



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

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

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

**CARLOS ANDRÉS SALAZAR CASTILLO**

**TEMA: DESARROLLO DE UN MATERIAL COMPUESTO DE  
FIBRAS NATURALES DE BAMBÚ PARA LA UTILIZACIÓN EN  
VIVIENDAS DE BAJO COSTO.**

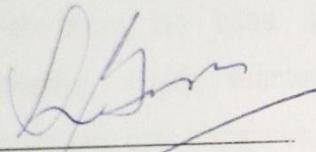
**DIRECTOR: PhD. LEONARDO GOYOS**

**CODIRECTOR: ING. ÁNGELO VILLAVICENCIO**

**SANGOLQUÍ, JULIO DEL 2015**

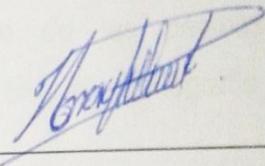
# CERTIFICACIÓN DE ELABORACIÓN DEL PROYECTO <sup>i</sup>

El proyecto "DESARROLLO DE UN MATERIAL COMPUESTO DE FIBRAS NATURALES DE BAMBÚ PARA LA UTILIZACIÓN EN VIVIENDAS DE BAJO COSTO", fue realizado en su totalidad por el señor Carlos Andrés Salazar Castillo, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.



PhD. Leonardo Goyos

DIRECTOR



Ing. Ángelo Villavicencio

CODIRECTOR

Sangolquí, 3 de Julio del 2015

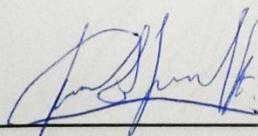
## AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

**Yo, Carlos Andrés Salazar Castillo**

**Declaro que:**

El proyecto de grado denominado “**DESARROLLO DE UN MATERIAL COMPUESTO DE FIBRAS NATURALES DE BAMBÚ PARA LA UTILIZACIÓN EN VIVIENDAS DE BAJO COSTO**”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.



---

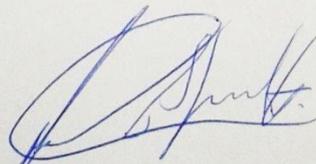
Carlos Andrés Salazar Castillo

Sangolquí, 3 de Julio del 2015

## AUTORIZACIÓN

**Yo, Carlos Andrés Salazar Castillo**

Autorizo a la Universidad De Las Fuerzas Armadas ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo **“DESARROLLO DE UN MATERIAL COMPUESTO DE FIBRAS NATURALES DE BAMBÚ PARA LA UTILIZACIÓN EN VIVIENDAS DE BAJO COSTO”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.



---

Carlos Andrés Salazar Castillo

Sangolquí, 3 de Julio del 2015

## DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Dios quien supo guiarme por el buen camino, darme fuerza para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

A mis padres quienes me han apoyado para llegar a estas instancias de mis estudios, ya que ellos siempre han estado presentes para apoyarme moral y psicológicamente.

Esta dedicatoria va para ustedes hermanos que yo sé que siempre voy a contar con su apoyo incondicional en las buenas y en las malas.

**Carlos Salazar**

## **AGRADECIMIENTOS**

Me gustaría agradecer mi director de Tesis PhD. Leonardo Goyos y a mi codirector de Tesis Ing. Ángelo Villavicencio por sus orientaciones, su manera de trabajar, su persistencia, su paciencia y su motivación han sido fundamentales para acabar con este proyecto

Por ultimo agradecemos a todas y cada una de las personas que de una u otra forma contribuyeron con la realización de este proyecto.

**Carlos Salazar**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>CERTIFICACIÓN DE ELABORACIÓN DEL PROYECTO .....</b>	<b>I</b>
<b>AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD .....</b>	<b>II</b>
<b>AUTORIZACIÓN .....</b>	<b>III</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>IV</b>
<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>V</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>IX</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>XI</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>XIV</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>XV</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 Definición del problema.....	2
1.3 Justificación.....	2
1.4 Objetivos .....	3
1.4.1 Objetivo general .....	3
1.4.2 Objetivos específicos .....	3
1.5 Alcance del proyecto.....	3
<b>CAPÍTULO II</b>	
2.1 Fibras naturales vegetales .....	4
2.2 Clasificación de las fibras naturales .....	4
2.3 Ventajas de las fibras naturales .....	5
2.4 Origen de las fibras naturales .....	5
2.4.1 Fibras provenientes del tallo .....	5
2.4.2 Fibras provenientes de la hoja. ....	8
2.4.3 Fibras provenientes de la cáscara .....	10
2.5 Estudios realizados con fibras naturales.....	11
2.6 Propiedades mecánicas de las fibras naturales.....	11
2.7 Bambú.....	12
2.7.1 Utilización del bambú .....	12
2.7.2 Clases de bambú .....	13
2.8 Guadua angustifolia .....	16

	vii
2.8.1 Ventajas .....	16
2.8.2 Principales productos.....	17
2.8.3 Partes de la Guadua Angustifolia.....	17
2.8.4 Zonas de cultivo .....	19
2.9 Material compuesto.....	20
2.9.1 Criterios para la elaboración del material compuesto .....	21
2.9.2 Direcciones de las fibras en el material compuesto .....	22
2.9.3 Usos de los materiales compuestos.....	23
2.10 Concreto reforzado con fibras naturales .....	25
2.11 Dosificación de concreto .....	27
2.11.1 Dosificación de un hormigón en volumen .....	27

### **CAPÍTULO III**

3.1 Recopilación de materia prima y obtención de fibra natural.....	29
3.2 Obtención de las fibras. ....	30
3.3 Flujograma de obtención de la fibra .....	32
3.4 Contenido de humedad de las fibras.....	33
3.5 Elaboración de moldes para ensayos de compresión, flexión y conductividad térmica con probetas de material compuesto.....	34
3.5.1 Moldes para ensayos de compresión .....	34
3.5.2 Moldes para ensayos de flexión.....	36
3.6 Elaboración de las probetas para ensayos a compresión, flexión y conductividad térmica .....	40
3.7 Material utilizado en las probetas para los ensayos a compresión, flexión y conductividad térmica .....	42
3.7.1 Material utilizado para probetas a compresión.....	42
3.7.2 Material utilizado en las probetas para los ensayos de flexión .....	46
3.7.3 Material utilizado para la elaboración de probetas para los ensayos de conductividad térmica .....	51

### **CAPÍTULO IV**

4.1 Ensayo a tracción de fibras de guadua .....	54
4.2 Ensayo a compresión del material compuesto.....	57
4.3 Ensayo a flexión del material compuesto.....	62
4.4 Ensayo térmico del material compuesto .....	67

**CAPÍTULO V**

5.4	Análisis Económico .....	72
5.1.1	Costos directos para la realización .....	72
5.1.2	Costos Indirectos .....	73
5.1.3	Total general de costos del proyecto .....	74

**CAPÍTULO VI**

6.1	Conclusiones.....	75
6.2	Recomendaciones .....	76

<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>77</b>
---------------------------	-----------

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA 1.</b> Propiedades mecánicas típicas de las fibras naturales .....	11
<b>TABLA 2.</b> Variedades de bambú cultivadas en el mundo .....	14
<b>TABLA 3.</b> Factores que afectan las propiedades de los concretos reforzados con fibra natural .....	26
<b>TABLA 4.</b> Cantidades para la confección de 1 <i>m</i> <sup>3</sup> de hormigones en volumen .....	28
<b>TABLA 5.</b> Medidas admisibles de los moldes para los especímenes .....	34
<b>TABLA 6.</b> Medidas admisibles de los moldes para los especímenes .....	36
<b>TABLA 7.</b> Medidas admisibles de los moldes para los especímenes .....	38
<b>TABLA 8.</b> Cantidad de material que se utilizó para la elaboración de las probetas (p1) .....	42
<b>TABLA 9.</b> Cantidad de material que se utilizó para la elaboración de las probetas (p2) .....	43
<b>TABLA 10.</b> Cantidad de material que se utilizó para la elaboración de las probetas (p3) .....	44
<b>TABLA 11.</b> Cantidad de material que se utilizó para la elaboración de las probetas (p4) .....	45
<b>TABLA 12.</b> Cantidad de material que se utilizó para la elaboración de las probetas (p5) .....	47
<b>TABLA 13.</b> Cantidad de material que se utilizó para la elaboración de las probetas (p6) .....	48
<b>TABLA 14.</b> Cantidad de material que se utilizó para la elaboración de las probetas (p7) .....	49
<b>TABLA 15.</b> Cantidad de material que se utilizó para la elaboración de las probetas (p8) .....	50
<b>TABLA 16.</b> Cantidad de material que se utilizó para la elaboración de las probetas (p9) .....	52
<b>TABLA 17.</b> Ensayo a tracción de las fibras de guadua .....	55
<b>TABLA 18.</b> Resultados del primer ensayo .....	58
<b>TABLA 19.</b> Resultados del segundo ensayo .....	58
<b>TABLA 20.</b> Resultados del tercer ensayo .....	59

	x
<b>TABLA 21.</b> Resultados del cuarto ensayo.....	60
<b>TABLA 22.</b> Esfuerzo máximo vs porcentaje de fibra .....	61
<b>TABLA 23.</b> Resultados del quinto ensayo .....	63
<b>TABLA 24.</b> Resultados del sexto ensayo .....	63
<b>TABLA 25.</b> Resultados del séptimo ensayo .....	64
<b>TABLA 26.</b> Resultados del octavo ensayo .....	65
<b>TABLA 27.</b> Esfuerzo máximo vs porcentaje de fibra .....	66
<b>TABLA 28.</b> Determinación del coeficiente de conductividad $\lambda$ del material compuesto .....	68
<b>TABLA 29.</b> Determinación del coeficiente de conductividad $\lambda$ de las fibras de bambú.....	70
<b>TABLA 30.</b> Costos directos en la tesis .....	72
<b>TABLA 31.</b> Costos indirectos del proyecto.....	73
<b>TABLA 32.</b> Valor total para realizar mi proyecto .....	74

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1.</b> Clasificación de fibras naturales según su origen .....	4
<b>FIGURA 2.</b> Planta de yute .....	6
<b>FIGURA 3.</b> Plantación de lino .....	6
<b>FIGURA 4.</b> Plantas de bambú .....	7
<b>FIGURA 5.</b> Caña de azúcar .....	8
<b>FIGURA 6.</b> Planta de yuca .....	9
<b>FIGURA 7.</b> Plantación de plátano.....	9
<b>FIGURA 8.</b> Fibra de coco .....	10
<b>FIGURA 9.</b> Construcciones con bambú.....	13
<b>FIGURA 10.</b> Guadua angustifolia .....	16
<b>FIGURA 11.</b> Culmos o tallos.....	18
<b>FIGURA 12.</b> Zonas de cultivo de bambú .....	20
<b>FIGURA 13.</b> Material compuesto .....	21
<b>FIGURA 14.</b> Clasificación de los materiales compuestos por tipo, orientación y geometría al refuerzo .....	23
<b>FIGURA 15.</b> uso de los materiales compuestos .....	23
<b>FIGURA 16.</b> Guadua almacenada de 8,9 cm de diámetro .....	29
<b>FIGURA 17.</b> Guadúa cortada en pedazos de 3 m de longitud.....	30
<b>FIGURA 18.</b> Obtención de fibras con cepillo manual de carpintería.....	31
<b>FIGURA 19.</b> Fibra de guadua 2 cm de longitud.....	31
<b>FIGURA 20.</b> Flujoograma de obtención de la fibra .....	32
<b>FIGURA 21.</b> Humedad relativa de la fibra .....	33
<b>FIGURA 22.</b> Proceso para la elaboración del molde para ensayos de compresión .....	35
<b>FIGURA 23.</b> Proceso para la elaboración del molde para ensayos de flexión .....	37
<b>FIGURA 24.</b> Proceso para la elaboración del molde para ensayos de flexión .....	39
<b>FIGURA 25.</b> Recipiente cilíndrico .....	40
<b>FIGURA 26.</b> Balanza de precisión.....	40
<b>FIGURA 27.</b> Proceso para la elaboración de las probetas a compresión....	41

	xii
<b>FIGURA 28.</b> Proceso para la elaboración de las probetas a flexión .....	41
<b>FIGURA 29.</b> Proceso para la elaboración de las probetas para ensayos de conductividad térmica .....	41
<b>FIGURA 30.</b> Probetas para ensayo a compresión .....	46
<b>FIGURA 31.</b> Probetas para ensayo a flexión .....	51
<b>FIGURA 32.</b> Probetas para ensayo de conductividad térmica.....	53
<b>FIGURA 33.</b> Fibras para los ensayos .....	54
<b>FIGURA 34.</b> Ensayo de fibras de guadua a tracción .....	54
<b>FIGURA 35.</b> Esfuerzo máximo vs longitud transversal .....	56
<b>FIGURA 36.</b> Ensayo de compresión del material compuesto .....	57
<b>FIGURA 37.</b> Grafica porcentaje de fibra vs esfuerzo máximo .....	61
<b>FIGURA 38.</b> Ensayo de flexión del material compuesto .....	62
<b>FIGURA 39.</b> Grafica porcentaje de fibra vs esfuerzo máximo .....	66
<b>FIGURA 40.</b> Ensayo de conductividad térmica del material compuesto .....	67

## ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO “A”**. Norma inen 2518, morteros para unidades de mampostería.  
.....**¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- ANEXO “B”**. Planos de moldes para ensayos a compresión..... **¡ERROR!  
MARCADOR NO DEFINIDO.**
- ANEXO “C”** Norma inen 198, determinación de la resistencia a flexión de  
morteros.....**¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- ANEXO “D”**. Planos de moldes para ensayos a flexión..... **¡ERROR!  
MARCADOR NO DEFINIDO.**
- ANEXO “E”**. Planos de moldes para ensayos de conductividad térmica.  
.....**¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

## RESUMEN

En el presente proyecto, se realizó una investigación del comportamiento de las fibras de bambú mezcladas con concreto, obteniendo como resultado un material compuesto que podría ser utilizado para la construcción de viviendas de bajo costo, debido a la facilidad de encontrar estas fibras en el Ecuador y a sus buenas propiedades mecánicas. En la primera etapa para la construcción del material compuesto, se determinó las propiedades mecánicas de las fibras de bambú, obteniendo como resultado que el esfuerzo máximo a la rotura es mayor en las fibras que tienen un ancho aproximado de 10 mm, después definimos las proporciones adecuadas de concreto con fibra de bambú para lograr que los materiales se adhieran de forma adecuada. Finalmente, se procedió a construir las probetas con un porcentaje de fibras de bambú de 11,11% para la realización de los ensayos mecánicos y térmicos basados en la Norma INEN 198, obteniendo como resultados en los ensayos de compresión un valor de 4,01 MPa y en la flexión 1,67 MPa, siendo estos los valores máximos de resistencia a compresión y flexión respectivamente. En los ensayos térmicos, se determinó la conductividad térmica del material compuesto que es  $0,287 \text{ W / } ^\circ \text{K m}$  y la conductividad térmica de las fibras de bambú que es  $0,038 \text{ W / } ^\circ \text{K m}$ , siendo el material compuesto un material aislante y las fibras de bambú presentando mejor coeficiente de conductividad térmica que fibras de algodón, limo, cáñamo y lana de oveja, por esto el material compuesto con fibras de bambú es adecuado para la construcción de viviendas de bajo costo.

