



**UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN**

**Propuesta de transporte ecológico a base de  
materiales compuestos**

Tesis Profesional para la obtención del Título de Ingeniero en Diseño  
Presenta:

**POLICARPO CORONA LÓPEZ**

Asesor:

**Dra. Laura Patricia Rivas Vázquez**

**LOMA BONITA, OAXACA, JUNIO DEL 2015**

## **DEDICATORIA**

LA PRESENTE TESIS LA DEDICO CON ESPECIAL CARIÑO A:

### **Mis padres**

Especialmente a mi madre por el apoyo incondicional que me brindo a lo largo de esta prueba y lo largo de mi vida académica, por siempre aconsejarme para tomar buenas decisiones.

### **Mi esposa**

Por ser mí motivación cada día, por darme la fortaleza de salir adelante en cada meta propuesta, por brindarme su apoyo incondicional y nunca dejarme solo en los problemas que se me presentan día con día.

### **Mi hijo**

Aunque aún vienes en camino eres el motor que me motiva a seguir adelante y a superarme día con día para ser una mejor persona y de igual manera lograr ser un padre responsable y ejemplar y saber cuidar de ti.

### **Mis padrinos**

Por haberme brindado el apoyo a lo largo de esta y otras metas logradas en mi vida, y brindarme consejos que han sido de gran ayuda en la toma de las decisiones más importantes en mi vida.

### **Mis hermanos y sobrinos**

Por el apoyo que me han brindado siempre y que nunca me han dejado solo, a mis sobrinas por siempre a ver estado cuando necesitaba ayuda de ellas, y por las alegrías que siempre pasamos juntos.

### **Mis profesores**

Por ser un pilar muy importante en mi educación y superación, por los conocimientos aportados y el apoyo brindado a lo largo de toda mi formación académica, gracias a todos ustedes por haber hecho de mí una mejor persona.

### **Compañeros y amigos**

A mis compañeros de grupo por el apoyo y los momentos que pasamos juntos, a mis amigos que siempre están para apoyarme gracias a todos ustedes.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la **Universidad del Papaloapan** por todo el apoyo brindado para una mejor formación académica, y por todos los servicios prestados a lo largo de mi estancia en ella.

A mis **profesores** por haberme brindado grandes conocimientos y por la paciencia que tuvieron con migo a lo largo de mi recorrido académico en la universidad.

Agradezco especialmente a la **Dra. Laura Patricia Rivas Vázquez.** por haberme apoyado a lo largo de esta investigación de tesis, brindándome ayuda con mis investigaciones y despejando las dudas que me surgían, así como haber confiado en mí para la realización de este proyecto.

Al doctor **Roberto Suárez Orduña.** por el apoyo brindado para la realización de ensayos y prácticas de los materiales utilizados para la realización de la tesis.

Al profesor **Enrique Valdés Pliego** por el apoyo que me brindo a lo largo de mi formación académica, más que profesor un gran amigo por todo el poyo muchas gracias.

A mis revisores de tesis al **profesor Axel Villavicencio Torres y la profesora Daniela Cruz Herrera** por ser parte fundamental en la elaboración de este proyecto.

A mis compañeros más cercanos de mi grupo que siempre estuvieron junto a mí apoyándome en todo lo que les fue posible.

Y agradezco a todas la personas que me apoyaron a lo largo de la carrera tanto internas de la universidad como externas a ella, gracias a todos ustedes concluyo una etapa más en mi formación.

**A todos ustedes MUCHAS GRACIAS.**

## Resumen

El objetivo general de este proyecto es realizar un medio de transporte ecológico, por lo cual se decidió que fuera una bicicleta que a su vez sea desarmable, la cual sea construida con bambú y fibra de carbono.

El bambú es un material natural, ecológico, sustentable, renovable y de fácil obtención, y la fibra de carbono es un material compuesto y avanzado, con una alta resistencia mecánica que lo hace ideal para formar parte en la construcción del vehículo.

La propuesta de la construcción de la bicicleta con estos materiales se hizo con la finalidad de que esta se incorpore a la comunidad y que pueda ser construido con bambú de la región del Papaloapan.

En esta tesis se muestra el proceso de investigación que se realizó para lograr la finalidad que se dispuso, se presentan las pruebas físicas y mecánicas a las que se sometieron los materiales para la elaboración del vehículo, tales pruebas como son resistencia a la compresión donde se calculó la resistencia del bambú en  $\text{kg}/\text{cm}^2$ , la resistencia a la flexión y el porcentaje de absorción de agua, esto con la finalidad de saber la resistencia que tendrá dicho vehículo.

Los resultados que se obtuvieron a lo largo de esta investigación fueron favorables y satisfactorios, dando como resultado un vehículo capaz de resistir cualquier prueba que se le disponga.

La parte experimental de este producto de diseño se realizó mediante un prototipo del vehículo, el cual fue probado físicamente rodándolo por las calles de la comunidad y resistiendo las pruebas correspondientes.

Después de haber realizado pruebas al prototipo se construyó una bicicleta con los materiales seleccionados el cual brindara a la comunidad una manera mucho más ecológica de transportarse de un lugar a otro y con mucha seguridad.

## **Abstract**

The general objective of this project is to produce a means of transportation, built with ecological, innovative and advanced materials; therefore I decided to build a bicycle constructed of bamboo and carbon fibers that could be easily dismantled.

Bamboo is a natural, ecological and sustainable material which is easily obtained within the Papaloapan region. Carbon fiber is a highly advanced and mechanical resistant compound material which is ideal for the construction of the bicycle.

The proposal of this project is to construct a bicycle of natural materials that can be incorporated into the community.

This thesis demonstrates the process of investigation that I realized to achieve the results of this project. The physical and mechanical tests which were done on these materials for the construction of the bicycle show they are resistant to compression, flexion and water absorption.

The results obtained during this investigation were quite favorable and satisfactory; giving these results a bicycle constructed of bamboo and carbon fibers is able to withstand any mechanical test realized.

The experimental part of this project was the design which took place using a prototype of the bicycle, which I tested physically riding up and down the streets of the community and the results corresponded with the testing.

Finally, a bicycle built from bamboo and carbon fibers provides an ecological form of transportation for the community.



## INDICE

ÍNDICE DE FIGURAS.....	III
ÍNDICE DE TABLAS.....	V
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>2</b>
<b>1.1 PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA.....</b>	<b>2</b>
1.1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
1.1.2 JUSTIFICACIÓN.....	3
<b>1.2 OBJETIVOS .....</b>	<b>4</b>
1.2.1 OBJETIVO GENERAL.....	4
1.2.2 OBJETIVOS PARTICULARES.....	4
<b>ANTECEDENTES .....</b>	<b>4</b>
2.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LA BICICLETA .....	4
2.2 BICICLETAS DE BAMBÚ .....	5
<b>ANTECEDENTES DE LOS MATERIALES. ....</b>	<b>7</b>
2.3 BAMBÚ.....	7
2.3.1 PRESERVADO DEL BAMBÚ .....	11
2.4 FIBRA DE CARBONO. ....	12
<b>EXPERIMENTACIÓN DE LOS MATERIALES. ....</b>	<b>16</b>
3.1 PRUEBAS REALIZADAS AL BAMBÚ.....	16
3.2 CURADO DEL BAMBÚ. ....	20
<b>3.3 ENSAYOS Y PRUEBAS REALIZADAS AL BAMBÚ .....</b>	<b>22</b>
3.3.1 ENSAYO DE COMPRESIÓN. ....	22
3.3.2 ENSAYO DE FLEXIÓN.....	23
3.3.3 CONTENIDO DE HUMEDAD.....	24
3.3.4 PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DE AGUA.....	25
3.3.5 RESULTADOS.....	25
3.4 ENSAYO DE ALEACIÓN DE BAMBÚ CON FIBRA DE CARBONO .....	27
3.4.1 PRUEBA DE UNIONES .....	27
<b>DISEÑO EXPERIMENTAL .....</b>	<b>30</b>

4.1	PROTOTIPO DEL CUADRO DEL VEHÍCULO .....	30
4.2	CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO .....	31
4.3	ARMADO DEL PROTOTIPO .....	32
4.4	RESULTADO DE PRUEBAS FÍSICAS REALES .....	34
<b>DISEÑO E INNOVACIÓN PARA EL PRODUCTO .....</b>		<b>35</b>
<b>5.1 DISEÑO DEL MECANISMO PARA EL PRODUCTO FINAL.....</b>		<b>35</b>
5.1.1	TRABAJO DE BOCETOS .....	36
5.1.2	SELECCIÓN DEL MECANISMO .....	38
5.3	FABRICACIÓN DE MECANISMO SELECCIONADO .....	38
5.3.1	PROCESO DE FABRICACIÓN .....	38
<b>EJECUCIÓN DEL DISEÑO .....</b>		<b>41</b>
6.1	PROYECCIÓN DEL VEHÍCULO .....	41
6.2	ESTANDARIZACIÓN DE LAS MEDIDAS DE ENSAMBLE .....	43
6.3	CONSTRUCCIÓN DEL PRODUCTO FINAL.....	45
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>		<b>50</b>
7.1	CONCLUSIÓN. ....	50
7.2	RECOMENDACIONES.....	50
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>		<b>51</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>52</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: CONSTRUCCION DE BICICLETAS DE BAMBÚ EN GHANNA .....	3
FIGURA 2: FABRICACIÓN DE BICICLETAS DE BAMBOOCYCLES.....	4
FIGURA 3: ESPECIES DE BAMÚ PARA PRUEBAS FÍSICAS.....	8
FIGURA 4: PETATILLO DE FIBRA DE CARBONO .....	13
FIGURA 5: PIEZAS DE AUTOS FABRICADAS EN FIBRA DE CARBONO .....	13
FIGURA 6: PLANTA DE BAMBÚ DENDROCALAMUS STRICTUS.....	18
FIGURA 7: PROCESO DE CURADO DEL BAMBÚ.....	19
FIGURA 8: APLICACIÓN DE CALOR AL BAMBÚ.....	19
FIGURA 9: SECCIONES DE BAMBÚ .....	20
FIGURA 10: BAMBÚ SOMETIDO A PRUEBAS DE COMPRESIÓN .....	21
FIGURA 11: BAMBÚ SOMETIDO A PRUEBA DE FLEXIÓN .....	22
FIGURA 12: PESAJE DE MUESTRAS DE BAMBÚ.....	23
FIGURA 13: PRUEBA DE ABSORCIÓN DE AGUA .....	24
FIGURA 14: PIEZAS DE BAMBÚ PARA REALIZAR PRUEBAS DE UNION .....	26
FIGURA 15: PRUEBA DE UNION FIBRA-BAMBÚ.....	27
FIGURA 16: RESULTADO DE UNION DE FIBRA-BAMBÚ .....	28
FIGURA 17: PARTES DEL CUADRO DE BICICLETA .....	29
FIGURA 18: CUADRO PROTOTIPO DE BAMBÚ.....	29
FIGURA 19: ENSAMBLE DEL PRODUCTO .....	30
FIGURA 20: REALIZACION DE PRUEBA DE LA BICICLETA DE BAMBÚ .....	31
FIGURA 21: FALLAS EN LA ESTRUCTURA DEL CUADRO .....	32
FIGURA 22: BOCETOS PARA LA FABRICACIÓN DEL TRANSPORTE.....	33
FIGURA 23: BOCETOS DEL MECANISMO .....	34
FIGURA 24: BOCETO DEL DESPIECE DEL PRODUCTO.....	35
FIGURA 25: PROCESO DE FABRICACIÓN DEL MECANISMO .....	36
FIGURA 26: RESULTADO DE PRUEBA DEL MECANISMO.....	37
FIGURA 27: BOCETO DIGITAL DEL VEHICULO .....	38

