estructuras tubulares en base a la selección y el proceso de fabricación.



# Capítulo II

## *Fundamento Teórico*

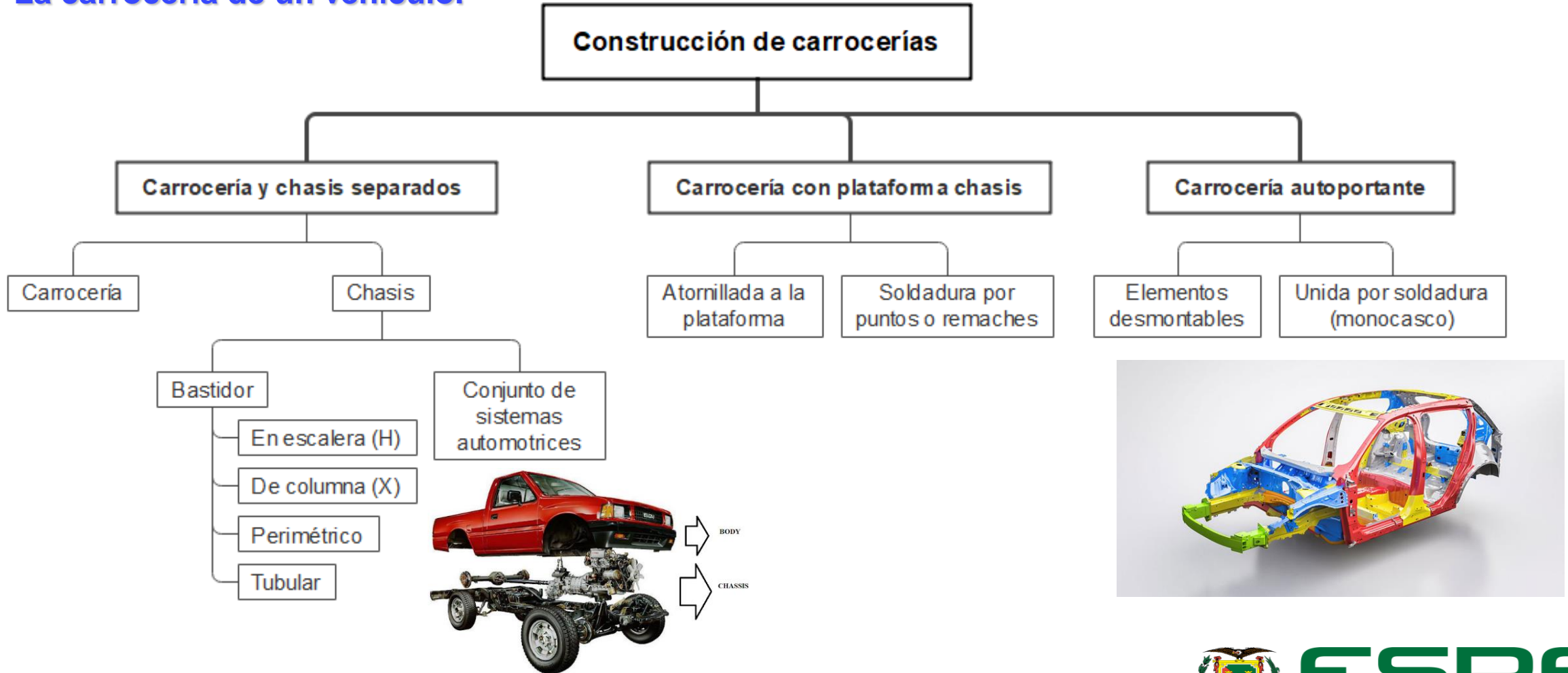
1. Elementos estructurales y no estructurales del vehículo
2. Materiales compuestos



# 1 Elementos estructurales y no estructurales del vehículo

## Elementos estructurales

La carrocería de un vehículo.



## Características.

- Dependen de su construcción, los **esfuerzos estructurales** por la marcha y condiciones de circulación del vehículo.
- Las carrocerías se diseñan para que se **deformen lo máximo posible**.
- Las carrocerías requieren sollicitaciones constitutivas:
  - Rigidez.
  - Absorción de vibraciones.
  - Durabilidad.
  - Facilidad de reparación.
  - Aerodinámica.
  - Comportamiento en caso de choque (deformación programada).





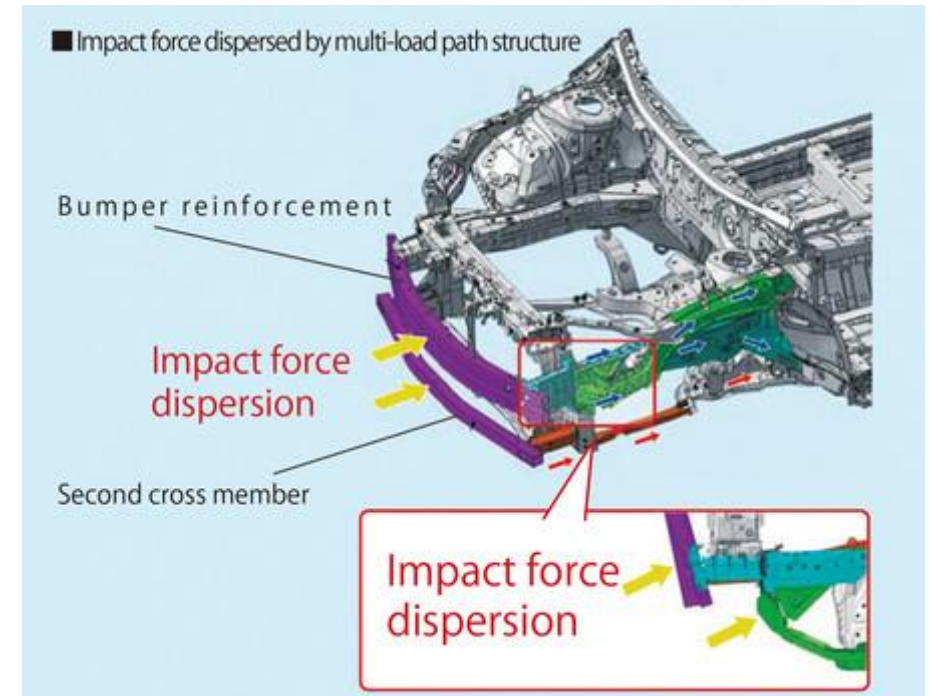
## Materiales.

- Acero y sus aleaciones, aluminio, magnesio, plástico, nuevos materiales (materiales activos), diferentes materiales.



## Seguridad pasiva.

- Reduce o evita las lesiones de los pasajeros ante un impacto o colisión.
  - Plan de seguridad activa de la carrocería auto portante.
  - Dispositivos de seguridad pasiva.