### Palabras clave:

- FIBRAS DE BAMBÚ
- MEZCLA CONCRETO FIBRA
- MATERIAL COMPUESTO
- ENSAYOS MECÁNICOS
- ENSAYOS TÉRMICOS

## ABSTRACT

In this project, an investigation about the behavior of bamboo fibers mixed with concrete was done, obtaining as result a composite material that could be used to build low-cost houses because of the ease of finding these fibers in Ecuador and also, because of their good mechanical properties.

In the first step for construction of composite material, mechanical properties of bamboo were determined, obtaining as result, that the maximum stress at ruptures is higher in the fibers that have a width of 10 mm, after that, we defined the suitable proportions of concrete with bamboo fiber to achieve the materials can adhere in a properly form.

Finally, we proceeded to construct the samples with an 11.11 % of bamboo fibers for performing mechanical and thermal tests based on the INEN norm 198. In the compression tests the result obtained was 4.01 MPa and in the flexion 1.67 MPa, these are the maximum values of compressive strength and bending.

In the thermal tests was determined that thermal conductivity of composite material that is 0.287 W / °Km and the thermal conductivity of bamboo fibers that is 0.038 W / °K, being the composite material an insulating and the bamboo fibers showing a better thermal conductivity coefficient than the cotton, slime, hemp fibers and sheep wool, for this, the composite material is properly to build low-cost houses.

### Keywords

- **BAMBOO FIBERS**
- **MIX CONCRETE FIBER**
- **COMPOSITE MATERIAL**
- **MECHANICAL TESTS**
- **THERMAL TESTS**

## NOMENCLATURA

**INEN:** Servicio Ecuatoriano de Normalización

**L:** espesor de transferencia en la placa

**P1:** Probeta uno

**P2:** Probeta dos

**P3:** Probeta tres

**P4:** Probeta cuatro

**P5:** Probeta cinco

**P6:** Probeta seis

**P7:** Probeta siete

**P8:** Probeta ocho

**Qconv:** Calor transferido Ideal

**Qajust:** Calor transferido Real

**T1:** Temperatura del calefactor

**T2:** Temperatura de la guarda

**T3:** Temperatura de placa fría de ensayo

**T4:** Temperatura de placa fría de apoyo

**Tr:** Temperatura del refrigerante

**V1:** Voltaje de la resistencia del calefactor

**V2:** Voltaje de la resistencia de la guarda

**$\lambda$ conv:** Coeficiente de transferencia de calor Ideal

**$\lambda$ ajust:** Coeficiente de transferencia de calor Real

# CAPÍTULO I

## GENERALIDADES

### 1.1 Antecedentes

Actualmente, la industria promueve la investigación de diferentes tipos de materiales compuestos, que presenten mayores ventajas reemplazando las materias primas más utilizada en el campo de la construcción, tales como: el metal, fibras de carbono y vidrio que son dañinas para el medio ambiente debido al manejo inadecuado de los recursos.

Debido a esto y al crecimiento de la población en el Ecuador, el estado promueve proyectos del buen vivir para familias de escasos recursos, que no cuentan con el suficiente dinero para la construcción de viviendas con materiales comunes, por esto la investigación tiene como propósito analizar nuevas tecnologías con materias primas alternativas que se encuentren dispersas por la mayor parte del territorio ecuatoriano como el bambú, que es utilizado actualmente como sustituto de la madera en la construcción.

Por este motivo las fibras de bambú, pueden ser utilizadas como relleno en elementos constructivos, es decir bloques, ladrillos entre otros, logrando disminuir el peso del elemento, aumentar su capacidad de aislamiento y disminuir su costo, sin un sacrificio importante de la resistencia.

## **1.2 Definición del problema**

En la universidad la investigación tecnológica se ha convertido en una de las principales prioridades, facilitando a los estudiantes proyectos innovadores que contribuyen al beneficio del país, para esto el presente proyecto pretende reducir los costos de construcción y el impacto ambiental.

### **Problema:**

Debido a la diversidad de circunstancias, como es el crecimiento de la población en sectores rurales que carecen de fuentes económicas estables y el impacto ambiental que representan los materiales comunes y a que no hay en el medio materiales de concreto reforzados con fibras de bambú para la construcción de viviendas este proyecto busca el desarrollo de un material compuesto proporcione las siguientes características: menor peso, reducción de costos e impacto sobre el medio ambiente, a la vez que incrementa la capacidad aislante de la vivienda.

## **1.3 Justificación**

La Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, es una institución que busca la excelencia académica, para lo cual desarrolla proyectos innovadores con la ayuda de personal capacitado, que son la guía para la formación de los futuros profesionales, por lo cual el presente proyecto quiere cubrir las necesidad de viviendas de bajo costo en base al crecimiento de la población que experimenta nuestro país y la poca capacidad de poder adquisitivo.

Por este motivo, es importante la generación de nuevas tecnologías que reduzcan los costos para la construcción de casas, aprovechado de forma adecuada los recursos presentes en el país.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

Realizar el desarrollo de un material compuesto de fibras naturales de bambú para la utilización en viviendas de bajo costo.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Determinar las propiedades mecánicas de las fibras de bambú.
- Definir la mezcla entre concreto y fibras de bambú.
- Establecer las propiedades mecánicas y conductivas del compuesto.

## **1.5 Alcance del proyecto**

En el presente proyecto se determinaran las propiedades mecánicas de la fibra de bambú para empezar a determinar la composición más adecuada del material compuesto concreto – fibras de bambú.

Con el material compuesto obtenido se realizan ensayos con la finalidad de determinar las propiedades mecánicas y térmicas aislantes. Se procederá a realizar un análisis de los resultados obtenidos en los ensayos con la finalidad de entregar un material compuesto adecuado para ser utilizado en viviendas de bajo costo, en resumen se entregaran:

- Propiedades mecánicas de las fibras de bambú
- Dosificación del material compuesto
- Propiedades mecánicas y conductivas del material
- Compuesto concreto – fibras de bambú

## CAPÍTULO II

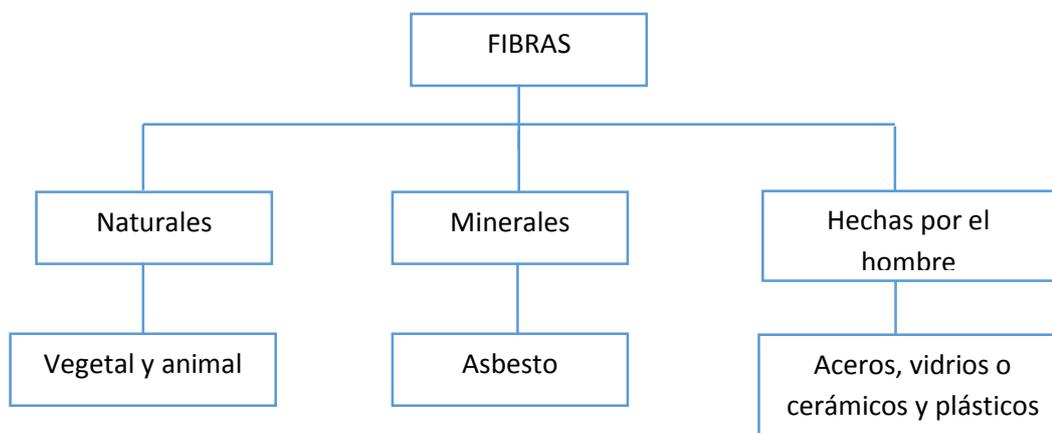
### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Fibras naturales vegetales

Históricamente, las fibras naturales eran utilizadas para reforzar varios materiales de construcción o bien para la producción de material textil, por ejemplo la paja se empleaba como refuerzo en los adobes de arcilla para controlar la tensión por el secado y reducir el agrietamiento. Sin embargo, es hasta años recientes que los científicos se han dedicado a estudiar el uso de este tipo de fibras como refuerzo en el concreto (Juarez, 2002).

#### 2.2 Clasificación de las fibras naturales

Las fibras pueden ser clasificadas de acuerdo a su origen (Figura 1):



**Figura 1. Clasificación de fibras naturales según su origen**

**Fuente: (Juarez, 2002)**

### **2.3 Ventajas de las fibras naturales**

Su principal ventaja es la amplia disponibilidad en los países subdesarrollados, este grupo de fibras naturales tiene un bajo costo de producción en comparación con los otros tipos de fibras, además las fibras naturales se pueden obtener usando la mano de obra disponible en la localidad y pueden ser procesadas química o mecánicamente para mejorar sus propiedades, también se requiere menos energía en su proceso de extracción (Juarez, 2002).

### **2.4 Origen de las fibras naturales**

Las fibras naturales pueden provenir principalmente del tallo y de las hojas de las plantas, también puede obtenerse fibras de la cáscara superficial de algunas frutas. Sin embargo, sólo algunas de estas fibras tienen un verdadero potencial para ser consideradas como refuerzo en el concreto (Juarez, 2002).

#### **2.4.1 Fibras provenientes del tallo**

El yute, el lino, el bambú, la caña de azúcar son ejemplos de fibras naturales que provienen del tallo de la planta.

- **El yute**

El yute (Figura 2), crece abundantemente en Bangladesh, China, India y Tailandia, este tiene una altura aproximada de 2.5 m y 25 mm de diámetro en la base del tallo, tiene un color entre amarillo a café y está formado por grupos de fibras que se mantienen unidas por la lignina de la planta. El proceso de extracción de la fibra es simple, la planta se corta en tramos, se agrupa y se sumerge en agua por cuatro semanas para que se sature, esta fibra se extrae manualmente y se deja secar al sol (Juarez, 2002).



**Figura 2. Planta de yute**

**Fuente: (DEYUTE, 2011)**

- **El lino**

Es esbelto y se mantiene erguido por sus fibras, su longitud varía de 0.15 a 0.65 m (Figura 3). Se considera que proporciona una fibra sumamente fuerte y tiene una alta absorción de agua (Juarez, 2002).



**Figura 3. Plantación de Lino**

**Fuente: (Cuidar la Salud, 2010)**

- **El bambú**

El bambú crece abundantemente en regiones tropicales y subtropicales, es también común en América Latina y llega a tener una altura de hasta 15 m, su diámetro varía de 25 a 100 mm (Figura 4). Las fibras representan del 60 al 70% de su peso y se concentran en la parte exterior del bambú (Juarez, 2002).



**Figura 4. Plantas de bambú**

**Fuente: (Savitari, 2008)**

- **La caña de azúcar**

El bagazo es el residuo fibroso que se obtiene de la caña de azúcar, después de la extracción del jugo. Llega a crecer más de 6 m de alto dependiendo de la especie y del área de cultivo, tiene un diámetro de alrededor de 60 mm (Figura 5), el cultivo generalmente se realiza en las regiones húmedas tropicales y subtropicales (Juarez, 2002).



**Figura 5. Caña de azúcar**  
**Fuente: (AgroNoticias, 2012)**

#### **2.4.2 Fibras provenientes de la hoja.**

Las fibras naturales que provienen de las hojas de la planta, son entre las más importantes: la yuca y el plátano.

- **La Yuca**

Las fibras de la yuca (Figura 6), se obtienen separándolas manualmente, pero en algunos casos se realiza mecánicamente, el aprovechamiento de las fibras de la yuca es principalmente para fabricar cestos, cordelería, sacos, sandalias, bolsas de mano, tejido artesanal, relleno de muebles, escobas y cepillos (Juarez, 2002).



**Figura 6. Planta de Yuca**  
**Fuente: (Ciencia y Ecología, 2008)**

- **El plátano**

Es una planta tropical de la familia de la banana (Figura 7), el tronco es fibroso y la fibra es fácilmente extraída a mano. Las fibras frescas son moderadamente fuertes y flexibles (Juarez, 2002).



**Figura 7. Plantación de Plátano**  
**Fuente: (Mongaby, 2012)**

### 2.4.3 Fibras provenientes de la cáscara

La principal fibra utilizada como refuerzo y que proviene de la superficie exterior de una fruta es la fibra del coco.

- **El coco**

La fruta está cubierta por una capa superficial, la cual tiene un gran contenido de fibras (Figura 8). La cáscara del coco consiste de una capa dura que contiene a las fibras, éstas son normalmente de 0.15 a 0.35 m de longitud, son usualmente extraídas disolviéndola en agua y también pueden ser extraídas por medios mecánicos (Juarez, 2002).



