



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

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

**MAESTRÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES  
II PROMOCIÓN**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
MAGÍSTER EN ENERGÍAS RENOVABLES**

**TEMA: ANÁLISIS, DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE  
AISLANTES TÉRMICOS NATURALES UTILIZANDO TOTORA  
(*Schoenoplectus californicus*) EN BLOQUES DE ADOBE Y  
PLACAS RÍGIDAS.**

**AUTORA: ING. QUEZADA PESÁNTEZ, YOLANDA MARIBEL**

**DIRECTOR: DR. VELASCO, LUIS**

**CODIRECTOR: ING. PhD. GOYOS, LEONARDO**

**SANGOLQUÍ**

**2015**

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE**  
**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN CON LA**  
**COLECTIVIDAD**

**CERTIFICADO**

Arq. LUIS VELASCO PhD  
Director


ING. LEONARDO GOYOS PhD.  
Oponente

**CERTIFICAN**

Que el presente proyecto de grado que lleva como título **“ANÁLISIS, DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE AISLANTES TÉRMICOS NATURALES UTILIZANDO TOTORA (*Schoenoplectus californicus*) EN BLOQUES DE ADOBE Y PLACAS RÍGIDAS.”**, realizado por Quezada Pesántez Yolanda Maribel, de nacionalidad ecuatoriana, con cédula de identidad 0104763982, como requisito para la obtención del título de Magíster en Energías Renovables, Segunda Promoción, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple con los requerimientos científicos, tecnológicos y académicos en el Reglamento de Estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Autorizan Quezada Pesántez Yolanda Maribel, entregar el mismo a la Unidad de Gestión de Postgrados.

Sangolquí, Junio de 2015

  
Arq. Luis Velasco PHD

  
Ing. Leonardo Goyos PHD

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE**  
**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN CON LA**  
**COLECTIVIDAD**

**MAESTRÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES**  
**II – PROMOCIÓN 2010 – 2012**

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Quezada Pesántez Yolanda Maribel

**DECLARO QUE:**

El proyecto de grado denominado “ANÁLISIS, DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE AISLANTES TÉRMICOS NATURALES UTILIZANDO TOTORA (*Schoenoplectus californicus*) EN BLOQUES DE ADOBE Y PLACAS RÍGIDAS” ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos a terceros, conforme las fuentes que constan en la bibliografía correspondiente.

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, es responsabilidad mía el contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Sangolquí, Junio de 2015



Ing. Yolanda Maribel Quezada Pesántez

## AUTORIZACIÓN

Yo, Ingeniera Yolanda Maribel Quezada Pesántez, con cédula de ciudadanía 0104763982 autorizo la publicación de mi tesis de grado de Magíster en Energías Renovables, titulada: “ANÁLISIS, DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE AISLANTES TÉRMICOS NATURALES UTILIZANDO TOTORA (*Schoenoplectus californicus*) EN BLOQUES DE ADOBE Y PLACAS RÍGIDAS” en la biblioteca virtual de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, cumpliendo con las exigencias que demanda la Ley de Educación Superior de hacer públicas las investigaciones universitarias.

Sangolquí, Junio de 2015



Ing. Yolanda Maribel Quezada Pesántez  
0104763982

## **DEDICATORIA**

El esfuerzo y sacrificio de este trabajo, se lo dedico a Dios y la Virgen, por haberme guiado y protegido durante todos estos años en el trascurso de estudio de esta maestría.

A mis padres y hermanas por su apoyo incondicional

A mi familia, que estando en muchos lugares, siempre estuvo dispuesto a apoyarme y orientarme.

Yolanda Maribel Quezada Pesántez

## **AGRADECIMIENTO**

Un especial agradecimiento al Dr. Luis Velasco Roldán, por su ayuda incondicional y por sus ánimos en el transcurso de la realización de la tesis.

A todos los maestros y amigos de la Maestría de Energía Renovable, Segunda Promoción, quienes demostraron su colaboración y preocupación a lo largo de este tiempo.

Yolanda Maribel Quezada Pesántez

## ÍNDICE GENERAL

<b>CERTIFICADO .....</b>	<b>ii</b>
<b>AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD .....</b>	<b>iii</b>
<b>AUTORIZACIÓN .....</b>	<b>iv</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>v</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE GENERAL .....</b>	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>xi</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>xiii</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>xv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xvi</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>GENERALIDADES.....</b>	<b>1</b>
1.1 Antecedentes .....	1
1.2 Definición del problema .....	2
1.3 Objetivos .....	3
1.3.1. General .....	3
1.3.2 Específicos.....	4
1.4 Alcance .....	4
1.5 Justificación e Importancia.....	4

<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>7</b>
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>7</b>
2.1 Construcción sostenible .....	7
2.2 Eficiencia energética.....	7
2.2.1 Conceptos generales .....	7
2.2.2 Eficiencia energética en el Ecuador.....	8
2.2.3 Criterios o estrategias de eficiencia energética en la construcción.....	9
2.3 Huella de carbono .....	14
2.3.1 Huella de carbono en el sector de la construcción.....	14
2.4 Aislamiento térmico en edificios.....	15
2.5 Características de los materiales de construcción .....	16
2.5.1 Conductividad térmica.....	16
2.5.2 Coeficiente de conductividad térmica .....	16
2.5.3 Coeficiente global de transferencia de calor de un cerramiento: K.....	18
2.5.4 Resistencia a la compresión .....	20
2.5.5 Densidad.....	21
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>22</b>
<b>ESTADO DEL ARTE DEL AISLAMIENTO CONVENCIONAL Y NATURAL... </b>	<b>22</b>
3.1 Aislantes térmicos.....	22
3.1.1 Aislantes térmicos convencionales .....	22
3.1.2 Aislantes térmicos naturales .....	30
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>41</b>
<b>OBTENCIÓN DE PARÁMETROS DE MODELAMIENTO.....</b>	<b>41</b>



4.1 Placas rígidas .....	41
4.1.1 Selección de Aglutinante:.....	41
4.1.2. Tamaño de partícula .....	43
4.1.3 Cantidad de aglutinante óptimo. ....	46
4.1.4 Elaboración de las placas rígidas. ....	50
4.2 Adobes.....	51
4.2.1 Análisis de clasificación y elección del suelo .....	52
4.2.1.1 Determinación del contenido de humedad.....	54
4.2.2 Elaboración de adobes .....	65
4.3 Equipos y especificaciones.....	72
4.3.1 Aparato de medición de conductividad térmica.....	72
<b>Capítulo V .....</b>	<b>77</b>
<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIONES.....</b>	<b>77</b>
5.1 Coeficiente de conductividad térmica de Totora a granel. ....	77
5.2 Coeficiente de conductividad térmica en placas .....	80
5.3 Determinación del Coeficiente global de transferencia de un cerramiento: 83	
5.4 Fabricación y análisis de bloques de adobe. ....	84
5.5 Determinación de la resistencia a la compresión:.....	87
5.5.1 Procedimiento del ensayo de resistencia a la compresión:.....	87
5.6 Coeficiente global de transferencia de calor para adobe y totora .....	90
5.7 Valores máximos de coeficientes globales de Transferencia de calor .....	92
5.8 Coeficiente global de transferencia de calor para placas rígidas .....	96
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>97</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>100</b>

**BIBLIOGRAFÍA..... 101**

**ANEXOS..... 105**

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	Rango de temperatura de acuerdo a las zonas climáticas .....	10
<b>Tabla 2</b>	Coeficiente de transferencia para climas fríos .....	19
<b>Tabla 3</b>	Coeficiente de transferencia para climas cálidos .....	19
<b>Tabla 4</b>	Coeficiente de transferencia ,climas cálidos climatización pasiva.....	20
<b>Tabla 5</b>	Propiedades térmicas de materiales a base de paja .....	28
<b>Tabla 6</b>	Consumo de energía de diferentes aislantes térmicos .....	29
<b>Tabla 7</b>	Propiedades físicas de tableros de partículas hechos de residuos agrícolas.....	31
<b>Tabla 8</b>	Valores de conductividad térmica de las diferentes muestras aglomeradas.....	34
<b>Tabla 9</b>	Coeficientes de transmisión de calor de tableros de partículas de maíz a diferentes espesores. ....	36
<b>Tabla 10</b>	Porcentaje de aglutinante .....	44
<b>Tabla 11</b>	Porcentajes de aglutinante para Totora de 1 cm de largo .....	46
<b>Tabla 12</b>	Diluciones de aglutinante.....	47
<b>Tabla 13</b>	Propiedades de las diluciones .....	48
<b>Tabla 14</b>	Porcentajes de aglutinante para Totora de 0,5 cm de largo. ....	48
<b>Tabla 15</b>	Diluciones de aglutinante.....	49
<b>Tabla 16</b>	Propiedades de las diluciones .....	50
<b>Tabla 17</b>	Cantidad de la muestra de acuerdo a su granulometría.....	56
<b>Tabla 18</b>	Granulometría del suelo analizado. ....	63
<b>Tabla 19</b>	Clasificación del suelo .....	64
<b>Tabla 20</b>	Características del suelo para la elaboración de adobes. ....	66
<b>Tabla 21</b>	Cuadro de composición química de la Totora .....	67
<b>Tabla 22</b>	Resultados de ensayos de calibración. ....	75
<b>Tabla 23</b>	Equipos utilizados y especificaciones.....	76

<b>Tabla 24</b> Determinación del coeficiente de conductividad para Totora a granel.....	79
<b>Tabla 25</b> Determinación del coeficiente de conductividad térmica en placas rígidas de Totora.....	82
<b>Tabla 26</b> Valores del coeficiente global de transferencia de calor.....	84
<b>Tabla 27</b> Porcentajes de totora adicionada a adobes.....	85
<b>Tabla 28</b> Proporciones de los materiales para la fabricación de adobes.....	86
<b>Tabla 29</b> Valores de resistencia a la compresión .....	89
<b>Tabla 30</b> Coeficiente de transferencia de calor .....	92
<b>Tabla 31</b> Coeficiente de transferencia de calor según normas española, argentina y ecuatoriana .....	93
<b>Tabla 32</b> Espesor de Totora y adobe (barro macizo) para muros y elementos en contacto con el suelo.....	94
<b>Tabla 33</b> Coeficientes de transferencia de calor para cubiertas y suelos.....	95
<b>Tabla 34</b> Normativas para el coeficiente global de transferencia de calor en edificaciones .....	96

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Mapa de temperatura Media multianual-serie 1965 – 1999 .....	10
<b>Figura 2.</b> Cadena de suministro en construcciones .....	15
<b>Figura 3.</b> Consumo de energía de diferentes aislantes térmicos .....	29
<b>Figura 4.</b> Hormigón ligero de mazorca de maíz .....	35
<b>Figura 5.</b> Paneles de ferro cemento tipo sándwich con fibra de coco .....	37
<b>Figura 6.</b> Aglutinante a base de almidón de yuca .....	42
<b>Figura 7.</b> Paneles con tamaño de partícula de 30cm .....	44
<b>Figura 8.</b> Paneles con tamaño de partícula de 3cm .....	45
<b>Figura 9.</b> Paneles con tamaño de partícula de 1cm .....	45
<b>Figura 10.</b> Paneles con tamaño de partícula de 0,5 cm .....	45
<b>Figura 11</b> Prensa para placas rígidas de Totora .....	51
<b>Figura 12.</b> Peso de los recipientes .....	55
<b>Figura 13.</b> Horno para determinación de humedad .....	55
<b>Figura 14.</b> Tamiz eléctrico .....	56
<b>Figura 15.</b> Pesos de muestras retenidos por el tamiz .....	57
<b>Figura 16.</b> Copa Casagrande y muestra de suelo .....	59
<b>Figura 17.</b> Elaboración de rollitos de suelo .....	60
<b>Figura 18.</b> Fisuras y grietas de la muestra .....	61
<b>Figura 19.</b> Peso de las muestras.....	61
<b>Figura 20.</b> Zona de plasticidad recomendada. ....	65
<b>Figura 21.</b> Tejido tubular esponjoso del tallo de la Totora.....	67
<b>Figura 22.</b> Molde para adobe .....	68
<b>Figura 23.</b> Preparación del barro.....	69
<b>Figura 24.</b> Muestras de los residuos del tratamiento de Totora .....	69
<b>Figura 25.</b> Mezclado de materiales .....	70
<b>Figura 26.</b> Moldeo del adobe.....	71

<b>Figura 27.</b> Secado de adobes .....	71
<b>Figura 28.</b> Esquema del aparato de medición de conductividad térmica .....	73
<b>Figura 29.</b> Fotografía del aparato de medición de conductividad térmica .....	74
<b>Figura 30</b> Coeficiente de conductividad Térmica de Totorá a granel .....	78
<b>Figura 31.</b> Coeficiente de conductividad vs tiempo .....	80
<b>Figura 32.</b> Coeficiente de conductividad térmica de placas rígidas.....	81
<b>Figura 33.</b> Coeficiente de conductividad vs tiempo .....	83
<b>Figura 34.</b> Determinación del peso de los adobes .....	87
<b>Figura 35.</b> Ensayo de la resistencia a la compresión.....	88
<b>Figura 36.</b> Coeficiente de conductividad térmica del adobe.....	90

## RESUMEN

En el Ecuador existe un alto déficit de vivienda, sumado a una falta de planificación constructiva, social y ambiental, dando como resultado viviendas insostenibles y sin ningún criterio de eficiencia energética, en la presente investigación ha analizado y desarrollado aislantes térmicos basados en fibras de Totorá (*Schoenoplectus californicus*) con el fin de promover su utilización como aislante térmico en edificaciones en distintas aplicaciones. Como resultado de la investigación se han determinado el coeficiente de conductividad térmica de la biomasa a granel de  $0,019 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$ , útil para aislamientos basados en el relleno de cámaras o cavidades y el coeficiente de conductividad térmica de unos modelos de placas rígidas de  $0,021 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$ , con espesores de 52 y 38 mm respectivamente obteniéndose durante el proceso los valores óptimos de tamaño de partícula y cantidad de aglutinante. La determinación de dichos coeficientes hace posible estimar los espesores de biomasa para el cumplimiento de normativas en cuanto a eficiencia energética de envolventes térmicas en edificaciones, además se demuestra que es posible la obtención de aislamientos naturales de bajo coste y baja huella ecológica basada en biomasa procedente de la Totorá de características térmicas equivalentes a los aislamientos térmicos industrializados.