# Elementos amovibles

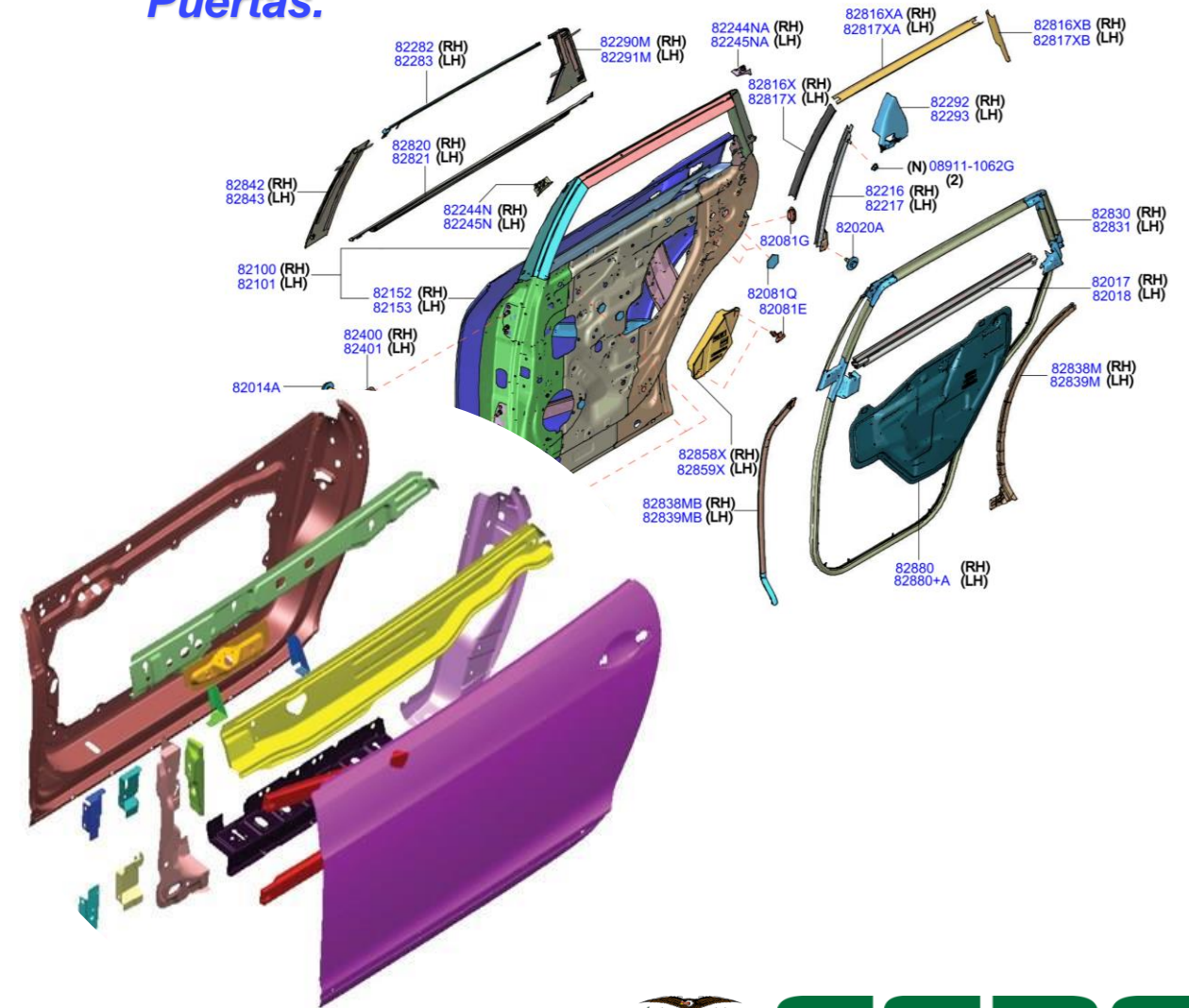
## Elementos exteriores.

- Puertas.
- Capo delantero.
- Portón trasero.
- Tapa del maletero.
- Aletas.
- Frente delantero.
- Paragolpes.
- Techo practicable.
- Elementos de embellecimiento: molduras, laminas adhesivas, etc.

## Elementos interiores.

- Panel de instrumentos.
- Guarnecidos, tapizados y revestimientos.
- Asientos.

## Puertas.





## Influencia de un golpe en un vehículo.

- Fuerzas que intervienen en una colisión:
  - Las fuerzas interiores.
  - Las fuerzas exteriores.



## Efecto de una colisión en un vehículo autoportante.

- Colisión frontal.
- Colisión trasera.
- Colisión lateral.
- Colisión con vuelco.



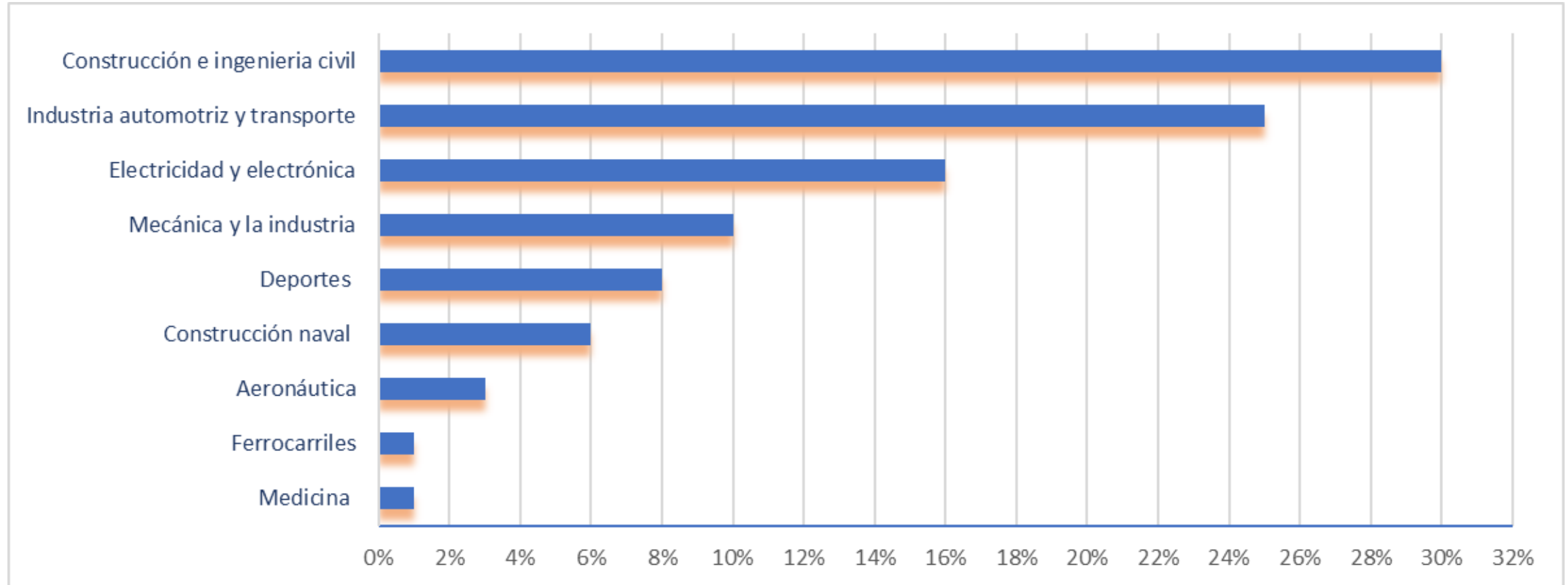
- Según (Latin NCAP, 2020), los **impactos laterales** son la segunda causa de lesiones graves y muertes en regiones europeas.



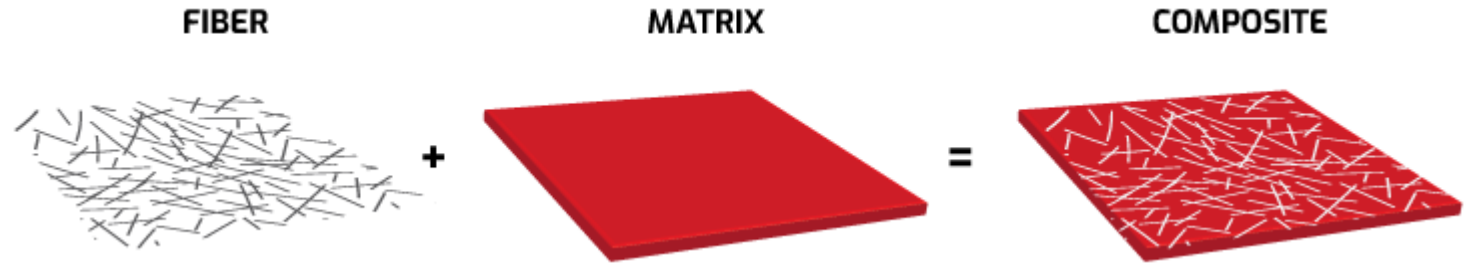
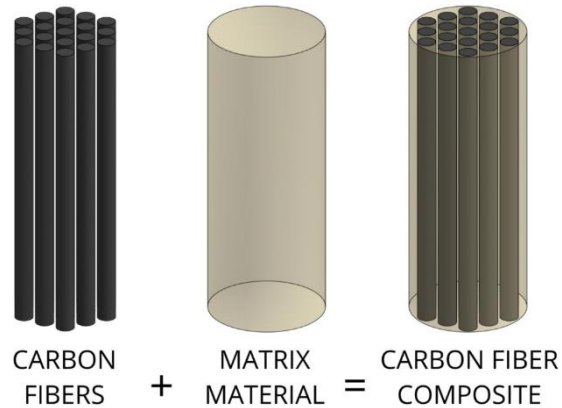
## 2 Materiales compuestos

### *Importancia de los materiales compuestos*

Sectores de mayor aplicación de los materiales compuestos.