**Figura 8. Fibra de coco**

**Fuente: (ELBLOGVERDE, 2009)**

## 2.5 Estudios realizados con fibras naturales

En la actualidad, los materiales compuestos a base de matrices de cerámicos, plásticos y cemento se les incorpora fibras para mejorar sus propiedades físicas y mecánicas, tales como la resistencia a la tensión, compresión, agrietamiento, abrasión, tenacidad e impacto, por lo que la industria está interesada en la investigación de nuevos materiales reforzados con fibras para su uso en la construcción (Reyes, 2008).

## 2.6 Propiedades mecánicas de las fibras naturales.

Las fibras naturales deben tener adecuadas propiedades mecánicas para ser consideradas como posibles refuerzos, en los últimos 30 años los investigadores interesados en este tema realizaron un gran número de trabajos para obtener esta información, a continuación se presenta en la (Tabla 1), un resumen de las propiedades mecánicas de las fibras naturales utilizadas como refuerzo en el concreto (Vargas, 2007).

**Tabla 1**

### Propiedades mecánicas típicas de las fibras naturales de yute, lino, caña de azúcar, plátano y coco

Tipo de fibra	Longitud mm	Diámetro mm	Densidad absoluta $g/cm^3$	Módulo de elasticidad Gpa	Resistencia ultima a Tensión Mpa
Yute	1800	0.10- 0.20	1.02- 1.04	26 - 32	250 - 350
Lino	500	-----	-----	100	1000
Caña de azúcar	50 – 300	0.20- 0.40	1.20- 1.30	15 - 19	170 - 290
Plátano	-----	0.43	0.298	1.4	92
Coco	50 – 350	0.10- 0.40	1.12- 1.15	19 - 26	120 - 200

**Fuente:** (Vargas, 2007)

## **2.7 Bambú**

El bambú es una gramínea que pertenece a la familia del arroz, el trigo, el maíz y otros, estos crecen en asociaciones con árboles o arbustos, éstas se pueden encontrar en las zonas tropicales, subtropicales y templadas, representadas por más de 90 géneros y aproximadamente 1400 especies (Velasco, 2002).

Esta gramínea es un material versátil, de importantes características en su comportamiento mecánico en estructuras, una ventaja a su favor es la de ser un recurso natural renovable de rápido crecimiento y fácil manejo, que además aporta con importantes beneficios ecológicos durante su crecimiento (CORPEI, 2005).

Todas estas características y el haber incursionado en procesos de industrialización hacen al bambú un material con buenas expectativas hacia el futuro (CORPEI, 2005).

### **2.7.1 Utilización del bambú**

El bambú ha sido utilizado desde hace siglos en construcciones tradicionales especialmente en países como China y Japón (Figura 9). Esto se debe principalmente a su excelente relación resistencia/peso que lo hace tan importante como las mejores maderas, además es un extraordinario material debido a la fortaleza de su fibra, por este motivo se lo conoce como acero vegetal, las variedades de Bambú que son empleadas para construcciones de viviendas y otros objetos son en su mayoría especies exóticas introducidas desde Oriente (Lopez, 2009).

El bambú puede ser utilizado en la construcción de elementos estructurales pero debe cumplir una serie de normativas, lo que hace que su uso en determinados países sea poco frecuente, sin embargo desde el punto de vista estructural presenta mayores ventajas que las maderas como el roble

o el pino. Por lo general, el uso del bambú en las construcciones en países europeos, se centra en materiales de acabados como suelos, revestimientos de paredes o incluso terminaciones de fachada (Arquitectura y Ciudad, 2014).



**Figura 9. Construcciones con bambú**

**Fuente: (Sanz, 2012)**

### **2.7.2 Clases de bambú**

De acuerdo con datos encontrados en diferentes estudios sobre el Bambú (Tabla 2), existe una diversidad de clases con sus nombres científicos, vulgares, procedencia y grosor usados, en Japón, la India, Taiwán, China y América del Sur (Velasco, 2002).

Tabla 2

## Variedades de Bambú cultivadas en el mundo

NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE VULGAR	LUGAR DE ORIGEN	DIAMETRO
<i>Phyllostachis aurea</i>	Tacuarita-Tacuara-gasan chiku	Este de China	10 a 70 mm
<i>Phyllostachis bambusoides</i>	Caña de la India-Madake	China e India	40 a 130 mm
<i>Phyllostachis nigra</i>	Caña negra- Kuro chiku	Taiwán y China	10 a 60 mm
<i>Phyllostachis heterocyda pubescens</i>	Moso	China	60 a 150 mm
<i>Bambusa vulgaris</i>	Bambú gigante	Japón	40 a 120 mm
<i>Bambusa tuldoidea</i>	Bambú- Take	China	20 a 60 mm
<i>Bambusa vulgaris vitatta</i>	Bambú amarillo	Sur de China	40 a 120 mm
<i>Phyllostachis heterocyda pubescens</i>	Moso	China	60 a 150 mm
<i>Bambusa vulgaris</i>	Bambú gigante	Japón	40 a 120 mm
<i>Bambusa tuldoidea</i>	Bambú- Take	China	20 a 60 mm
<i>Bambusa vulgaris vitatta</i>	Bambú amarillo	Sur de China	40 a 120 mm
<i>Arundinaria amabilis</i>	Caña japonesa- Tonkin	China y Japón	10 a 35 mm
<i>Arundinaria japonica</i>	Caña japónica	Japón	5 a 20 mm

Continua 

Chusquea culeou	Colihue	Sur de Chile y Argentina	10 a 35 mm
Pleioblastus fortunei	Shima dake- Chigo sasa	Japón	7 a 20 mm
Bambusa Sp.	Bambú largo	Delta del Paraná	15 a 40 mm
Gen Sp.	Totora, Caña boliviana o Chuki	Bolivia Lago Titicaca	7 a 25 mm
Guadua weberbaueri	Caña Guadua	Región Amazónica- Brasil	40 a 150 mm
Guadua sarcocarpa	Caña Guadua	Perú	60 a 150 mm
Guadua paniculata	Caña Guadua	México	40 a 80 mm
Guadua amplexifolia	Caña guadua o guadua vulgaris	Centroamérica y Brasil	40 a 120 mm
Guadua angustifolia	Tacuaruzú o Tacuara, Guazú, Caña brava o Caña Guadua	Sur de Venezuela, Colombia y Ecuador	60 a 250 mm

**Fuente:** (Velasco, 2002)

Como se puede observar la cantidad de variedades que existen en el mundo y los nombres que ellas toman, demuestra la importancia de esta planta y en el Ecuador la especie más común que es utilizada para fines constructivos, es la denominada Guadúa angustifolia (Velasco, 2002).

## 2.8 Guadua angustifolia



**Figura 10. Guadua Angustifolia**

**Fuente: (Bamboo Society of Australia, 2014).**

La Caña guadua (Figura 10), es una gramínea gigante considerada una especie de Bambú, reconocida también por nuestros campesinos como caña guadua, caña brava o por su nombre científico “GUADUA ANGUSTIFOLIA” (Velasco, 2002).

### 2.8.1 Ventajas

Con relación a todos los tipos de madera, la caña Guadua tiene muchas ventajas como el menor ciclo de cosecha, facilidad para su transportación, baja inversión en periodo de cultivo en cada hectárea de terreno, mayor densidad de cultivo, además tiene muchísimos recursos naturales como captar carbono, expeler oxígeno, llama la lluvia y sirve como abono orgánico, también es utilizada en la construcción de cercas, vallas, andamios y puntales (Velasco, 2002).

## **2.8.2 Principales productos**

La *Guadua angustifolia* tiene fibras naturales muy fuertes que permiten desarrollar productos industrializados tales como paneles, aglomerados, pisos, laminados, esteras, pulpa y papel es decir productos de calidad que podrían competir con otros materiales en el mercado nacional e internacional.

Es importante señalar que con el uso de la guadua en los procesos industriales anteriormente mencionados, se reduciría el impacto sobre los bosques nativos, porque la guadua pasa a ser un sustituto de la madera (CORPEI, 2005).

## **2.8.3 Partes de la Guadua Angustifolia**

En una *guadua angustifolia* se pueden distinguir las siguientes partes, rizoma, raíz, culmos o tallos, hojas, flores y frutos que se van a describir a continuación:

- **Rizoma**

La planta de bambú requiere de una base fuerte que soporte a los numerosos culmos aéreos que se elevan para sostener las ramas y sus hojas, este soporte vegetal está constituido por el rizoma, una serie de tallos subterráneos desde donde brotan cada uno de los culmos que dan forma visible a la planta del bambú. El rizoma también tiene como función el almacenaje de agua y alimentos que la planta requerirá en épocas de escases (BAMBUMEX, 2013).

- **Raíz**

La raíz tiene como función principal absorber agua, nutrientes y minerales del suelo para distribuirlos a toda la planta, las raíces del bambú como en muchas otras plantas siempre crecen a partir de los nudos, ya sea del rizoma o bien de los tallos o culmos aéreos, incluso pueden crecer desde los nudos de alguna rama. En algunas especies de bambú, las raíces de los bambúes por naturaleza son geotrópicas positivas, es decir su crecimiento se dirige hacia el suelo (BAMBUMEX, 2013).

- **Culmos o tallos**

El culmo o tallo (Figura 11), también se le puede nombrar como caña de bambú o culmo de bambú, los culmos no solo están reconocidos como los tallos aéreos de un bambú, sino que también tienen culmos todas las gramíneas y muchas otras plantas, asimismo los culmos son la parte que es utilizada para la elaboración de gran parte de los productos hechos de bambú (BAMBUMEX, 2013).



**Figura 11. Culmos o tallos**

**Fuente: (Cobos & León, 2007)**

- **Hojas**

En los bambúes como en muchas otras plantas, el concepto de hoja es muy diverso, pues en toda la planta de bambú se presentan varios tipos de ellas. En general las hojas son enteras, con una venación paralela (BAMBUMEX, 2013).

- **Flores**

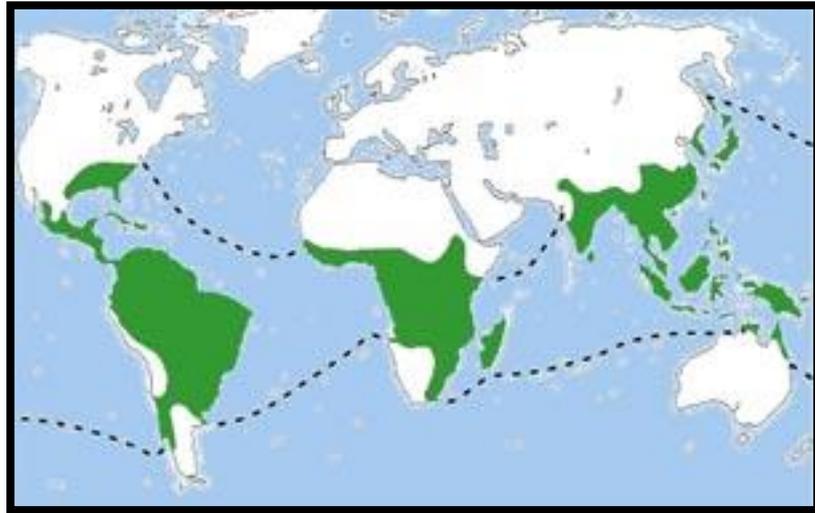
La flor de los bambúes siempre es microscópica y no es fácil observarla directamente como en muchas otras plantas, está formada por las estructuras reproductoras sexuales y algunas hojas modificadas. En los bambúes, la flor puede tener los dos sexos, o bien contener flores femeninas y masculinas en estructuras diferentes, todos los bambúes herbáceos tienen esta condición para su reproducción (BAMBUMEX, 2013).

- **Frutos**

Los frutos del bambú en general, son granos como todos los frutos de la familia de las gramíneas, los granos de los bambúes son relativamente parecidos en tamaño y forma a un grano de arroz y una vez maduros caen a los suelos (BAMBUMEX, 2013).

#### **2.8.4 Zonas de cultivo**

Alrededor del mundo (Figura12), se observan las plantaciones de bambú, específicamente en el Ecuador la guadúa angustifolia puede crecer en zonas entre los 0 y 1800 m sobre el nivel del mar, pero la planta muestra un mejor desarrollo cuando se encuentra a una altura que no pase los 100 msnm. La temperatura ideal para el cultivo de la guadúa está entre los 20 °C y 30 °C, no es recomendable que la temperatura sea menor a 18 °C porque no favorece con su desarrollo (CORPEI, 2005).



**Figura 12. Zonas de cultivo de bambú**

**Fuente: (Barbaro, 2007)**

## **2.9 Material compuesto**

Un material compuesto (Figura 13), es aquel que está formado por dos o más materiales distintos y la unión de estos presenta propiedades físicas superiores a las de los materiales que lo constituyen. Estos tipos de materiales los encontramos en la antigüedad cuando el hombre fabricaba adobes reforzados con paja, también existen materiales de uso común en la actualidad que son considerados como compuestos como el ladrillo, concreto, madera, también están los materiales modernos como son los compuestos sintéticos que existen en el mercado, como plásticos reforzados (Barrios, et al., 2011)



**Figura 13. Material compuesto**

**Fuente: (Rodríguez, 2012)**

Los materiales compuestos son basados en la unión de una matriz con un material de refuerzo que suele ser un tipo de fibra o un polvo. Las fibras reciben la tensión a la que se somete el material y debido a su gran módulo de elasticidad se adquieren propiedades mecánicas únicas (Lucena, 2009).

Un material compuesto no surge solamente de mezclar al azar componentes, si no que existe un diseño previo basado en suponer en principio las propiedades que el material tendrá, como resultado de las ventajas que ofrezca cada agregado. El uso que se le dé, está en relación de los componentes que constituyen al material, y las características que resulten de la combinación (Vargas, 2007).