### **PALABRAS CLAVES:**

- **TOTORA**
- **SCHOENOPLECTUS CALIFORNICUS**
- **AISLANTE TÉRMICO**
- **COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA**
- **BIOMASA**

## ABSTRACT

In Ecuador there is a high housing deficit, coupled with a lack of constructive, social and environmental planning, resulting in unsustainable housing without any criteria of energy efficiency, this research has analyzed and developed fiber-based thermal insulation of Totora (*Schoenoplectus californicus*) in order to promote their use as thermal insulation in buildings in different applications. As a result of research have been determined the coefficient of thermal conductivity of bulk biomass  $0.019 \text{ W / m } ^\circ \text{ C}$ , based isolates useful for filling cavities or chambers and the thermal conductivity of some models of rigid plates  $0.021 \text{ W / m } ^\circ \text{ C}$ , with thicknesses of 52 and 38 mm respectively, obtained during the optimum values of particle size and amount of binder. The determination of these coefficients makes it possible to estimate the thickness of biomass for compliance with standards for energy efficiency in buildings thermal envelope also shows that it is possible to obtain natural isolates of low cost and low ecological footprint based on biomass from the Totora thermal characteristics equivalent to industrialized thermal insulation

### KEYWORDS:

- **TOTORA**
- **SCHOENOPLECTUS CALIFORNICUS**
- **THERMAL INSULATION**
- **THERMAL CONDUCTIVITY COEFFICIENT**
- **BIOMASS**



## **CAPÍTULO I**

### **GENERALIDADES**

#### **1.1 Antecedentes**

La región Interandina es la zona donde se encuentran asentadas las principales comunidades indígenas del Ecuador caracterizándose por zonas de gran altitud, como los páramos, alcanzando temperaturas muy bajas, alto nivel de precipitaciones, lloviznas, viento, neblina y nubosidad que impide el aprovechamiento de la radiación solar y que hacen que no exista el adecuado confort térmico dentro de la vivienda y menos aún un óptimo consumo de energía.

La pérdida de energía en una vivienda es otro factor importante debido a que en la mayoría de los casos no se aplican sistemas de construcción adecuados y menos aún se establecen estrategias y uso de recursos de energía renovable. Esto se evidencia especialmente en viviendas sociales dentro de todo el Ecuador, las cuales no responden a las condiciones climáticas de su entorno debido al uso de materiales de construcción inadecuados empleados para el techo y para la envolvente de la vivienda, produciendo pérdidas de calor por la falta de aislamiento térmico, infiltraciones de aire en puertas y ventanas, así como una mala orientación y geometría de la vivienda.

En el Ecuador, existe un alto déficit de vivienda, actualmente y según el Banco Interamericano de Desarrollo la carencia de una vivienda alcanza dos de cada tres hogares pobres del país, debido a que muchas familias les resulta difícil adquirir una vivienda adecuada y digna por los altos costos de los materiales de construcción industrializados. El problema radica especialmente

en las zonas rurales de la región Interandina en donde se encuentran las zonas más vulnerables del país con los índices más altos de pobreza y abandono, a esto se suma la falta de planificación constructiva, social y ambiental dando como resultado viviendas insostenibles y sin ningún criterio de eficiencia energética.

Cabe recalcar que las zonas rurales de la Región Sierra se encuentran muchas veces a grandes distancias de los principales pueblos o ciudades por lo que les resulta muy difícil el acceso a materiales industrializados no solo por el costo sino por el transporte.

Es por esta razón que el desarrollo de ciertas fuentes alternativas y recursos renovables resulta de gran importancia en nuestro país ya que muy poco se ha logrado, especialmente en el campo del Bioclimatismo que consiste en el manejo adecuado de la energía solar pasiva, de los materiales y sistemas de construcción como elementos básicos de climatización natural integrando conceptos ambientalistas, elementos arquitectónicos y condiciones ambientales para lograr una situación de confort dentro de una vivienda rural, por lo tanto se pretende realizar un estudio para conjugar estrategias bioclimáticas, aislamiento térmico y aprovechamiento de fuentes de energía alternativa en la construcción de viviendas tomando como caso específico de estudio las viviendas rurales de la sierra ecuatoriana para mejorar la eficiencia energética de estos hogares y por lo tanto su confort.

## **1.2 Definición del problema**

En el Ecuador dentro de los últimos años las técnicas y conceptos de construcción en las zonas rurales y urbanas no han sido las adecuadas debido a que no presentan un diseño constructivo adecuado, y en donde se

considera el aspecto económico y no los factores importantes del medio como son: los factores climatológicos , la ubicación, orientación, características de los materiales del lugar, aislamiento térmico, es decir un aprovechamiento y aplicación de la energía solar pasiva y de la biomasa propia del lugar .

Cabe recalcar que los materiales de construcción convencionales presenta una huella de carbono muy alta desde la explotación de la materia prima en las minas o canteras hasta los escombros que se producen en las demoliciones de edificios o viviendas, por lo que es necesario el desarrollo de aislantes térmicos responsables con el medio ambiente y de fácil acceso a la población.

Actualmente, las viviendas tienen importantes problemas de comportamiento térmico y energético. Sin embargo esta situación se podría mejorar considerando los factores anteriormente mencionados como determinantes de la estrategia de diseño. Así las viviendas serían económicamente accesibles al mismo tiempo que confortables térmicamente con su respectivo ahorro energético. Además se pretende que este estudio sirva de base para la implementación de estrategias bioclimáticas y de aislamiento térmico natural en la construcción de viviendas en todo el territorio ecuatoriano.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1. General**

Fabricar y estudiar bloques de adobe y placas rígidas como aislantes térmicos a partir de biomasa de Totorá (*Schoenoplectus californicus*) para su aplicación en la construcción de edificaciones.

### 1.3.2 Específicos

- Establecer las proporciones óptimas para la elaboración de placas rígidas y adobes adicionados con Totora (*Schoenoplectus californicus*), con las cuales se obtenga un producto técnicamente viable.
- Realizar sobre los prototipos de placas rígidas los ensayos de conductividad térmica.
- Realizar sobre los prototipos de adobes con Totora (*Schoenoplectus californicus*) los ensayos de resistencia a la compresión.

### 1.4 Alcance

Desarrollo de aislantes térmicos naturales mediante la utilización de Totora (*Schoenoplectus californicus*) en bloques de adobe y placas rígidas, a través de la caracterización de la conductividad térmica y la resistencia mecánica de los prototipos según los ensayos normalizados, obteniendo un equilibrio entre resistencia y conductividad térmica, para que puedan ser utilizados en la construcción de edificaciones.

### 1.5 Justificación e Importancia

Dentro del diseño arquitectónico, en la mayoría de los casos de las viviendas ecuatorianas no se ha prestado atención a los aspectos relacionados al confort ambiental por medios naturales o pasivos a las viviendas construidas en las zonas de clase media a baja, cuyos asentamientos se encuentran

en climas donde existen temperaturas muy bajas produciendo una falta de confort ambiental en las viviendas.

El encarecimiento de los materiales de construcción dentro de los últimos años ha limitado que las familias tengan una vivienda digna y confortable, utilizando materiales y técnicas de construcción que no son las adecuadas y generando una arquitectura poco funcional.

Un simple recorrido que se realizó dentro de las zonas rurales más pobres del Ecuador y específicamente dentro de la provincia del Azuay, evidencian las malas condiciones físicas de las viviendas, como la presencia de infiltraciones de aire, falta de iluminación en los ambientes, y en algunos casos falta de ventilación para el humo producido de la combustión de la leña utilizada para cocinar los alimentos o para calentar la vivienda.

Partiendo de los modelos de vivienda existentes y el tipo de materiales utilizados, dentro del estudio se propone realizar cambios constructivos en su diseño, mediante el uso de materiales adecuados como la biomasa característica de la zona con el propósito de una integración arquitectónica a favor del medio ambiente y minimizando los impactos ambientales en los ecosistemas.

El estudio consistirá en desarrollar aislantes térmicos, a partir de biomasa, que puedan ser utilizados en zonas similares o extrapolables para lograr viviendas térmicamente confortables y eficientes energéticamente, sin que esto implique un incremento económico significativo.

Se conoce que la Totora (*Schoenoplectus californicus*) se encuentra principalmente en América del Norte, América del Sur y las islas de Hawái

(Stevens & Chris, 2003) . Dentro de América del Sur, se encuentra especialmente en los países andinos de Bolivia y Perú, donde es usada ampliamente para la construcción de embarcaciones, islas flotantes y viviendas que son fabricadas totalmente con esta planta y que han demostrado ser confortables y duraderas a través del tiempo lo que indica que es un material que podría ser utilizado en la construcción y que presentaría buenas características como aislante térmico.

En Ecuador la Totora se encuentra en zonas templadas y lugares donde existe lagunas, lagos, quebradas y pantanales, actualmente en la comunidad de San Rafael en la provincia de Imbabura se está promoviendo el cultivo y uso de esta planta como proyecto de la Universidad Católica de Ibarra y la Organización de Estados Americanos para la elaboración de muebles, hamacas y utensilios dando como resultado microempresas para la comunidad , es por esta razón que se quiere seguir promoviendo el uso de esta planta para fines de construcción ecológicos y accesibles a las comunidades andinas .

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Construcción sostenible**

La construcción sostenible dentro del ámbito de la Arquitectura se la puede definir como aquella que tiene respeto y compromiso con el Medio Ambiente , es decir, no atenta en contra de la Naturaleza ni la salud del hombre, mediante la aplicación del uso eficiente de la energía, es decir, es mucho más integrada en el ecosistema natural y por todo ello debe tener el mayor nivel de autosuficiencia posible, tanto en recursos como en energía con el propósito de reducir los impactos ambientales y para lograr el diseño de construcciones confortables.

Un factor muy importante es educar a sus ocupantes e integrar en la arquitectura la menor cantidad posible de aditivos tecnológicos ya que al reducir las necesidades energéticas y diseñando mejor los edificios se puede reducir drásticamente su consumo energético con una mínima cantidad de artefactos tecnológicos por lo que su coste es más económico y accesible a la sociedad.

#### **2.2 Eficiencia energética**

##### **2.2.1 Conceptos generales**

La eficiencia energética se define como la reducción o minimización en el consumo de energías convencionales a fin de ahorrar y hacer un uso racional de la misma, sin sacrificar el confort térmico, calidad de vida y protegiendo el medio ambiente, por medio de equipos de mejor calidad y/o tecnología.

Fabián López Plazas en su tesis doctoral “Sobre el uso y la gestión como los factores principales que determinan el consumo de energía en la edificación” plantea que, para ser eficiente hay que también ser eficaz pero no necesariamente al revés. Se podría hablar de máxima eficiencia cuando un sistema cubre una necesidad específica invirtiendo la mínima cantidad de recursos para ello. (López, 2006)

Francisco Javier Rey Martínez y Eloy Velasco Gómez en su libro Eficiencia Energética en Edificios, plantean que la sociedad actual necesita para mantener su nivel de vida y confort, un alto consumo energético, y que por lo tanto el reto consiste en buscar el desarrollo sostenible manteniendo el nivel de vida, pero ajustando las necesidades a los recursos existentes y evitando el derroche energético. (Rey & Eloy, 2006)

### **2.2.2 Eficiencia energética en el Ecuador.**

En el caso del Ecuador, en el año 2011, se crea la norma de Eficiencia energética en la construcción NEC-11 cuyo objetivo es fomentar el diseño y construcción de edificaciones bajo puntos de vista de sostenibilidad, eficiencia y buen manejo de los recursos en el Ecuador, disminuyendo de esta manera el consumo de combustibles fósiles, recursos no renovables y las emisiones de gases de efecto invernadero. (MIDUVI, 2011)

Los parámetros a considerar en una edificación según la NEC-11, son los siguientes: cuantificación del consumo energético, uso de materiales nocivos para el ambiente y la salud humana, uso de materiales y recursos naturales, tipos de agua, uso del suelo, consumo de materiales escasos y una integración social, económica y cultural.



### **2.2.3 Criterios o estrategias de eficiencia energética en la construcción.**

Se deben proyectar edificios que tiendan a autorregularse térmicamente y sin necesidad de artefactos , es decir tan solo por su diseño arquitectónico, siguiendo una cuidadosa y compleja metodología proyectual y un conjunto de estrategias arquitectónicas y utilizando únicamente elementos arquitectónicos convencionales.

Estas estrategias generales son las siguientes:

#### **2.2.3.1 Obtención de datos climatológicos y entorno**

Se debe recabar la máxima información climatológica posible de un determinado lugar que debe incluir la variación térmica diaria, humedad, vientos dominantes, radiación, así como cualquier dato representativo del microclima local, de manera que se puede tener una idea de los principales problemas a resolver así como del edificio más adecuado. (Miguet & Garrido, 2012)

Las zonas climáticas es una aproximación del posible entorno natural que encontrará el proyectista en el diseño de una edificación. Según la NEC-11 el Ecuador está dividido en 6 zonas térmicas de acuerdo a la temperatura media anual registrada por el INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología). Las cuales se detallan a continuación:

Tabla 1.

Rango de temperatura de acuerdo a las zonas climáticas

Zona climática	Rango de temperatura. °C
ZT1	6 -10
ZT2	10-14
ZT3	14-18
ZT4	18-22
ZT5	22-25
ZT6	25-27

Fuente: (MIDUVI, 2011)

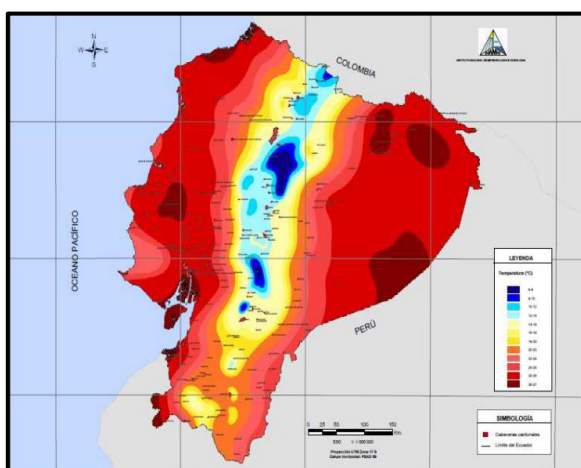


Figura 1. Mapa de temperatura Media multianual-serie 1965 – 1999

Fuente: (MIDUVI, 2011)

### 2.2.3.2 Emplazamiento, orientación y forma de la edificación.

La elección del emplazamiento es muy importante y se debe realizar un análisis de los cuatro tipos básicos de regiones climáticas:

- En la zona fría se debe buscar ubicaciones protegidas de los vientos por ejemplo en una media pendiente.
- En la zona templada de igual manera se debe proteger de los vientos fríos y tratar de captar brisas.
- En la zona cálida y seca la ubicación más apropiada es la parte baja de una pendiente, ya que en los valles el clima es más fresco y húmedo
- En la zona cálida húmeda se debe buscar el movimiento de aire, cerca de las cimas de los montes.