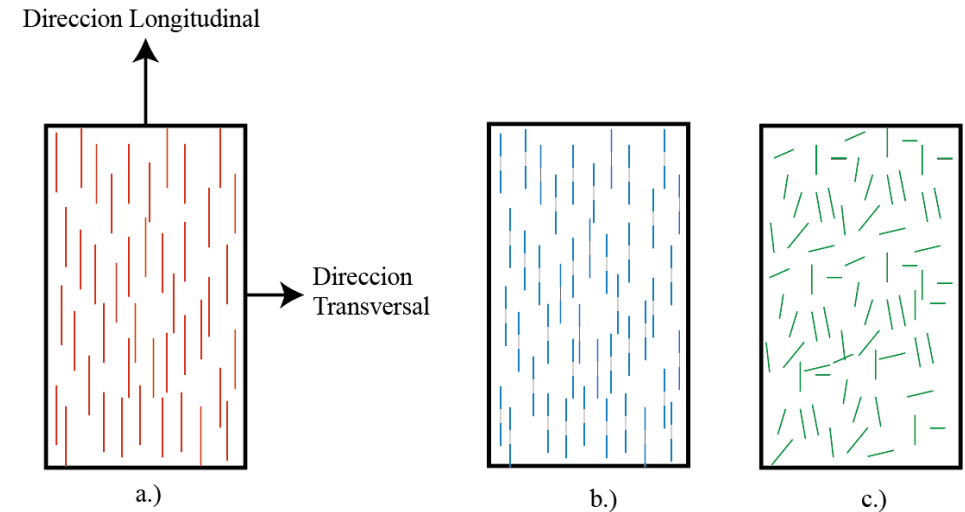
# Propiedades mecánicas de los materiales compuestos



## Influencia que tienen las fibras en compuestos reforzados

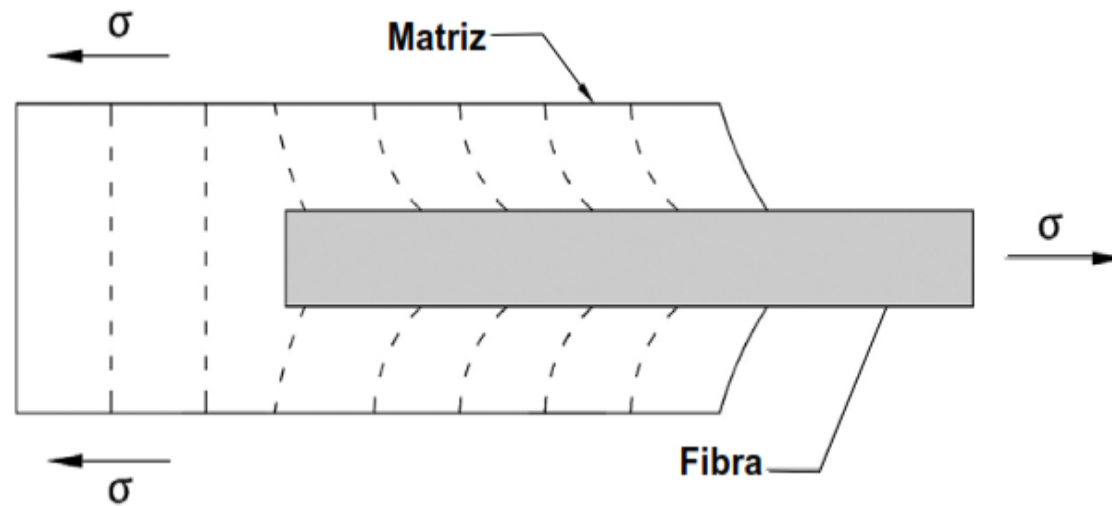
### Orientación y cantidad de la fibra.

- La orientación, cantidad y distribución de las fibras afectan la resistencia y propiedades de materiales compuestos.



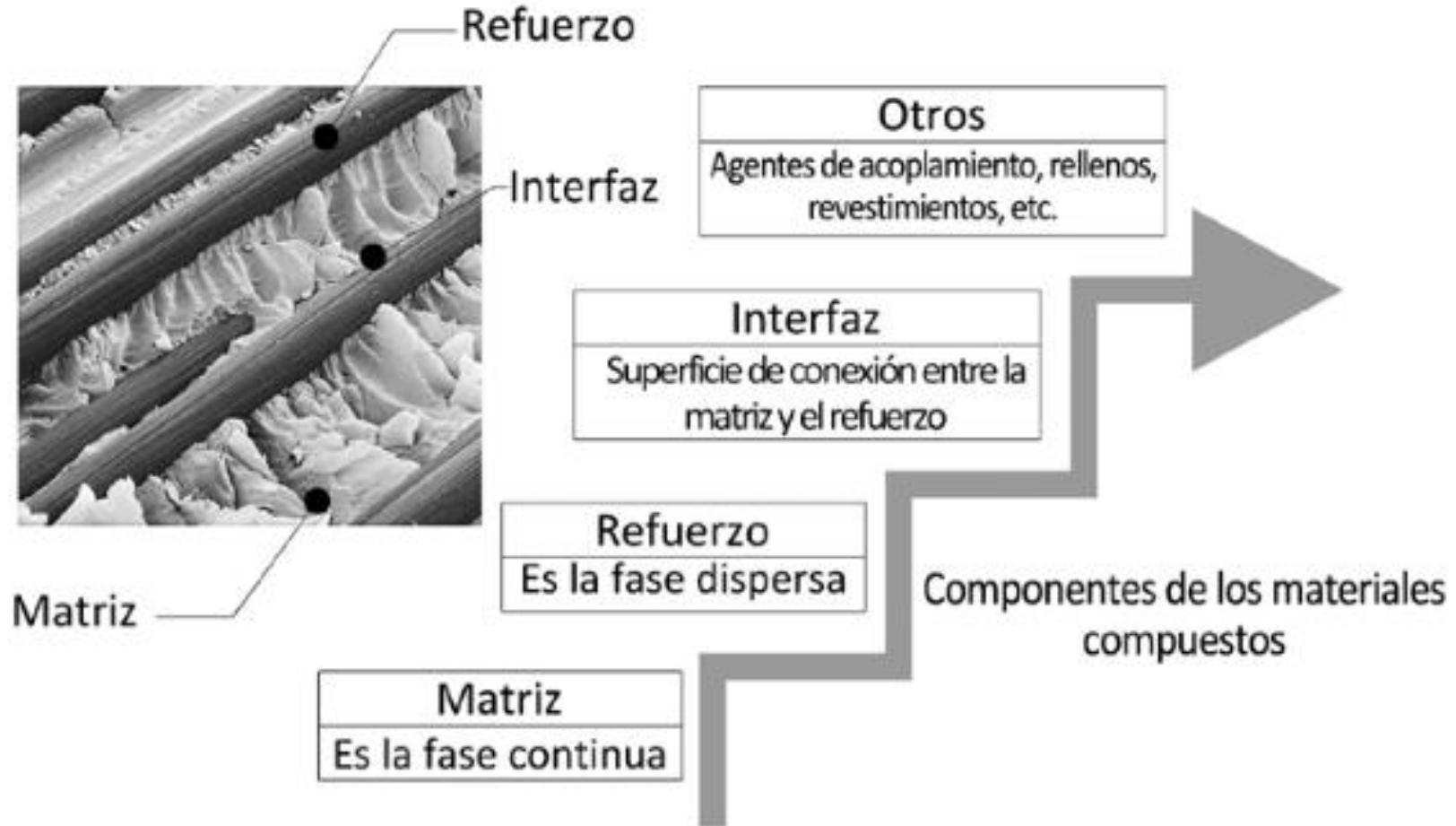
## *Influencia de la longitud de la fibra en compuestos reforzados con fibras discontinuas y alineadas.*

- Las propiedades del material compuesto no solo dependen de la fibra, sino de la transferencia de carga de matriz a fibra. La unión entre ambas es crucial, ya que la carga se transmite por corte. La deformación de la matriz excede a la de las fibras adyacentes. Con una unión perfecta, la diferencia de deformación genera un esfuerzo de corte.