### **2.9.1 Criterios para la elaboración del material compuesto**

El método de elaboración tiene especial importancia, pues influye de manera determinante en las características que el material compuesto tendrá; es decir que ciertos componentes tratados bajo un método de producción, generarán propiedades en el material compuesto que serán diferentes a las propiedades de un material compuesto formado por los mismos constituyentes, pero realizado bajo otro método (Vargas, 2007).

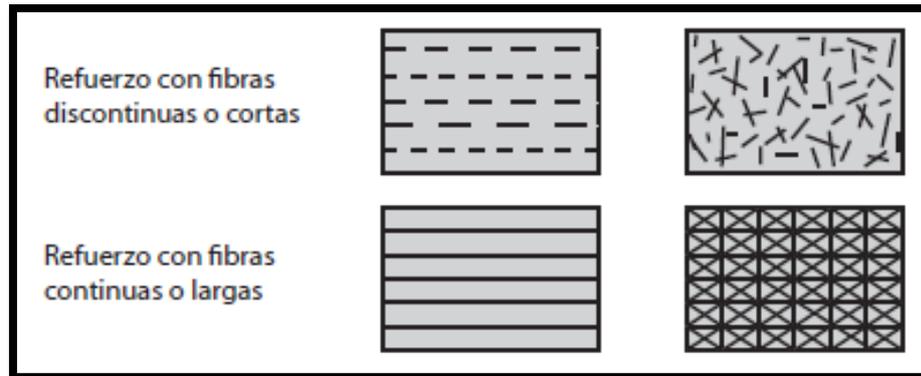
Existen tres criterios que se deben cumplir para que un material sea compuesto, las proporciones de ambos constituyentes deben ser razonables, estos deben tener diferentes propiedades y que estas sean diferentes a las propiedades del compuesto (Vargas, 2007).

El compuesto se produce por la mezcla de los constituyentes, es así que al hacer la mezcla de los componentes el método de fabricación del material compuesto es importante, desde la perspectiva en que sean combinados. Pueden ocurrir fenómenos físicos y químicos que comprometan el resultado final en las características del material como métodos de presión, temperatura, extrusión, mezclado manual, el simple hecho de agregar un componente antes que otro o el de tratar mediante procesos físicos o químicos a uno de los agregados previo a la unión en el compuesto (Reyes, 2008).

### **2.9.2 Direcciones de las fibras en el material compuesto**

La forma y dimensiones del refuerzo determinan las propiedades mecánicas del material compuesto (Figura 14), los refuerzos de partículas por lo general son del mismo tamaño en todas sus direcciones, donde su forma puede ser cualquier geometría regular o irregular, el arreglo de las partículas puede ser al azar o con orientación definida para fines prácticos, los refuerzos de las fibras se caracterizan por su longitud que es mayor que su sección transversal. Se pueden utilizar fibras largas o cortas, lo cual depende del tipo de refuerzo que se busque, pueden ser continuos o discontinuos. El refuerzo continuo suele encontrarse en forma unidireccional, y bidireccional si es en tejido; el refuerzo discontinuo suele ser al azar (Vargas, 2007).

Por lo general se fabrican materiales compuestos por la necesidad de obtener mejoras en las propiedades mecánicas de los materiales, incluso cuando solo se busca una mejora de las propiedades físicas, las propiedades mecánicas se pueden ver mejoradas como una consecuencia de la combinación de las propiedades individuales de cada material (Perez, 2005).

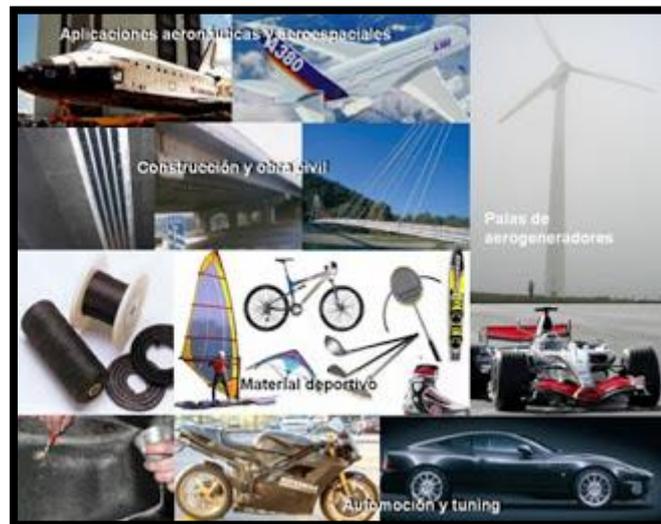


**Figura 14. Clasificación de los materiales compuestos por tipo, orientación y geometría al refuerzo**

**Fuente: (Estrada, 2010)**

### 2.9.3 Usos de los materiales compuestos

Actualmente son muchos los usos de los materiales compuestos (Figura 15), según (Vargas, 2007):



**Figura 15. Uso de los materiales compuestos**

**Fuente: (FibraPlus, 2014)**

- **Electrónica:** La mayoría de equipos eléctricos y electrónicos que se utilizan actualmente no serían práctica ni económicamente posibles sin materiales compuestos.
- **Deportes:** La amplia gama de propiedades disponibles en estos materiales, los ha hecho formar parte de todo tipo de deportes y equipos acuáticos, terrestres y actividades aéreas. Las ruedas de los patines, que son abrasivas, llevan poliuretano resistente. Las raquetas de tenis se modelan utilizando plásticos reforzados con fibras de vidrio, carbono, etc. Los esquís están formados por materiales compuestos laminados reforzados especialmente para eliminar las vibraciones a altas velocidades. Una alta tecnología avanzada como esta, es la que se aplica a las tablas de surf, sticks de hockey, veleros, canoas y otros equipos.
- **Medicina:** Los profesionales de este campo dependen de los materiales compuestos por ejemplo bolsas intravenosas, implantes de silicona, etc. Los distintos tipos de materiales permiten mejorar y en algunos casos prolongar vidas, como es el caso de corazones artificiales.
- **Transporte:** Para los automóviles y camiones de hoy, los materiales compuestos ofrecen una amplia variedad de beneficios, incluyendo durabilidad, resistencia a la corrosión, ligereza, cristales de seguridad y depósitos de combustible entre otros.
- **Aeronáutica:** Durante los últimos 50 años, la tecnología aeronáutica ha evolucionado, concediendo a los materiales compuestos un papel muy importante dentro de este campo. La ligereza de estos materiales permite proteger el combustible ante diferencias de presión ambiental.

- **Embalajes:** Cuando el problema de los embalajes es la resistencia, normalmente los materiales compuestos son la respuesta, algunas veces la única solución.
- **Construcción:** La facilidad de montaje y durabilidad hace que los materiales compuestos dentro de este campo, encuentren cada vez más aplicaciones.

## 2.10 Concreto reforzado con fibras naturales

Para elaborar un concreto reforzado con fibras naturales se debe tener en cuenta los agregados que forman más del 70% del volumen total de concreto, por lo cual no pueden ser tomados a la ligera, cuando se trata de escoger los agregados estos deben cumplir con una serie de características o especificaciones de acuerdo al tipo de concreto que se desea elaborar. Por lo tanto deben ser sustancias limpias, durables, duras, resistentes, libres de productos químicos absorbidos, revestimiento de arcilla u otros materiales finos en cantidades que puedan afectar la hidratación y la adherencia de la pasta de cemento (Reyes, 2008).

- **Cemento hidráulico:** El más común para fabricar concreto es el portland y consiste principalmente de silicatos de calcio hidráulico, también el concreto es un material compuesto que consiste esencialmente de un medio conglomerante formado por una mezcla de cemento y agua, dentro del cual se hallan ahogadas partículas o fragmentos de agregados que pueden ser la arena, la grava o escoria de acero de alto horno (Juarez, 2002).
- **Agua:** Para la preparación del concreto, el agua debe estar libre de sales y minerales siempre será preferible cualquier agua natural potable, también el agua para propósito de ensayo no necesita ser la misma que la que será utilizada en la construcción, excepto cuando se conoce o se sospecha que las propiedades del agua disponible para la

producción del concreto en el sitio de la construcción tiene un efecto medible sobre las propiedades del concreto. En ensayos normales, el agua limpia, potable es aceptable para las pruebas (Cedeño & Delgado, 2013).

- **Arena:** Puede ser natural o triturada, debe estar libre de materiales contaminantes, sales, arcilla o impurezas orgánicas, además de estar bien tamizada para obtener una mejor trabajabilidad y adherencia (Sotomayor, 2012).
- **Fibras naturales:** Pueden ser utilizadas de diversos tipos de fibras naturales, no puede generalizarse el contenido de fibra ni su longitud, ya que cada tipo tiene valores idóneos (Juarez, 2002).

En la (Tabla 3) se presentan los diferentes factores que pueden hacer variar las propiedades del concreto mezclado con fibras naturales:

**Tabla 3**

**Factores que afectan las propiedades de los concretos reforzados con fibra natural**

Factores	Variables
Tipo de fibra	Coco, sisal, maguey, caña de azúcar, bambú, yute, madera.
Geometría de la fibra	Longitud, diámetro, sección transversal, anillos y puntas.
Conformación de la fibra	Monofilamento, multifilamentos, rizado y nudos simples
Condiciones superficiales	Hongos, presencia de recubrimientos

Continua 

Propiedades de la matriz	Tipo de cemento, tipo de agregado y granulometría
Diseño de la mezcla	Contenido de agua, relación agua/cemento
Método de mezclado	Tipo de mezcladora, secuencia al agregar los ingredientes, método para agregar las fibras, duración y velocidad del mezclado

**Fuente:** (Juarez, 2002)

## 2.11 Dosificación de concreto

Los métodos de dosificación de concretos, tienen por finalidad encontrar las proporciones para mezclar los diferentes componentes de los mismos para conseguir mezclas que posean determinadas características de consistencia, resistencia, durabilidad, etc.

Ningún método de dosificación puede tener en cuenta la gran cantidad de factores que influyen en las propiedades del hormigón a conseguir. No existe un método único de dosificación, este depende de las condiciones que deba reunir el concreto (Martinez, 2011).

### 2.11.1 Dosificación de un hormigón en volumen

Este tipo de dosificación es la más antigua, fácil y cómoda en pequeñas obra donde la precariedad de medios obligue su realización manual. En la (Tabla 4) tenemos los valores que nos permiten calcular de manera sencilla los materiales necesarios para la confección de 1  $m^3$  de hormigones en volumen.

Tabla 4

Cantidades para la confección de 1 m<sup>3</sup> de hormigones en volumen

Dosificación o riqueza de cemento por metro cúbico de concreto (kg/m <sup>3</sup> )	Proporciones			Litros			Usos y empleos preferentes del hormigón
	Cemento	Arena	Grava	Cemento	Arena	Grava	
100	1	6	12	75	450	900	Rellenos
150	1	4	8	110	440	880	Zanjas, cimientos, grandes espesores
200	1	3	6	145	435	870	Muros de contención, pozos de cimentación
250	1	2,5	5	170	425	850	Pilares, soportes y prefabricados corrientes, pavimentos
300	1	2	4	207	415	830	Hormigones armados., muros especiales
350	1	2	3	240	480	720	Hormigones para estructuras, pilares, vigas
400	1	1,5	3	263	395	790	Forjados delgados, piezas a fatiga
450	1	1,5	2,5	290	435	725	Prefabricados especiales
500	1	1	2	360	360	730	Trabajos y obras muy especiales de gran control.

Fuente: (Martinez, 2011)

## CAPÍTULO III

### DESARROLLO DEL MATERIAL COMPUESTO

En este capítulo, se detalla el método experimental empleado para desarrollar los diferentes procesos de obtención del nuevo compuesto. Los procesos fueron realizados en los laboratorios de la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE).

#### 3.1 Recopilación de materia prima y obtención de fibra natural.

La fibra natural utilizada en este proyecto, fue un tipo de bambú llamada “Guadua Angustifolia” de alta disponibilidad en el Ecuador. La materia prima se obtuvo en la zona de Tumbaco en una distribuidora de guadúa, la misma que trae sus productos de Quevedo provincia de Los Ríos, el diámetro de este material es 8,9 cm en el culmo. (Figura 16)



Figura 16. Guadua almacenada de 8,9 cm de diámetro

### 3.2 Obtención de las fibras.

El procedimiento que se realizó para la obtención de las fibras es:

- Se comenzó con el corte de la guadua en pedazos de 3 m de largo (Figura 17), para luego realizar un aplastamiento de la caña y quitar las curvaturas que esta posee.



**Figura 17. Guadúa cortada en pedazos de 3 m de longitud**

- El siguiente paso, es cortar las tiras 30 cm de forma transversal, para que estas adquieran una forma rectangular y así hacer más fácil su manipulación.
- Se procedió a lavar la guadua para quitar las impurezas, obteniendo una fibra más limpia para que esta se adhiera al concreto con facilidad.
- Lo siguiente fue obtener las fibras, mediante la utilización de un cepillo manual de carpintería (Figura 18).



**Figura 18. Obtención de fibras con cepillo manual de carpintería**

- Por último se procedió a cortar las fibras en pedazos de pequeña longitud (Figura 19), para realizar la mezcla con el concreto.



**Figura 19. Fibra de guadua cortada en pedazos de pequeñas longitudes**

Obtener las fibras de bambú es un proceso complejo que no se ha desarrollado en el Ecuador por lo cual este proyecto consiste en realizar de forma fácil, económica y rápida este proceso de extracción, por este motivo el material más asequible que se puede utilizar para el relleno de bloques y ladrillos pueden ser los residuos del trabajo de preparación del bambú que se utiliza en las construcciones y este material se debería utilizar lo antes posibles porque podría perder su resistencia al ser mezclado con algún otro material.