Víctor Olgay manifiesta que una orientación óptima en un emplazamiento dado será aquella que proporcione la máxima radiación durante el periodo frío y la mínima durante el cálido. De esta manera en condiciones de frío la radiación solar es favorable y es conveniente colocar el edificio en la orientación en la que pueda recibir la mayor radiación posible; mientras que para hacer frente a unas condiciones de calor excesivo, la orientación del edificio debe proporcionar una disminución de los impactos solares desfavorables.

En cuanto a la forma se recomienda algunas formas para los edificios dependiendo de la zona climática en la que se encuentre, así por ejemplo para zonas frías la forma cuadrada, cerrada, compacta, y el desarrollo en altura; para zonas templadas con un clima más benigno, recomienda la forma alargada o en forma de cruz; para una zona cálida árida las formas cúbicas macizas o ligeramente alargadas; y para la zona cálida húmeda, definitivamente las construcciones alargadas (Olgay, 1998).

### **2.2.3.3 Disponibilidad de los recursos.**

El conocimiento del potencial disponible de energías renovables de la zona, incluyendo una evaluación de su variabilidad espacial y temporal y la posible complementariedad entre los recursos, es clave para una adecuada planificación e integración de la producción de energía de origen renovable y el consumo de energía y recursos en la edificación, dependiendo del potencial energético en cada zona podemos integrar las siguientes fuentes de energía renovable:

- Energía solar térmica
- Energía solar fotovoltaica
- Energía eólica
- Biomasa

### **2.2.3.4 Optimización de radiación Solar**

En zonas frías se recomienda almacenar la radiación solar en elementos macizos de materiales como hormigón, piedra o arcilla cuya inercia permita la acumulación de calor en la fachada o muros interiores. Este calor se restituye paulatinamente por convección y radiación en las horas nocturnas también es necesario limitar los intercambios de temperatura con el exterior reduciendo la superficie en la envolvente, reforzando el aislamiento térmico y disminuyendo el movimiento del aire.

En zonas cálidas se debe controlar la radiación directa mediante elementos constructivos de protección solar (aleros, persianas, pérgolas, batientes), superficies acristaladas con coeficientes de transmisión bajos para limitar los

aportes energéticos externos. Se puede complementar con uso de textiles o protección vegetal y disipar el calor con ventilación natural

### **2.2.3.5 Elección de materiales de construcción adecuados.**

Dentro de la norma NEC-11 para que un edificio sea considerado eficiente energéticamente, se debe justificar que un 20% de los materiales de construcción usados en las edificaciones cumplen al menos un parámetro de los enunciados a continuación.

- **Uso de materiales reciclados:** Se debe garantizar la calidad del producto según normas INEN u otras normas internacionales.
- **Uso de materiales locales:** Se debe usar materiales cuyo lugar de fabricación no sea mayor a 100 km. Se debe tomar en consideración su valor material y cultural.
- **Construcción desmontable:** La construcción debe tener un carácter modular que en el caso de desarmarse el material pueda ser recuperado en su mayoría y reutilizado en otro edificio.
- **Materiales de alta tecnología eficientes en el ahorro de energía:** Se debe considerar materiales que en el proceso de fabricación incluyan mejoras tecnológicas de sus propiedades energéticas, físicas y se prolongue la vida útil de los mismos.
- **Materiales de baja toxicidad:** Se debe utilizar materiales que contengan un bajo o nulo nivel de toxicidad desde el momento de su fabricación, operación, vida útil y disposición final.

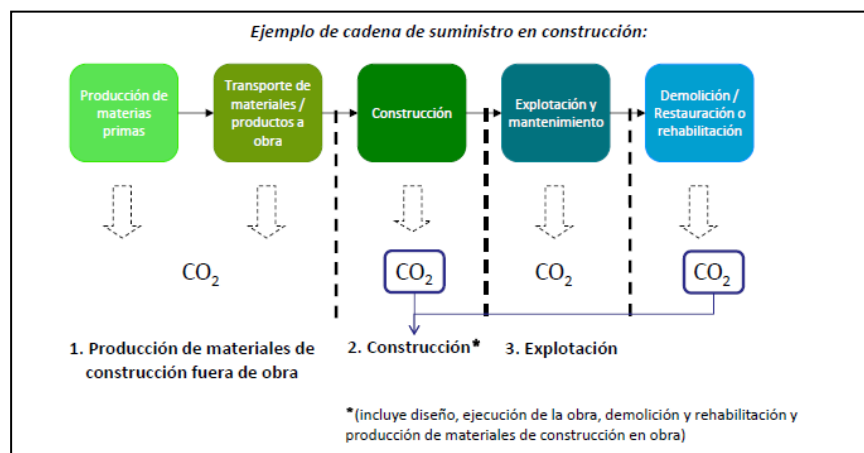
## **2.3 Huella de carbono**

La huella de carbono se define como la cantidad de emisión de gases relevantes al cambio climático asociada a las actividades de producción o consumo de los seres humanos, aunque el espectro de definiciones varía desde un mirada simplista que contempla sólo las emisiones directas de CO<sub>2</sub>, a otras más complejas, asociadas al ciclo de vida completo de las emisiones de gases de efecto invernadero, incluyendo la elaboración de las materias primas y el destino final del producto y sus respectivos embalajes

### **2.3.1 Huella de carbono en el sector de la construcción**

El cálculo de la huella de carbono de todo el ciclo de vida de la vivienda o edificación, incluye la sumatoria del aporte que se genera en la fase de producción, el cual se contabiliza con el aporte del CO<sub>2</sub> equivalente de la fase de construcción, el aporte de la fase de operación y el aporte de la fase de fin de servicio. Se debe contabilizar también, en caso de existir reservorios de CO<sub>2</sub> como proyectos de reforestación o similares en el área a intervenir con la edificación; de forma tal que en tales casos, la huella de CO<sub>2</sub> se disminuye. (CEPAL. , 2010)

El sector de la construcción contempla tres ámbitos de operación, de cara a la cuantificación de emisiones.



**Figura 2. Cadena de suministro en construcciones**

Fuente: (CEPAL. , 2010)

## 2.4 Aislamiento térmico en edificios.

El aislamiento térmico es la capacidad de los materiales para oponerse al paso del calor por conducción. Se evalúa por la resistencia térmica que tienen. La medida de la resistencia térmica o, lo que es lo mismo, de la capacidad de aislar un edificio térmicamente, se expresa, en el Sistema Internacional de Unidades (SI) en  $m^2.K/W$  (metro cuadrado y Kelvin por Vatio).

Se considera material aislante térmico cuando el coeficiente global de transmisión de calor es inferior a  $0,085 \text{ kcal} / m^2. ^\circ C$  medido a  $20^\circ C$  (obligatorio) o  $0,10 \text{ W}/m^2K$ . (Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-11, 2011)

Dentro del Código Técnico de la Edificación de España se considera un material aislante aquel que presenta un coeficiente de conductividad térmica inferior a  $0,06 \text{ W}/m.K$  (Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción, 2010)

Los materiales de construcción tradicionales como yesos, ladrillos, morteros tienen una resistencia media. Aquellos materiales que ofrecen una resistencia alta, se llaman aislantes térmicos específicos o, más sencillamente, aislantes térmicos.

Ejemplos de estos aislantes térmicos específicos pueden ser las lanas minerales (lana de roca y lana de vidrio), las espumas plásticas (EPS, Poliestireno expandido, Polietileno expandido, PUR, Poliuretano expandido), reciclados como los aislantes celulósicos a partir de papel usado, vegetales (paja, virutas madera, fardos de pasto, etc.); entre otros.

## **2.5 Características de los materiales de construcción**

### **2.5.1 Conductividad térmica**

La conductividad térmica indica la velocidad a la que se transfiere la energía mediante el proceso de difusión, y depende de la estructura física de la materia, atómica y molecular, que se relaciona con el estado de la materia.

### **2.5.2 Coeficiente de conductividad térmica**

Se define como la cantidad de calor que un material transmite en condiciones unitarias de espesor, superficie, tiempo y diferencia de temperatura entre las caras que intercambian calor. Su símbolo es la letra griega  $\lambda$  y su unidad en el Sistema Internacional de unidades es W/m.K (Vatios/metro.Kelvin)

La característica más importante de todo aislamiento térmico es su coeficiente de conductividad, parámetro que indica el calor cedido en una pared, expresado por unidad de superficie y espesor en la unidad de tiempo y



cuando entre sus superficies interior y exterior se establece la diferencia de temperatura de un grado.

La conductividad térmica, bajo flujo térmico constante, se puede expresar como:

$$\lambda = \frac{Q}{A * (-\frac{\Delta T}{\Delta x})} \quad [Ecuación 2.1]$$

Donde:

**$\lambda$** : Coeficiente de conductividad térmica del material, medida en  $W m^{-1} K^{-1}$

**Q**: Flujo de calor a lo largo del espesor, medida en Watios

**A**: Área de la sección del material, perpendicular al flujo de calor, medida en  $m^2$

$\frac{\Delta T}{\Delta x}$  : Gradiente de temperatura entre la placa fría y caliente, medida en Kelvin siendo  $\Delta x$  el espesor de la muestra.

Si se multiplica el inverso de la conductividad térmica, por el espesor del material se obtiene la resistencia térmica [R] de éste:

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad [Ecuación 2.2]$$

Donde:

R= Resistencia térmica ( $W/m^2.K$ )

e =espesor o longitud o tranferencia (m)

$\lambda$  =conductividad térmica ( $W/m.K$ )

La resistencia térmica, entonces, se define como la propiedad de un elemento o material de oponerse al paso del calor, en el Sistema Internacional

de medidas la unidad es:  $W/m^2.K$  (CORPORACIÓN DE DESARROLLO TECNOLÓGICO, 2008)

### **2.5.3 Coeficiente global de transferencia de calor de un cerramiento: coeficiente K**

El aislamiento térmico de un elemento se caracteriza por la suma de resistencias de los diversos componentes, así como de las superficies.

El coeficiente K define las pérdidas por unidad de superficie, es decir, la cantidad de calor que atraviesa una superficie de  $1m^2$  por grado de diferencia de temperatura entre dos ambientes, su unidad es  $W/m^2.K$  y viene dado por la siguiente fórmula :

$$k = \frac{1}{R} \quad [Ecuación 2.3]$$

Dónde:

$$R=R_c + R_i + \Sigma R \quad [Ecuación 2.4]$$

**R**= Resistencia térmica total de un elemento con diferentes componentes o capas.

Dentro de la Norma NEC-11, se establece el coeficiente global de transferencia máxima según el tipo de cerramiento y la zona climática.

Tabla 2

**Coefficiente de transferencia K en función del tipo de cerramiento y la zona climática. Climas fríos en  $W/m^2.K$**

Zona climática	Tm. °C	Fachadas en contacto con el aire	Cerramientos en contacto con el terreno	Cubiertas en contacto con el aire	Ventanas
ZT1	6,0-10,0	1,00	1,00	0,75	5,70
ZT2	10,0-14,0	1,25	1,25	1	5,70
ZT3	14,0-18,0	1,80	1,80	1,50	5,70

Fuente: (MIDUVI, 2011)

Tabla 3

**Coefficiente de transferencia K en función del tipo de cerramiento y la zona climática. Climas cálidos que usen climatización activa en  $W/m^2.K$**

Zona climática	Tm. °C	Fachada en contacto con el aire	Cerramientos en contacto con el terreno	Cubiertas en contacto con el aire	Ventanas
ZT1	18,0- 22,0	2,50	2,50	1,50	5,70
ZT2	22,0-25,0	2,00	2,00	1,00	5,70
ZT3	25,0-27,0	1,50	1,50	0,75	5,70

Fuente: (MIDUVI, 2011)

Tabla 4

**Coefficiente de transferencia K en función del tipo de cerramiento y la zona climática. Climas cálidos que usen climatización pasiva.**

Zona climática	Tm. °C	Fachadas en contacto con el aire	Cerramientos en contacto con el terreno	Cubiertas en contacto con el aire	Ventanas
ZT1	18,0-22,0	2,50	2,50	1,50	5,70
ZT2	22,0-25,0	3,00	3,00	1,00	5,70
ZT3	25,0-27,0	3,00	3,00	0,75	5,70

Fuente: (MIDUVI, 2011)

#### 2.5.4 Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión de un material puede definirse como su capacidad de no destruirse, deformarse o descomponerse ante la oposición de una carga.

El ensayo de resistencia a la compresión es un ensayo técnico que permite determinar la resistencia de un material a su deformación ante un esfuerzo de compresión.

$$R = \frac{CT}{A} \quad [Ecuación 2.5]$$

Donde:

R= Resistencia a la compresión kg/ cm<sup>2</sup>

CT = Carga total Kg

A = El área de la cara del adobe.cm<sup>2</sup>

### 2.5.5 Densidad

La densidad, o masa específica de un material, es el cociente que resulta de dividir la cantidad de masa (kg) de dicho material por su volumen unitario (m<sup>3</sup>). Así, la densidad que caracteriza al material se mide en kilogramos por metro cúbico (kg/m<sup>3</sup>).

$$\rho = \frac{m}{V} \quad [Ecuación 2.6]$$

Donde:

$\rho$  =densidad

m = masa

V = volumen del cuerpo.

Muchos materiales, como los bloques o ladrillos son fabricados de tal forma que en su interior queda aire en forma de burbujas, esto radica en el peso final, entonces, se define a la densidad como la relación de peso a volumen de una masa determinada.

## **CAPÍTULO III**

### **ESTADO DEL ARTE DEL AISLAMIENTO CONVENCIONAL Y NATURAL**

#### **3.1 Aislantes térmicos**

Los aislantes térmicos son materiales usados en la construcción y que constituyen una parte importante para el ahorro y eficiencia energética en una vivienda. En teoría se trata de un material que posee alta resistencia térmica, y que permite la reducción de las pérdidas de calor desde el sistema con el medio ambiente, es decir un aislante protege contra las pérdidas de calor del interior, pero también contra el exceso de temperatura exterior.

##### **3.1.1 Aislantes térmicos convencionales**

Existen diversos materiales de aislamiento térmico que están presentes en los mercados los cuales han demostrado un excelente aislamiento y por lo tanto un buen ahorro energético a las viviendas, sin embargo hay que valorar el coste adicional y medioambiental que conlleva la fabricación y transporte de estos materiales, además del riesgo para la salud que supone el uso de productos tóxicos.