# Componentes de los materiales compuestos

- Los materiales compuestos se diseñan para lograr propiedades específicas mediante selección de proporciones, componentes, morfología, distribución, cristalinidad, composición de interfaz y estructura.



# Componentes de los materiales compuestos

## Tipos de matriz.

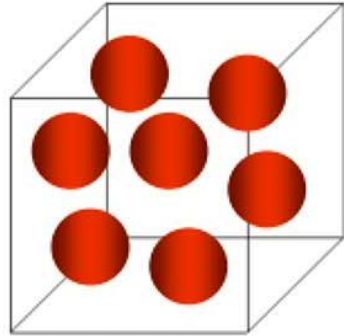
- En este contexto, hay tres tipos de matrices: metálicas, cerámicas y poliméricas.



Matriz



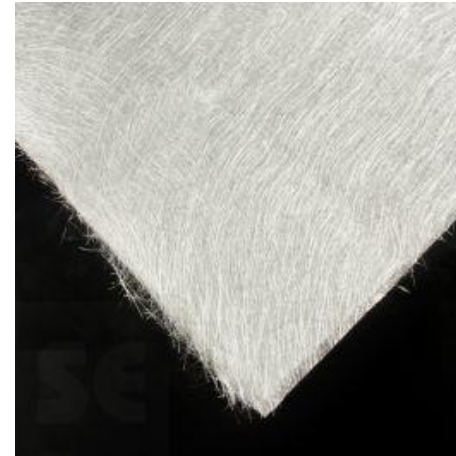
Refuerzo



Material compuesto

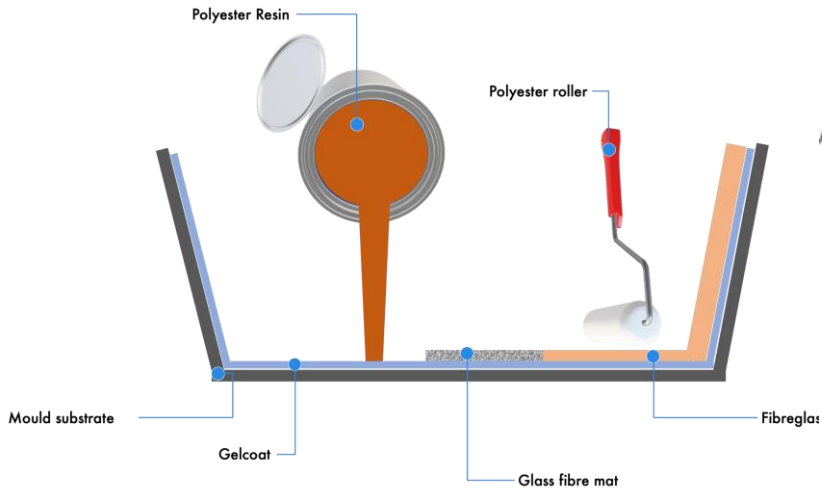
## Tipos de refuerzo.

- Partículas.
- Fibras.
- Elementos Estructurales.

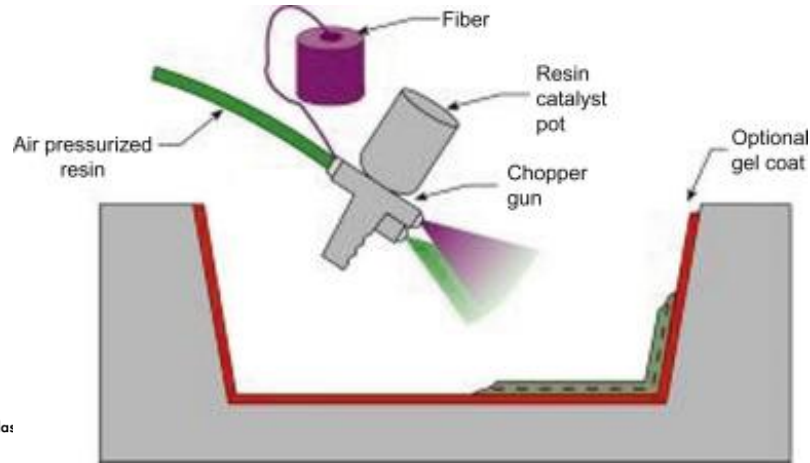




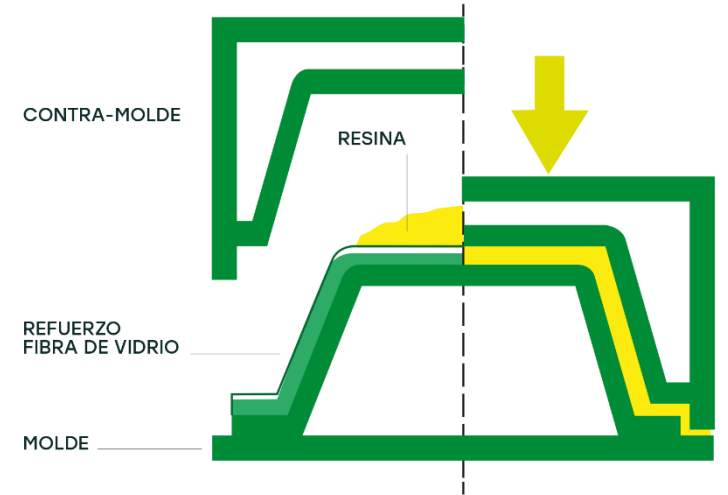
# Proceso de fabricación de materiales compuestos



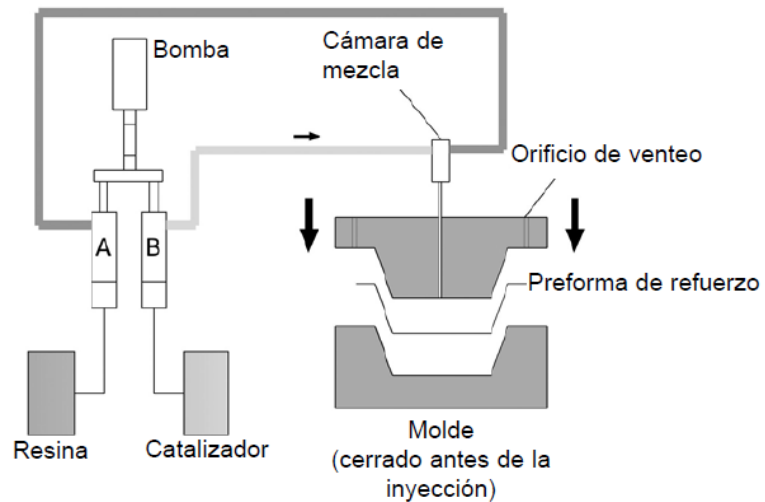
**Estratificación manual.**



**Moldeo por aspersion**



**Moldeo por compresión**



**Moldeo por transferencia de resina (RTM)**





# Estratificación Manual

1. Sobre el molde o superficie a trabajar dependiendo el caso, se deposita un agente desmoldante para una vez finalizado el proceso se retire con facilidad la pieza final.
2. A continuación, se aplica gelcoat (brocha, pistolas de pulverización, rodillo) sobre la superficie, (el gelcoat se utiliza para corregir el acabado superficial o como pintura base).
3. Cuando el gelcoat ha curado parcialmente, se aplican tantas capas de material de refuerzo hasta conseguir el espesor deseado, teniendo que aplicar la matriz entre cada capa con una herramienta que permita su esparcimiento uniforme sobre la superficie eliminando el aire atrapado en el laminado.
4. Se deja curar (secar) la pieza a temperatura ambiente. El tiempo de curado depende de la mezcla de la matriz. Por último, se retira la pieza del molde.