### 3.3 Flujograma de obtención de la fibra

A continuación se presenta el flujograma para obtener la fibra de guadua (Figura 20):

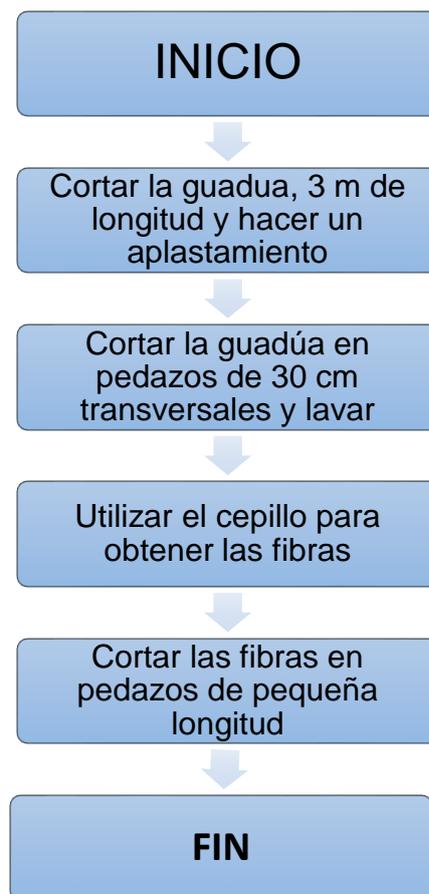


Figura 20. Flujograma de obtención de la fibra

### 3.4 Contenido de humedad de las fibras

Las fibras, pueden intercambiar humedad con el ambiente fácilmente, perdiendo o ganando humedad según las condiciones de exposición (Juarez, 2002).

Se puede apreciar en la (Figura 21), que el bambú tiene una humedad del 44% a una temperatura de 25,9 ° C, estos valores se determinaron con la exposición de las fibras al ambiente del laboratorio.



**Figura 21. Humedad relativa de la fibra**

### 3.5 Elaboración de moldes para ensayos de compresión, flexión y conductividad térmica con probetas de material compuesto

#### 3.5.1 Moldes para ensayos de compresión

El procedimiento consistió en el diseño y construcción de un molde cubico (INEN 2563, 2011), esta norma contiene las medidas requeridas para los moldes a compresión (Anexo A), utilizando cubos de tres compartimentos para las probetas (Tabla 5).

**Tabla 5**

#### Medidas admisibles de los moldes para los especímenes

<b>Moldes cúbicos</b>	
<b>Parámetro</b>	<b>Medida</b>
Distancia entre lados opuestos	50 mm
Altura de cada compartimiento	50 mm
Ángulo entre caras adyacentes	90 °

**Fuente:** (INEN 2563, 2011)

A continuación se muestra las fotos de la elaboración del molde para los especímenes de ensayo a compresión (Figura 22), las dimensiones de los mismos están representados mediante planos de construcción (Anexo B).



**Figura 22. Proceso para la elaboración del molde para ensayos de compresión**

### 3.5.2 Moldes para ensayos de flexión

El procedimiento consistió en el diseño y construcción de un molde tipo prisma (INEN 198, 1987), esta norma (Anexo C), establece las medidas requeridas para la construcción de los moldes para los ensayos a flexión (Tabla 6).

**Tabla 6**

#### Medidas admisibles de los moldes para los especímenes

<b>Moldes prismáticos</b>	
<b>Parámetro</b>	<b>Medida</b>
Longitud	160 mm
Altura compartimiento	40 mm
Profundidad	40 mm
Ángulo entre caras adyacentes	90 °

**Fuente** (INEN 198, 1987)

En la (Figura 23), se muestra las fotos de la elaboración del molde para los especímenes de ensayo a flexión, las dimensiones de los mismos están representados mediante planos de construcción (Anexo D).



**Figura 23. Proceso para la elaboración del molde para ensayos de flexión**

### 3.5.3 Moldes para ensayos de conductividad térmica

Para el diseño y construcción de los moldes para la realización de los ensayos de conductividad térmica (Cascante, 2015), establece las medidas requeridas para la realización de los moldes (Tabla 7).

**Tabla 7**

#### Medidas admisibles de los moldes para los especímenes

<b>Moldes prismáticos</b>	
<b>Parámetro</b>	<b>Medida</b>
Longitud	300 mm
Altura compartimiento	30 mm
Profundidad	300 mm
Ángulo entre caras adyacentes	90 °

Fuente: (Cascante, 2015)

En la (Figura 24), se muestra las fotos de la elaboración del molde para los especímenes de ensayo de conductividad térmica, las dimensiones de los mismos están representados mediante planos de construcción (Anexo E).



**Figura 24. Proceso para la elaboración del molde para ensayos de flexión**

### 3.6 Elaboración de las probetas para ensayos a compresión, flexión y conductividad térmica

Para la elaboración de las probetas (INEN 2518, 2010), se utilizó un recipiente cilíndrico de 241, 52  $cm^3$  (Figura 25) y una balanza de precisión de un gramo (Figura 26), con esto se logró medir la cantidad de material necesario para la mezcla de acuerdo a la tabla de dosificaciones (Tabla 4), todo esto se hizo en un recipiente totalmente seco para que no se altere su composición y de esta forma obtener una mezcla homogénea.



Figura 25. Recipiente cilíndrico



Figura 26. Balanza de precisión

La mezcla (Figura 27 a 29), se procedió a colocar poco a poco en los moldes para eliminar las burbujas de aire o vacío y al final se le quita el exceso de material para que quede de acuerdo a las medidas establecidas.



**Figura 27. Proceso para la elaboración de las probetas a compresión**



**Figura 28. Proceso para la elaboración de las probetas a flexión**



**Figura 29. Proceso para la elaboración de las probetas para ensayos de conductividad térmica**

### 3.7 Material utilizado en las probetas para los ensayos a compresión, flexión y conductividad térmica

En el presente proyecto se experimentó con distintos tipos de volúmenes de cemento, arena, agua y fibra de guadua, respetando la norma (INEN 2563, 2011), hasta conseguir la mejor proporción para hacer las probetas en los ensayos.

#### 3.7.1 Material utilizado para probetas a compresión

En las (Tablas 8 a 11), se puede apreciar los porcentajes de materiales utilizados para la elaboración de las probetas, que serán ensayadas a compresión.

**Tabla 8**

**Cantidad de material que se utilizó para la elaboración de las probetas número uno (P1)**

<b>Dosificación del material compuesto</b>			
<b>Material</b>	<b>Volumen</b>	<b>Peso</b>	<b>Porcentaje</b>
Cemento	241, 52 $cm^3$	178 gr	20 %
Arena	724,56 $cm^3$	624 gr	60 %
Fibra	0 $cm^3$	0 gr	0 %
Agua	241, 52 $cm^3$	67,2 gr	20 %
<b>Tamaño de fibra: 10 mm</b>			
<b>Orientación de la fibra: Aleatoria</b>			
<b>Peso del material compuesto: 191 gr</b>			
<b>Volumen del material compuesto : 125 <math>cm^3</math></b>			
<b>Densidad del material compuesto: 1,528 <math>\frac{gr}{cm^3}</math></b>			

Tabla 9

**Cantidad de material que se utilizó para la elaboración de las probetas número dos (P2)**

<b>Dosificación del material compuesto</b>			
<b>Material</b>	<b>Volumen</b>	<b>Peso</b>	<b>Porcentaje</b>
Cemento	241, 52 $cm^3$	178 gr	22,22 %
Arena	483,04 $cm^3$	416 gr	44.44 %
Fibra	120,76 $cm^3$	13 gr	11,11 %
Agua	241, 52 $cm^3$	67,2 gr	22,22 %
<b>Tamaño de fibra: 10 mm</b>			
<b>Orientación de la fibra: Aleatoria</b>			
<b>Peso del material compuesto: 188 gr</b>			
<b>Volumen del material compuesto: 125 <math>cm^3</math></b>			
<b>Densidad del material compuesto: 1,504 <math>\frac{gr}{cm^3}</math></b>			

Tabla 10

**Cantidad de material que se utilizó para la elaboración de las probetas número tres (P3)**

<b>Dosificación del material compuesto</b>			
<b>Material</b>	<b>Volumen</b>	<b>Peso</b>	<b>Porcentaje</b>
Cemento	241, 52 $cm^3$	178 gr	16,66 %
Arena	724,56 $cm^3$	624 gr	50 %
Fibra	241,52 $cm^3$	26 gr	16,66 %
Agua	241, 52 $cm^3$	67,2 gr	16,66 %
<b>Tamaño de fibra: 10 mm</b>			
<b>Orientación de la fibra: Aleatoria</b>			
<b>Peso del material compuesto: 179 gr</b>			
<b>Volumen del material compuesto: 125 <math>cm^3</math></b>			
<b>Densidad del material compuesto: 1,432 <math>\frac{gr}{cm^3}</math></b>			

Tabla 11

**Cantidad de material que se utilizó para la elaboración de las probetas número cuatro (P4)**

<b>Dosificación del material compuesto</b>			
<b>Material</b>	<b>Volumen</b>	<b>Peso</b>	<b>Porcentaje</b>
Cemento	241, 52 $cm^3$	178 gr	25 %
Arena	241, 52 $cm^3$	208 gr	25 %
Fibra	241,52 $cm^3$	26 gr	25 %
Agua	241, 52 $cm^3$	67,2 gr	25 %
<b>Tamaño de fibra: 10 mm</b>			
<b>Orientación de la fibra: Aleatoria</b>			
<b>Peso del material compuesto: 167 gr</b>			
<b>Volumen del material compuesto: 125 <math>cm^3</math></b>			
<b>Densidad del material compuesto: 1,336 <math>\frac{gr}{cm^3}</math></b>			

De acuerdo a la norma (INEN 198, 1987), las probetas deben tener una semana de secado para empezar con los ensayos.

Las probetas obtenidas (Figura 30), siguiendo el procedimiento establecido, tienen las características adecuadas para realizar los ensayos destructivos.



**Figura 30. Probetas para ensayo a compresión**

### **3.7.2 Material utilizado en las probetas para los ensayos de flexión**

A continuación (Tabla 12 a 15), la cantidad de material que se utilizó para elaborar las probetas para la realización de los ensayos a flexión.

Tabla 12

Cantidad de material que se utilizó para la elaboración de las probetas número cinco (P5)

<b>Dosificación del material compuesto</b>			
<b>Material</b>	<b>Volumen</b>	<b>Peso</b>	<b>Porcentaje</b>
Cemento	241, 52 $cm^3$	178 gr	20 %
Arena	724,56 $cm^3$	624 gr	60 %
Fibra	0 $cm^3$	0 gr	0 %
Agua	241, 52 $cm^3$	67,2 gr	20 %
<b>Tamaño de fibra: 10 mm</b>			
<b>Orientación de la fibra: Aleatoria</b>			
<b>Peso del material compuesto: 410 gr</b>			
<b>Volumen del material compuesto: 256 <math>cm^3</math></b>			
<b>Densidad del material compuesto: 1,60 <math>\frac{gr}{cm^3}</math></b>			

Tabla 13

**Cantidad de material que se utilizó para la elaboración de las probetas número seis (P6)**

<b>Dosificación del material compuesto</b>			
<b>Material</b>	<b>Volumen</b>	<b>Peso</b>	<b>Porcentaje</b>
Cemento	241, 52 $cm^3$	178 gr	22,22 %
Arena	483,04 $cm^3$	416 gr	44.44 %
Fibra	120,76 $cm^3$	13 gr	11,11 %
Agua	241, 52 $cm^3$	67,2 gr	22,22 %
<b>Tamaño de fibra: 10 mm</b>			
<b>Orientación de la fibra: Aleatoria</b>			
<b>Peso del material compuesto: 400 gr</b>			
<b>Volumen del material compuesto: 256 <math>cm^3</math></b>			
<b>Densidad del material compuesto: 1,56 <math>\frac{gr}{cm^3}</math></b>			

Tabla 14

Cantidad de material que se utilizó para la elaboración de las probetas número siete (P7)

<b>Dosificación del material compuesto</b>			
<b>Material</b>	<b>Volumen</b>	<b>Peso</b>	<b>Porcentaje</b>
Cemento	241,52 $cm^3$	178 gr	16,66 %
Arena	724,56 $cm^3$	624 gr	50 %
Fibra	241,52 $cm^3$	26 gr	16,66 %
Agua	241,52 $cm^3$	67,2 gr	16,66 %
<b>Total</b>	<b>1449,12 <math>cm^3</math></b>	<b>895,2 gr</b>	<b>100%</b>
<b>Tamaño de fibra: 10 mm</b>			
<b>Orientación de la fibra: Aleatoria</b>			
<b>Peso del material compuesto: 382 gr</b>			
<b>Volumen del material compuesto: 256 <math>cm^3</math></b>			
<b>Densidad del material compuesto: 1,49 <math>\frac{gr}{cm^3}</math></b>			

Tabla 15

Cantidad de material que se utilizó para la elaboración de las probetas número 8 (P8)

<b>Dosificación del material compuesto</b>			
<b>Material</b>	<b>Volumen</b>	<b>Peso</b>	<b>Porcentaje</b>
Cemento	241, 52 $cm^3$	178 gr	25 %
Arena	241, 52 $cm^3$	208 gr	25 %
Fibra	241,52 $cm^3$	26 gr	25 %
Agua	241, 52 $cm^3$	67,2 gr	25 %
<b>Total</b>	<b>966,08 <math>cm^3</math></b>	<b>479,2 gr</b>	<b>100%</b>
<b>Tamaño de fibra: 10 mm</b>			
<b>Orientación de la fibra: Aleatoria</b>			
<b>Peso del material compuesto: 365 gr</b>			
<b>Volumen del material compuesto: 256 <math>cm^3</math></b>			
<b>Densidad del material compuesto: 1,42 <math>\frac{gr}{cm^3}</math></b>			

Los resultados obtenidos, en las probetas para flexión después del proceso de secado de una semana son los adecuados (INEN 198, 1987), para proceder al ensayo (Figura 31).