FIGURA 28: PLANO DEL VEHICULO .....	39
FIGURA 29: MODELO 3D DEL MECANISMO DE ENSAMBLE .....	39
FIGURA 30:ESTANDARIZACIÓN DEL DIÁMTERO DEL BAMBÚ.....	40
FIGURA 31: TRABAJO DE TORNO PARA ESTANDARIZAR EL DIAMETRO.....	41
FIGURA 32: SECCIONADO DEL BAMBÚ .....	42
FIGURA 33: PRINCIPIO DE LA FABRICACION DEL PRODUCTO FINAL.....	43
FIGURA 34: MOLDE DEL PRODUCTO.....	44
FIGURA 35: PREPARACION DE LA MEZCLA FIBRA-RESINA.....	44
FIGURA 36: PROCEDIMIENTO DE ELABORACION DE LOS MECANISMOS .....	45
FIGURA 37: PRODUCTO FINAL DE BAMBÚ .....	46

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Características de la fibra de carbono.....	<b>13</b>
<b>Tabla 2:</b> Resultados de ensayo de compresión.....	<b>25</b>
<b>Tabla 3:</b> Resultados de ensayos de flexión.....	<b>25</b>
<b>Tabla 4:</b> Resultados de pruebas de humedad.....	<b>26</b>
<b>Tabla 5:</b> Resultados de pruebas de absorción de agua.....	<b>26</b>

# CAPÍTULO 1

---

## MARCO TEÓRICO

### 1.1 PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA

#### 1.1.1 Planteamiento del problema

La comunidad a la cual pertenece la **Universidad del Papaloapan** es una comunidad pequeña, por lo cual transportarse a los diversos puntos de esta no resulta muy complicado, y con un medio de transporte básico como lo es la bicicleta se puede lograr con mayor facilidad, es por ello que se decidió llevar a cabo este proyecto el cual consiste en hacer una investigación de materiales compuesto en aleación con un material ecológico que es el bambú y aplicarlos a un medio de transporte que en este caso será una bicicleta con la finalidad de fabricar un medio de transporte que sea ecológico e innovar este producto, logrando hacer que este sea desarmable, lo cual hasta el momento no hay registros de alguna bicicleta de bambú que sea desarmable, haciéndola única en su especie.

Se aplicaran los conocimientos acumulados a lo largo de la carrera de ingeniería en diseño, sobre todo diseño industrial, mecánica de materiales y manufactura de productos.

Fueron analizadas las propiedades de cada material para ver si cumplían con los requisitos necesarios para la elaboración de un medio de transporte ecológico y a su vez novedoso en la localidad y en el ámbito de productos industriales.

Se utilizarán los conocimientos adquiridos en todas las áreas involucradas en la carrera de Ingeniería en Diseño para obtener un producto funcional, estético e innovador.

### **1.1.2 Justificación**

La fibra de carbono es un material que al ser combinado con la resina epoxica nos da un material duro y con alta resistencia, el cual será aplicado para fabricar un medio de transporte que sea eficaz y a su vez ecológico.

Se analizaron solo los bambúes que crecen en la región del Papaloapan y que están a nuestro alcance, y se le realizaron las pruebas mecánicas correspondientes con lo cual se determinó el más apropiado para la realización de este proyecto.

Con esto se está generando una nueva alternativa para las bicicletas de bambú, ya que las convencionales cuando se daña alguna parte, es muy costosa su reparación porque hay que reconstruir casi toda su estructura, sin embargo con nuestra propuesta del mecanismo desarmable aplicado a una bicicleta, se podrán reducir los costos de su reparación, así como el tiempo.

En esta investigación no se trabajó sobre el diseño morfológico de la bicicleta, el trabajo en dicha tesis fue hacer investigaciones de materiales compuestos y alearlos con materiales ecológicos en este caso el bambú y aplicarlos a una bicicleta con características convencionales, pero tratando de hacerla desarmable y con esto única en su especie, logrando el objetivo propuesto.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo General**

Construir un mecanismo de fibra de carbono con bambú que sea desarmable y aplicarlo a un medio de transporte en nuestro caso una bicicleta.

### **1.2.2 Objetivos particulares**

- Utilizar como material base bambú para la producción de una bicicleta ecológica.
- Desarrollar un prototipo con base en materiales alternativos y avanzados.

# Capítulo 2

---

## ANTECEDENTES

### 2.1 Antecedentes históricos de la bicicleta

Algunos documentos encontrados aseguran que Leonardo Da Vinci fue el primero en realizar un boceto de un modelo de bicicleta que comprendía hasta la cadena de transmisión, pero esto no fue realizado por él

( <http://www.educarchile.cl/ech/pro/app/detalle?ID=76708> ).

La primera bicicleta data de 1817; le llamaron *draisiana*. Aunque la primera máquina de pedales con dos ruedas fue construida por el herrero escocés Kirkpatrick Macmillan en 1839. En 1861, el francés Ernest Michaux ideó la bicicleta con los pedales conectados a la rueda delantera.

La primer bicicleta de pedales y funcional que fue patentada la creo el británico John Kemp Stanley en 1885 y fue basada en los modelos que se crearon a lo largo de los años antes de este modelo (<http://bicihome.com/la-historia-de-las-bicicleta/>).

De ahí a la fecha se han producido diversas bicicletas y de diversos materiales, que han ido desde madera, acero, aluminio, y aleaciones de diversos materiales, e incluso en la actualidad hay bicicletas que son fabricadas de aluminio combinado con fibra de carbono para darle una mayor resistencia y ligereza.

### 2.2 Bicicletas de bambú

Las bicicletas de bambú ya han sido creadas, de hace poco tiempo a la fecha, obteniendo una gran popularidad y aceptación en diversos países, aunque hay pocas empresas que se dedican a la fabricación de dichas bicicletas ya se comienzan a hacer populares (<http://www.unr.edu.ar/noticia/3780/bicicletas-de-bambu-ingenieria-sustentable>).

En Ghana se ha comenzado un proyecto a pequeña escala, pero con la meta de llegar a extenderse como un producto industrial a nivel mundial, este se llama bambú bike, y está siendo apoyado por el Earth Institute de la Universidad de Columbia (EE.UU.), el proyecto está en colaboración con diseñadores industriales, agricultores y artesanos de la localidad, quienes han trabajado en conjunto para llevarlo a cabo (Procedia, Social and Behavioral Sciences, 2012).

Las propiedades con las que cuenta el bambú lo hacen idóneo para la construcción de las bicicletas, ya que el bambú por naturaleza absorbe los impactos y las vibraciones, logrando hacer las bicicletas bastante cómodas y agradables.

Los creadores de estas bicicletas han hecho pruebas con ellas, logrando que las bicicletas soporten 100 kg extra aparte del conductor, lo cual nos demuestra el material es altamente resistente y de fácil manipulación, además que puede ser fabricada artesanalmente como se muestra en la Figura 1.



**Figura 1:** Construcción de bicicletas de bambú artesanalmente en Ghana.

**a)** Construcción del cuadro de bambú; **b)** Bicicletas fabricadas.

Fuente: <http://www.archdaily.mx/mx/02-313619/la-onu-premia-17-gestos-de-diseno-e-iniciativas-en-favor-del-medio-ambiente/52967c19e8e44e3dd2000016>

En México existen algunas empresas que en la actualidad producen bicicletas de bambú, aunque a un alto precio, han tenido una buena aceptación en la sociedad, una de las empresas que producen bicicletas de bambú en México se llama **Bamboocycles**, la cual ya lleva varios años produciendo bicicletas ecológicas, esta empresa fabrica estas bicicletas

artesanalmente como se muestra en la Figura 2, a pesar de que son fabricadas así, se producen a un precio elevado, por ello es que en dicha tesis se desarrolló una bicicleta de bambú para la región del Papaloapan, ya que en esta zona prolifera esta planta y es de fácil obtención, y la fibra de carbono se puede trabajar manualmente y así se lograría que los usuarios elaboren su propio medio de transporte, no obstante que la bicicleta que se elabora como proyecto, cuenta con innovaciones a nivel de diseño industrial.



a)



b)



c)

**Figura 2:** Fabricación de bicicletas de bambú por parte de la empresa bamboocycles.

a) Cuadro armado en bamboocycles; b) Acabado del cuadro; c) Cuadros terminados.

Fuente: <http://bamboocycles.com/>

## **ANTECEDENTES DE LOS MATERIALES.**

### **2.3 Bambú**

Bambú es el nombre común que recibe el conjunto de plantas pertenecientes a la familia de las gramíneas herbáceas, que se caracterizan por ser de tallos largos, leñosas, de porte arbustivo y que desarrolla culmos (cañas) de buen diámetro y tamaño (Monografía del bambú, Comisión veracruzana de comercialización agrícola, 2011).

Es una de las plantas más útiles al hombre desde hace milenios. Sus características le confieren una gran versatilidad de aplicaciones y usos, sin grandes exigencias tecnológicas y a bajo costo; cualidad que determina su importancia económica (Wetherhill, 1972).

El bambú es un recurso natural que desde hace muchos años se ha utilizado por el hombre a lo largo del mundo para distintos fines, en Asia el bambú es parte de la agricultura de esos lugares dándosele una gran importancia a esta planta, pero en México no siempre ha sido considerado como un recurso importante, de hecho en algunos lugares se ha considerado como una plaga ya que se reproduce con facilidad y crece en un lapso de tiempo bastante corto, en lugares donde se siembra café el bambú es combatido para usar los terrenos para la agricultura y donde se cría ganado también es combatido como si fuera una plaga ignorándose los beneficios de dicha planta (Hidalgo López Oscar, 1974).

Esta planta crece mayormente en zonas tropicales, y de hace poco tiempo a la fecha se ha utilizado esta planta para diversos fines, en algunos lugares de México esta planta se ha utilizado para construir casas de interés social y también se ha comenzado a utilizar a nivel industrial para fabricar tableros rígidos, como duela y diversos productos ([http://www.infoaserca.gob.mx/proafex/bambu\\_I\\_Y\\_II.pdf](http://www.infoaserca.gob.mx/proafex/bambu_I_Y_II.pdf)).

Su composición orgánica y estructura morfológica, así como la calidad leñosa de sus tejidos, confieren al bambú capacidades que lo sitúan entre las especies forestales más útiles y de mayor rendimiento comercial, capaz de suplir a la madera arbórea eficazmente en varias aplicaciones.

Las características que ubican favorablemente al bambú frente a otras especies forestales son:

- Se reproduce y prospera fácilmente con un mínimo de cuidados y a bajo costo.
- La rapidez de su crecimiento supera a la de cualquier otra planta.
- Es un material con muy alta resistencia mecánica y al mismo tiempo muy ligero y fácilmente manipulable.
- Los costos de arrastre y almacenamiento son bajos, muy inferiores en comparación a los de algunos troncos de árbol.
- Las instalaciones, herramientas y equipos necesarios para su manejo y procesamiento son sencillos y de bajo costo.