# Capítulo III

## Desarrollo

1. Selección de materiales y procesos
2. Proceso de construcción de las estructuras tubulares



# Selección de materiales y procesos

## Matriz de selección de fibras

Factor	Peso	Cabuya		Algodón		Abacá		Banano	
		C	CP	C	CP	C	CP	C	CP
1. Precio mercado (m)	0.1	10	1	6	0.6	7	0.7	7	0.7
2. Disponibilidad mercado local	0.2	10	2	5	1.0	5	1.0	5	1.0
3. Fibra continua	0.15	10	1.5	7	1.05	10	1.5	7	1.05
4. Disposición de la fibra de 0 a 90 grados	0.15	10	1.5	3	0.45	10	1.5	3	0.45
5. Densidad	0.1	7	0.7	9	0.9	8	0.8	7	0.7
6. Fuerza Tensil	0.1	6	0.6	4	0.4	8	0.8	7	0.7
7. Modulo elástico	0.2	6	1.2	5	1.0	8	1.6	4	0.8
<b>Total</b>	<b>1</b>		<b>8.5</b>		<b>5.4</b>		<b>7.9</b>		<b>5.4</b>

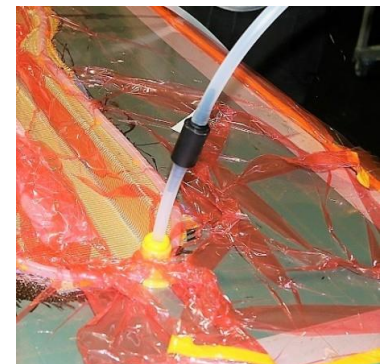
Nota. Puntuación cuantitativa de las fibras más comerciales en el Ecuador. Donde C es la calificación y CP es la calificación ponderada.



## Selección del proceso de construcción

Factor	Peso	Hand lay-up		Procesado en autoclave		Filament Winding	
		C	CP	C	CP	C	CP
1. Complejidad de implementación	0.2	9	1.8	7	1.4	5	1
2. Tiempo de fabricación	0.25	8	2	9	2.25	9	2.25
3. Facilidad de desmoldeo del producto	0.2	8	1.6	7	1.4	9	1.8
4. Proceso operativo	0.1	9	0.9	9	0.9	9	0.9
5. Eficiencia de la resina	0.1	8	0.8	9	0.9	8	0.8
6. Control de resina entre capas de refuerzo	0.05	8	0.4	8	0.4	6	0.3
7. Uniformidad de la superficie	0.1	7	0.7	9	0.9	9	0.9
<b>Total</b>	<b>1</b>		<b>8.20</b>		<b>8.15</b>		<b>7.95</b>

Nota. Puntuación cuantitativa de tipos de fabricación a molde abierto. "Hand lay-up" o estratificación manual.





## Selección de la matriz

Factor	Peso	Resina Poliéster		Resina Epóxica	
		C	CP	C	CP
1. Precio mercado local (kg)	0,15	10	1,5	6	0,9
2. Tiempo de secado (25 °C)	0,25	9	2,25	5	1,25
3. Tiempo de curado (25 °C)	0,1	9	0,9	8	0,8
4. Variación de viscosidad	0,2	9	1,8	6	1,2
5. Espesor máximo de resina	0,1	10	1	10	1
6. Disponibilidad mercado local	0,05	10	0,5	10	0,5
7. Propiedades mecánicas	0,15	7	1,05	10	1,5
<b>Total</b>	<b>1</b>		<b>9,00</b>		<b>7,15</b>

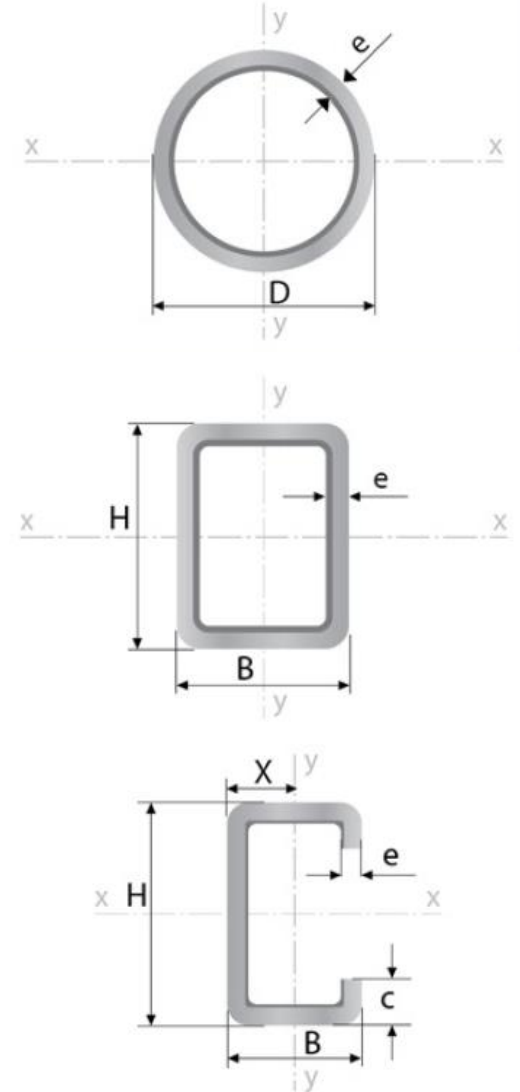
Nota. Puntuación cuantitativa de tipos de resinas termoestables.



## Selección de la geometría de las probetas

Factor	Peso	Perfil circular		Perfil rectangular		Perfil en C	
		C	CP	C	CP	C	CP
1. Distribución uniforme del esfuerzo	0.2	10	2	6	1.2	7	1.4
2. Rigidez torsional	0.2	10	2	5	1.0	5	1.0
3. Flexibilidad y adaptabilidad	0.15	10	1.5	7	1.05	8	1.2
4. Facilidad de fabricación	0.15	10	1.5	5	0.75	6	0.90
5. Facilidad de montaje	0.15	7	1.05	9	1.35	8	1.2
6. Conexiones y uniones	0.1	6	0.6	7	0.7	6	0.6
7. Peso	0.05	6	0.3	5	0.25	8	0.45
<b>Total</b>	<b>1</b>		<b>8.95</b>		<b>6.3</b>		<b>6.75</b>

Nota. Puntuación cuantitativa de tipos de perfiles.