**Figura 31. Probetas para ensayo a flexión**

### **3.7.3 Material utilizado para la elaboración de probetas para los ensayos de conductividad térmica**

A continuación (Tabla 16), la cantidad de material que se utilizó para elaborar las probetas para ensayos de conductividad térmica.

Tabla 16

**Cantidad de material que se utilizó para la elaboración de las probetas número nueve (P9)**

<b>Dosificación del material compuesto</b>			
<b>Material</b>	<b>Volumen</b>	<b>Peso</b>	<b>Porcentaje</b>
Cemento	1690,64 $cm^3$	1246 gr	22,22%
Arena	3381,28 $cm^3$	2912 gr	44,44 %
Fibra	845,32 $cm^3$	91 gr	11,11%
Agua	1690,64 $cm^3$	470,4 gr	22,22%
<b>Tamaño de fibra: 10 mm</b>			
<b>Orientación de la fibra: Aleatoria</b>			
<b>Peso del material compuesto: 4275 gr</b>			
<b>Volumen del material compuesto: 2700 <math>cm^3</math></b>			
<b>Densidad del material compuesto: 1,58 <math>\frac{gr}{cm^3}</math></b>			

En las probetas para conductividad térmica, los resultados obtenidos después del proceso de secado de una semana, son los adecuados para proceder al ensayo (Figura 32).



**Figura 32. Probetas para ensayo de conductividad térmica**

## CAPÍTULO IV

### ENSAYOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 4.1 Ensayo a tracción de fibras de guadua

Para realizar los ensayos, se tomó fibras de diferentes anchos (Figura 33).



**Figura 33. Fibras para los ensayos**

Para los ensayos a tracción se utilizó la máquina de ensayos marca AMSLER (Figura 34), con una capacidad de 200 kg.



**Figura 34. Ensayo de fibras de guadua a tracción**

Los resultados obtenidos en el ensayo a tracción dan como resultado la fuerza máxima a la rotura por ancho de la fibra, estos resultados permitieron calcular el esfuerzo máximo (Tabla 17), para describir la distribución de la fuerza en el área sobre la que actúa, utilizando la (Ecuación 1):

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

**Donde:**

$\sigma$ : Esfuerzo máximo a la tracción

F: Fuerza máxima

A: Área

**Tabla 17**

**Ensayo a tracción de las fibras de guadua**

Fibra	espesor(mm)	Ancho (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Fuerza Max (Kg)	Esfuerzo máximo (Mpa)
1	1	25	25	32	12,55
2	1	20	20	30	14,71
3	1	10	10	28	27,46
4	1	8	8	20	24,52
5	1	6	6	14,2	23,21
6	1	5	5	9,6	18,83

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{(32)Kg * (9,81) N}{25 mm^2} = 12,55 (MPa)$$

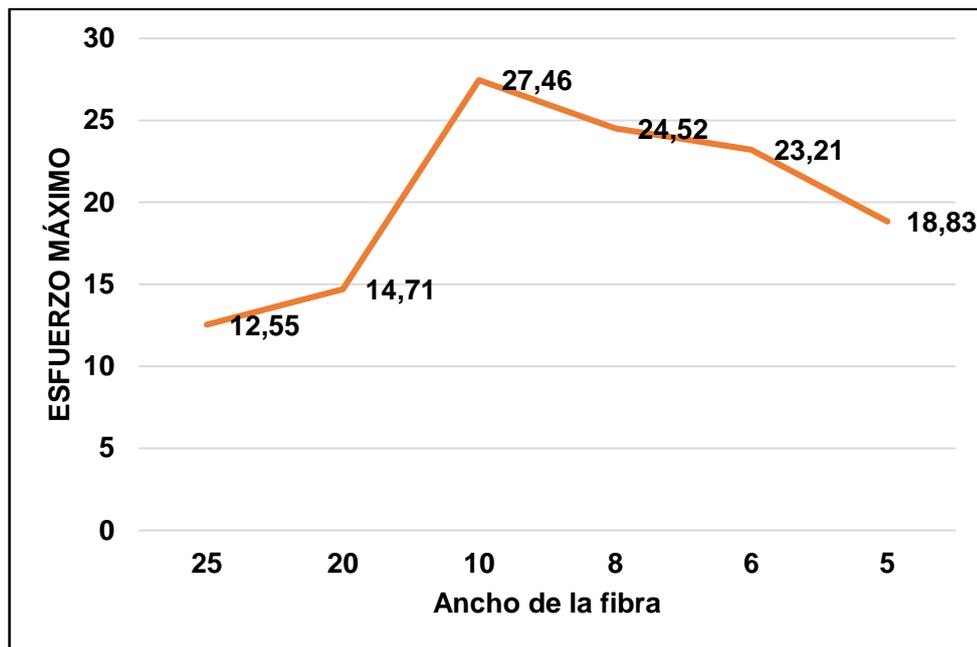
$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{(30) * (9,81) N}{20 mm^2} = 14,71(MPa)$$

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{(28)Kg * (9,81) N}{10 mm^2} = 27,46 (MPa)$$

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{(20) * (9,81) N}{8 \text{ mm}^2} = 24,52(\text{MPa})$$

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{(14,2) \text{Kg} * (9,81) N}{6 \text{ mm}^2} = 23,21 (\text{MPa})$$

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{(9,6) * (9,81) N}{5 \text{ mm}^2} = 18,83(\text{MPa})$$



**Figura 35. Esfuerzo Máximo vs Longitud Transversal**

En la (figura 35) podemos observar, que el esfuerzo máximo es mayor en las fibras que se aproximen a un ancho 10 mm, porque a medida que se aumenta o reduce la longitud transversal sobre 10 mm de la fibra el esfuerzo disminuye.

Lo mencionado anteriormente, se da porque la fuerza que actúa sobre anchos menores produce el rompimiento de la fibra y cuando el ancho es mayor la fuerza rompe más rápido la fibra, debido a que su espesor no es homogéneo.

## 4.2 Ensayo a compresión del material compuesto

Para los ensayos a compresión del material compuesto, se utilizó la máquina de ensayos marca AMSLER (Figura 36), con una capacidad de 10000 kgf obteniendo como resultado la fuerza máxima a la rotura por compresión de cada probeta.



**Figura 36. Ensayo de compresión del material compuesto**

En el ensayo a compresión, se obtuvo como resultado la fuerza máxima a la rotura, con lo que se procedió a calcular el esfuerzo máximo (Tabla 18 a 21), en probetas cuyo porcentaje de fibra es variable, con la finalidad de obtener el esfuerzo a partir de la (Ecuación 2):

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2)$$

**Donde:**

$\sigma$ : Esfuerzo máximo a la compresión

F: Fuerza máxima

A: Área

Tabla 18

## Resultados del primer ensayo

Probeta 1	Dimensiones (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Peso del cabezal (Kg)	Fuerza (Kg)	Esfuerzo máximo (Mpa)
P 1.1	50 x 50x 50	2500	135	1318	4,64
P 1.2	50 x 50 x 50	2500	135	1320	4,65
P 1.3	50 x 50 x 50	2500	135	1324	4,66
				<b>Promedio</b>	4,63

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{(1318 - 135) * (9,81) N}{2500 \text{ mm}^2} = 4,64 \text{ (MPa)}$$

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{(1320 - 135) * (9,81) N}{2500 \text{ mm}^2} = 4,65 \text{ (MPa)}$$

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{(1324 - 135) * (9,81) N}{2500 \text{ mm}^2} = 4,66 \text{ (MPa)}$$

Tabla 19

## Resultados del segundo ensayo

Probeta 2	Dimensiones (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Peso del cabezal (Kg)	Fuerza (Kg)	Esfuerzo máximo (Mpa)
P 2.1	50 x 50x 50	2500	135	1090	3,75
P 2.2	50 x 50 x 50	2500	135	1120	3,86
P 2.3	50 x 50 x 50	2500	135	1260	4,41
				<b>Promedio</b>	4,01

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{(1090 - 135) * (9,81) N}{2500 \text{ mm}^2} = 3,75 \text{ (MPa)}$$

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{(1120 - 135) * (9,81) N}{2500 \text{ mm}^2} = 3,86 \text{ (MPa)}$$

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{(1260 - 135) * (9,81) N}{2500 \text{ mm}^2} = 4,41 \text{ (MPa)}$$

Tabla 20

## Resultados del tercer ensayo

Probeta 3	Dimensiones (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Peso del cabezal (Kg)	Fuerza (Kg)	Esfuerzo máximo (Mpa)
P 3.1	50 x 50x 50	2500	135	790	2,57
P 3.2	50 x 50 x 50	2500	135	680	2,14
P 3.3	50 x 50 x 50	2500	135	660	2,06
				<b>Promedio</b>	2,23

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{(790 - 135) * (9,81) N}{2500 \text{ mm}^2} = 2,57 \text{ (MPa)}$$

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{(680 - 135) * (9,81) N}{2500 \text{ mm}^2} = 2,14 \text{ (MPa)}$$

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{(660 - 135) * (9,81) N}{2500 \text{ mm}^2} = 2,06 \text{ (MPa)}$$

Tabla 21

## Resultados del cuarto ensayo

Probeta 4	Dimensiones (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Peso del cabezal (Kg)	Fuerza (Kg)	Esfuerzo máximo (Mpa)
P 4.1	50 x 50x 50	2500	135	340	0,80
P 4.2	50 x 50 x 50	2500	135	345	0,82
P 4.3	50 x 50 x 50	2500	135	375	0,94
<b>Promedio</b>					0,85

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{(340 - 135) * (9,81) N}{2500 \text{ mm}^2} = 0,80 \text{ (MPa)}$$

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{(345 - 135) * (9,81) N}{2500 \text{ mm}^2} = 0,82 \text{ (MPa)}$$

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{(375 - 135) * (9,81) N}{2500 \text{ mm}^2} = 0,94 \text{ (MPa)}$$

A continuación, se comparan los resultados obtenidos en los ensayos anteriores (Tabla 22), estos representan el esfuerzo máximo promedio vs porcentaje de fibra.

Tabla 22

## Esfuerzo máximo vs Porcentaje de fibra

Probetas	Esfuerzo Máximo (MPa)	Porcentaje de fibra (%)
P1	4,63	0
P2	4,01	11, 11
P3	2,23	16,66
P4	0,85	25

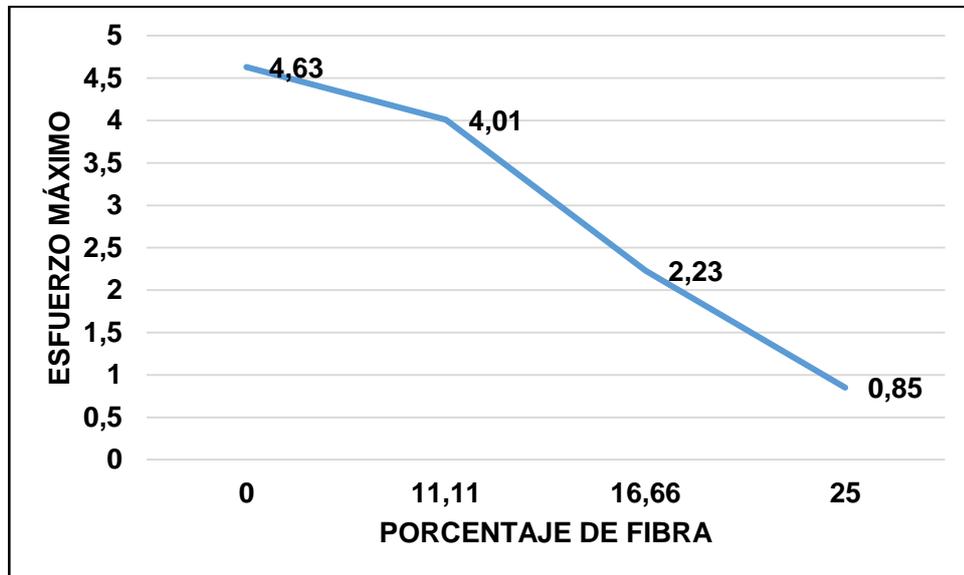


Figura 37. Grafica Porcentaje de fibra vs Esfuerzo Máximo

En la (Figura 37), se observa que la mayor resistencia a la compresión se encuentra en la utilización de un porcentaje de fibra entre (0 y 11,11) %, tomando en cuenta, que la resistencia a la compresión disminuye cuando el incremento de la fibra supera el 11,11 %.

### 4.3 Ensayo a flexión del material compuesto

Para los ensayos a flexión del material compuesto, se utilizó la máquina de ensayos universales marca MTS (Figura 38), con una capacidad de 5000 N obteniendo como resultado la fuerza máxima a la rotura por flexión de cada probeta.