#### **Especies de bambú de la región del Papaloapan.**

*Guadua angustifolia*: especie de bambú el cual sus rizomas llegan a tener una altura de entre 20 y 30 metros de altura, sus ramas están cubiertas de espinas alargadas en toda la planta, con una distancia aproximada entre 20 y 40 centímetros de longitud entre nodo y nodo, los de la parte media presentan la mayor longitud, cada planta posee entre 60 y 80 nodos los cuales tienen una banda blanca a su alrededor cubierta de bellos que son irritantes, el diámetro de la planta está entre los 5 y 12 cm (<http://www.bambumex.org/paginas/introducidos.htm>).

*Bambusa oldhamii*: una de las principales características de esta planta es su gran rapidez de crecimiento, sus rizomas crecen rectos y cuentan con un color verde oscuro, no requiere de una supervisión estricta, ya que puede crecer sin tanto mantenimiento, cuenta con una altura aproximada entre los 15 y 25 metros y sus rizomas son de entre 5 y 15 cm de diámetro (<http://www.bambumex.org/paginas/introducidos.htm>).

*Bambusa vulgaris*: este bambu es originario de china y uno de los más cultivados a nivel mundial, su característica principal es su color amarillo con unas líneas verdes a lo largo de

toda la planta, alcanza una altura aproximada de 20 metros y un diámetro de entre 4 y 12 centímetros, sus entrenudos son de entre 20 y 25 cm de longitud.

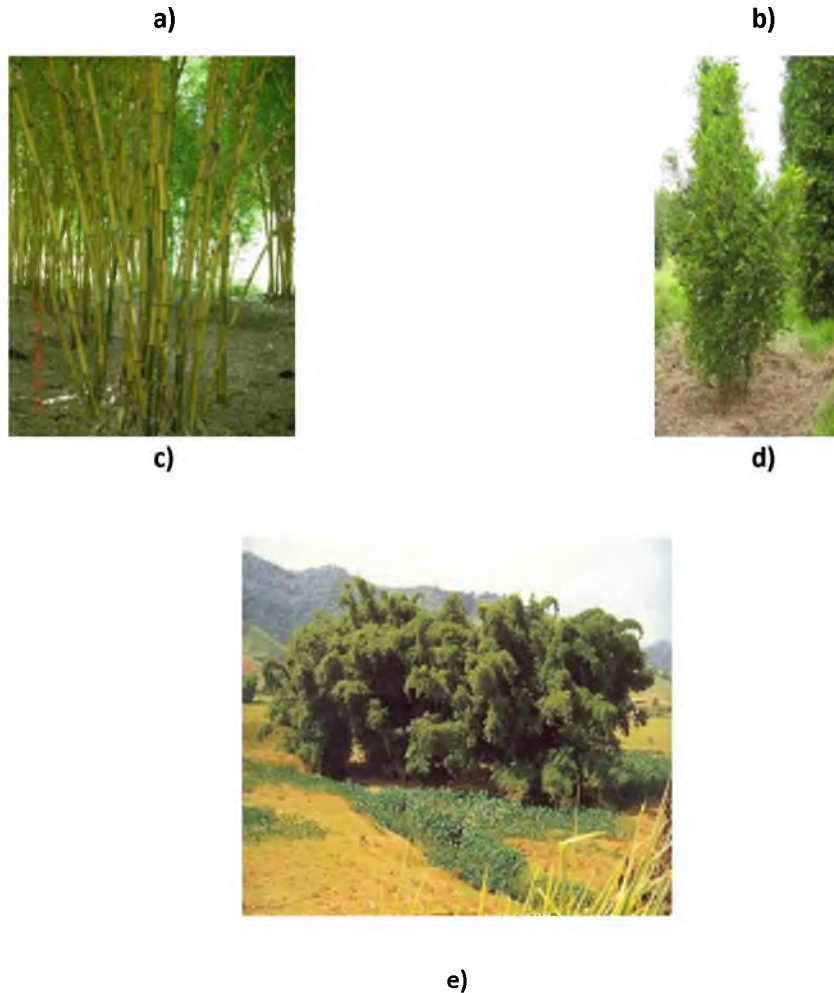
(<http://www.bambumex.org/paginas/introducidos.htm>).

*Phylustachys aurea*: es utilizada comúnmente como planta de ornato, crece aproximadamente 10 metros de altura con un diámetro no mayor a los 6 cm, de color verde y cuando madura cambia a un color amarillo oscuro, esta es una especie de bambú invasora, ya que se esparce sin control donde nace (<http://www.bambumex.org/paginas/introducidos.htm>).

*Dendrocalamus strictus*: también conocido como bambú acero por su dureza, llega a crecer desde los 6 metros hasta 20 metros de altura, con un diámetro que va desde los 3 hasta los 8 cm, entre 30 y 40 cm de longitud entrenudos, este bambú tiene la característica de ser comestible, pero también con una alta resistencia mecánica (<http://www.bambumex.org/paginas/introducidos.htm>).

Estas cualidades hacen al bambú el material adecuado para fabricar un medio de transporte y además que se puede obtener fácilmente en esta región y se puede tener un cultivo sistematizado de dicha planta en esta población (<http://www.bambumex.org/paginas/introducidos.htm>).





**Figura 3:** especies de bambúes destinados para la realización de pruebas físicas y mecánicas.

a) *Guadua angustifolia*; b) *Bambusa oldhamii*; c) *Bambusa vulgaris*; d) *Phyluscachys aurea*; e) *Dendrocalamus strictus*.

Fuente: <http://www.bambumex.org/paginas/introducidos.htm>

### 2.3.1 Preservado del bambú

El bambú es una planta que por su estructura fibrosa cuenta con una alta resistencia mecánica, y su durabilidad o vida útil consiste mucho del ambiente y el clima en que se encuentre, se puede usar el bambú sin ningún tipo de tratamiento, sin embargo al utilizarlo así puede tener un periodo menos duradero, por lo tanto es sumamente importante y recomendable darle un tratamiento para alargar su vida útil, y para esto es muy importante que se tomen en cuenta algunas condiciones desde la cosecha del bambú

(Burgos F. 2002). Para curar el bambú se comienza desde que este es cortado, para que el bambú alcance su mayor resistencia mecánica para ser utilizado en construcciones tiene que ser entre los 3 y 6 años de edad del rizoma, en este periodo es cuando alcanza su maduración y es el más adecuado para cosecharlo, después de esta etapa de cosechado viene la prevención del bambú la cual es el curado, una vez que se cosecha el rizoma, este esta propenso a ser atacado por hongos, bacterias e insectos que pueden provocar que el bambú se descomponga o se pudra en poco tiempo, por eso es importante curar el bambú, para prevenir que esto suceda (Diaz,2012).

Existen diversos métodos para lograr el curado del bambú, los cuales van desde el curado en la planta, con calor, y hasta el uso de algunos componentes químicos para lograrlo: a continuación se muestran algunos de los métodos que se utilizan para el curado y en que consiste cada uno de ellos.

- Curado con agua: Consiste en sumergir los palos en agua por un periodo de 4 a 5 días.
- Curado en boro: Se sumergen los palos en una preparación de agua con 15% de boro.
- Curado al calor: Se mantienen los palos a una temperatura de 120-150 grados centígrados.
- Curado al humo: Se colocan los palos en forma horizontal en un cuarto de humo hasta que queden cubiertos completamente por hollín.
- Curación húmeda: Se llena un recipiente grande con agua salada. Se usa una solución de 1/2 taza de sal por litro de agua. Posteriormente se coloca el bambú en el recipiente, de manera que quede completamente sumergido en el agua salada. Se dejan reposar un periodo de 1 a 3 semanas. Después de retirar el bambú de la solución de agua salada, permitir que se seque al sol. Se colocan las cañas en posición vertical y se apoyan contra un edificio, cerca, u otra estructura donde les dé el sol durante 4 a 6 horas al día, hasta que el bambú esté completamente seco.

No se debe apoyar la base del bambú directamente en el suelo. Se debe colocar sobre bloques de concreto.

- Tratamiento por inmersión: Se perfora el interior del palo con una varilla y se sumergen en el agua para que se elimine el almidón y la savia que se encuentran en el interior del palo.
- Método Boucherie: Se utilizan bombas para desplazar la savia por medio de líquidos preservantes aplicados a presión al interior del palo. Generalmente se utiliza el ácido bórico y bórax en relación 1:1 al 12% (Stephen W. Miravete 1978).

#### **2.4 Fibra de carbono.**

La fibra de carbono es un material formado por fibras de 5-10 micras de diámetro, compuesto principalmente de átomos de carbono. Los átomos de carbono están unidos entre sí en cristales que son más o menos alineados en paralelo al eje longitudinal de la fibra. La alineación de cristal da a la fibra de alta resistencia en función del volumen. Varios miles de fibras de carbono están trenzados para formar un hilo, que puede ser utilizado por sí mismo o tejido en una tela

(<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.mx/2011/11/fibra-de-carbono.html>).

La fibra de carbono se incluye en el grupo de los materiales compuestos, es decir, aquellos que están hechos a partir de la unión de dos o más componentes, que dan lugar a uno nuevo con propiedades y cualidades superiores, que no son alcanzables por cada uno de los componentes de manera independiente (Camacho 2004).

En el caso particular de la fibra de carbono, básicamente se combina un tejido de hilos de carbono (refuerzo), el cual aporta flexibilidad y resistencia, con una resina termoestable (matriz), comúnmente de tipo epoxi, que se solidifica gracias a un agente endurecedor y actúa uniendo las fibras, protegiéndolas y transfiriendo la carga por todo el material; por su parte el agente de curado ayuda a convertir la resina en un plástico duro.

Esta fibra fue desarrollada por primera vez en 1958 por Roger Bacon quien hizo un calentamiento de hilos de rayón hasta carbonizarlos obteniendo fibras de alto rendimiento, sin embargo este proceso fracasó ya que las fibras solo tenían un 20% de carbón, posteriormente en la década de 1960, un proceso desarrollado por Akio Shindo de la Agencia de Ciencia Industrial Avanzada y Tecnología de Japón, con poliacrilonitrilo (PAN) como materia prima. Este había producido una fibra de carbono que contiene alrededor del 55% de carbono (Smith 1999).

Durante la década de 1970, los trabajos experimentales para encontrar materias primas alternativas llevaron a la introducción de fibras de carbono a partir de una brea de petróleo derivadas de la transformación del petróleo. Estas fibras contenían alrededor de 85% de carbono y tenía una excelente resistencia a la flexión (Callister, Jr 2002).

En la actualidad existen dos tipos de fibras de carbono que son las de alto módulo (HM) que presentan un módulo elástico específico del orden de 70 veces superior al de las aleaciones de Aluminio, con una gran estabilidad dimensional, bajo coeficiente de dilatación y conductividad térmica elevada; y las de alta resistencia (HR) (Jones. 1999).

La fibra de carbono en la actualidad ha tomado una gran popularidad en el ámbito industrial, gracias a sus propiedades físicas y mecánicas, se le ha dado uso en diversas áreas, por ejemplo en la aeronáutica para la construcción de embarcaciones, así como en el área de fabricación de vehículos, ya que dicho material cuenta con una resistencia similar a la del acero, pero con la cualidad de que es mucho más flexible y unas cuatro veces más ligera que el acero, además que es inmune a la corrosión (<http://www.metalactual.com/revista/11/materialescarbono.pdf>).

En la siguiente tabla se muestran algunas características y aplicaciones de la fibra de carbono.