## Dimensiones de las probetas reforzadas con fibra de cabuya y abacá.

Probetas (Estructuras tubulares)	Fibra de cabuya			Fibra de abacá	
	2 capas	3 capas	4 capas	1 capa	2 capas
Espesor (mm)	3.0	4.5	6.0	3.0	4.5
Diámetro exterior (mm)	31.40	34.40	37.40	31.40	34.40

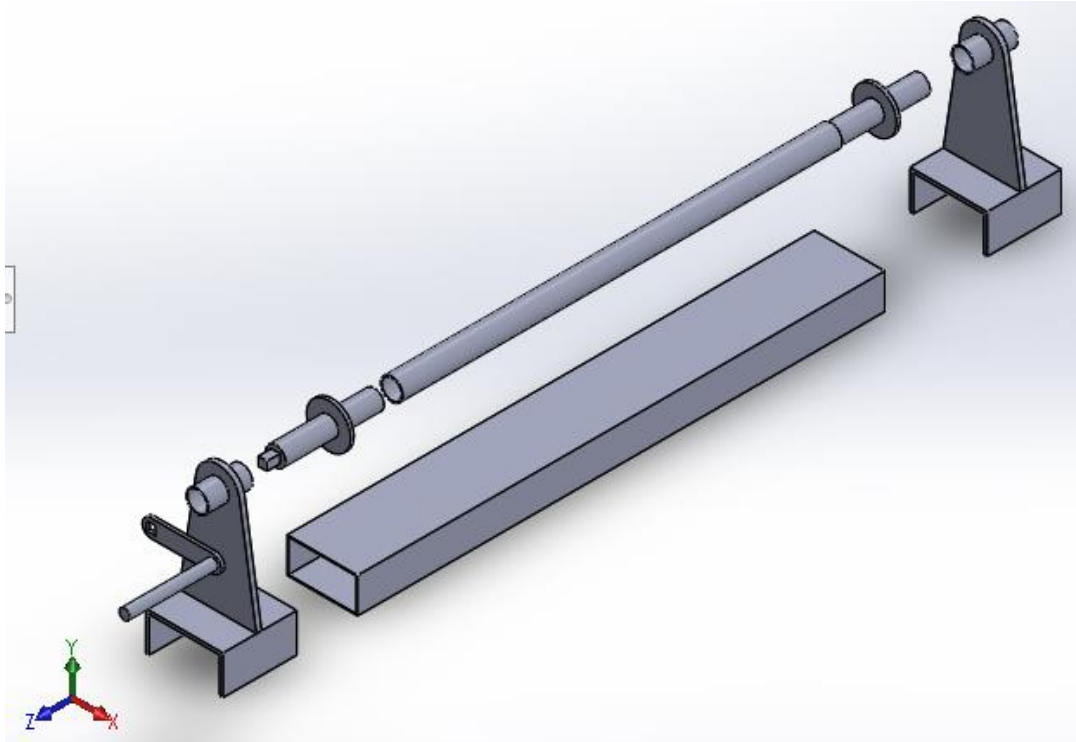
*Nota.* El diámetro interno de todas las probetas es de 25,4 mm correspondiente al tubo matriz y de igual forma la longitud es de 400<sup>-5.0</sup> mm para todas las probetas.

Es importante señalar que la fibra de abacá tiene el doble de grosor en comparación con la fibra de cabuya. Debido a esto, se tomó la decisión de reducir el número de capas para establecer un punto de referencia para la comparación entre estas dos fibras de refuerzo. En línea con lo anteriormente mencionado.

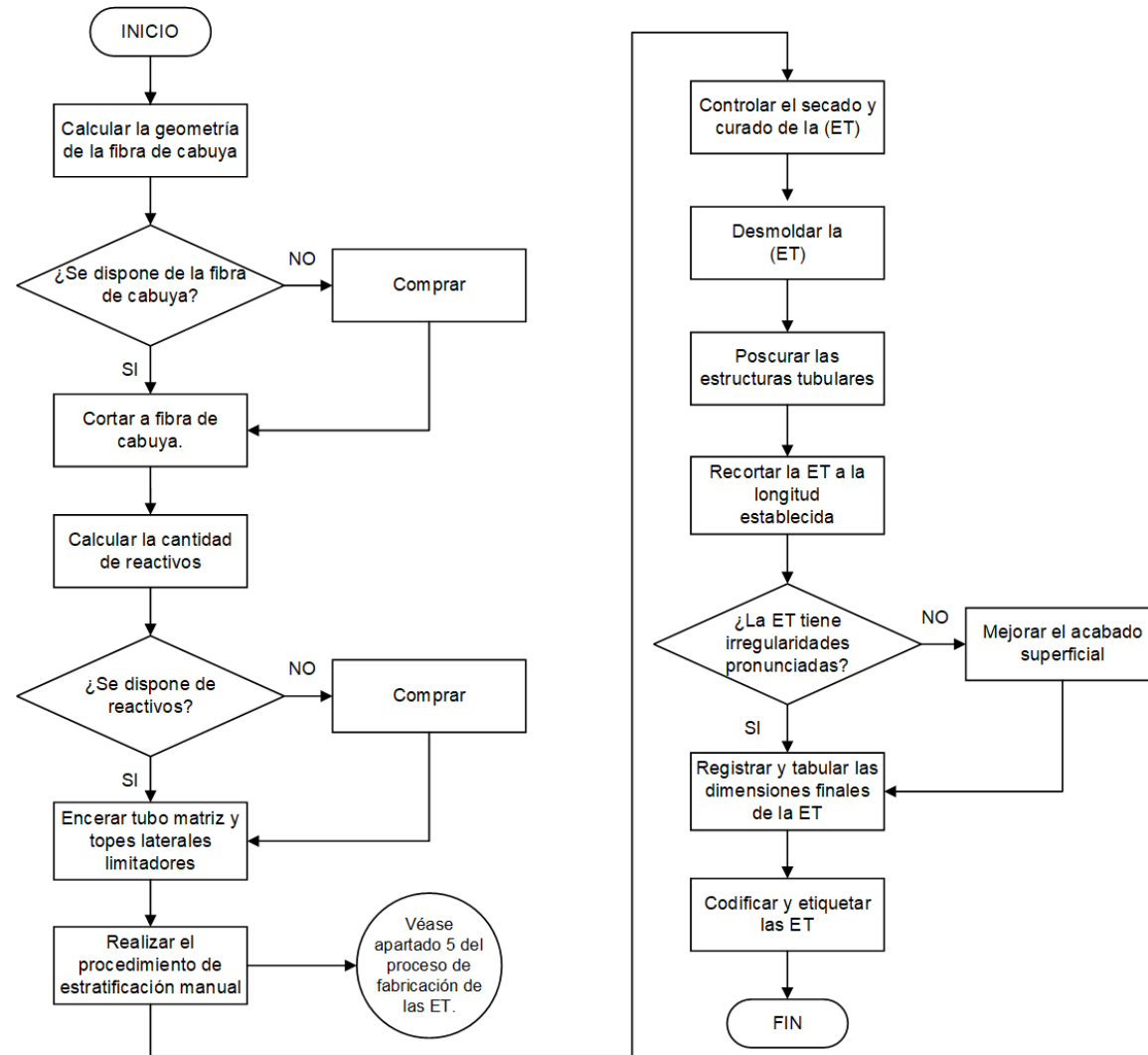




# Construcción de un prototipo de útil para la realización de las probetas tubulares




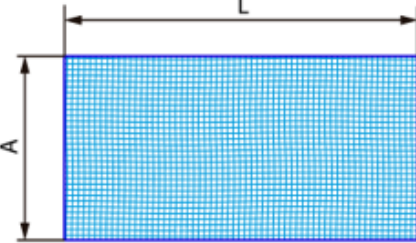
# Proceso de fabricación de las probetas reforzadas con fibra de cabuya



## ***Proceso de fabricación de las probetas reforzadas con fibra de cabuya***

1. Cálculo y dimensionamiento de la geometría de la fibra de cabuya en función a sus características constitutivas, tanto para dos, tres y cuatro capas.
2. Cortado de las capas de fibra de cabuya que constituirán las probetas en base al aparatado anterior.
3. Cálculo de la cantidad de reactivos (resina, MECK, cobalto y estireno) necesarios para fabricar las probetas.
4. Encerado del tubo matriz y topes laterales limitadores.
5. Procedimiento de estratificación manual para la fabricación de las probetas.
6. Secado y curado de las probetas.
7. Desmolde de las probetas.
8. Recorte de exentes de material, para obtener las dimensiones establecidas de las probetas.
9. Tratamiento térmico de las probetas, para mejorar sus propiedades mecánicas.
10. Mejoramiento del acabado superficial mediante torno.
11. Registro y tabulación de las dimensiones finales de las probetas.
12. Codificación y etiquetado de las probetas.