**Figura 38. Ensayo de flexión del material compuesto**

En el ensayo a flexión, se obtuvo como resultado la fuerza máxima a la rotura, estos resultados permitieron calcular el esfuerzo máximo (Tabla 23 a 27) en diferentes tipos de probetas, para describir la distribución de la fuerza en el área sobre la que actúa, utilizando la (Ecuación 3):

$$\sigma = \frac{My}{I} \quad (3)$$

**Donde:**

$\sigma$ : Esfuerzo normal máximo

M: Momento máximo

y: Distancia perpendicular del eje neutro al punto más alejado de este

I: Momento de inercia de la sección transversal calculado respecto al eje neutro

Tabla 23

## Resultados del quinto ensayo

Probetas 1	Dimensiones (mm)	Momento Inercia ( $mm^4$ )	y(mm)	Fuerza (N)	Esfuerzo máximo (Mpa)
P 1.1	160 x 40 x40	213333.3	20	1066	2,50
P 1.2	160 x 40 x40	213333.3	20	1015	2,38
P 1.3	160 x 40 x40	213333.3	20	1035	2,43
				<b>Promedio</b>	2,44

$$\sigma = \frac{My}{I} = \frac{(26650)Nmm * (20)mm}{213333,3 mm^4} = 2,50 (MPa)$$

$$\sigma = \frac{My}{I} = \frac{(25375)Nmm * (20)mm}{213333,3 mm^4} = 2,38 (MPa)$$

$$\sigma = \frac{My}{I} = \frac{(25875)Nmm * (20)mm}{213333,3 mm^4} = 2,43 (MPa)$$

Tabla 24

## Resultados del sexto ensayo

Probetas 1	Dimensiones (mm)	Inercia ( $mm^4$ )	y(mm)	Fuerza (N)	Esfuerzo máximo (Mpa)
P 1.1	160 x 40 x40	213333.3	20	725	1,70
P 1.2	160 x 40 x40	213333.3	20	712	1,67
P 1.3	160 x 40 x40	213333.3	20	698	1,64
				<b>Promedio</b>	1,67

$$\sigma = \frac{My}{I} = \frac{(18125)Nmm * (20)mm}{213333,3 mm^4} = 1,70 (MPa)$$

$$\sigma = \frac{My}{I} = \frac{(17800)Nmm * (20)mm}{213333,3 mm^4} = 1,67 (MPa)$$

$$\sigma = \frac{My}{I} = \frac{(17450)Nmm * (20)mm}{213333,3 mm^4} = 1,64 (MPa)$$

Tabla 25

## Resultados del séptimo ensayo

Probetas 1	Dimensiones (mm)	Inercia (mm <sup>4</sup> )	y(mm)	Fuerza (N)	Esfuerzo máximo (Mpa)
P 1.1	160 x 40 x40	213333.3	20	1066	1,51
P 1.2	160 x 40 x40	213333.3	20	1015	1,42
P 1.3	160 x 40 x40	213333.3	20	1035	1,45
				<b>Promedio</b>	1,46

$$\sigma = \frac{My}{I} = \frac{(16100)Nmm * (20)mm}{213333,3 mm^4} = 1,51 (MPa)$$

$$\sigma = \frac{My}{I} = \frac{(15100)Nmm * (20)mm}{213333,3 mm^4} = 1,42 (MPa)$$

$$\sigma = \frac{My}{I} = \frac{(15500)Nmm * (20)mm}{213333,3 mm^4} = 1,45 (MPa)$$

Tabla 26

## Resultados del octavo ensayo

Probetas 1	Dimensiones (mm)	Inercia (mm <sup>4</sup> )	y(mm)	Fuerza (N)	Esfuerzo máximo (Mpa)
P 1.1	160 x 40 x40	213333.3	20	1066	1,01
P 1.2	160 x 40 x40	213333.3	20	1015	0,74
P 1.3	160 x 40 x40	213333.3	20	1035	0,92
<b>Promedio</b>					0,89

$$\sigma = \frac{My}{I} = \frac{(10775)Nmm * (20)mm}{213333,3 mm^4} = 1,01 (MPa)$$

$$\sigma = \frac{My}{I} = \frac{(7850)Nmm * (20)mm}{213333,3 mm^4} = 0,74 (MPa)$$

$$\sigma = \frac{My}{I} = \frac{(9800)Nmm * (20)mm}{213333,3 mm^4} = 0,92 (MPa)$$

En la (Tabla 27), se comparan los resultados obtenidos en los ensayos anteriores, los resultados representan el esfuerzo máximo promedio vs porcentaje de fibra.

Tabla 27

## Esfuerzo máximo vs Porcentaje de fibra

Probetas	Esfuerzo Máximo (MPa)	Porcentaje de fibra (%)
P1	2,44	0
P2	1,67	11, 11
P3	1,46	16,66
P4	0,89	25

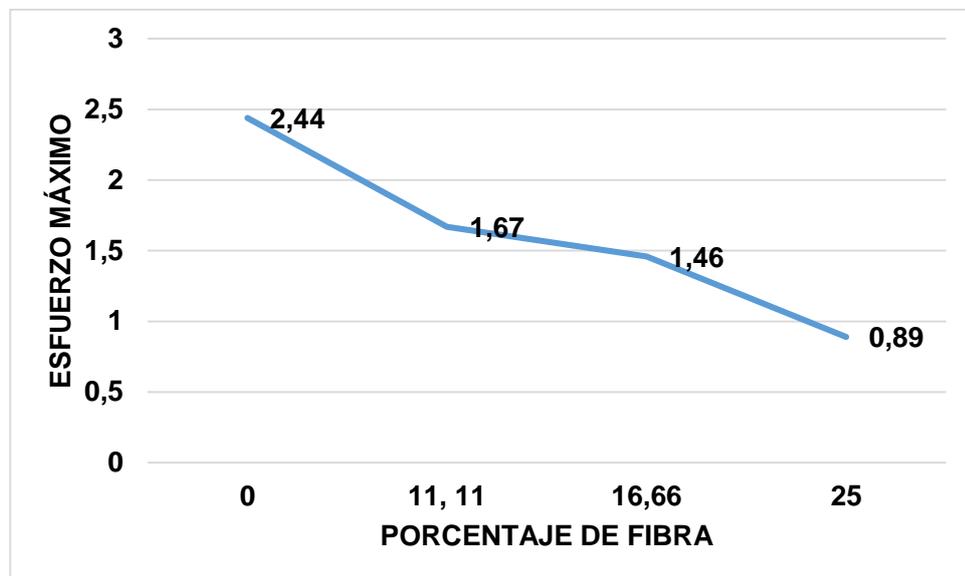


Figura 39. Grafica Porcentaje de fibra vs Esfuerzo Máximo

En la (Figura 39), se observa que la mayor resistencia a la flexión se obtiene cuando se utiliza un porcentaje de fibra entre (0 y 11,11) %, tomando en cuenta que al incrementar la cantidad de fibra sobre el 11,11 % el material compuesto disminuye su resistencia a la flexión.

#### 4.4 Ensayo térmico del material compuesto

En los ensayos térmicos del material compuesto, utilizamos la máquina de ensayos térmicos (Figura 40), la cual utiliza placas planas paralelas cuyo monitoreo de temperatura constante se lo realiza mediante el sistema de placas calientes, obteniendo como resultado la conductividad térmica del material (ASTM C177-13).



**Figura 40. Ensayo de conductividad térmica del material compuesto**

En el ensayo térmico, se obtuvo como resultado la conductividad térmica del material compuesto y las fibras de bambú respectivamente (Tabla 28 a 29), utilizando la (Ecuación 4):

$$\lambda = \frac{Q}{A \left( \frac{T_3 - T_2}{\Delta x} \right)} \quad (4)$$

**Donde:**

$\lambda$  : Coeficiente de conductividad térmica del material, medida en W/m. °C

**T2:** Temperatura medida en una de las caras de la placa caliente, en °C

**T3:** Temperatura medida en la primera placa de enfriamiento, en °C

**Q:** Flujo de calor en la placa de calentamiento en W.

**$\Delta x$ :** Espesor de la muestra en m A= Área de la zona de calentamiento e  $m^2$

Tabla 28

Determinación del coeficiente de conductividad  $\lambda$  del material compuesto

DATOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO TÉRMICO DEL MATERIAL COMPUESTO PRIMER DÍA DE ENSAYO																	
Nº pruebas	Tiempo	Humedad	Densidad	Área	L	T1	T2	T3	T4	V1	V2	Tr	Qconv	Qajus	$\Delta T$	$\lambda_{conv}$	$\lambda_{ajus}$
	Horas	%	$\frac{Kg}{m^3}$	$m^2$	$m$	°C	°C	°C	°C	V	V	°C	W	W	°K	$\frac{W}{°K m}$	$\frac{W}{°K m}$
1	14:30	44%	1,58	0,02265	0,03	17,8	17,7	14	13	12	11,11	16,9	1,71	0,76	3,8	0,299	0,264
2	14:45	44%	1,58	0,02265	0,03	17,8	17,7	13,9	12,8	12,65	11,11	16,7	1,71	0,76	3,9	0,291	0,255
3	15:00	44%	1,58	0,02265	0,03	17,6	17,5	13,8	12,7	12,63	11,11	16,6	1,71	0,76	3,8	0,299	0,261
4	15:15	44%	1,58	0,02265	0,03	17,6	17,5	13,8	12,8	12,63	11,11	16,6	1,71	0,76	3,8	0,299	0,264
5	15:30	44%	1,58	0,02265	0,03	17,5	17,4	13,7	12,7	12,65	11,11	16,6	1,71	0,76	3,8	0,299	0,264

Continua 

DATOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO TÉRMICO DEL MATERIAL COMPUESTO SEGUNDO DÍA DE ENSAYO																	
Nº pruebas	Tiempo	Humedad	Densidad	Área	L	T1	T2	T3	T4	V1	V2	Tr	Qconv	Qajus	ΔT	λconv	λajus
	Horas	%	$\frac{g}{cm^3}$	$m^2$	$m$	°C	°C	°C	°C	V	V	°C	W	W	°K	$\frac{W}{°K m}$	$\frac{W}{°K m}$
6	14:00	44%	1,58	0,02265	0,03	21,7	21,7	16	14,4	12,63	13,42	17,3	1,71	0,75	5,7	0,199	0,175
7	14:30	44%	1,58	0,02265	0,03	20,3	20,2	15,4	24,2	13,48	11,95	17,5	1,95	0,87	4,9	0,264	0,235
8	15:00	44%	1,58	0,02265	0,03	19,4	19,4	15,1	14	13,48	11,95	17,5	1,95	0,87	4,3	0,301	0,267
9	15:15	44%	1,58	0,02265	0,03	19,3	19,2	15,1	14	13,48	11,95	17,4	1,95	0,86	4,2	0,308	0,272
10	15:30	44%	1,58	0,02265	0,03	19,1	19	15	14	13,48	11,95	17,4	1,95	0,87	4,1	0,315	0,281
11	15:45	44%	1,58	0,02265	0,03	19	19,9	15	14	13,48	11,95	17,3	1,95	0,87	4	0,323	0,287
12	16:00	44%	1,58	0,02265	0,03	18,9	18,9	15	14	13,48	11,95	17,3	1,95	0,86	3,9	0,323	0,287

En la (Tabla 28), se puede observar que la máquina genera resultados más estables en el transcurso del tiempo, permitiendo obtener un resultado promedio en la conductividad térmica en el material compuesto ( $\lambda_{ajus}$ ) de  $0,287 \text{ W / } ^\circ \text{K m}$ .

Tabla 29

Determinación del coeficiente de conductividad  $\lambda$  de las fibras de bambú

DATOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO TÉRMICO DE LAS FIBRAS DE BAMBÚ																	
Nº pruebas	Tiempo	Humedad	Densidad	Área	L	T1	T2	T3	T4	V1	V2	Tr	Qconv	Qajus	$\Delta T$	$\lambda_{conv}$	$\lambda_{ajus}$
	Horas	%	$\frac{g}{cm^3}$	$m^2$	$m$	°C	°C	°C	°C	V	V	°C	W	W	°K	$\frac{W}{°K m}$	$\frac{W}{°K m}$
1	09:30	44%	0,0785	0,02265	0,04	25,3	23,3	13,3	12,9	11,46	12,02	16,5	1,41	0,69	12	0,104	0,102
2	10:00	44%	0,0785	0,02265	0,04	27,5	25,6	13	12,5	9,98	13	16,5	1,07	0,53	14,5	0,065	0,064
3	10:30	44%	0,0785	0,02265	0,04	27,5	26,8	12,8	12,3	9,02	12,97	16,4	0,87	0,43	14,7	0,052	0,052
4	11:00	44%	0,0785	0,02265	0,04	27	26,8	12,8	12,2	7,98	12,97	16,5	0,68	0,33	14,2	0,043	0,042
5	11:30	44%	0,0785	0,02265	0,04	27,1	26,9	12,7	12,1	7,97	12,97	16,6	0,68	0,33	14,4	0,042	0,041
6	12:00	44%	0,0785	0,02265	0,04	27,3	26,9	12,7	12,4	7,53	13,1	16,6	0,61	0,30	14,6	0,037	0,036

Continua



<b>7</b>	12:30	44%	0,0785	0,02265	0,04	27,1	27,1	12,7	12,3	7,35	13,24	16,7	0,58	0,29	14,4	0,036	0,035
<b>8</b>	13:00	44%	0,0785	0,02265	0,04	27,4	27,4	12,6	12,1	7,83	13,24	16,7	0,66	0,32	14,8	0,039	0,039
<b>9</b>	13:30	44%	0,0785	0,02265	0,04	27,6	27,6	12,7	12,1	7,83	13,24	16,7	0,66	0,32	14,9	0,039	0,038
<b>10</b>	14:00	44%	0,0785	0,02265	0,04	27,7	27,7	12,7	12,2	7,84	13,25	16,8	0,66	0,32	15	0,039	0,038

Se puede observar (Tabla 29), que la máquina genera resultados más estables en el transcurso del tiempo, permitiendo obtener un resultado promedio en la conductividad térmica en las fibras de bambú ( $\lambda_{\text{ajus}}$ ) de  $0,038 \text{ W / } ^\circ \text{K m}$ .

## CAPÍTULO V

### ANÁLISIS ECONÓMICO

#### 5.4 Análisis Económico

Son los valores utilizados en la inversión para el diseño de ingeniería del proyecto que se realizó.

##### 5.1.1 Costos directos para la realización

Me permiten verificar los recursos que influyeron directamente en la realización del proyecto (Tabla 30).