<b>Características y aplicaciones de la fibra de carbono</b>	
<b>Propiedades</b>	<b>Aplicaciones</b>
<b>Resistencia mecánica, tenacidad y densidad.</b> <b>Estabilidad dimensional, logra conservar su forma.</b> <b>Amortiguación de vibraciones, resistencia y tenacidad</b> <b>Resistencia a la fatiga y auto lubricación.</b> <b>Resistencia química y térmica.</b> <b>Alta conductividad eléctrica.</b> <b>Compatibilidad biológica.</b>	<b>Transporte y artículos deportivos.</b> <b>Tecnología aeroespacial.</b> <b>Equipos de audio, brazos de robot.</b> <b>Maquinaria textil, ingeniería en general.</b> <b>Industria química y nuclear.</b> <b>Componentes de equipos electrónicos.</b> <b>Medicina (prótesis, equipamiento quirúrgico).</b>

**Tabla 1:** Características de la fibra de carbono

La **Figura 4** muestra la presentación común de la fibra de carbono para su utilización en la industria.



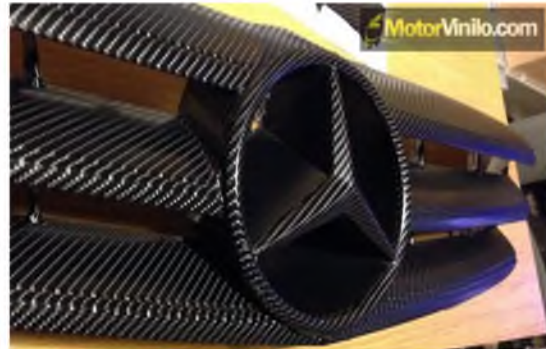
**Figura 4:** petatillo de fibra de carbono.

Fuente:[http://www.poliformasplasticas.com.mx/tienda.php?url\\_title\\_tienda=fibra\\_carbon](http://www.poliformasplasticas.com.mx/tienda.php?url_title_tienda=fibra_carbon)

En la industria automotriz la fibra de carbono se ha vuelto muy popular para fabricar accesorios para automóviles deportivos, esto en el ámbito del tuning tiene una gran demanda en la actualidad para quienes son aficionados a ello, como se muestra en la **Figura 5**.



a)



b)

**Figura 5:** piezas de autos fabricadas en fibra de carbono.

a) Pleno para motor de automóvil; b) Parrilla de Mercedes Benz

fuelle: [www.motorvinilo.com](http://www.motorvinilo.com)

Conociendo estas cualidades del material, se optó por ocuparlo para las uniones del bambú en nuestro proyecto, sin embargo se desconocía por completo como es que se usaba y se manipulaba, por tal motivo fue necesario tomar un curso de uso y manejo de este material, se buscó una institución que diera algún curso de fibra de carbono, finalmente se encontró uno en la ciudad de México impartido por expertos de la empresa **POLIFORMAS PLÁSTICAS**, en dicho curso se mostró como manipular este material, así como cuales son los componentes extra que debe de llevar para que alcance su dureza y resistencia máxima, también en este curso se realizaron algunas prácticas demostrativas de diversas técnicas que se emplean en la manufactura del producto, las cuales fueron desde una manera industrial hasta la manera artesanal para fabricar y recubrir piezas con la fibra de carbono.

Por lo tanto, contando con estas características mecánicas y además de ser bastante atractiva y de fácil manipulación la fibra de carbono se convierte en el material ideal para ser combinado con el bambú para producir un medio de transporte ecológico.

# Parte II

---

## **EXPERIMENTACIÓN DE LOS MATERIALES.**

Continuando con las investigaciones de los materiales para construir el transporte ecológico, se han analizado los materiales con los cuales se realizara el proyecto, posterior a esto se comenzó con la investigación y las pruebas con el bambú.

## Capítulo 3

---

### **3.1 Pruebas realizadas al bambú.**

Para determinar si la resistencia del bambú es la adecuada para elaborar el proyecto, se sometieron varias muestras a pruebas físicas y mecánicas de las cuales se mostraran los resultados más adelante.

Antes de realizarle las pruebas físicas y mecánicas al bambú, fue necesario hacer una investigación de las especies de bambú con las que se cuentan en la zona, conocer las características y las propiedades de los bambúes de la región, esto con la finalidad de ir descartando los que no sirvan y dejar pocas opciones para analizar y determinar resultados para la construcción del transporte.

Para tener una idea más concreta de los tipos de bambú que se tienen en esta zona, fue necesario recorrer la comunidad a fin de hacer una lista de las plantas con las que se cuentan en la localidad.

Una vez que se tuvieron archivadas algunas fotografías de las especies con las que cuenta la localidad, se hizo una comparativa con algunos catálogos de empresas que se dedican al cultivo y utilización del bambú.

Primeramente para despejar las dudas con respecto a las especies de bambú, se accedió a la página de bambúes, dicha página cuenta con un catálogo de las plantas de bambú que proliferan en el país, algunos nativos y otros introducidos, sin embargo la lista es muy

extensa, se continuó con la investigación, con el fin de esclarecer los tipos de plantas, se tuvo conocimiento de una empresa cercana que se dedica al cultivo y explotación de dicha planta en la región, esta empresa se llama **Bambuver**.

Teniendo el conocimiento de esta organización, se contactó a la empresa para poder hacer una visita y conocer más acerca del bambú, la visita fue aceptada por parte de la empresa y se acudió para despejar las dudas que se tenían y para conocer las propiedades de dicho material.

Se visitó la plantación de bambúes de la empresa **Bambuver**, ubicada en Huatusco en el estado de Veracruz.

Una vez en la plantación de bambú se hizo un recorrido para conocer las diversas especies con las que cuentan, tienen alrededor de una 15 especies de bambú, y cada especie tiene su característica especial, conociendo las características de cada planta se tomaron en cuenta las que se ajustaran al proyecto para realizarle pruebas mecánicas y así saber la resistencia y tomar en cuenta para la construcción del producto.

Las especies que se consideraron para realizarle las pruebas mecánicas correspondientes fueron las siguientes:

- *Dendrocalamus strictus*.
- *Philuscatus aurea*
- *Bambusa vulgaris*
- *Bambusa oldhamii*
- *Guadua angustofolia*

Después de haber analizado los bambúes y sus características se descartaron algunos, ya que no cumplen con los requisitos para la elaboración de nuestro proyecto, por ejemplo el bambusa vulgaris, presenta una fibra resistente, su periodo de maduración y crecimiento es corto, presenta un diámetro que se consideró para realizar pruebas físicas y mecánicas,

sin embargo presentó un problema, es propenso al ataque de las termitas, es muy llamativo para estos insectos y lo pueden dañar en muy poco tiempo, por eso esta especie quedo descartada para realizar el producto.

Seguimos con el *Guadua angustifolia*, presenta un diámetro bastante atractivo para el proyecto, una coraza bastante resistente, su tiempo de crecimiento y maduración es apropiado, es un bambú resistente, sin embargo sus rizomas son curvos, esto puede representar un obstáculo para la construcción del producto final.

Continuamos con la especie *Bambusa oldhamii*, se analizó a simple vista esta planta, sus rizomas son bastante rectos desde la raíz hasta más de la tercera parte de la panta, sus fibras son bastante fuertes, se le hizo un análisis simple de dureza y deductivamente es considerable para realizarle las pruebas, su diámetro es algo grande y solo se propuso emplearla para la parte del frente de la bicicleta que será de 4 a 5 cm de diámetro, por lo tanto tendremos que buscar alguna otra especie para la parte trasera de la bicicleta.

La siguiente especie en la lista de opciones para la construcción del vehículo es *Phylustachys aurea*, es una especie de bambú la cual la planta no crece tan grande, dando rizomas con un diámetro no mayor a los 5 cm, sus nodos son más cortos que los de las demás especies, sin embargo la pared del tubo es un poco más delgada, pero aun así se tomó en cuenta para las pruebas mecánicas.

*Dendrocalamus strictus*, es una especie de bambú que sus rizomas pueden alcanzar más de 15 m de altura, sin embargo el diámetro de la planta es no mayor a los 6 cm, esto la sitúa dentro de las especies a las cuales se le realizaran las pruebas mecánicas para determinar la factibilidad del material.

Después de haber seleccionado las especies que más se adecuaron para la llevar a cabo el proyecto, se procedió a conseguir rizomas para someterlos a dichas pruebas, se consiguieron rizomas de *bambusa vulgaris*, *Bambusa oldhamii*, *Phylustachys aurea* y *Dendrocalamus strictus*, se tomaron rizomas completos y se cortaron en trozos de aproximadamente un metro de longitud para su fácil manipulación.

## Proceso para la obtención y evaluación de la factibilidad de los materiales.

Lo primero que se hizo fue buscar donde conseguir los materiales, y para el caso del bambú, se buscaron plantas de las diversas especies, las cuales antes ya se había hecho una preselección, se tomaron algunas de la localidad, y otras se consiguieron en **Bambuver** donde tienen una mayor gama de plantas de bambú, en la **Figura 6** se muestra una plantación de bambú.



**Figura 6:** Plantas de bambú de la especie *dendrocalamus strictus*

Fuente: propia

El bambú es un material altamente resistente, sin embargo para asegurar una mayor durabilidad del producto es necesario someterlo a un proceso de curado.

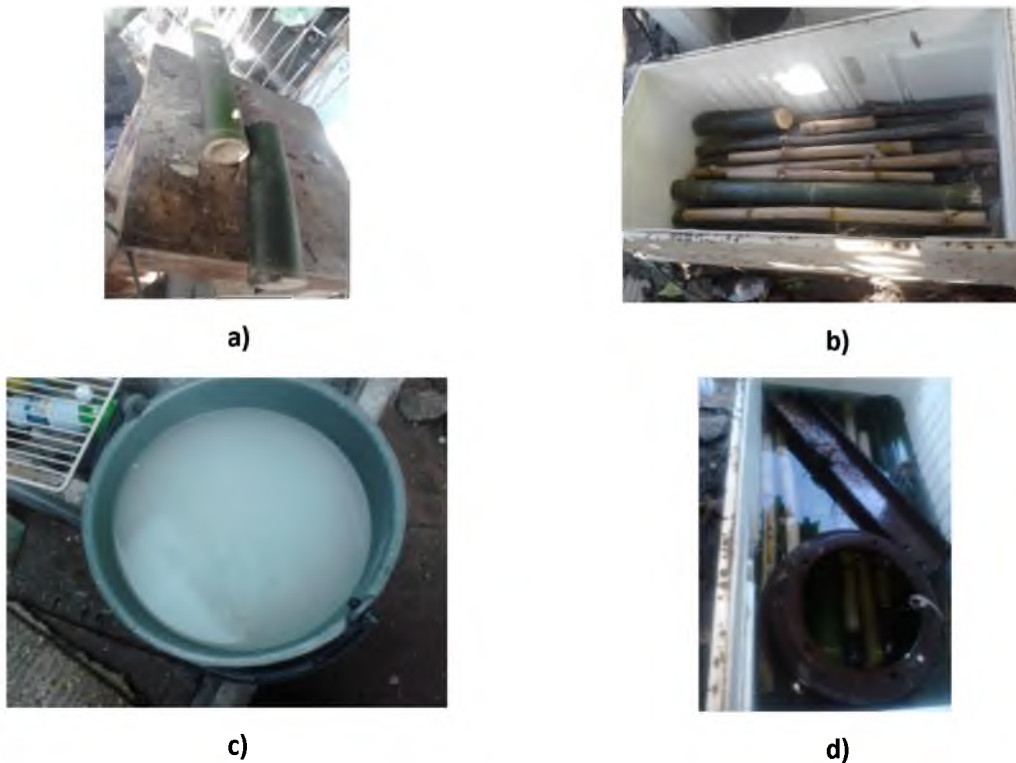
### 3.2 Curado del bambú.