Especificaciones de la probeta										Especificaciones del tejido de fibra de cabuya																					
																															
$L =$	400,00	mm	Largo	$D_{tm} =$	25,60	mm	Diámetro medido del tubo matriz	$e_{tejido} =$	1,00	mm	espesor de tejido	$P_{tm+et} =$	82,42	mm	Perímetro tomando como diámetro $D_{tm} + e_{tejido}$	$A_{tc} =$	83,00	mm	Ancho del tejido de fibra de cabuya	$L_{tc} =$	410,00	mm	Largo del tejido de cabuya	$LXA =$	410 X 83	mm	Largo X Ancho del tejido de cabuya				
$D_{ext} =$	31,40	mm	Diámetro exterior esperado	$D_{int} =$	25,40	mm	Diámetro interior	$E =$	3,00	mm	Espesor esperado	$t_L =$	10	mm	Tolerancia de fabricación	$L_p =$	410,00	mm	Largo total probeta (fabricación)	$D_{tm} =$	25,60	mm	Diámetro ext. Tubo matriz								
Cálculo para las dimensiones del tejido de cabuya																															
PRIMERA CAPA		SEGUNDA CAPA		TERCERA CAPA		TERCERA CAPA		Probetas requeridas para ensayos																							
TEJIDO		TEJIDO		TEJIDO		TEJIDO			1C	2C	3C	4C	Tejidos necesarios																		
$D_{tm} =$	25,60	$D_{1c} =$	28,60	$D_{1c} =$	31,60	$D_{1c} =$	34,60	$P_{2C} =$	10	10	0	0																			
$e_{tejido} =$	1,00	$e_{tejido} =$	1,00	$e_{tejido} =$	1,00	$e_{tejido} =$	1,00	$P_{3C} =$	10	10	10	0																			
$P_{tm+et} =$	82,42	$P_{tm+et} =$	91,85	$P_{tm+et} =$	101,27	$P_{tm+et} =$	110,70	$P_{4C} =$	10	10	10	10																			
$A_{tc} =$	83,00	$A_{tc} =$	92,00	$A_{tc} =$	102,00	$A_{tc} =$	111,00	Totales	30	30	20	10																			
$L_{tc} =$	410,00	$L_{tc} =$	410,00	$L_{tc} =$	410,00	$L_{tc} =$	410,00	Cantidad de tejido de cabuya																							
$LXA =$	410 X 83	$LXA =$	410 X 92	$LXA =$	410 X 102	$LXA =$	410 X 111	tejidos	Superficie																						
$S_{c1} =$	0,0340	$S_{c1} =$	0,0377	$S_{c1} =$	0,0418	$S_{c1} =$	0,0455	1C =	30	1,02 m <sup>2</sup>																					
RESINA		RESINA		RESINA		RESINA		2C =	30	1,13 m <sup>2</sup>																					
$R_{ec} =$	1,50	$R_{ec} =$	1,50	$R_{ec} =$	1,50	$R_{ec} =$	1,50	3C =	20	0,84 m <sup>2</sup>																					
PROBETA		PROBETA		PROBETA		PROBETA		4C =	10	0,46 m <sup>2</sup>																					
$D_{ext1c} =$	28,60	$D_{ext1c} =$	31,60	$D_{ext1c} =$	34,60	$D_{ext1c} =$	37,60	Totales	90	uni.	3,44 m <sup>2</sup>																				

## Cálculo y dimensionamiento de la geometría de la fibra de cabuya





*Corte del tejido de cabuya.*

RESINA POLIESTER			
<b>Espesor =</b>	1,5 mm	<b>Masa =</b>	58,21 g
<b>D_int =</b>	25,4 mm	<b>error =</b>	12%
<b>Largo =</b>	410 mm	<b>Masa_err =</b>	65,2 g
<b>Área =</b>	126,76 mm <sup>2</sup>		
<b>Densidad =</b>	1,12 g / cm <sup>3</sup>		
<b>Volumen =</b>	51972,94 mm <sup>3</sup>		

*Cálculo de resina.*



*Encerado de la probeta matriz.*







*Posicionamiento de la primera capa de la fibra de cabuya al tubo matriz.*



*Colocación de la resina en la primera capa de fibra de cabuya.*



*Colocación de la segunda capa de fibra de cabuya.*





*Secado y curado de las probetas reforzadas con fibra de cabuya.*



*Desmolde de las probetas mediante prensa hidráulica.*



*Tratamiento térmico de las probetas.*







*Mejoramiento del acabado superficial.*

	CAPAS	N.º	COD	Parámetros			Fabricación			
				Diam. Ext (mm)	Diam. Int (mm)	Peso (g)	Espesor (mm)	Tem. (°C)	Tiem. Fab (min)	Tiem. Sec (min)
PROBETAS		3	EF-03	31,70	25,40	134,00	3,15	15,00	46,00	45,00
		4	EF-04	30,70	25,40	113,00	2,65	15,00	36,00	25,00
		5	EF-05	31,80	25,40	137,00	3,20	15,00	41,00	20,00
	3	3	EF-08	34,00	25,40	222,00	4,30	15,00	44,00	13,00
		4	EF-09	34,00	25,40	203,00	4,30	15,00	42,00	12,00
		5	EF-10	35,00	25,40	212,00	4,80	15,00	47,00	10,00
4	3	EF-13	36,50	25,40	282,00	5,55	15,00	75,00	15,00	
	4	EF-14	38,00	25,40	285,00	6,30	15,00	75,00	15,00	
	5	EF-15	36,00	25,40	277,00	5,30	12,00	60,00	12,00	

*Registro y tabulación.*



*Codificación y etiquetado .*



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## ***Proceso de fabricación de las probetas reforzadas con fibra de abacá***

1. Cálculo y dimensionamiento de la geometría de la fibra de abacá.
2. Cálculo de la cantidad de reactivos (resina, MECK, cobalto y estireno) necesarios para fabricar las probetas.
3. Cortado de las capas de fibra de abacá que constituirán las probetas.
4. Encerado del tubo matriz y topes laterales limitadores.
5. Procedimiento de estratificación manual para la fabricación de las probetas.
  - a) Limpieza de las hebras.
  - b) **Reproceso.**
6. Secado y curado de las probetas.
7. Desmolde de las probetas.
8. Recorte de exentes de material, para obtener las dimensiones establecidas de las probetas y mejoramiento del acabado superficial.
9. Tratamiento térmico de las probetas, para mejorar sus propiedades mecánicas.
10. Registro y tabulación de las dimensiones finales de las probetas.
11. Codificación y etiquetado de las probetas.