###### **3.1.1.1. Hormigón celular**

El hormigón celular fue creado con el objetivo de encontrar un material de construcción que presentara características como aislamiento, solidez y trabajabilidad. Este tipo de hormigón se consigue de la mezcla de cemento, arena, agua, agente espumante y aditivos específicos para mejorar las propiedades finales, el cual una vez endurecido resulta un hormigón liviano que

contiene millones de pequeñas burbujas o celdas de aire de tamaño consistente y distribuidas en toda la masa

La densidad del hormigón celular resulta inferior a la del hormigón convencional y esta cualidad está determinada por la cantidad de espuma que se adhiere a la mezcla. (Bedoya & Neila, 1997)

### **3.1.1.2 Arcilla expandida**

La arcilla expandida es un agregado inerte y ligero, que se produce industrialmente con arcillas naturales seleccionadas y adecuadamente tratadas, que alcanzan en el horno rotativo un estado piro plástico a temperaturas superiores a 1120°C. La ventaja de este material es que no contiene sustancias químicamente activas orgánicas o inorgánicas, puede sustituir a la piedra triturada y las arenas para producir concretos estructurales ligeros de igual resistencia a la compresión y con un 30% menos de peso que los obtenidos con agregados tradicionales. Sin embargo la desventaja es que aumenta los costos de producción de los bloques hasta un 50% y además presenta una mayor contracción por secado. Los coeficientes de conductividad térmica se encuentran entre 0,095 y 0,148 W/m. °C.

### **3.1.1.3 Lana de vidrio y lana de roca**

La lana de vidrio es un material compuesto de la fusión de sílice a 1450 °C en forma de arena natural, vidrio reciclado, fundentes, estabilizantes, bórax y una mezcla de calcio finamente molido. El vidrio así obtenido es convertido en fibras. Para ello se recurre a un método de alta velocidad como es la centrifugación, enfriándose al entrar en contacto con el aire. Se la produce en forma de fieltros cuyo valor de conductividad térmica está entre de 0,041 y

0,048 W/m°C también se puede obtener paneles rígidos y semirrígidos cuyos valores de conductividad térmica están entre 0,036 y 0,040 W/m.°C, además dicho material puede soportar temperaturas de hasta 500 °C.

La lana de roca tiene un proceso de producción muy similar a la lana de vidrio con la diferencia que se utiliza como materia prima escoria provenientes de erupciones volcánicas basalto las cuales son llevadas a una temperatura de fusión de 1600 °C. En cuanto a las características térmicas su coeficiente de conductividad térmica en paneles y fieltro está entre 0,043 y 0,037 W/m. °C.

#### **3.1.1.4 Vidrio celular**

Es una espuma de vidrio obtenida por una emulsificación del vidrio con carbono puro que se calienta a una temperatura tal para que reblandezca y el carbono, al gasificarse produzca en la masa vidriosa pequeñas células, enteramente cerradas, en las que exista un ligero vacío.

El material se presenta en forma de bloques resistentes y ligeros con estructura celular, formando el conjunto de un cuerpo aislante rígido. Siendo este aislante un verdadero cristal, tiene por tanto las siguientes propiedades: es incombustible, inalterable y resiste a los ácidos y vapores y posee un coeficiente de conductividad: 0,049 W/m. °C.

La principal desventaja de este material es su precio debido a que resulta costoso.

#### **3.1.1.5 Poliestireno expandido**



Es un aislante derivado del petróleo y del gas natural, de los que se obtiene el polímero plástico estireno en forma de gránulos. Para construir un bloque se incorpora en un recipiente metálico una cierta cantidad del material que tiene relación con la densidad final del mismo y se inyecta vapor de agua que expande los gránulos hasta formar el bloque. Es fácilmente atacable por la radiación ultravioleta por lo cual se los debe proteger de la luz del sol y posee una alta resistencia a la absorción de agua y no forma llama ya que al quemarse se sublima. En cuanto a sus propiedades térmicas presenta un coeficiente de conductividad térmica entre 0,047 a 0,033 W/m. °C. y puede resistir temperaturas de hasta 70 °C.

#### **3.1.1.6 Poliestireno extruido.**

El poliestireno extruido, o extrusionado, también conocido por su acrónimo inglés XPS, es una espuma rígida resultante de la extrucción del Poliestireno en presencia de un gas espumante, usada principalmente como aislante térmico. Posee una conductividad térmica entre 0,032 y 0.036 W/m °C. y puede resistir temperaturas comprendidas entre -50 a 70 °C es muy sensible a la presencia de humedad

#### **3.1.1.7 Espuma de poliuretano.**

Es un material plástico poroso formado por una agregación de burbujas. Se forma básicamente por la reacción química de los compuestos, un polioliol y un isocianato y variados aditivos. Dicha reacción libera dióxido de carbono, gas que va formando las burbujas tiene un coeficiente de conductividad térmica de 0,023 °C y soporta temperaturas de -50 a 110 °C.

En conclusión , los aislamientos térmicos de origen sintético orgánicos e inorgánicos en su fabricación presentan un gran derroche de energía debido a que en su proceso de fabricación demandan altas temperaturas por otra parte se debe analizar el riesgo que tienen para la salud debido que en su fabricación se utilizan aditivos y aglomerantes químicos . La lana de roca emite formaldehído y fibras y tiene el inconveniente de ser atacada por la humedad, Por su parte la lana de vidrio resulta especialmente peligrosa por ser difusora de fibras causantes de problemas respiratorios y cáncer de pulmón, al igual que el asbesto o amianto que puede provocar cáncer de laringe y de tracto gastrointestinal tumores gastrointestinales.

En cuanto al análisis del ciclo de vida de los materiales no se recomienda el uso de Poliestireno expandido por ser un derivado del petróleo y su materia prima tóxica , lo mismo sucede con las espumas de Poliestireno y Poliuretano debido a que emiten gases tóxicos al ambiente durante largo tiempo y sobretodo son peligrosos al quemarse . En general no se recomienda ningún material con urea-formaldehído.

### **3.1.1.8 El corcho**

El corcho es un producto natural, renovable y abundante, procedente de la corteza del alcornoque, constituye un buen aislante térmico debido a su bajo coeficiente de conductividad, gracias al volumen de aire que contiene su estructura celular, que también le permite una gran capacidad de respiración, se utiliza en paredes techos y suelos, además presenta mucha resistencia a la humedad, la putrefacción y el moho. Se emplea en placas o gránulos con los cuales se rellenan las cámaras de aislamiento de las paredes en o incluso de los suelos. Presenta la ventaja de ser poco deteriorable y tener gran duración,

es económicamente rentable ya que posee un bajo coste, se debe tener cuidado al colocarlo en interiores debido a que presenta un olor característico.

El coeficiente de conductividad térmica del corcho expandido es de 0,042 W/m°C a 20°C.

### **3.1.1.9 La lana de oveja**

Dentro de los aislantes convencionales la lana de oveja es un material renovable, sano y natural con un gran poder aislante térmico, tanto del calor como del frío, además presenta la capacidad de ser ignífuga. La conductividad de la lana de oveja como aislante térmico se encuentra en el rango de 0,035 a 0,050 W/m. °C, posee una temperatura de inflamabilidad de 560°C y tiene una capacidad higroscópica de 33% su peso. (Zach, Korjenic, & Bednar, Performance evaluation and research of alternative thermal insulation based in sheep wool , 2012)

### **3.1.1.10 El cáñamo**

Es un aislantes térmico que se produce en gran proporción en forma de mantas y en paneles en donde el coeficiente de conductividad térmica varía entre 0,040 y 0,048 W/m°C.

### **3.1.1.11 La paja**

La paja es un material aislante puro que al ser comprimido puede convertirse en un material con una considerable capacidad portante. También aquí el aire encerrado se encarga de producir un efecto aislante, la fabricación

de paredes requiere de enlucidos para una superficie más uniforme y compacta, este tipo de construcciones resultan muy económicas.

En la Universidad de Plymouth los investigadores Goodhew y Griffiths midieron las propiedades térmicas de las paredes construidas con fardos de paja en la que se determinaron los siguientes valores:

**Tabla 5**

**Propiedades térmicas de materiales a base de paja**

	<b>Densidad (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Conductividad térmica (W/m.K)</b>
<b>Fardo de paja</b>	60	0,067
<b>Mezcla arcilla-paja</b>	440	0,180

Fuente : (Goodhew & Griffiths, 2004)

### 3.1.1.12 Fibra de madera

A partir de fibras de madera se pueden elaborar paneles y mantas como materiales aislantes, en su elaboración se llega a utilizar un 80% de fibras de madera especialmente de coníferas, opcionalmente pueden contener aglutinantes y/o aditivos añadidos en el proceso de fabricación. Como materia prima se pueden aprovechar los residuos de madera de los aserraderos, tales como astillas o virutas. Según las especificaciones de la norma EN 13171 sobre los productos manufacturados con fibra de madera, ésta presenta una densidad entre 30-60 kg/m<sup>3</sup> (soplado), 130-250 kg/m<sup>3</sup> (en manta) con un coeficiente de conductividad térmica: 0,03-0,06 W/ (m.K), lo que le provee un gran aislamiento térmico además de su reutilización.

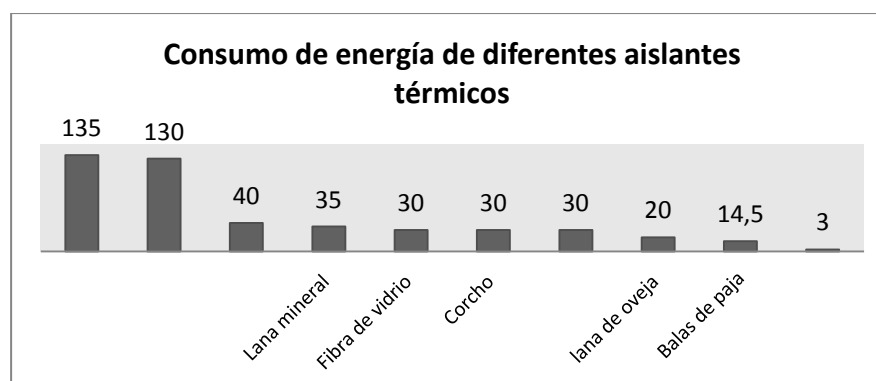
El consumo de energía primaria es un aspecto dentro del ciclo de vida de materiales de construcción, por lo que se han llevado a cabo investigaciones que han cuantificado tanto el consumo de energía como el consumo de agua en su fabricación.

**Tabla 6**

**Consumo de energía de diferentes aislantes térmicos**

Material aislante	Consumo de energía en MJ/Kg	Consumo de agua en l/Kg
Espuma de poliuretano	135	-----
Poliestireno extruido	130	-----
Fibras de cáñamo usando esteres como aglutinante	40	-----
Lana mineral	35	1360
Fibra de vidrio	30	
Corcho	30	25
Fibras de madera	30	-----
lana de oveja	20	-----
Balas de paja	14.5	-----
Arcilla expandida	3	-----

Fuente: (Berge, 2009)



**Figura 3. Consumo de energía de diferentes aislantes térmicos**

Fuente: (Berge, 2009)

Por lo tanto se puede observar que los materiales sintéticos orgánicos demanda de muchísima energía en su fabricación, también se puede agregar que aunque la lana mineral necesita de menor consumo de energía, el agua que se necesita para su fabricación es muy alto pues requiere de 1360 l/kg resultando materiales con una huella de carbono muy alta.

### **3.1.2 Aislantes térmicos naturales**

El uso de materiales de construcción apropiados a la zona de emplazamiento y con una baja huella de carbono todavía no ha recibido la atención adecuada en Ecuador y menos aún la reutilización de los residuos agrícolas como fuentes de energía renovable.

Dentro de este punto se recalcan las investigaciones realizadas sobre aislantes térmicos a base de residuos agrícolas como cascarilla de arroz, fibra de coco, mazorcas de maíz, bagazo, *Schoenoplectus californicus* o Typha Latifolia conocida comúnmente como totora o junco de estera, paja, palma africana, y café tomando como referencia los materiales más relevantes dentro de nuestro país y obteniendo la información de bases de datos digitales de tesis y trabajos en distintas universidades así como artículos científicos más recientes.

En primer lugar, podemos recalcar la investigación realizada en Visvesvaraya National Institute of Technology, Nagpur, India, en el cual se realiza un análisis sobre los coeficientes de conductividad térmica de tableros aglomerados con partículas de diferentes biomasas, en donde se obtuvieron los siguientes valores:

Tabla 7

## Propiedades físicas de tableros de partículas hechos de residuos agrícolas

Residuo agrícola	Densidad kg/m <sup>3</sup>	Conductividad térmica (W/m.K)
Corcho	110	0,04 -0,055
Algodón	20-60	0,04
Cáscara de trigo	90	0,06
Lino	40-50	0,04-0,05
Cáñamo	150	0,04 -0,08
Virutas de madera	70	0,045
Celulosa	30-60	0,039
Fibra de madera	130 -250	0,04-0,06
Lana de madera	350-600	0,09-0,1
Fibra de coco	70-110	0,045-0,05
Bagazo de caña	190-220	0,045-0,065
Algas	70-80	0,045
Paja	80-600	0,045-0,13
Lana de oveja	20-80	0,04-0,045

Fuente: (Mangesh & Raul, 2012)

En este estudio se lleva a cabo la comparación entre los coeficientes de conductividad térmica de diferentes residuos agrícolas estudiados, se puede observar que la mayoría de residuos se encuentran en un rango de 0,04 a 0,06 W/m.K, a excepción de la lana de madera que presenta un mayor valor.