Para realizar el curado del bambú se utilizó el método de curado húmedo, debido a que es el método más sencillo ya que todos los materiales necesarios están al alcance.

Lo primero que se hizo fue conseguir un recipiente en el cual se pudieran sumergir los bambúes, ya que los tramos son no mayores a metro y medio, se empleó un refrigerador en desuso como recipiente para el curado, se vertieron 150 litros de agua con la cantidad de sal correspondiente dentro del recipiente, se dejó reposar hasta que la sal se diluyó completamente en el agua, una vez que esto sucedió se sumergieron los bambúes al agua compuesta y se dejaron reposar durante 2 semanas.

Pasadas las dos semanas se sustrajeron los bambúes y se pusieron a secar hasta que estuvieron listos para ser utilizados para las pruebas (ver **Figura 7**).

A continuación se muestran las imágenes del método de curación del bambú.



**Figura 7:** proceso de curado del Bambú

*a) Seccionado del bambú; b) Colocación del bambú en el recipiente para ser curado; d) mezcla para el curado del bambú; e) bambú sumergido en la mezcla*

Fuente: propia

Después de terminado el proceso de curado del bambú, se realizaron a las especies de bambúes las pruebas físicas y mecánicas pertinentes.

Previo a las pruebas mecánicas se tomaron unas muestras de cada especie de bambú y con un soplete de gas se les aplicó calor como se muestra en la Figura 6, esto con la finalidad de darle un mejor secado y aumentar su resistencia mecánica, ya que el bambú al ser sometido al calor aumenta su dureza y su resistencia.



**Figura 8:** Aplicación de calor al bambú con soplete.

Fuente: propia

Las pruebas que se le realizaron a nuestras muestras fueron de compresión, flexión, humedad y absorción.

Cuando estuvieron secos los bambúes destinados a las muestras, se les aplicó calor como se mencionó anteriormente para elevar su dureza y resistencia.

Después de estar listo para las pruebas necesarias, el bambú se seccionó en tramos de 30 y 50 cm de longitud para las diversas pruebas y así facilitar su manipulación en el laboratorio de materiales.



**Figura 9:** Sección de bambúes con numeraciones de acuerdo a su especie. 1) *Guadua Angustifolia* 2) *Bambusa Vulgaris* 3) *Dendrocalamus Strictus*.

Fuente: propia

### 3.3 Ensayos y pruebas realizadas al bambú

#### 3.3.1 Ensayo de compresión.

La primer prueba que se le realizó al bambú fue la prueba de resistencia a la compresión, esta prueba se realizó en una prensa eléctrica marca DAVI con capacidad de 120 toneladas.

La prueba consiste en tomar una muestra de bambú de aproximadamente 30 cm de longitud, se coloca la muestra en la prensa eléctrica la cual aplica toneladas de presión, una vez que el bambú llega a su máxima resistencia tiene su punto de falla, en este momento el bambú se fractura o agrieta y la máquina registra la carga máxima que soportó la muestra, esta práctica se realizó con cada una de las muestras de las diversas especies y se registró en la tabla 2 que se muestra más adelante, en la siguiente Figura podemos apreciar la muestra sometida a compresión.



Figura 10: bambú siendo sometida a la prueba de compresión, la maquina registro su resistencia máxima.

Fuente: propia

#### 3.3.2 Ensayo de Flexión.

La siguiente prueba que se le realizó al bambú fue la de resistencia a la flexión, esta prueba también se realizó con la prensa eléctrica utilizando la técnica de los 3 puntos, la prueba consiste en tomar una muestra de bambú de aproximadamente 50 cm de longitud, colocarla en la prensa eléctrica y ejercerle una carga hasta que llegue a su punto de falla.

Esta prueba se le realizo a cada una de las especies de bambú que se asignaron para análisis, se tomaron las muestras de 50 cm aproximadamente, se colocaron en la maquina igual que con la prueba de compresión, solo se le anexo un aditamento, el cual se utiliza para este tipo de pruebas, una vez dentro de la maquina la muestra, se le comenzó a ejercer una carga con la prensa hasta que llego a su resistencia máxima la muestra, en este punto la maquina registro la carga máxima y se registró en la tabla que se muestra más adelante, en la Figura se aprecia el ensayo realizado.



**Figura 11:** bambú sometido a prueba de flexión, en esta imagen se muestra como el bambú obtiene un ligero pandeo durante la realización de la prueba.

Fuente: propia

### **3.3.3 Contenido de humedad.**

Para esta prueba se utilizaron las mismas muestras de bambú que en la de compresión, lo primero fue pesar cada una de las muestras con la ayuda de una báscula electrónica de precisión Fisher scientific (figura 12 b), se registraron los pesos, posteriormente se tomaron estas muestras y se metieron en un horno eléctrico, el horno se programó con una temperatura de 110 °C y se dejaron las muestras en el horno durante 24 horas.

Pasadas las 24 horas se retiraron las muestras del horno y se pesaron nuevamente una por una de las muestras y registrando el peso, con los datos obtenidos se hizo una comparativa y se obtuvo el porcentaje de humedad de cada una de las muestras.



Figura 12: a) pesaje de la muestra de bambú b) sometido a prueba de humedad en el horno eléctrico.

Fuente: propia

### 3.3.4 Porcentaje de absorción de agua.

Por último se realizaron las pruebas de absorción de agua en el bambú, para esto se tomaron muestras de aproximadamente 10 cm de longitud de cada una de las especies, a cada muestra se les puso tapones de resina de poliéster, esto con la finalidad de evitar que se introduzca agua por los extremos de las muestras.

Después de selladas las muestras, se pesó cada una de ellas en la báscula digital, se tomaron vasos de precipitado (Figura 13 a) en los cuales se introdujeron las muestras y se llenaron con agua, se dejaron reposando en agua durante 24 horas, después fueron retiradas de los vasos de precipitado, se les sacudió el agua que tenían en la superficie y se pesaron todas las muestras, se compararon los datos y se obtuvo el porcentaje de absorción de agua de cada especie.



Figura 13: Pesado de la muestra de bambú, y sumergido en agua para la prueba de absorción de agua.

Fuente: propia

### 3.3.5 Resultados

Después de realizar las pruebas, se elaboró una tabla con los resultados obtenidos.

A continuación se muestra la tabla de resultados.

Prueba de resistencia máxima a la compresión			
Muestras	D. Sstrictus	Vulgaris	P. Aurea
Diámetro en cm	4.5	3.5	3.3
Resistencia en kg	6140	2420	1940
Área del cilindro cm <sup>2</sup>	63.6172512	38.48451	34.211944
Resistencia en kg/cm <sup>2</sup>	96.5147013	62.8824428	56.7053424

Tabla 2: Resultados de ensayo de compresión.

resultados de pruebas de flexión			
Muestras	D. Sstrictus	Vulgaris	P. Aurea
Longitud en cm	50	50	50
Resultados en kg.	980	420	630

Tabla 3: Resultados de ensayos de flexión

<b>Resultados de pruebas de humedad.</b>			
<b>Muestras</b>	<b>D. Strictus</b>	<b>Vulgaris</b>	<b>P. Aurea</b>
<b>Peso inicial en gr.</b>	<b>226.68</b>	<b>313.63</b>	<b>223.45</b>
<b>Peso final en gr.</b>	<b>204.88</b>	<b>281.46</b>	<b>190.85</b>
<b>Contenido de agua en gr.</b>	<b>21.8</b>	<b>32.17</b>	<b>32.6</b>
<b>Porcentaje de agua</b>	<b>9.6</b>	<b>10.3</b>	<b>14.6</b>

**Tabla 4:** Resultados de pruebas de humedad

<b>Prueba de absorción de agua</b>			
<b>Muestras</b>	<b>D. Strictus</b>	<b>Vulgaris</b>	<b>P. Aurea</b>
<b>Peso inicial en gr.</b>	<b>116.5</b>	<b>149.63</b>	<b>78.93</b>
<b>Peso final en gr.</b>	<b>122.65</b>	<b>191.01</b>	<b>101.92</b>
<b>Absorción de agua en gr.</b>	<b>6.15</b>	<b>41.38</b>	<b>22.99</b>
<b>Porcentaje de absorción</b>	<b>5.3</b>	<b>27.7</b>	<b>29.1</b>

**Tabla 5:** Resultados de pruebas de absorción de agua

Habiendo realizado las pruebas pertinentes al bambú, y teniendo resultados concretos se eligió el que mayor resistencia brindo para elaborar el vehículo, la especie con más altas resistencias mecánicas y físicas fue la *Dendrocalamus Strictus*.

### **3.4 Ensayo de aleación de bambú con fibra de carbono**

Previo a la realización del vehículo ecológico, se realizaron algunas pruebas de unión del bambú con la fibra de carbono, para poder realizarle las pruebas correspondientes, y así conocer la resistencia que ofrece este material compuesto.

Los materiales y herramientas que se ocuparon para su realización fueron los siguientes.

- 3 trozos de bambú
- Petatillo de fibra de carbono
- Resina epoxica
- Catalizador
- Brocha

- Guantes para protección
- Bascula
- Pistola de calor
- Estopa
- Thinner para limpieza

### 3.4.1 Prueba de uniones

La finalidad de la práctica fue saber si la unión en verdad resiste la carga en las uniones sin fracturarse, para ello se realizó este ensayo, se tomó un tramo de bambú *Dendrocalamus Strictus* de unos 4 cm de diámetro, se secciono en 3 piezas, una de unos 10 cm aproximadamente, y dos de unos 25 cm, después de haberlas seccionado, se lijaron las 3 piezas de bambú que se ocuparán para hacer la unión con fibra de carbono, esto con la intención de que tenga un mejor adherencia con la resina epoxica (ver Figura 16).



**Figura 14:** Piezas de bambú lijadas para hacer pruebas de unión con la fibra de carbono.

Fuente: propia

Cuando el bambú está listo se toma la fibra de carbono y se cortan trozos de 10x10 cm aproximadamente y se le hacen unos pequeños cortes a la fibra, esto con la finalidad de una mejor adherencia de la fibra con el bambú.

Con la fibra de carbono lista, se prepara la mezcla de resina y catalizador en un 85% resina y 15% de catalizador para después ir pegando la fibra y el bambú con esta mezcla de resina epoxica.

Hecha la mezcla se colocan los bambúes en la posición que se van a fijar y se comienza a colocar resina y fibra para que vayan cubriendo la zona en la cual van a quedar unidas como se muestra en la Figura 17.



a)



b)



c)

**Figura 15:** Prueba de unión Fibra-Bambú

a) Preparación de la resina epoxica; b) Proceso de unión de los materiales; c) Resultado del ensayo.

Fuente: propia

La fibra de carbono se va colocando por capas en el bambú, primero se recubre con una capa y se deja reposar una hora aproximadamente para lograr que la resina endurezca un poco y posteriormente seguir colocando capas de fibra.