*Proceso de limpieza de impurezas de la fibra.*



*Proceso de mejoramiento superficial.*



# Capítulo IV

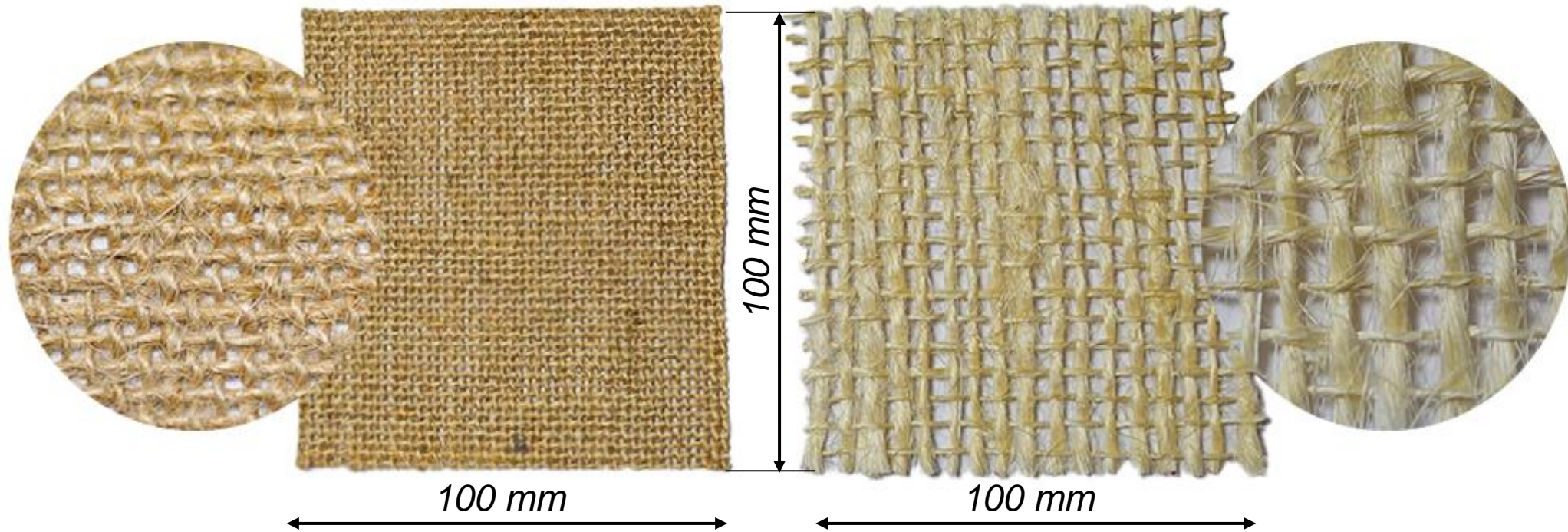
## *Resultados y discusión*

1. Comparación de fibras naturales
2. Proceso de construcción de las estructuras tubulares





## Comparación fibra de cabuya y abacá .



Parámetros	Cabuya	Abacá
Altura tejido	1 mm	2,5 mm
Diámetro hilo	0,6 mm	1,25 mm
Masa (100x100 mm)	2,7 g	2,9 g



## Resultados de las probetas reforzadas con fibra de cabuya.

Capas	Espesor (mm)	$D_{ext}$ (mm)	Peso (g)
2	2.90	31.00	128.00
	2.80	32.20	136.00
	3.015	31.34	131.00
3	4.30	34.00	206.00
	4.05	33.57	208.00
	4.68	35.00	206.00
4	5.55	36.50	285.00
	5.58	37.22	294.00
	5.30	34.30	296.00

*Nota.* Medidas de las probetas reforzadas con fibra de cabuya.

## Tabla de comparación entre valores de diseño y obtenidos de las probetas reforzadas con fibra de cabuya.

Parámetros	Diseño			Obtenidos		
	2 capas	3 capas	4 capas	2 capas	3 capas	4 capas
Espesor (mm)	3.00	4.50	6.00	2.905	4.344	5.477
$D_{ext}$ (mm)	31.4	34.40	37.40	31.514	34.191	36.005

*Nota.* El porcentaje de error entre los valores de esta tabla no superan el 10%.





## Resultados de las probetas reforzadas con fibra de Abacá.

Capas	Espesor (mm)	$D_{ext}$ (mm)	Peso (g)
1	2.69	31.10	126.00
	3.15	30.90	130.00
	3.25	30.64	138.00
2	4.80	34.60	224.00
	5.10	35.60	228.00
	5.02	33.89	220.00

*Nota.* Medidas de las probetas reforzadas con fibra de abacá.

## Tabla de comparación entre valores de diseño y obtenidos de la construcción de las probetas reforzadas con fibra de abacá.

Parámetros	Diseño		Obtenidos	
	1 capa	2 capas	1 capa	2 capas
Espesor (mm)	3.00	4.50	2.905	4.344
$D_{ext}$ (mm)	31.4	34.40	31.514	34.191

*Nota.* El porcentaje de error entre los valores de esta tabla no superan el 10%.



## Resumen de tiempo de fabricación, temperatura y costo de producción de cada probeta.

Fibra	Capas	Temperatura (°C)	Tiempo de fabricación (min)	Tiempo de secado (min)	Costo por unidad (USD)
Cabuya	2	14.00	42.43	16.00	1.30
	3	14.00	48.33	12.67	2.0
	4	16.00	61.67	13.00	2.8
Abacá	1	19.00	35.00	15.00	1.4
	2	19.00	40.00	12.00	3.0

*Nota.* El tiempo de secado que se muestra en esta tabla es referido al tiempo en que se tarda la probeta en secarse para su manipulación (opinión propia), no es el tiempo de curado.

- El mayor inconveniente presentado durante la fabricación de las probetas fue la **temperatura** (clima), puesto que dependiendo de este factor se procede a catalizar, donde se tiene una gran variación de **tiempo de secado** y así mismo se extiende el **tiempo total de fabricación**.
- 40 cm de tubo redondo negro 25,4 x 2 mm (Acero ASTM 35) costo diferencial de 0,8 \$.



# Capítulo V

## Conclusiones

- Se eligieron dos fibras naturales que, desde un punto de vista teórico, exhibieron un comportamiento sumamente eficaz. Cabuya y Abacá, a pesar de sus diferencias visuales, estas fibras comparten similitudes en su estructura interna y muestran propiedades mecánicas sobresalientes.
- La alineación de las fibras constituye una de las bases esenciales de nuestra investigación, ya que estas configuraciones son responsables de repartir las tensiones a las que se somete la probeta. Para este análisis, se ha optado por una orientación de las fibras en una disposición de 0 a 90 grados, tanto para la cabuya como para la fibra de abacá.
- La técnica que mostró un rendimiento superior fue el método de "Hand lay-up", ya que este procedimiento incorpora una característica altamente beneficiosa: la estratificación manual. Esta técnica se basa en un proceso de fabricación en molde abierto, lo que permite un control más preciso de la colocación y posición de las fibras en el molde.



# Capítulo V

## Conclusiones

- De la fabricación y construcción de las estructuras tubulares, se derivaron los siguientes resultados para las estructuras tubulares reforzadas con fibra de cabuya en diferentes capas; Dos capas: Se obtuvo un diámetro interior promedio de 25.702 mm, un diámetro exterior promedio de 31.512 mm y un espesor de 2.905 mm. Tres capas: Se registró un diámetro interior promedio de 25.503 mm, un diámetro exterior promedio de 34.191 mm y un espesor de 4.344 mm. Cuatro capas: Se evidenció un diámetro interior promedio de 25.052 mm, un diámetro exterior promedio de 36.005 mm y un espesor de 5.477 mm.
- En cuanto a las estructuras tubulares reforzadas con fibra de abacá, se optó por realizar pruebas únicamente con una y dos capas, en razón del espesor de la fibra y para posibilitar la comparación con la fibra de cabuya. Los resultados fueron los siguientes; Una capa de fibra de abacá: Se manifestó un diámetro interior promedio de 24.82 mm, un diámetro exterior promedio de 30.88 mm y un espesor de 3.03 mm. Dos capas de fibra de abacá: Se observó un diámetro interior promedio de 24.75 mm, un diámetro exterior promedio de 34.696 mm y un espesor de 4.973 mm.



# Capítulo V

## Recomendaciones

- Se logró identificar que aproximadamente el 25% de la mezcla se desperdicia en elementos utilizados durante el proceso, como brochas, recipientes y posibles derrames al aplicar el material sobre la fibra. Por lo tanto, al realizar el cálculo de la mezcla original, es esencial considerar estas pérdidas con el fin de obtener el resultado deseado.
- Contar con un control de la temperatura en el área de trabajo es altamente recomendable y aporta notables beneficios en el proceso de fabricación de estructuras tubulares. Esto es particularmente cierto en lo que respecta a la manufactura de materiales compuestos mediante estratificación manual, lo que resulta en un notable rendimiento del proceso. Dicha precisión tiene un impacto directo en el tiempo de fabricación y, en última instancia, en el proceso de curado.
- Se debe evaluar si es viable implementar estas mejoras en un vehículo específico, lo cual implica recopilar información esencial. En caso de ser necesario, se realizará un redimensionamiento de las estructuras tubulares y, además, se llevará a cabo el diseño del sistema de soporte o fijación para la aplicación en la estructura.
- Es esencial evaluar la capacidad de estas estructuras para resistir fuerzas específicas. En este sentido, se aconseja llevar a cabo tanto análisis destructivos como no destructivos, con el propósito de determinar la viabilidad y la idoneidad de estas estructuras.