### 3.1.2.1 Totora

El estudio de la utilización de totora como aislante térmico es muy reducido, en la actualidad existe muy poca información, sin embargo se ha recopilado lo siguiente:

En la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid se realizó un estudio sobre morteros de escayola reforzados con fibras de un tipo de totora denominada *Typha Latifolia*, para ello se utilizó fibras de 3 a 4 cm y se realizaron probetas de 4x4x16 cm, también se agregó melanina-formaldehído como aditivo estabilizante. El resultado fue que la adición de 2% de fibras produce una reducción de peso del 7,94% al desmoldarlo y 23,06% a los 7 días de secado, Sin embargo también se determinó que hubo una disminución en los valores de resistencia mecánica, los ensayos fueron realizados bajo la norma UNE 102.032 Yesos y escayolas de construcción (García A., 2003)

Investigadores de Austria y Alemania en el 2011 elaboraron paneles de totora comprimidos a 106°C sin la utilización de aglutinantes y en los cuales se determinaron las propiedades de resistencia a la flexión y absorción de agua. El estudio se realizó bajo la Norma DIN 310 Resistencia a la flexión y DIN 5235 Absorción de agua, se determinó que estos paneles presentaban un buen rendimiento mecánico superando a otras fibras vegetales que contenía 15% de aglutinante fenólico. Se obtuvo un valor de MOE = 3100 MPa y un MOR= 39,5 MPa (Wuzella, Raj, Batge, & Juey, 2011)

Un estudio realizado en la India en el año 2012, se fabricó matrices de poliéster reforzado con fibras de *Typha Latifolia*, en las cuales se determinó el valor de conductividad térmica encontrándose valores de 0,432 y 0,39 W/m.K para matrices con porcentaje de 15 y 30% respectivamente. (Ramanaiah, Ratna, & Chandra, 2012)

### **3.1.2.2 Paja**

En cuanto a la fabricación de tableros se han realizado pruebas utilizando diferentes resinas, en un ensayo realizado con la resina epoxi base bisfenol se



determinó que el coeficiente de conductividad térmica en el mejor de los casos fue de 0,1054 a 0,1224 W/m.K (García & Amado, 2013)

La utilización de la resina a base de metano isocianato que resulta una resina de alta calidad y de altos costos el coeficiente de conductividad térmica se estimó en 0,041W/m.K a una densidad de 160 kg/m<sup>3</sup> (Charlson & Harvey, 1997)

La paja de trigo también se ha estudiado en conjunto con otras biomásas como por ejemplo se han elaborado bloques con una composición de 12 % de rastrojo de trigo, 30% de tallos de girasoles, 20% de fibras de algodón y 20% de una resina epoxi, obteniéndose valores de conductividad térmica de 0,1642 W / m. K aunque se encuentra por encima de la norma, la utilización de nuevas biomásas o fibras darían la posibilidad de mejorar la conductividad. (Binici & Eken, 2013)

### **3.1.2.3 Cascarilla de arroz**

La utilización de la cascarilla de arroz en morteros a base de cemento y cal como materiales de construcción se ha determinado en varias investigaciones en las que la cascarilla de arroz presenta buenas propiedades aislantes como material aligerante del hormigón, dentro de la investigación sobre Materiales de construcción con propiedades aislantes a base de cascara de arroz se determinó que la mezcla de 46,7% de cemento; 17,96% de cascarilla de arroz y 32,27% de agua y realizando bloques con una tamaño de 60 x 60 cm y 6 cm de espesor obtuvo buena resistencia, obteniéndose valores de conductividad térmica entre 0,105 y 0,123 W/m.K (Serrano & Castro, 1985)

Se han realizado investigaciones elaborando tableros de partícula fina a partir de cascarilla de arroz y otros materiales lignocelulósicos como fibra de fique y banana utilizando como aglomerante engrudo de almidón de yuca y posteriormente polivinil acrilato PVA por ser un aglomerante común en el mercado y que no atenta contra la salud de las personas. Los valores de conductividad térmica que se obtuvieron con los aglomerados fueron:

**Tabla 8.**

**Valores de conductividad térmica de las diferentes muestras aglomeradas**

<b>Muestra/ material</b>	<b>Conductividad térmica (W/m.K)</b>
<b>Cascarilla de arroz, almidón de yuca , fibra de banano y fique</b>	<b>0,0653</b>
<b>Cascarilla de arroz , PVA y fibra de banano</b>	<b>0,2117</b>

Fuente : (Cadena & y Bula, 2002)

Como se puede observar el uso de un aglomerante sintético aumentó considerablemente el coeficiente de conductividad térmica, además se determinó que al aumentar la presión disminuía la porosidad del material aumentando el coeficiente de conductividad térmica.

En la Escuela Superior Politécnica del Litoral se realizó una investigación sobre la elaboración de tableros de partícula fina a partir de residuos lignocelulósicos y resinas termoestables que consistió en el estudio sobre la utilización de cascarilla de arroz , bagazo de caña y polímeros termoestables para la elaboración de tableros de partículas aglomeradas , utilizando como resinas urea formaldehído y fenol formaldehído al 4 y 10%, determinándose

que la mayor resistencia a la absorción de agua se obtuvo con el fenol formaldehído lo cual concuerda con la bibliografía disponible en otras investigaciones , también se comprobó que el bagazo de caña presentaba mejor resistencia a la absorción del agua que la cascarilla de arroz. (Tapia, 2007)

#### 3.1.2.4 Mazorca de maíz.

La utilización de mazorca de maíz para la elaboración de hormigones ligeros ha dado resultados interesantes en cuanto a materiales de construcción no estructurales, dentro de la investigación realizada en la Universidad de Tras-os-Montes e Alto Douro, Portugal se determinó que en morteros aligerados con partículas de mazorca de maíz en proporciones de 6:1:1( mazorca de maíz, cemento Portland y agua ) se obtuvieron valores de resistencia a la compresión entre 280 a 292 KN/m<sup>2</sup> y un coeficiente de transmisión térmica 1.99 W/m.°C (Pinto, Viera, Pereira, & Varum, 2012)



**Figura 4. Hormigón ligero de mazorca de maíz**

Fuente: (Pinto, Cruz, Paiva, & Pereira, 2012)

Continuando con la investigación dentro de la Universidad de Tras-os-Montes e Alto Douro, en Portugal se elaboraron tableros de partículas finas de

mazorca de maíz y acetileno de polivinilo como aglomerante, muy utilizado en la industria maderera y se elaboró tableros de partícula fina con dimensiones de 25 x 25 cm y con espesores de 3,5,6 y 8 cm, estos paneles se colocaron de manera que sustituyera una ventana y a través de un sistema de medida de flujo térmico se obtuvieron los siguientes coeficientes de transmisión de calor (Pinto, Cruz, Paiva, & Pereira, 2012)

**Tabla 9**

**Coefficientes de transmisión de calor de tableros de partículas de maíz a diferentes espesores.**

<b>Espesor de la muestra cm</b>	<b>U , coeficiente de transmisión de calor W/m<sup>2</sup>°C</b>
<b>3</b>	2,14
<b>5</b>	1,89
<b>6</b>	1,64
<b>8</b>	0,95

Fuente: (Pinto, Cruz, Paiva, & Pereira, 2012)

Los datos encontrados indican que a mayor espesor el coeficiente de transmisión de calor varía considerablemente, además cabe mencionar que este estudio se basó en la norma ISO 9869 Medida in situ de la resistencia y transmitancia térmica.

### **3.1.2.5 Fibra de coco**

El uso de esta fibra como aislante térmico se ha probado en la elaboración de paneles tipo sándwich de ferro cemento dentro del cual se colocaron fibras

de coco , se determinó que el coeficiente de conductividad térmica fue de 0,221 W / m.K para paneles con dimensiones de 1m x1 m y 25 cm de espesor .

También se indica que existe una cantidad óptima de fibra de coco ya que al aumentar la carga de fibras disminuye el espacio de aire y por lo tanto la conductividad térmica aumenta. (Ramirez, Castillo, Morales, & Guzman, 2012)



**Figura 5. Paneles de ferro cemento tipo sándwich con fibra de coco**

Fuente: (Ramirez, Castillo, Morales, & Guzman, 2012)

### **3.1.2.6 Caña de azúcar**

En la investigación realizada en Kyoto por Widyorini y Umemura, en el año 2005 se determinaron las propiedades de el bagazo de caña con y sin médula desarrollando un tablero de aislamiento térmico sin aglomerantes utilizando un sistema de prensado en caliente a temperatura de 180°C en el cual no se eliminó la médula del bagazo y los azúcares residuales. Las densidades de los tableros elaborados sin aglomerante fueron relativamente altas, alrededor de 1,34 a 1,36 g /cm<sup>3</sup>. Los resultados mostraron que la médula del bagazo proporciona alta resistencia a la flexión en comparación con el bagazo desmedulado. (Widyorini & Umemura, 2005)

Otra investigación realizada en la Universidad de Sheffield, en el año 2011 describe la producción de placas de aislamiento térmico de baja densidad

elaborada a partir de cáscara de coco y bagazo sin el uso de aditivos químicos de unión y a través del método de prensado en caliente.

Se obtuvieron paneles de aislamiento con valores de coeficientes de conductividad térmica desde 0.046 a 0.068 W/m.K para espesores de 2,5 a 3 cm de espesor

Cabe recalcar que los tableros de aislamiento hechos solo de bagazo sin aglomerantes tenían propiedades superiores a las de los tableros realizados solo con cáscara de coco. Además se comprobó que al aumentar la densidad de los tableros aumenta el módulo de rotura por lo que es importante encontrar un buen equilibrio.

También se encontró un problema de hinchazón en el tablero por lo que los autores recomiendan envolver el panel con materiales impermeables como el plástico o polipropileno. (Panyakaew & Fotios, 2011)

### **3.1.2.7 Lana de oveja**

El estudio de la conductividad térmica en función del aumento de la humedad se llevó a cabo en una investigación realizada en las Universidades de Viena y de Brno en el año 2011, donde se acondicionó muestras de lana de oveja de 80mm de espesor y se varió la humedad entre 20 y 95% a una temperatura constante, se comprobó que hasta un 20% de contenido de humedad absorbida el coeficiente de conductividad térmica no variaba significativamente obteniéndose valores de 0,036 W/m.K, sin embargo con un aumento de hasta el 50 % de humedad se obtenía un coeficiente de 0,072 W/m.K Otra ventaja es la gran resistencia al fuego. (Zach & Korjenic, 2012)

### **3.1.2.8 Palma africana**

La investigación realizada por los Departamentos de Agricultura y Biorecursos en la India y Canadá, en el año 2010 estudiaron el uso de cuesco de la palma africana en bloques de hormigón celular el cual se caracterizó por sus propiedades de bajo peso y buen aislamiento. Los bloques con una densidad de 1.100 kg/m<sup>3</sup> mostraron una conductividad térmica de 0,40 W / m.K, llegando a ser 33 % y 56 % más bajos que los bloques y ladrillos convencionales. (Jhonson, Abdullah, & Moid, 2013)

La fibra de palma puede ser utilizada para producir tableros sin aglomerante o por medio de matrices poliméricas lo que ha dado una aceptable resistencia, mientras que los paneles elaborados con corteza y las hojas presentan el inconveniente de muy baja resistencia además de hinchamiento en el espesor.

Se ha investigado el potencial de la fibra de la palma africana como aislante térmico de construcción determinado en tableros de 5 cm de espesor y dentro del intervalo de densidad de 20 kg /m<sup>3</sup> los resultados indicaron que la fibra de la palma de aceite posee una conductividad térmica de 0,05675 W/m.K a una densidad de 100 kg/m<sup>3</sup> (Manohar, 2012)

### **3.1.2.9 Cascarilla de café**

La utilización de la cascarilla de café para la elaboración de tableros aislantes ha sido ampliamente desarrollada tomando como referencia el alto contenido de celulosa la misma que es responsable de la rigidez del tablero.

La utilización de cascarilla de arroz y aglomerantes epoxi en el rango de densidad de 616 a 790 kg/m<sup>3</sup> dió como resultado un coeficiente de conductividad térmica mínima de 0,108 W / (m. K) (Samson & Hans-Wolf, 2009)



## **CAPÍTULO IV**

### **OBTENCIÓN DE PARÁMETROS DE MODELAMIENTO**

#### **4.1 Placas rígidas**

##### **4.1.1 Selección de Aglutinante:**

Para determinar el aglutinante más apropiado en la elaboración de los paneles aislantes o placas rígidas se analiza las propiedades de adhesión con la biomasa, el factor económico y la facilidad de encontrarlo en el mercado.

Los aglutinantes que se analizaron fueron: acetato de polivinilo PVA o cola de carpintero industrial, almidón de yuca y resina epóxica.

##### **4.1.1.1. Acetato de Polivinilo; cola blanca industrial**

La cola blanca industrial se encuentra fácilmente en el mercado, sin embargo hay que diferenciarlo de la cola común, debido a que en las pruebas realizadas se utilizó la cola blanca industrial, con mayor contenido de sólidos, lo que permite mayor adhesión y está destinada a encolar maderas que soportan alta tracción y humedad, además es un material biodegradable y no es tóxico.

##### **4.1.1.2. Aglutinante a base de almidón de yuca**

Para la preparación del aglutinante de almidón de yuca se utilizaron los siguientes reactivos:

- Almidón de yuca: 500gr
- Hidróxido de sodio al 1% : 40 ml
- Formol :25 ml

- Agua : 1,5 litros

En primer lugar se disuelve el almidón en agua hasta que no quede grumos, luego se agrega la solución de hidróxido de sodio y se lo calienta hasta que llegue a su punto de ebullición y adquiera un aspecto homogéneo, transparente y muy viscoso. Finalmente se le agrega formol para su conservación.



**Figura 6. Aglutinante a base de almidón de yuca**

Las pruebas de adhesión de los aglutinantes se realizaron utilizando 50 g de Totorá de 3 cm de largo y 25 g de cola blanca, que fue la cantidad con la que se logró mezclar fácilmente la biomasa y de manera homogénea, luego se la llevó a la prensa cuyas especificaciones se encuentra en el ANEXO 1. El tiempo de prensado fue por dos horas y se observó que la mezcla era fácilmente manejable y con buena adhesión entre las partículas.

Para la prueba con el aglutinante de almidón de yuca, también se utilizaron 50 g de Totorá y 45 g de aglutinante a base de almidón de yuca con los cuales se obtuvo una mezcla difícil de homogenizar y con bajo poder de adhesión entre partículas.

#### **4.1.1.3. Resina epóxica.**

Los resultados obtenidos con la resina epóxica no fueron muy buenos, debido que no se consiguió homogenizarla con la mezcla y presenta altos costos en comparación con los aglutinantes anteriores.

En conclusión, de acuerdo a las pruebas realizadas se utilizará cola blanca industrial debido a que como se vió anteriormente, tiene un mayor poder de adhesión de la biomasa, menor costo y es un material biodegradable.

#### **4.1.2. Tamaño de partícula**

La Totorá es un tallo que mide entre 2 y 3 m de altura, presentando diferentes tamaños de secciones por lo que es necesario determinar el tamaño adecuado para una mejor adhesión de la biomasa.

Se decidió trabajar con cinco tipos de tamaño de partícula de Totorá para la fabricación de los bloques rígidos, es decir se realizaron pruebas con 30 cm, 10 cm, 3 cm, 1 cm y 0,5 cm de largo aproximadamente.

En la fabricación de las placas rígidas se utilizó como aglutinante cola blanca industrial y se colocó cada una de las pruebas en la prensa de madera hasta alcanzar los 4 cm de espesor aproximadamente, para ello se pesó 700 g de totora para cada uno de los tamaños, que es la cantidad adecuada para alcanzar el espesor propuesto luego se colocó el aglutinante teniendo cuidado de que esté homogéneamente distribuido y pueda ser mezclado con facilidad.