Se le ponen de 3 a 4 capas de fibra de carbono para lograr una mejor rigidez en las uniones, esto nos asegurara una mejor resistencia, después de haber colocado las capas de fibra, se le dan unas 3 manos de resina para darle espesor a la resina para un acabado estético.

Al terminar de aplicar las capas de fibra y resina se deja endurecer durante 24 horas para darle un acabado final al ensayo, después que seca la fibra y resina, siempre quedaran unos restos de fibra de carbono puntiagudos, para quitar estos restos de fibra es necesario apoyarse de un mototool y lijas del número 220, 360, 600 y 1500 para darle un acabado estético, después de hacer todo esto se observa en la Figura 18 en resultado final del ensayo.



**Figura 16:** Resultado final de practica de unión fibra-bambú.

Fuente: propia

# Capítulo 4

---

## Diseño experimental

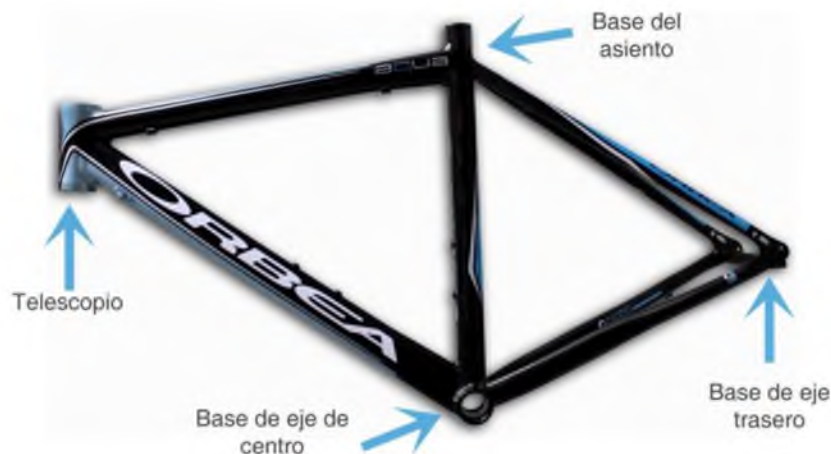
### 4.1 Prototipo del cuadro del vehículo

Después de haber realizado la práctica de unión fibra-bambú, se analizó la pieza fabricada con el bambú y la fibra de carbono, esto para saber si es factible este material para las uniones, a simple vista los resultados eran satisfactorios ya que se obtuvo una pieza rígida y dura, sin embargo esto solo daba un resultado parcial, para saber si realmente esta unión es factible construyo una bicicleta prototipo con los materiales mencionados.

### 4.2 Construcción del prototipo

Para la realizar el prototipo en el cual se realizaron las pruebas físicas reales para probar la resistencia del producto, fue necesario ocupar las extremidades de metal para la fabricación del cuadro de la bicicleta de bambú, las piezas de metal utilizadas fueron la base del asiento, base de eje de centro, base de eje trasero y el telescopio que a continuación se muestran en la **Figura 17**.

Partes del cuadro de la bicicleta



**Figura 17:** partes utilizadas en metal.

Fuente: <http://sportadictos.com>

Lo siguiente fue tomar las piezas de metal para la fabricación del prototipo, se seccionaron los tramos de bambú según las medidas de una bicicleta estándar rodada 26, con las piezas cortadas y listas para la utilización, se armó la bicicleta, uniendo las piezas de metal y de bambú con la fibra de carbono y la resina epoxica.

Para las uniones de los materiales se colocaron 3 capas de fibra de carbono para probar si esta da una buena resistencia, se dejó secar durante 3 días el cuadro de bambú ya armado y después se lijaron los bordes y se le dio una protección con barniz al bambú para protegerlo de la humedad de la intemperie, en la **Figura 18** se muestra el prototipo del cuadro de bambú.



a)



b)



c)

**Figura 18:** Cuadro prototipo de bambú  
a) Cuadro de bambú armado; b) Acabado del cuadro con barniz; c) Detalle de la unión.

Fuente: propia

### 4.3 Armado del prototipo

Con el cuadro prototipo de bambú terminado, se consiguieron piezas de bicicleta, la mayoría de las piezas fueron recicladas de otras bicicletas, tales como son rines, llantas, cámaras, cadena, eje de centro con pedales, manubrio y asiento, teniendo las piezas, se comenzó el ensamblado para terminar la bicicleta y poder utilizarla para hacer pruebas físicas reales, esto con la finalidad de saber que fallas puede tener el prototipo para hacerle las mejoras pertinentes, en la Figura 19 se muestra el prototipo del vehículo.



a)



b)

**Figura 19:** Ensamblado del prototipo

a) Vehículo ensamblado b) ajustes finales

Fuente: propia

Una vez armada la bicicleta se comenzó a rodar por las calles como una bicicleta normal para ver el resultado y las fallas que esta pudiera presentar, las ventajas que tuvo este prototipo sobre las bicicletas convencionales de acero son: mayor ligereza y mejor comodidad, ya que el bambú es un amortiguador de impactos natural por ello es más suave al pasar por terrenos pedregosos y además con un peso inferior a una de acero, el peso de la bicicleta de bambú es de 12.4 kilogramos y la de acero 16 kg, en la **Figura 20** se muestra una prueba de la bicicleta de bambú.



**Figura 20:** Realización de la primera prueba del prototipo de bicicleta de bambú.

Fuente: propia

#### **4.4 Resultado de pruebas físicas reales**

Transcurridas dos semanas de andar rodando la bicicleta de bambú y haberla probando durante ese tiempo se presentaron algunas fallas, rodando tranquilamente por la calle la bicicleta comenzó a presentar inestabilidad en su estructura, cuando esto sucedió se le dio un uso más rudo para resaltar la falla, luego de varios golpes en baches la bicicleta se separó en 2 partes, inicialmente se pensó que las uniones de fibra de carbono se habían fracturado, sin embargo no fue así, con una inspección de la falla en el cuadro se determinó la causa (ver **Figura 21**), la cual fue la falta de adherencia de la resina en el bambú, está a causa que el bambú quedó con una superficie muy lisa, evitando la adherencia de la resina causada por falta de incisiones al bambú que ayudaran a la adherencia, sin embargo ni la fibra ni el bambú tuvieron daño alguno. Por lo tanto esto demuestra que la fibra es factible para la unión de los materiales.



a)



b)



c)

**Figura 21:** Fallas en la estructura del cuadro

a) Bambú separado de la fibra; b) Fibra de carbono sin daño alguno; c) Falla en la estructura de la bicicleta

Fuente: propia

# Capítulo 5

---

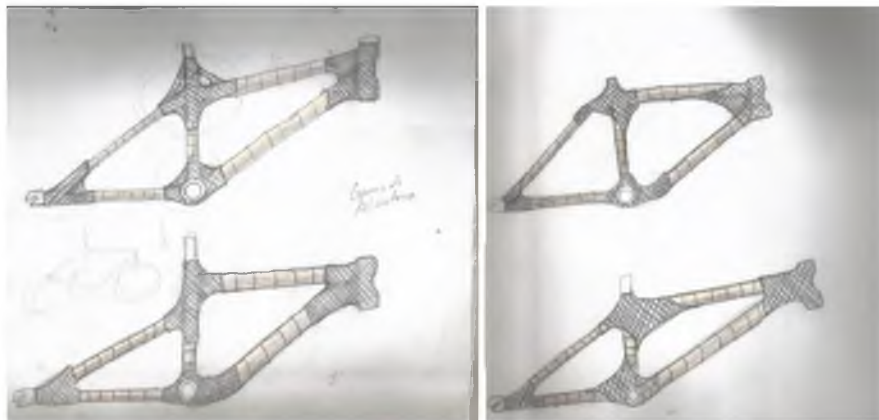
## Diseño e innovación para el producto

### 5.1 Diseño del mecanismo para el producto final

La bicicleta de bambú no es un producto que se haya inventado apenas, ya tiene un tiempo en el mercado de las bicicletas, es por ello que se le dio un toque de innovación al producto.

#### 5.1.1 Trabajo de bocetos

Buscando alguna innovación para el diseño del producto se trabajó en el bocetado para darle más estética al producto, sin embargo por la forma y la resistencia de los materiales se analizaron los bocetos estilizados, después de analizados los bocetos se consideró que no es factible trabajar en el lado estético para la innovación de las bicicletas de bambú, entonces se cambió de rumbo en la búsqueda de la innovación de la bicicleta, se decidió trabajar por el lado de la durabilidad del producto y de la fácil reparación del mismo, en la **Figura 22** se muestran los bocetos iniciales para el diseño del producto.



**Figura 22:** bocetos para fabricar el transporte.

Fuente: propia

Las bicicletas convencionales de bambú que se venden en el mercado son de una sola pieza por así decirlo, con esto se refiere a que todos los bambúes del cuadro están unidos por distintas fibras y resinas, haciéndolo de una sola pieza, y cuando llega a fracturarse un fragmento del bambú es casi pérdida total, o para repararlo es necesario rehacer la pieza completa de resina de ambos extremos del bambú, por lo tanto esto es algo complicado y un poco elevado en su precio, entonces pensando en esa problemática en el diseño de las bicicletas se decidió mejorar y cambiar esta parte del producto.

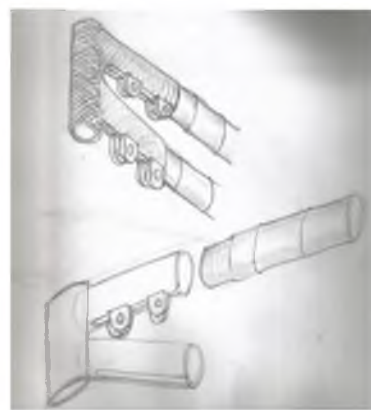
Debido a que fue difícil buscar una solución estilizada para mejorar el diseño, se pensó en cómo mejorar el problema con la reparación en caso de una ruptura en un tubo de bambú.

Pensando en una solución para este problema se comenzó a trabajar en bocetos para desarrollar un mecanismo que permitiera fijar los tubos de bambú, pero que también permitiera separarlos y desmontarlos en un requerido caso, y así comenzaron los trabajos para encontrar el diseño del mecanismo deseado.

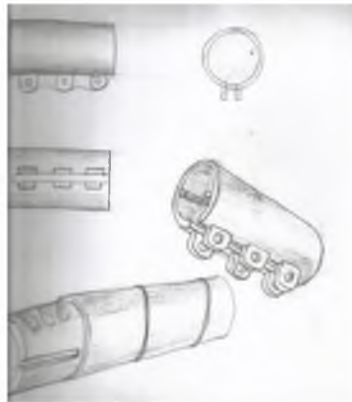
Después de elaborar y trabajar varias ideas en bocetos (ver **Figura 23**), se comenzaron a seleccionar los mecanismos que más se adecuaban a la necesidad presentada, cuando se tuvieron unos cuantos ya seleccionados, se analizaron los que más pudieran para decidir cuáles son los más factibles y hacerle las mejoras correspondientes.