**Tabla 30**

#### Costos directos en la tesis

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	V. UNIT (USD)	VALOR TOT.(USD)
<b>MANO DE OBRA</b>			
Elaboración tesis / Estudiantes	1000 horas	5,00	5000,0
<b>MATERIALES</b>			
Impresiones A4 de la tesis	200	0,30	60,0
Impresiones A3 de la tesis(planos)	4	1,50	10,5
Empastados	2	45	90,0
DVD	3	5,0	15,0
Normas	3	7,00	21,0
Fibra de guadua	1 guadua	70,00	70,00
Cemento	1 quintal	7,50	7,50
Arena	1 quintal	5,00	5,00
<b>SUBTOTAL(USD):</b>			5279

### 5.1.2 Costos Indirectos

Costos que intervienen para la realización del proyecto pero no se incorporan físicamente en este (Tabla 31).

**Tabla 31**

#### Costos indirectos del proyecto

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	V. UNIT (USD)	VALOR TOT.(USD)
<b>MANO DE OBRA</b>	50 horas	25,0	750,0
Director	40 horas	25,0	500,0
Codirector	10 horas	25,0	250,0
Laboratoristas Mecánica de Materiales	10 horas	25,0	250,0
Laboratoristas Termodinámica	10 horas	25,0	250,0
<b>MATERIALES</b>			
Útiles de oficina	(2cuadernos,4esferos,2lápices, 2borradores)	2,00	10,00
Molde de madera	2	30,00	60,00
Espátula	1	5,00	5,00
Recipiente para preparación	1	5,00	5,00
Recipiente para medir volúmenes	1	1,50	1,50
Pie de rey	1	300,00	300,00
<b>Transporte terrestre</b>	100 viajes	5,00	500,00
<b>Servicios Básicos (teléfono, agua potable, electricidad, otros)</b>	12 meses	46,00	552,00
<b>SUBTOTAL (USD)</b>		3183,50	

### 5.1.3 Total general de costos del proyecto

Sumatoria de los subtotales de los costos directos e indirectos para conocer el valor total para realizar el proyecto (Tabla 32).

**Tabla 32**

#### Valor total para realizar mi proyecto

<b>SUBTOTAL COSTOS DIRECTOS (USD):</b>	5279
<b>SUBTOTAL COSTOS INDIRECTOS (USD):</b>	3183,50
<b>VALOR TOTAL (USD)</b>	8462

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 Conclusiones

Los ensayos realizados para determinar las propiedades mecánicas de las fibras de bambú, presentan mayor resistencia a la rotura cuando estas tienen 10 mm de ancho, siendo las adecuadas para la construcción de las probetas.

Las proporciones en volumen adecuadas para definir la mezcla entre concreto y fibra de bambú son arena, cemento y fibra (2:1:1/2) respectivamente, porque al variar las proporciones no presentaban una buena adhesión adecuada entre estos materiales.

Las propiedades mecánicas del material compuesto, determinaron que las probetas con un porcentaje de 11,11 % de fibra, presentan mejor resistencia a la compresión y a la flexión que las probetas con mayor porcentaje de fibra, observando también que con este porcentaje de fibras reducen la explosión del concreto al aplicar las fuerzas requeridas en este ensayo.

Se determinó la conductividad térmica del material compuesto es 0,287 W / ° K m, siendo este un material aislante en la transferencia de calor.

Se determinó en las fibras de bambú que la conductividad térmica es 0,038 W / ° K m por lo que pueden ser usadas como aislante.

## **6.2 Recomendaciones**

Es conveniente que el proceso para obtener las fibras se lo realice de forma mecánica, debido a la dificultad y pérdida de tiempo por realizarlo de forma manual.

Se debe tomar en cuenta la composición de la mezcla para la realización del material compuesto, para obtener una adhesión adecuada del material.

Se recomienda tomar los datos del coeficiente de conductividad térmica tomando en cuenta la estabilización del equipo en un determinado tiempo.

## BIBLIOGRAFÍA

- AgroNoticias. (9 de Abril de 2012). El Salvador aumenta la productividad en el cultivo de caña de azúcar. Recuperado el 5 de Diciembre de 2014, de <http://www.fao.org/agronoticias/agro-noticias/detalle/en/c/134957/>
- Arquitectura y Ciudad. (20 de Septiembre de 2014). Jardines en México tendrían impresionantes Edificaciones en Bambú. Recuperado el 25 de Diciembre de 2014, de <http://arquitecturayciudad.com/blog/jardines-en-mexico-tendrian-impresionantes-edificaciones-en-bambu/>
- Bamboo Society of Australia. (3 de Diciembre de 2014). Guadua Angustifolia. Byron Bay Bamboo. Recuperado el 21 de Octubre de 2014, de <http://www.byronbamboo.com.au/clients-gardens/p/235>
- BAMBUMEX. (2013). Morfología de la planta de bambú. Recuperado el 4 de Noviembre de 2014, de <file:///F:/Bamb%FAes%20de%20M%E9xico.html>
- Barbaro, G. (2007). La Biónica del bambú. HorticomNews. Recuperado el 16 de Noviembre de 2014, de <http://www.horticom.com/pd/article.php?sid=66381>
- Barrios, J., Cabeza, E., Castro, C., Fuentes, C., Gutiérrez, A., Manjarres, L. E., . . . Paternostro, C. (2011). Materiales Compuestos. Santa Marta: Universidad de Magdalena. Recuperado el 23 de Octubre de 2014, de [https://www.google.com.ec/?gfe\\_rd=cr&ei=lmbGVMqcEYXCqAWs5YDYDw#q=Un+material+compuesto+es+aque+formado+por+dos%2C+o+m%C3%A1s%2C+materiales+distintos+que+presenta+algunas+propiedades+f%C3%ADsicas+determinadas+superiores+a+las+de+los+materiales+que+lo+cons](https://www.google.com.ec/?gfe_rd=cr&ei=lmbGVMqcEYXCqAWs5YDYDw#q=Un+material+compuesto+es+aque+formado+por+dos%2C+o+m%C3%A1s%2C+materiales+distintos+que+presenta+algunas+propiedades+f%C3%ADsicas+determinadas+superiores+a+las+de+los+materiales+que+lo+cons)
- Cascante, M. (Mayo de 2015). Análisis y desarrollo para la fabricación de bloques de hormigón como aislante térmicos basados en la biomasa de bagazo de caña apto para la construcción de edificaciones.

Recuperado el 1 de Junio de 2015, de <http://luisvelascoroldan.com/?p=1326>

Cedeño, J., & Delgado, A. (2013). Investigación comparativa de las resistencias a la compresión simple de hormigones en función de todos sus componentes. Recuperado el 20 de Abril de 2015, de <http://repositorio.ulead.edu.ec/bitstream/26000/1402/1/T-ULEAM-180-0020.pdf>

Ciencia y Ecología. (3 de 7 de 2008). Modifican genéticamente la yuca para potenciar sus vitaminas y minerales. Recuperado el 7 de Diciembre de 2014, de <http://www.elmundo.es/elmundo/2008/07/01/ciencia/1214907437.html>

Cobos, J., & León, X. (Noviembre de 2007). Propiedades Físicas-Mecánicas de la guadua angustifolia kunth y aplicación al diseño de baterías sanitarias del IASAI. Recuperado el 4 de Noviembre de 2014, de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/1562/1/T-ESPE-025178.pdf>

CORPEI. (2005). Perfil bambú. Obtenido de [http://www.ecotec.edu.ec/documentacion%5Cinvestigaciones%5Cdocentes\\_y\\_directivos%5Carticulos/5506\\_TRECALDE\\_00118.pdf](http://www.ecotec.edu.ec/documentacion%5Cinvestigaciones%5Cdocentes_y_directivos%5Carticulos/5506_TRECALDE_00118.pdf)

Cuidar la Salud. (29 de Agosto de 2010). Lino. Obtenido de <http://www.cuidarlasalud.com/lino/>

DEYUTE. (2011). El Yute. Recuperado el 25 de noviembre de 2014, de <http://www.deyute.com/es/el-yute-deyute/>

ELBLOGVERDE. (7 de ENERO de 2009). Fira de coco para hacer partes de automóviles. Obtenido de <http://elblogverde.com/fibra-de-coco-para-hacer-partes-de-automviles/>

Estrada, M. (Enero de 2010). Extracción y caracterización mecánica de las fibras de bambú (*Guadua angustifolia*) para su uso potencial como refuerzo de materiales compuestos. Recuperado el 10 de Enero de

2015, de  
[http://www.docentes.unal.edu.co/mestradam/docs/tesisMEM\\_maestria.pdf](http://www.docentes.unal.edu.co/mestradam/docs/tesisMEM_maestria.pdf)

FibraPlus. (2 de Diciembre de 2014). Materiales Compuestos. Recuperado el 23 de enero de 2015, de <http://www.fibraplus.com/tag/materiales-compuestos-tecnologia-de-los-plasticos/>

INEN 198. (9 de 1987). Determinacion de la resistencia a la flexion y a la compresion de morteros. Recuperado el 25 de Abril de 2015, de <ftp://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.0198.1987.pdf>

INEN 2518. (1 de 2010). Morteros para unidades de mapostería. Recuperado el 20 de Abril de 2015, de <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.2518.2010.pdf>

INEN 2563. (8 de 2011). Evaluación previa a la construcción y durante la construcción de morteros para mampostería simple y reforzada. Recuperado el 15 de 3 de 2015, de <ftp://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.2563.2011.pdf>

Juarez, C. (Junio de 2002). Concretos base cemento portland reforzados con fibras naturales agave lechugilla, como materiales para construcción en mexico. Recuperado el 22 de Noviembre de 2014, de <http://cdigital.dgb.uanl.mx/te/1020150648/1020150648.PDF>

Lopez, L. (Julio de 2009). Estudio exploratorio de los laminados de bambú *Guadua angustifolia* como material estructural. Recuperado el 3 de Noviembre de 2014, de Maderas, ciencia y tecnología: [http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-221X2009000300001&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-221X2009000300001&script=sci_arttext)

Lucena, M. (2009). Desarrollo de un material compuesto a base de fibras de bambú. Recuperado el 1 de Enero de 2015, de <https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CBwQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.rlmm.org%2Farchives.php%3Ff%3D%2Farchivos%2FS01%2FN3%2F>

RLMMArt-09S01N3-

p1107.pdf&ei=RoqBVeaUDoSXgwTapoEI&usg=AFQjCNG3ZXiu5zgW  
VdBfNikZB7xyW

Martinez, S. (2011). Hormigon Laminado. Obtenido de <https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=7&cad=rja&uact=8&ved=0CDkQFjAG&url=https%3A%2F%2Friunet.upv.es%2Fbitstream%2Fhandle%2F10251%2F13553%2FHORMIG%25C3%2593N%2520LAMINADO.pdf%3Fsequence%3D1&ei=za9NVeOCFYOogwTGwYHgDg&usg=AFQjCNGX>

Mongaby. (2012). Choza entre las plantas del plátano. Recuperado el 9 de Diciembre de 2014, de <http://es.mongabay.com/travel/files/p15220p.html>

Perez, F. (29 de Julio de 2005). Aplicación de nuevos materiales a soluciones de vivienda en Colombia. Obtenido de <http://www.docentes.unal.edu.co/afperezm/docs/Tesis%20Maestria.pdf>

Reyes, U. (2008). Concreto Reforzado con Fibra de Bagazo de Caña. Recuperado el 12 de Diciembre de 2014, de <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/32835/1/reyesbanuelos.pdf>

Rodriguez, I. (2012). El desarrollo tecnológico y sus aplicaciones. Ciencias para el mundo. Recuperado el 17 de Noviembre de 2014, de [http://irenerodriguezmartinez.blogspot.com/2012\\_04\\_01\\_archive.html](http://irenerodriguezmartinez.blogspot.com/2012_04_01_archive.html)

Sanz, D. (5 de Septiembre de 2012). El uso del bambú como material constructivo crece en México. Ecologismos. Recuperado el 3 de Noviembre de 2014

Savitari. (30 de Septiembre de 2008). ¿ Cómo crece el bambú? Recuperado el 3 de Diciembre de 2014, de <http://www.savitari.com/%C2%BFcomo-crece-el-bambu/>

- Sotomayor, J. (2012). Estudio comparativo del comportamiento estructural de paredes de mampostería con bloques de arcilla reforzados con fibras artificiales polipropileno y su durabilidad. Recuperado el 2 de abril de 2015, de [https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CBwQFjAA&url=http%3A%2F%2Frepositorio.ucsg.edu.ec%2Fbitstream%2F123456789%2F1204%2F1%2FT-UCSG-PRE-ING-IC-47.pdf&ei=\\_oU-VdyJEvb7sATSx4HoAQ&usg=AFQjCNFrKzFjA88s1sUqByNWAQ](https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CBwQFjAA&url=http%3A%2F%2Frepositorio.ucsg.edu.ec%2Fbitstream%2F123456789%2F1204%2F1%2FT-UCSG-PRE-ING-IC-47.pdf&ei=_oU-VdyJEvb7sATSx4HoAQ&usg=AFQjCNFrKzFjA88s1sUqByNWAQ)
- Vargas, L. (Agosto de 2007). Uso de fibras de papel periódico, cal hidratada y alumbre, en la elaboración de un material compuesto. Recuperado el 20 de Diciembre de 2014, de [http://digeset.ucof.mx/tesis\\_posgrado/Pdf/VARGAS\\_ROBLES\\_LUIS\\_ARTURO.pdf](http://digeset.ucof.mx/tesis_posgrado/Pdf/VARGAS_ROBLES_LUIS_ARTURO.pdf)
- Velasco, V. (Junio de 2002). Instituto de altos estudios nacionales. Recuperado el 20 de Octubre de 2014, de Trabajo de investigación individual maestría en seguridad y desarrollo con mención en gestión pública y gerencia empresarial.