El porcentaje de aglutinante en peso para cada caso fue:

Tabla 10

## Porcentaje de aglutinante

Tamaño de partículas de Totora cm	Aglutinante : Acetato de Polivinilo %
30	13,1
10	16,7
3	19,5
1	23
0,5	34

Se llevó cada mezcla a la prensa por dos horas y luego se las colocó a temperatura ambiente para el secado de las mismas por un lapso de dos días, transcurrido ese tiempo se observó que los bloques en los que se utilizó tamaños de partícula de 30, 10 y 3 cm no estaban totalmente adheridos dejando espacios vacíos entre las partículas y tendían a ser muy frágiles, Sin embargo los bloques de 1 y 0,5 cm presentaban una fuerte adhesión entre las partículas y rigidez, es por esta razón que se decide trabajar con tamaños de partícula entre 1 y 0,5 cm aproximadamente.



Figura 7. Paneles con tamaño de partícula de 30cm



**Figura 8. Paneles con tamaño de partícula de 3cm**



**Figura 9. Paneles con tamaño de partícula de 1cm**



**Figura 10. Paneles con tamaño de partícula de 0,5 cm**

### 4.1.3 Cantidad de aglutinante óptimo.

Partiendo de las pruebas anteriores en las que se estimó la cantidad de aglutinante para un tamaño de partículas de 1 y 0,5 cm y espesor de 4 cm se procedió a determinar la cantidad de aglutinante óptimo para la fabricación de los paneles aislantes mediante la dilución del aglutinante en agua, con el objetivo de disminuir la cantidad del mismo y facilitar la mezcla sin disminuir su propiedad de adhesión

Para la totora de 1 cm de largo tomando en cuenta la cantidad de aglutinante para una buena adhesión entre las partículas y el espesor de la placa se determinó los siguientes porcentajes:

**Tabla 11**

#### Porcentajes de aglutinante para Totora de 1 cm de largo

Materiales	Peso	Porcentaje
Totora de 1 cm	700	77%
PVA	200	23%
<b>Total</b>	<b>900</b>	<b>100%</b>

Partiendo de estos pesos se realizaron las siguientes diluciones: 2:1; 1,5: 1; 1:1 y 0,5:1

Tabla 12

## Diluciones de aglutinante

Materiales	Peso en gramos	Porcentaje
<b>Dilución 2:1</b>		
Totora de 1 cm	700	70%
PVA	200	20%
Agua	100	10%
<b>Total</b>	<b>1000</b>	<b>100%</b>
<b>Dilución 1,5:1</b>		
Totora de 1 cm	700	73,6%
PVA	150	15,7%
Agua	100	10,7%
<b>Total</b>	<b>950</b>	<b>100%</b>
<b>Dilución 1:1</b>		
Totora de 1 cm	700	77,8%
PVA	100	11,1%
Agua	100	11,1%
<b>Total</b>	<b>900</b>	<b>100%</b>
<b>Dilución 0,5:1</b>		
Totora de 1 cm	700	82,5%
PVA	50	5,8 %
Agua	100	11,8%
<b>Total</b>	<b>850</b>	<b>100%</b>

Las diluciones 2:1 y 1,5:1 tienen una buena adhesión entre partículas, puede ser fácilmente mezclado y el tiempo de secado es bueno de aproximadamente 12 horas. Por lo que la cantidad de aglutinante óptimo es de 1,5:1.

Tabla 13

## Propiedades de las diluciones

	Adhesión entre partículas	Facilidad de mezcla	Tiempo de secado
<b>Dilución 2:1</b>	Buena	Buena	Bueno 12 horas
<b>Dilución 1,5:1</b>	Buena	Buena	Bueno 12 horas
<b>Dilución 1:1</b>	Mala	Mala	Malo 36 horas
<b>Dilución 0,5:1</b>	Mala	Mala	Malo 48 horas

En los ensayos realizados con partículas de 0,5 cm, se realizaron las diluciones: 3:1; 2,5: 1; 2:1 y 1:2 partiendo de los siguientes porcentajes:

Tabla 14.

## Porcentajes de aglutinante para Totora de 0,5 cm de largo.

Materiales	Peso	Porcentaje
<b>Totora de 0,5 cm</b>	700	66%
<b>PVA</b>	350	34%
<b>Total</b>	1050	100%



Tabla 15

## Diluciones de aglutinante

<i>Materiales</i>	<i>Peso en gramos</i>	<i>Porcentaje</i>
<b><i>Dilución 3:1</i></b>		
<i>Titora de 0,5 cm</i>	700	63,6%
<i>PVA</i>	300	27,3%
<i>Agua</i>	100	9,1%
<i>Total</i>	1100	100%
<b><i>Dilución 2,5:1</i></b>		
<i>Titora de 0,5 cm</i>	700	66,6%
<i>PVA</i>	250	23,8%
<i>Agua</i>	100	9,6%
<i>Total</i>	1050	100%
<b><i>Dilución 1:2</i></b>		
<i>Titora de 0,5 cm</i>	700	70%
<i>PVA</i>	100	10 %
<i>Agua</i>	200	20%
<i>Total</i>	1000	100%

En el ensayo se ha determinado que para tamaños de 0,5 cm la dilución 3:1 presenta una buena adhesión entre partículas, puede ser fácilmente mezclado y el tiempo de secado es bueno de aproximadamente 24 horas.

Tabla 16

## Propiedades de las diluciones

	Adhesión entre partículas	Facilidad de mezcla	Tiempo de secado
Dilución 3:1	Buena	Buena	Bueno 24 horas
Dilución 2,5:1	Mala	Mala	-----
Dilución 2:1	Mala	Mala	-----
Dilución 1:2	Mala	Mala	-----

En conclusión de acuerdo a los ensayos realizados se determina que los parámetros óptimos para el modelamiento de las placas rígidas son:

- **Tamaño de partícula promedio:** 0,5 y 1 cm.
- **Aglutinantes:** acetato de polivinilo o cola industrial.
- **Porcentajes de aglutinantes mínimos:**

Para un 1cm: 15,7 %

Para 0,5 cm: 27,3%

#### 4.1.4 Elaboración de las placas rígidas.

Para la elaboración de las placas rígidas se utilizaron los parámetros determinados anteriormente con el objetivo de que sea un proceso eficiente con los recursos disponibles.

Se trabaja con tamaños de Totora de 1 cm de largo y porcentaje de aglutinante de 15,7% en peso. El proceso fue el siguiente:

- Se pesa la Totora, el aglutinante y el agua y se mezcla de manera que todo el aglutinante se disperse completamente.
- Se coloca la mezcla en la prensa sobre un plástico para que se pueda desmoldar fácilmente.
- Se pone la mezcla en la prensa y se coloca los pernos de fijación de la tapa hasta que alcance los 4 cm de espesor por un tiempo de cuatro horas.
- Se abre la prensa y se libera la placa dejando secar completamente por dos días.
- La elaboración de las placas se realiza por duplicado.



**Figura 11. Prensa para placas rígidas de Totora**

## **4.2 Adobes**

El adobe es un bloque macizo de tierra cruda, el cual contiene fibras naturales o artificiales como paja u otro material que mejoran su estabilidad

frente a agentes externos. Finalmente es secado al sol y al aire y se caracteriza por ser un material que se emplea sin cocción previa.

Es considerado como un material de bajo costo ya que la materia prima principal es la tierra y posee una técnica de construcción simple y no requiere consumo adicional de energía.

En el Ecuador no existe normativa acerca de la fabricación de los adobes sin embargo existe las normativas E-80 Adobe en Perú y las normativas: UNE 41410 bloques de tierra comprimida para muros y tabiques; UNE-EN 772-16/200: Dimensión y espesor de paredes (cm) y UNE-EN 771-1/2001 Resistencia a la compresión característica (28 días), referida a la sección bruta

En la presente investigación se propone fabricar adobes de tierra y totora estabilizados con cal o cemento con el fin de mejorar sus condiciones de resistencia a la compresión, humedad y conductividad térmica.

#### **4.2.1 Análisis de clasificación y elección del suelo**

Es muy importante identificar el tipo de suelo que va hacer empleado en la fabricación de los bloques de adobe y Totora. La elaboración de adobes de buena calidad implica realizar como primer paso una adecuada selección de suelos.

Para conseguir un adobe de buena calidad, se debe escoger un suelo que cuente con una adecuada proporción entre sus contenidos de arena y de arcilla. La arcilla es un material que tiene propiedades adhesivas y ligantes, y actúa como un cementante de las arenas, las que constituyen los inertes del suelo y que le confieren su capacidad resistente. (Rodríguez & Saroza, 2005)

Según la Norma Técnica del Perú E.080 para el adobe simple o estabilizado como unidad para la construcción de albañilería, considera aceptable los suelos cuya gradación se aproxime a los siguientes porcentajes: arcilla 10 - 20%, limo 15 - 25% y arena 55 - 70%, no debiéndose utilizar suelos orgánicos aunque estos rangos pueden variar cuando se fabriquen adobes estabilizados.

En ningún caso se aceptarán suelos con más de 20% de arcillas. Un porcentaje mayor de arcilla puede producir cambios volumétricos indeseables en los adobes. Además es recomendable que el límite líquido varíe entre 20% y 40%; por debajo de 20% se trata de suelos no cohesivos, y por encima de 40% el comportamiento del suelo es deficiente ante la humedad. Es recomendable que el índice plástico sea menor que 20% (Reglamento Nacional de construcciones, 2000)

Es también muy importante evitar la presencia de materia orgánica en el suelo seleccionado para hacer adobes, puesto que ésta incrementa en gran medida el encogimiento de los adobes y reduce su resistencia al generar vacíos debidos a su proceso de descomposición.

Para la clasificación del suelo es necesario realizar algunos ensayos tales como:

- Contenido de humedad.
- Granulometría
- Límite líquido
- Límite plástico
- Índice de plasticidad

Estas pruebas de laboratorio permitirán obtener parámetros para la identificación de los suelos.

#### 4.2.1.1 Determinación del contenido de humedad

La determinación del contenido de humedad nos permite calcular la cantidad de agua presente en una cantidad dada de suelo en términos de su peso seco.

La humedad de un suelo es la relación expresada en porcentaje entre el peso del agua existente en una determinada masa de suelo y el peso de las partículas sólidas.

La fórmula empleada es:

$$W = 100 \left( \frac{W_w}{W_s} \right) \quad [Ecuación 3.1]$$

Donde:

$W_w$  = Peso del agua presente en la masa de suelos.

$W_s$  = Peso de los sólidos en el suelo.

#### Procedimiento.

- Se limpian seis recipientes de aluminio o latón
- Se pesan los recipientes y se identifican adecuadamente.

- Se colocan una muestra representativa de suelo húmedo en la cápsula y se determina el peso del recipiente más el del suelo húmedo y se coloca en el horno.



**Figura 12. Peso de los recipientes**

- Al siguiente día se retira la muestra y se procede a determinar el peso del suelo seco y del contenido de agua en el mismo.



**Figura 13. Horno para determinación de humedad**

#### **4.2.1.1.2 Determinación de la granulometría.**

El análisis granulométrico permite determinar las proporciones relativas de los diferentes tamaños de grano presentes en una masa de suelo dada.

#### **Procedimiento:**

- Se pesa la cantidad de suelo para ser tamizado de acuerdo a los siguientes parámetros:

**Tabla 17.**

**Cantidad de la muestra de acuerdo a su granulometría**

<b>Tipo</b>	<b>Cantidad de la muestra g</b>
<b>Suelo de grano fino</b>	100-200
<b>Suelo arenoso</b>	200-500
<b>Suelo gravoso</b>	1000-3000

Fuente : (Siavichay & Joffre, 2010)

En nuestro estudio la cantidad de suelo necesaria está entre 200 a 500 g.

- Se colocan los tamices N° 4, N° 10, N° 40, N° 100 y N° 200 en forma descendente de manera que al final se coloque la bandeja recolectora.
- Se procede a colocarlos en un agitador eléctrico por unos cinco minutos.



**Figura 14. Tamiz eléctrico**



- Se determina el peso del material que quedó retenido en cada tamiz.
- Se suman estos pesos y se compara con el peso total obtenido en un principio.
- Si se obtiene una diferencia de más del 2% se debe repetir el ensayo.
- Por último se calcula el porcentaje de material retenido y el porcentaje que pasa en cada tamiz.



**Figura 15. Pesos de muestras retenidos por el tamiz**

#### **4.2.1.3 Plasticidad**

Plasticidad es la propiedad que tienen algunos suelos de deformarse sin agrietarse ni producir rebote elástico. Los suelos plásticos cambian su consistencia al variar su contenido de agua.

Los estados de consistencia de una masa de suelo plástico en función del cambio de humedad son sólidos, semisólido, líquido y plástico. Estos cambios se dan cuando la humedad en las masas de suelo varía. Un parámetro muy importante es el índice de plasticidad que es la diferencia entre el límite líquido y plástico.

#### **4.2.1.4 Determinación del límite líquido**

El límite líquido es el contenido de humedad por debajo del cual el suelo se comporta como un material plástico, Es decir el límite líquido es la frontera entre el estado semilíquido y el estado plástico.

##### **Procedimiento:**

- Se pulveriza alrededor de unos 200 g de muestra de suelo y se pasa por el tamiz N°40.
- Se coloca la muestra en un recipiente y se añade una pequeña cantidad de agua, mezclando cuidadosamente hasta obtener un color uniforme.
- La mezcla debe tener una consistencia de masa pegajosa y se procede a realizar un ensayo de prueba intentado no pasar de los 40 golpes para cerrar unos 12 mm de material. En el caso de que pase los 40 golpes se añade material o si por el contrario se cierra antes de los 38 golpes se añade más agua con la pipeta.
- Se coloca la muestra extendiéndola en la copa de manera que alcance el centímetro de espesor y se enraza para que este nivelado

- Se divide con un firme trazo formando un surco claro y bien definido.
- A razón de dos golpes por segundo, se cuenta el número de golpes necesarios para cerrar la abertura a una distancia de 12mm.
- Se retira el material de la copa de casa grande y se coloca en un tarro previamente identificado y conocido su peso.
- Se repite el ensayo tres de manera que en el primero se den entre 24 a 26 golpes, el segundo ensayo entre 15 y 20 golpes y el tercero con rango entre 10 y 15 golpes.



**Figura 16. Copa Casagrande y muestra de suelo**

#### **4.2.1.5 Determinación del límite plástico**

El límite plástico es el contenido de humedad por debajo del cual se puede considerar el suelo como material no plástico. Es decir es la frontera entre el estado plástico y el semisólido.

Se procede realizando unas pequeñas esferas con un diámetro de 2 a 3 centímetros que se enrollan en pequeños cilindros sobre una superficie de

papel, hasta que alcance una consistencia tal que no se adhiera a las manos y los cilindros presenten fisuras sin que se desmenuce.