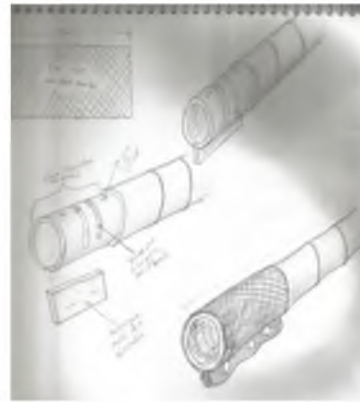
a)



b)



c)



d)

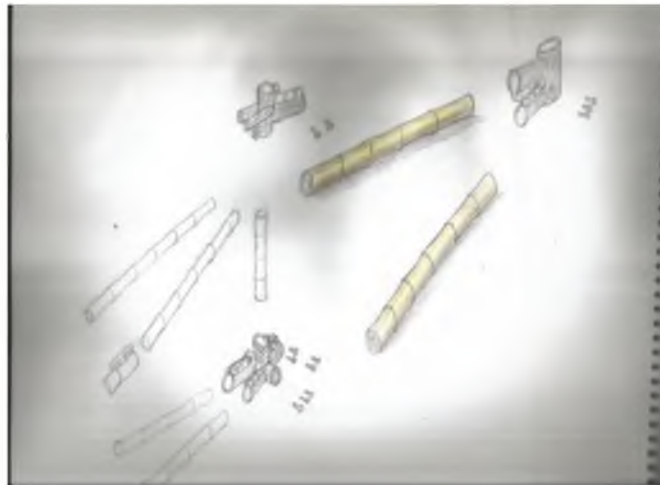
**Figura 23:** primeros bocetos para el mecanismo de ensamble del producto.

- a) Primer idea del mecanismo b) Mecanismo mejorado c) Detallado del boceto d) Boceto final.

Fuente: propia

### 5.1.2 Selección del mecanismo

Teniendo el más factible de los mecanismos elaborados (ver **Figura 24**) y estando seguros del cual se va a utilizar, se decidió llevarlo a cabo realizando una prueba para ver si daba los resultados esperados.



**Figura 24:** boceto de despiece del producto.

Fuente: propia

### 5.3 Fabricación de mecanismo seleccionado

Para realizar el mecanismo se ocuparon los siguientes materiales:

- Tubo de acero de 1 ¼ de pulgada.
- Resina epoxica.
- Catalizador.
- Fibra de carbono.
- Bambú de 45 mm de diámetro.

La fabricación se llevó a cabo en la **UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN**.

#### 5.3.1 Proceso de fabricación

Lo primero para realizar el mecanismo fue cortar un tramo del bambú de unos 20 cm de longitud aproximadamente, una vez cortado se le hicieron unas incisiones al bambú, las cuales servirán para evitar la separación de la fibra y el bambú, después de terminar de preparar el bambú, se cortó un tramo de 10 cm aproximadamente del tubo de acero, el cual simulara el telescopio de la bicicleta, después de esto se cortaron los tramos necesarios de fibra de carbono a utilizarse, también se utilizó una reglilla de madera, esta para hacer la separación entre los extremos de la fibra, para hacer el mecanismo de una abrazadera.

Una vez con todos los materiales listos se le aplico cera al bambú en la parte que se colocó la cubierta de fibra de carbono, esto con la finalidad de que no se pegue la fibra en el bambú, después de tener encerado el bambú, se coloca el tubo de acero y se comienzan a unir ambas piezas con la fibra de carbono y resina epoxica, se dejan secar un tiempo de 30 min aproximadamente entre capa y capa hasta haber completado 3 capas de fibra de carbono, después de secas las 3 capas, se retira el bambú para cerciorarse que no se pegó a la resina.

Después que se retiró el bambú, se volvió a colocar en la pieza de fibra de carbono para asegurarse que el mecanismo funcione correctamente, en la **Figura 25** se muestra el proceso de fabricación.



a)



b)



c)



d)



e)

**Figura 25:** proceso de fabricación del mecanismo

a) Pieza para prueba; b) Preparado de la pieza; c) Rasurado para mecanismo; d) Aplicación de fibra de carbono; e) Resultado.

Fuente: propia



**Figura 26:** Resultado de prueba del mecanismo

Fuente: propia

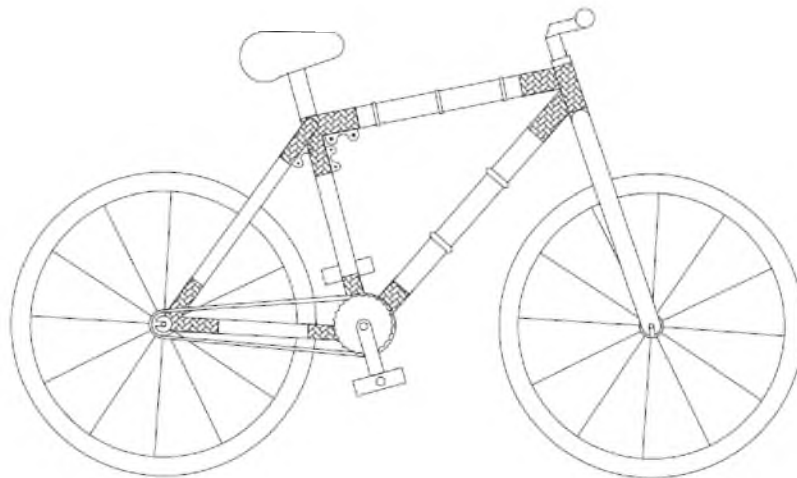
# Capítulo 6

---

## Ejecución del diseño

### 6.1 Proyección del vehículo

Los análisis y ensayos anteriores dieron conclusión al trabajo de búsqueda de innovación, después de haber diseñado el mecanismo se comenzó a proyectar el trabajo en planos y modelos, primeramente se realizó un boceto digital de cómo quedaría el vehículo ya construido con sus características propias para tener la idea más aterrizada y con base en ello trabajar el modelo real (ver **Figura 27**).



**Figura 27:** Boceto digital del vehículo

Fuente: propia

Después de realizar el modelo se elaboró el plano en 2d del cuadro del vehículo con las dimensiones reales del vehículo el cual fue un rodada 26 (ver **Figura 28**).

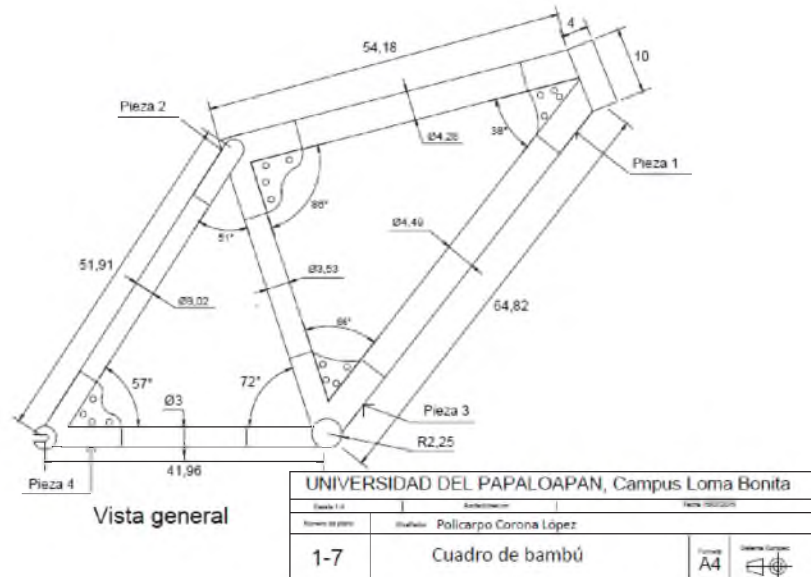


Figura 28: plano del cuadro con las medidas reales para su fabricación.

Fuente: propia

Posteriormente a la realización del plano se elaboró el modelo 3D del mecanismo para el ensamble del bambú para tener una imagen más clara del ensamblaje del cuadro la **Figura 30** muestra el modelo a escala.

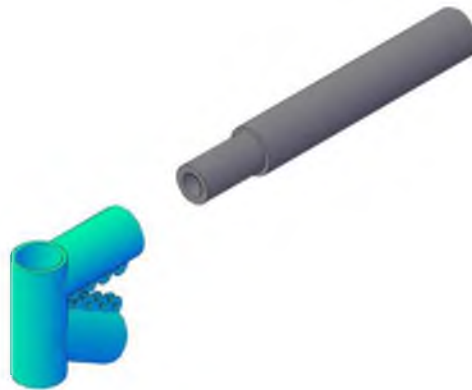


Figura 29: Modelo 3D del mecanismo de ensamblaje.

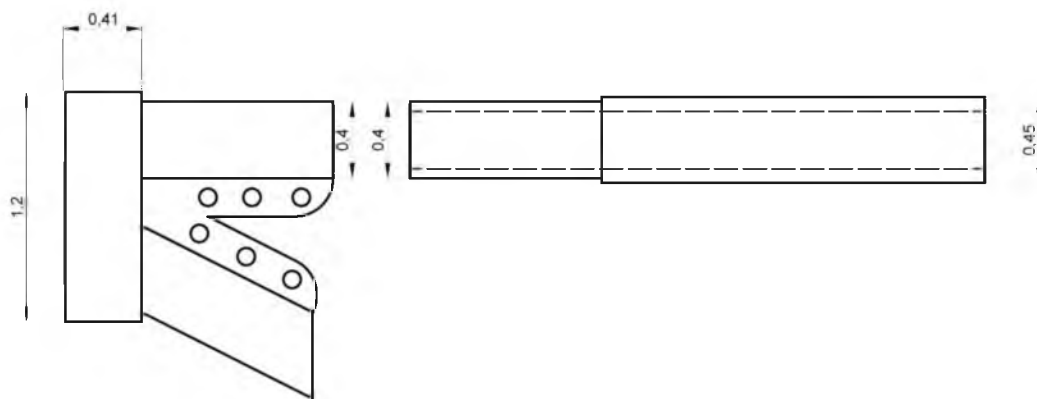
Fuente: propia

Con los planos elaborados y el modelo del mecanismo de ensamble se comenzó a construir el cuadro para el producto final y así realizarle las pruebas físicas de resistencia.

## 6.2 Estandarización de las medidas de ensamble

La especie de bambú *Dendrocalamus Strictus* cuenta con rizomas (varas de bambú) con un diámetro que va desde los 3 cm hasta 8 cm, y una pared de 1 cm aproximadamente de grosor, lo cual permitió hacer una estandarización para las medidas del diámetro de ensamble en las uniones, así ayudando en la innovación de nuestro producto.

El diámetro estándar de la entrada del ensamble será de 4 cm, y la ventaja que tenemos al utilizar este bambú es que se puede lograr el diámetro con rizomas de diversas medidas, por ejemplo si encontramos un bambú que su diámetro sea de 4.5 mm, con la ayuda de un torno se pueden reducir las paredes y dejar el diámetro del ensamble de los 4 cm requeridos, incluso hasta un bambú de un diámetro de 5 cm se puede reducir a los 4 cm, esto contribuye a poder utilizar rizomas de diversos diámetros para cuando se tenga la necesidad de reemplazar algún tubo dañado del vehículo sin la necesidad de remplazar la pieza fabricada de fibra de carbono, la **figura 30** muestra la estandarización del ensamble.



**Figura 30:** Estandarización del diámetro del bambú.

Fuente: propia

Después de consolidar la idea de la estandarización del diámetro de ensamble, se realizó un pequeño ensayo con un torno de madera para ver si al trabajar el bambú no se

desfibraba, la **Figura 31** muestra el trabajo de estandarización del bambú, el cual el resultado fue un rotundo éxito, ya que las fibras del bambú resistieron el trabajo de torno con la gurbia.



**Figura 31:** Trabajo de torneado para estandarizar el diámetro.

Fuente: propia

### **6.3 Construcción del producto final**

Habiendo realizado todos los ensayos y pruebas previas a la construcción del producto final, se procedió a la realización de este.

Lo primero que se realizó para elaborar el producto final fue seccionar todos los bambúes en las medidas que se utilizarían, en la Figura 32 se muestran las imágenes del bambú cortado a las medidas necesarias.



**a)**



**b)**

**Figura 32:** Seccionado del bambú, a) Rizoma de bambú completo, b) Bambú cortado y marcado según su medida.

Fuente: propia

Después de cortado el bambú a medida, se tomaron partes de un cuadro de bicicleta en desuso para utilizarlo como molde para el producto final, se tomaron las partes a utilizar y se colocaron en el molde para posteriormente comenzarlas a unir y fabricar el cuadro de la bicicleta de bambú, en la Figura 33 se muestra parte del procedimiento.



**Figura 33:** Principio de la fabricación del producto final.

Fuente: propia

Así se siguió realizando el procedimiento de fabricación del producto final, se fueron uniendo todas las piezas de bambú y de metal con resina de poliéster hasta que se obtuvo la base del cuadro como se muestra en la Figura 34.



**Figura 34:** Molde del producto final

Fuente: propia

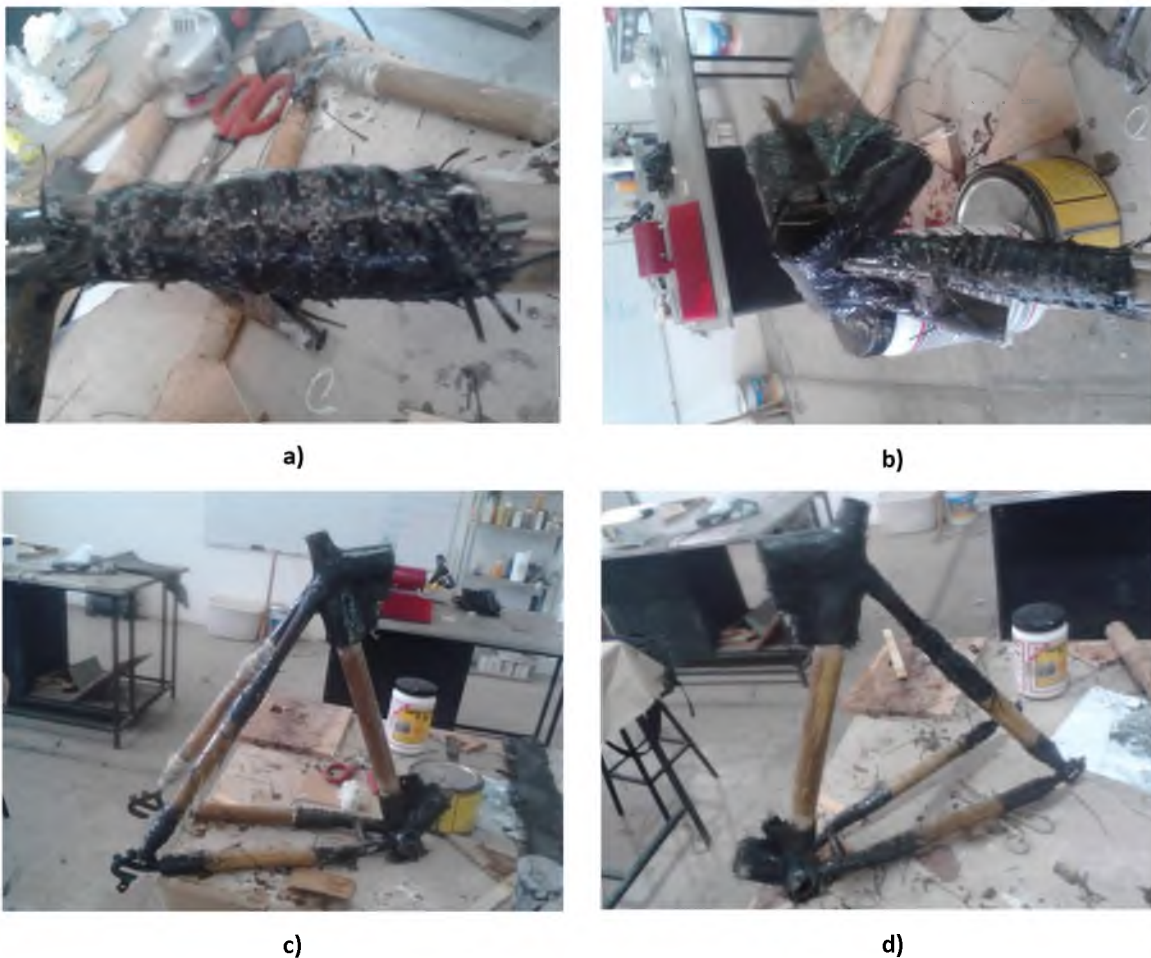
Después de tener lista la base de bambú y resina, se procedió a fabricar las uniones y mecanismos con la fibra de carbono, para lo cual se utilizó la báscula electrónica para pesar la mezcla entre resina y catalizador, la resina que se ocupó en este procedimiento fue resina epoxica, la cual se mezcló en un 85% de resina y un 15% de catalizador para resina epoxica para lograr su endurecimiento (ver Figura 35).



**Figura 35:** Preparación de la mezcla fibra-resina para el cuadro final

Fuente: propia

Con la resina lista para aplicarla, se dio inicio a elaborar las uniones del producto con la fibra de carbono, se colocaron pedazos pequeños de petatillo de fibra de carbono y se fueron colocando en las partes a unir con el bambú, con la brocha se le aplico la resina epoxica para que la fibra se fuera amoldando a la pieza y así crear los mecanismos de ensamble del cuadro de la bicicleta, se esperó alrededor de 3 horas para que las piezas comenzaran a secarse y endurecer la resina, y así quedara listo el mecanismo de unión, en la figura 36 se muestran las imágenes del procedimiento de los mecanismos.



**Figura 36:** Procedimiento de elaboración de los mecanismos, **a)** Colocado de la fibra, **b)** aplicación de resina a la fibra de carbono, **c)** Primeras piezas elaboradas **d)** parte trasera terminada.

Fuente: propia

Se continuó de igual manera con las demás partes del cuadro de bambú, hasta haber terminado todas las piezas de fibra de carbono, se dejaron reposar durante 3 días para

que la fibra-resina alcanzara una mayor resistencia, en la Figura 37 se muestra como quedo el cuadro terminado con las uniones de fibra de carbono.



**Figura 37:** Producto final de bambú.

Fuente: propia

Después de finalizado el cuadro se detallaron las piezas de fibra de carbono para darle un acabado estético, se le colocaron las piezas faltantes para armar la bicicleta y el vehículo quedo listo para su uso.

# CAPITULO 7

---

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1 CONCLUSIÓN.

Para el desarrollo de esta tesis se buscó trabajar con materiales compuestos y aleaciones con demás materiales que no han sido utilizados anteriormente en la universidad y aplicarlos en algún producto industrial, en este caso se aplicaron a una bicicleta, no se trabajó en el diseño de la bicicleta, ya que se tomó una convencional rodada 26, sin embargo se propuso el trabajo de hacerla de los materiales que se mencionan y hacerla desarmable para brindar innovación en estos productos.

Se propuso la utilización del bambú ya que es un material ecológico, renovable y está a nuestro alcance, además de ser de bajo costo, esto reforzándolo con la fibra de carbono para darle resistencia a las uniones ya que es un material de ingeniería, muy ligero y de alta resistencia y fácil manipulación, así con estos materiales volver un vehículo ecológico aún más ecológico.

Se le realizaron las pruebas físicas y mecánicas correspondientes a los materiales para crear dicho vehículo, y poder utilizar materiales que sean resistentes y seguros para su construcción, logrando resultados favorables y satisfactorios.

Se logró la construcción de un modelo real de la propuesta, fabricando un cuadro de bambú de manera manual, el vehículo construido fue un modelo experimental pero funcional, con características muy rústicas pero con buenos resultados.

Las ventajas de esta bicicleta en comparación con las convencionales de bambú es que es más fácil de reparar ahorrando costos de producción y tiempo, ya que si se llegase fracturar algún tubo del cuadro puede ser remplazado con facilidad y sin tanto esfuerzo.

## **7.2 Recomendaciones**

Para la construcción del cuadro de bambú con fibra de carbono se utilizaron piezas de metal para dar la forma de los extremos de la bicicleta como son telescopio base de ejes y del asiento, quedando como refuerzos de la fibra, sin embargo sería recomendable hacer las uniones solo de fibra sin utilizar metal, ya que la fibra tiene la resistencia para soportar las piezas externas de la bicicleta.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bamboo, Wal ker/Wetherhill, New York and Tokyo, Segunda edición 1972

Bambú su cultivo y aplicaciones en papel, construcción, ingeniería, artesanía. Hidalgo López, Oscar, Colombianos, Ltda., 1974.

Ciencia de los materiales para ingenieros. Pag. 488, James F. Shakelford .University of California, Davis, Stephen W. Isai, Antonio Miravete, primera edición 1978.

El bambú, estudio del mercado mundial vol. 1,  
[http://www.infoaserca.gob.mx/proafex/bambu\\_I\\_Y\\_II.pdf](http://www.infoaserca.gob.mx/proafex/bambu_I_Y_II.pdf), última consulta Mayo del 2015

El bambú: una alternativa agroecológica. María de los Ángeles Lorenzo, Programa “Desarrollo de alternativas agroecológicas para el uso del bambú en Cuba Asociación Cubana de Técnicos Agrícolas y Forestales (ACTAF), edición 2002.

El pequeño manual del bambú, Felix E. Diaz, <http://www.scribd.com/doc/114223291/El-Pequeño-Manual-del-Bambu-pdf#scribd>, ultima consulta Mayo del 2015.

Fibra de Carbono, Presente y futuro de un material revolucionario, revista metal actual, Carolina Llano Uribe, <http://www.metactual.com/revista/11/materialescarbono.pdf>, última consulta Mayo del 2015.

Fibra de carbono, historia <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.mx/2011/11/fibra-de-carbono.html>, última consulta Mayo del 2015.

Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales. Pag 804-805, William Smith. Editorial reverté S.A. 1999.

<http://www.educarchile.cl/ech/pro/app/detalle?ID=76708> última consulta Mayo del 2015

<http://bicihome.com/la-historia-de-las-bicicleta/> última consulta 20 de junio del 2015

<http://www.unr.edu.ar/noticia/3780/bicicletas-de-bambu-ingenieria-sustentable> última Mayo del 2015

Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales. Pag 551-553, William D. Callister, Jr tomo II, 2002.

Introducción al conocimiento de los materiales y sus aplicaciones. Pag 671-672, Segundo Barrose Herrero. Ana M. Camacho López. Cuadernos de la uned, 2004.

Los bambúes introducidos en mexico, <http://www.bambumex.org/paginas/introducidos.htm>, última consulta Mayo del 2015

Monografía del bambú, Comisión veracruzana de comercialización agrícola, 2011.

Procedia - Social and Behavioral Sciences 51 (2012) 777 – 781, Bamboo, from traditional crafts to contemporary design and architecture, 2013.

Procesamiento de plásticos. Pag 257-258, Morten - Jones. Limusa – Noriega Editores, 1999.

Revisión de las técnicas de preservación del bambú, Amarilis Burgos F, 2002.

## ANEXOS