**Procedimiento:**

- Se pasa una muestra de suelo por el tamiz N° 40 y se agrega una cantidad de agua adecuada, de manera que permitan elaborar esferas con un diámetro de tres centímetros.
- Con cada esfera se elabora un rollito con la palma de la mano sobre una superficie lisa, preferiblemente sobre papel. Durante este proceso se evapora el agua por la manipulación, haciendo que los cilindros se vayan haciendo más rígidos.



**Figura 17. Elaboración de rollitos de suelo**

- Se forman rollitos de 3mm de espesor aproximadamente y se repite el proceso hasta que los rollitos presenten pequeñas fisuras.



**Figura 18. Fisuras y grietas de la muestra**

- Se corta el rollo en pequeños pedazos con un largo de 3 a 4 cm y se coloca en un tarro para determinar la humedad
- Se debe realizar cuatro ensayos con el mismo procedimiento antes descrito y se determina el contenido de humedad.
- Se pesan todas las muestras secadas en el horno y se calculan los contenidos de humedad correspondiente.



**Figura 19. Peso de las muestras.**

#### 4.2.1.6 Determinación del índice de plasticidad.

Es la propiedad de un material, para soportar deformaciones rápidas, sin tener ningún rebote elástico y sin que sufra variaciones en su volumen. Permite caracterizar el comportamiento de la tierra en presencia de agua y se define como la diferencia de agua necesaria para que un suelo tenga consistencia plástica o líquida, es decir: es la diferencia entre el límite líquido y el de plasticidad. Cuanto más elevado es el IP de la tierra, mayor será su variación volumétrica en presencia de agua.

Fórmula:

$$IP: LL - LP$$

Donde:

IP = Índice de plasticidad.

LL = Límite líquido.

LP = Límite plástico.

Luego del análisis de la tierra en cuanto a humedad, granulometría, e índice de plasticidad se determina por medio del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos expuesta por Atterberg el tipo de suelo correspondiente.

Los resultados obtenidos por los ensayos se realizaron en el Laboratorio de la Universidad de Cuenca y cuya validación se encuentra en el ANEXO 2.

Tabla 18.

## Granulometría del suelo analizado.

Granulometría					
Perforación: a cielo abierto					
PROFUNDIDAD: 0,40-0,60m					
Tamiz	Peso retenido parcial g.	Peso retenido acumulado g.	% Retenido	% Que pasa	% Especificado
3"					
2 1/2"					
2"					
1 1/2"					
1"					
3/4"					
1/2"					
3/8"					
N° 4	4,59	4,59	0,96	99,04	
<b>PASA N°4</b>					
N°8					
N°10	27,06	31,65	6,61	93,39	
N°40	147,68	179,33	37,47	62,53	
<b>N°50</b>					
N°100	75,1	254,43	53,16	46,84	
N°200	20,37	274,8	57,42	42,58	
<b>PASAN°200</b>					
0	1,9	276,7			
<b>TOTAL</b>	<b>276,7</b>				
<b>CUARTEO</b>					
<b>PESO HUMEDO=</b>	500 g		<b>% ARENAS</b>		
			<b>entre el tamiz N°4 Y 200</b>		<b>57,42</b>
<b>PESO SECO=</b>	478,6 g				
<b>PESO DESP.=</b>	276,7 g		<b>% ARCILLAS</b>		
			<b>Retiene el tamiz N°200</b>		<b>42,58</b>

Se procede a calcular el índice de plasticidad y determinar el tipo de suelo según Clasificación Unificada De Suelos (SUCS)

**Tabla 19**

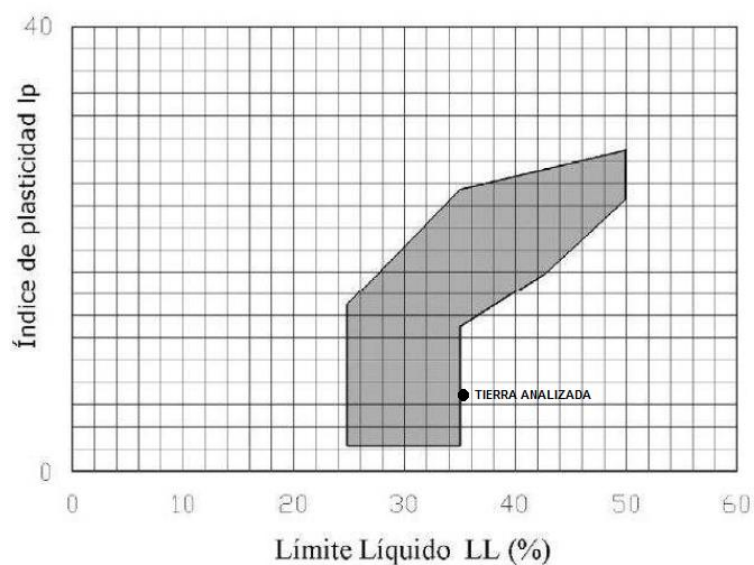
**Clasificación del suelo**

<b>HUMEDAD NATURAL DEL SUELO</b>					
<b>N° DE GOLPES</b>	<b>PESO HÚMEDO</b>	<b>PESO SECO</b>	<b>PESO DEL TARRO</b>	<b>% DE HUMEDAD</b>	<b>% PROMEDIO</b>
---	44,73	43,39	10,76	4,11	<b>4,47</b>
---	70,61	69,05	36,74	4,83	
<b>LÍMITE LÍQUIDO</b>					
<b>26</b>	60,85	56,67	44,8	35,21	<b>35,27</b>
<b>21</b>	65,66	60,57	46,51	36,2	
<b>17</b>	56,54	52,61	41,93	36,8	
<b>15</b>	57,35	52,82	40,75	37,53	
<b>LÍMITE PLÁSTICO</b>					
----	47,78	46,85	43,48	27,6	<b>27,64</b>
----	51,04	49,86	45,64	27,69	
----	45,69	44,85	41,78	27,36	
<b>ÍNDICE DE PLASTICIDAD</b>					
<b>IP= LL-LP</b>					<b>7,63</b>
<b>TIPO DE SUELO</b>			<b>SM</b>		
<b>CLASIFICACIÓN UNIFICADA DE SUELOS (SUCS)</b>			Arenas limosas Mezcla de arena y limo		

Por lo tanto al tener un porcentaje de arena mayor al 50% y de acuerdo a la Carta de Plasticidad del Sistema Unificado de Clasificación de suelos que se encuentra en el ANEXO 3 se trata de un Suelo de arenas Limosas.



En conclusión se trata de un suelo apto para la elaboración de adobes debido a que cumple con la Norma E-80 sobre la cantidad de arenas, arcillas y limos para la fabricación de adobes, Por otro lado según la Norma 41410 Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques, ésta establece una zona de plasticidad recomendada para la fabricación de bloques de tierra comprimida, por lo que graficando estos valores se puede observar que se encuentra dentro de la norma.



**Figura 20. Zona de plasticidad recomendada.**

## 4.2.2 Elaboración de adobes

### 4.2.2.1. Materiales

Los materiales que se utilizaron para la fabricación de adobes con totora fueron los siguientes:

- **Tierra:** La materia prima para la fabricación de adobes con biomasa de Totora es procedente de la Provincia del Azuay , Cantón Girón , sector Santa Teresita cuyas características son las siguientes :

**Tabla 20**

**Características del suelo para la elaboración de adobes.**

Componente	Porcentaje %
Humedad	4,47
Arena	57,42
Arcilla	42,58
Límite líquido	35,27
Límite plástico	7,63
Índice de plasticidad	27,64
Tipo de suelo	SM: Arenoso –Limoso

- **Totora, (*Schoenoplectus californicus*):** Es una planta acuática del genero Typha y de la familia Typhaceae, comúnmente conocido como junco o Totora. Esta se encuentra comúnmente en el suelo húmedo, marismas, pantanos, aguas dulces y salobres poco profundas pudiendo crecer alrededor de tres metros de altura. Las hojas de la planta tienen un tejido de soporte reforzado con fibras de relleno de un tejido esponjoso y suave.

Gracias a dicha constitución son extraordinariamente estables y pronostican unas características aislantes excelentes además de una buena durabilidad dada su alta resistencia a la pudrición y formación de mohos (Mier, 2007) Sus usos más habituales son el forraje y la construcción de sombras, techos y trenzados para amarrar.

Tabla 21

## Cuadro de composición química de la Totora

Elemento	Composición %
Hemicelulosa	30.71
x-celulosa	66.79
Lignina	27.8

Fuente: (García Santos, 2003)

Para los ensayos se ha utilizado Totora procedente de la Ciudad de Cuenca, sector el Valle, la misma que se cortó en su base y se la dejó secar al ambiente.



Figura 21. Tejido tubular esponjoso del tallo de la Totora

- **Cemento:** Para la elaboración de los adobes se utilizó el cemento Portland NTE: 152:2010. Al ser mezclado con el agua se obtiene un producto de características plásticas, con propiedades adherentes que solidifica en algunas horas y endurece progresivamente en varias semanas, hasta adquirir su resistencia característica.

**Cal hidratada:** Producto a base de hidróxido de calcio con un contenido de 33% de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$

#### 4.2.2.2 Dimensionamiento

Para la fabricación de los adobes se ha empleado la técnica tradicional que consiste en utilizar moldes de madera.

Las dimensiones se ajustan a la Norma E.80 Adobes y en base a un breve análisis de campo se ha determinado realizar bloques de adobe de 28 cm de largo, 10 cm de ancho y 13 cm de alto.



**Figura 22. Molde para adobe**

#### 4.2.2.3. Preparación del barro

El suelo o la tierra que se va a utilizar deben estar limpio y en lo posible libre de piedras y materia vegetal, caso contrario se deberá pasar por un tamiz.



**Figura 23. Preparación del barro**

#### **4.2.2.3. Tratamiento de la Biomasa.**

Es importante eliminar los azúcares e impurezas de la biomasa debido a que tienden a disminuir la resistencia de los bloques, para ello se utiliza soluciones de hidróxido de sodio para romper las uniones de lignina y liberar las fibras de celulosa. También se utilizó hidróxido de calcio o cal para la mineralización de la Totorá, se utilizaron estas soluciones debido a que resultan económicas y fáciles de conseguir en el mercado, además que se pueden ser reutilizadas.

Se debe sumergir la biomasa de totora en una solución de hidróxido de sodio al 1% por cinco horas, observando que el agua en la cual es sumergida toma un color caramelo con lo cual se demuestra que se han disuelto los azúcares, luego para la mineralización se coloca hidróxido de calcio en una proporción del 5% dejándola sumergida por dos horas.



**Figura 24. Muestras de los residuos del tratamiento de Totorá**

#### 4.2.2.4 Mezclado

Se pesa la cantidad de tierra, Titora cemento o cal en las proporciones respectivas y se mezclan los materiales agregando poco a poco agua hasta lograr una consistencia homogénea y que sea fácilmente manejable.



**Figura 25. Mezclado de materiales**

#### 4.2.2.5 Moldeo

El procedimiento para el moldeo de los adobes es el siguiente:

- Se comienza humedeciendo las paredes del molde de madera y se lo ubica sobre una superficie de moldeo plana y limpia.
- Se coloca una cantidad de barro suficiente para rellenar la base del molde y se compacta el barro aplicando presión con las manos.
- Se llena nuevamente el molde con barro y se lo compacta. Se repite de tres a cuatro veces el procedimiento hasta llenar el molde y teniendo cuidado de rellenar bien las esquinas.

- Una vez lleno se enrasa la superficie utilizando un pedazo de madera para ello.



**Figura 26. Moldeo del adobe**

- Se desmolda el adobe, halando el molde de madera con fuerza, para despegarlo del barro.

#### **4.2.2.6 Secado**

El proceso de secado de los adobes es al aire libre por un período de cuatro semanas, tiempo en el cual se debe rotar las caras para un mejor secado y cubriéndolos con plástico para protegerlos de posibles lluvias.



**Figura 27. Secado de adobes**

### 4.3 Equipos y especificaciones

Los equipos empleados en la elaboración de esta tesis se especifican a continuación:

#### 4.3.1 Aparato de medición de conductividad térmica

El aparato utilizado para medir la conductividad térmica de la biomasa se encuentra en el Laboratorio de Termodinámica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE y es el resultado de un proyecto de investigación en colaboración de docentes y alumnos de la Institución.

El aparato se ha construido siguiendo el método de ensayo para la determinación de las propiedades de transmisión térmica en estado estacionario de muestras de aislamiento térmico con un calentador delgado de densidad de potencia uniforme con bajo flujo de calor lateral según criterios normativos de la ASTM C1114-06 (Method S.T , 2013)

La norma establece criterios de laboratorio para la medida del flujo unidireccional y estacionario de calor a través de dos muestras planas y homogéneas de caras paralelas y espesor conocido testadas a temperaturas constantes mediante un sistema de placa caliente central y doble placa fría exterior, determinando mediante la ley de Fourier de la conductividad térmica.

$$\lambda = \frac{Q}{A \left( -\frac{\Delta T}{\Delta x} \right)}$$
$$\lambda = \frac{Q/2}{A \left( -\frac{T_3 - T_2}{\Delta x} \right)}$$



Donde:

$\lambda$ : Coeficiente de conductividad térmica del material, medida en  $W/m^{\circ}C$

$T_2$ =Temperatura medida en una de las caras de la placa caliente, en  $^{\circ}C$

$T_3$ = Temperatura medida en la primera placa de enfriamiento, en  $^{\circ}C$

$Q$ = 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.  $m^2$

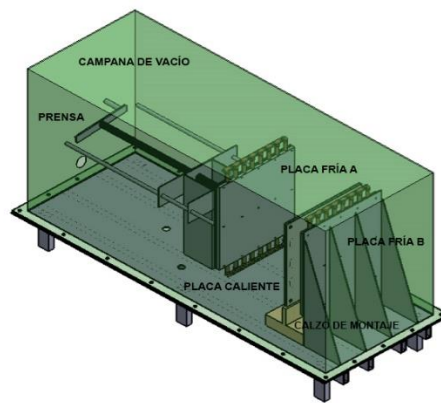
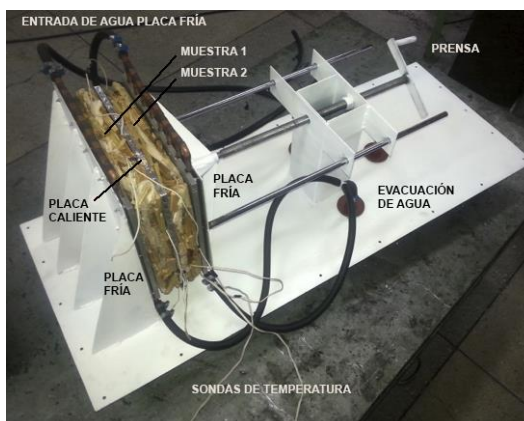


Figura 28. Esquema del aparato de medición de conductividad térmica



**Figura 29. Fotografía del aparato de medición de conductividad térmica**

La calibración del aparato se realizó, tal y como dicta la norma ASTM C177-13, Standar test method for Steady State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Proprieties by means of the guarded -hot-plate. (Method S.T., 2013) mediante el ensayo de dos muestras de materiales de conductividad conocida, ensayada y certificada por laboratorios homologados a nivel nacional, en este caso por las marcas Knauf GmbH y Webber siguiendo protocolos de la norma UNE EN ISO 10456:2001, Materiales y productos para la edificación. Procedimientos para la determinación de los valores térmicos declarados y de diseño.

Se realizaron los ensayos con dos muestras de placa de yeso laminado de la marca Knauff de 15 mm de espesor, una densidad de  $728 \text{ kg/m}^3$  y una conductividad térmica de  $0,25 \text{ W/m.K}$  para un diferencial de temperatura de  $20^\circ\text{C}$  y con dos placas de poliestireno expandido de densidad  $25 \text{ kg/m}^3$  de  $0,03 \text{ W/m.K}$  para un diferencial de temperatura de  $20^\circ\text{C}$  de densidad de 15 mm de espesor marca Webber. Todos los ensayos se realizaron con las muestras estabilizadas en su contenido de humedad a 65%.

Los resultados que se obtuvieron fueron los siguientes:

Tabla 22

## Resultados de ensayos de calibración.





MATERIAL	Nº PRUEBA	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	Q	Δx	A	λ	PROMEDIO	Conductividad según norma
		°C	°C	W	m	m <sup>2</sup>	W/m°C	W/m°C	W/m°C
POLIESTIRENO EXPANDIDO	1	42,2	21,2	1,02	0,015	0,025	0,032	0,032	
	2	41,2	21,2	1,02	0,015	0,025	0,033		0,03
	3	43,1	21,3	1,03	0,015	0,025	0,031		
PLACA DE YESO LAMINADO	1	36,7	21,1	6,02	0,015	0,025	0,257	0,239	0,25
	2	35,1	20,4	5,06	0,015	0,025	0,229		
	3	37,4	21,6	5,47	0,015	0,025	0,231		

Se determina por lo tanto que el aparato ofrece una precisión de  $\pm 6,6\%$  para un diferencial de temperaturas de 20°C.

Dentro de la investigación también se utilizaron los siguientes equipos:

Tabla 23.

## Equipos utilizados y especificaciones

Equipo	Especificaciones
<p data-bbox="383 537 824 604"><b>Máquina para medir la resistencia a la compresión</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Capacidad : 2000 KN</li> <li>-Max presión : 616,17 bar</li> <li>-Pistón área : 323,65 cm<sup>2</sup></li> <li>-Energía elástica : 1810 J</li> </ul>
<p data-bbox="558 827 649 852"><b>Balanza</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Balanza Pionier Ohaus</li> <li>-Capacidad de 3100 g</li> <li>-Precisión: 0,01 gramos ( 0,01-10 g)</li> </ul>
<p data-bbox="472 1096 683 1121"><b>Copa casa grande</b></p> 	<p data-bbox="894 1142 1422 1247">Utensilio mecánico cuyas dimensiones y composición están normalizadas y especificadas en la norma UNE 103-103-94.</p>
<p data-bbox="472 1346 732 1371"><b>Termómetro PCE-T390</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Rango de medición : -200 a +850</li> <li>-Resolución : 1 °C (+1000 ..+1150 °C)</li> <li>-Precisión a 23 °C±5 °C:± (0,4 % +1 °C)</li> </ul>

## Capítulo V

### ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIONES

A continuación se realiza la identificación de datos y su respectivo análisis. Para ello partiendo de las pruebas realizadas mediante los parámetros de modelamiento se realizan en biomasa a granel y en placas rígidas la medida del coeficiente de conductividad térmica y en bloques de adobe la medida de la resistencia a la compresión.

#### 5.1 Coeficiente de conductividad térmica de Totorá a granel.

La determinación del coeficiente de conductividad térmica de la biomasa a granel se realiza utilizando un contenedor de metal llenándolo con totora de 1 cm de largo aproximadamente y luego se cubre la ranura con láminas de plástico para evitar las fugas de calor.

Se colocan los contenedores y en medio de estos la placa caliente esperando a que su temperatura se estabilice con el anillo perimetral. Se ajustan con la prensa y se tiene cuidado de no dejar espacios vacíos para evitar la presencia de aire y obtener datos erróneos. Finalmente se miden las condiciones ambientales y se procede a obtener los datos esperando a que la temperatura se estabilice.



**Figura 30. Medición del coeficiente de conductividad térmica de Totorá a granel**

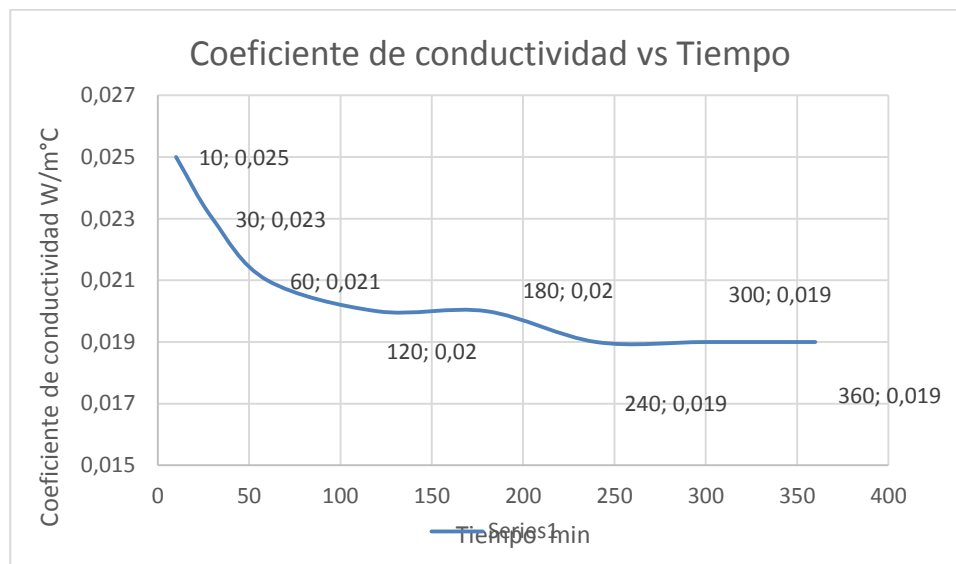
Los datos obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 24

Determinación del coeficiente de conductividad  $\lambda$  para Totora a granel.

N°	Tiempo	T Amb	Humedad	$\rho$	Área	$\Delta x$	T1	T2	T3	T4	Ti	Te	Voltaje	Amperaje	Q / 2	$\lambda$
	Min.	°C	%	Kg/m3	m <sup>2</sup>	m	°C	°C	°C	°C	°C	°C	V	A	W	W/m°C
1	10	18,3	61,4	106,83	0,0225	0,052	25,4	24,9	14,8	14,2	25,7	25	4,5	0,05	0,112	0,025
2	30	18,3	56,7	106,83	0,0225	0,052	26,2	25,7	14,3	13,8	26,6	25,8	4,5	0,05	0,112	0,023
3	60	19,7	48,1	106,83	0,0225	0,052	26,6	26,1	14,1	13,6	26,6	26,0	4,5	0,05	0,112	0,021
4	120	19,9	49,1	106,83	0,0225	0,052	26,9	26,5	13,9	13,9	27,1	26,7	4,5	0,05	0,112	0,020
5	180	20	51,9	106,83	0,0225	0,052	27	26,6	14	14	27,1	26,8	4,5	0,05	0,112	0,020
6	240	19,5	55,7	106,83	0,0225	0,052	27,1	26,8	13,8	14,2	27,1	26,5	4,5	0,05	0,112	0,019
7	300	18,5	57,7	106,83	0,0225	0,052	27,2	26,9	13,8	14,2	27,3	26,6	4,5	0,05	0,112	0,019
8	360	17,2	55	106,83	0,0225	0,052	27,4	27,2	14,1	14,4	27,5	26,6	4,5	0,05	0,112	0,019

Como se puede observar la conductividad térmica de la Totora a granel es de 0,019 W/m°C y la estabilización de la temperatura empieza a las cuatro horas de iniciadas las pruebas, comprobando su estabilización hasta las seis horas de ensayo.

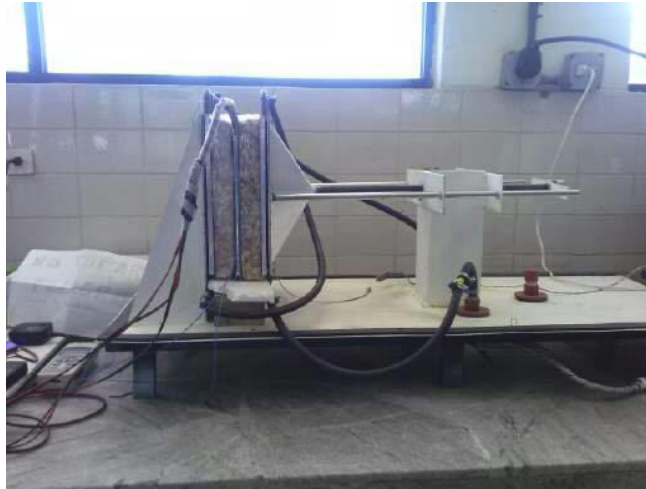


**Figura 31. Coeficiente de conductividad vs tiempo**

## 5.2 Coeficiente de conductividad térmica en placas rígidas de Totora.

Para la determinación del coeficiente de conductividad térmica en placas rígidas de Totora se toman dos placas de la misma densidad y espesor y se cubren los extremos con láminas de plástico para evitar fugas de calor, se colocan en el equipo, cuidando que estén bien centradas y se las sujeta con la prensa junto con la placa caliente.





**Figura 32. Medición del coeficiente de conductividad térmica de placas rígidas de Totora**

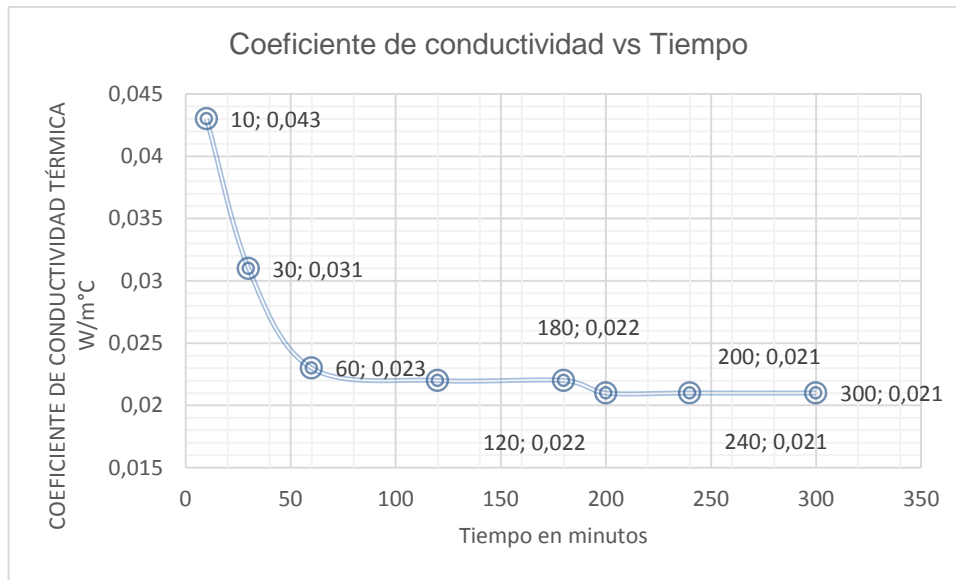
Los datos que se obtuvieron fueron los siguientes:

Tabla 25

## Determinación del coeficiente de conductividad térmica en placas rígidas de Totora

N° prueba	Tiempo	T. Ambiente	Humedad	$\rho$	Área	$\Delta x$	T1	T2	T3	T4	Ti	Te	Voltaje	Amperaje	Q/2	$\lambda$
	Min.	°C	%	Kg/m3	m <sup>2</sup>	m	°C	°C	°C	°C	°C	°C	V	A	W	W/m°C
1	10	17,5	60,4	251,46	0,0225	0,038	23,2	23	17,5	17,4	23,2	23	5,73	0,05	0,14	0,043
2	30	17	66,7	251,46	0,0225	0,038	24,4	24,4	16,8	16,8	24,4	24,1	5,73	0,05	0,14	0,031
3	60	18,6	56,7	251,46	0,0225	0,038	27,4	27,4	17,1	16,9	27,5	27,2	5,73	0,05	0,14	0,023
4	120	19,9	55,1	251,46	0,0225	0,038	27,8	27,7	17,3	17,1	27,7	27,5	5,73	0,05	0,14	0,022
5	180	19,2	55,2	251,46	0,0225	0,038	28,7	28,7	17,9	17,7	28,5	28,3	5,73	0,05	0,14	0,022
6	200	18,2	55,7	251,46	0,0225	0,038	29,1	29,1	18,1	18	29,2	29,1	5,73	0,05	0,14	0,021
7	240	18,5	56,8	251,46	0,0225	0,038	30,2	30,1	19	18,9	30,2	30,1	5,73	0,05	0,14	0,021
8	300	18,3	56,7	251,46	0,0225	0,038	31,8	31,7	20,5	20,5	31,8	31,5	5,73	0,05	0,14	0,021

El coeficiente de conductividad térmica para las placas rígidas de Totorá es de 0,021W/m°C, alcanzando la estabilidad a los 300 min.



**Figura 33. Coeficiente de conductividad vs tiempo**

### 5.3 Determinación del Coeficiente global de transferencia de un cerramiento:

El coeficiente global de transferencia de un cerramiento  $k$  define las pérdidas por unidad de superficie, es decir, la cantidad de calor que atraviesa una superficie de  $1\text{m}^2$  por grado de diferencia de temperatura entre dos ambientes, su unidad es  $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$  y viene dado por la siguiente fórmula

$$k = \frac{1}{R} \quad \text{Ecuación 5.1}$$

Donde:

**R**= Resistencia térmica total de un elemento con diferentes componentes o capas.

Por lo tanto la resistencia térmica se calcula con la siguiente fórmula:

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad \text{Ecuación 5.2}$$

Donde:

R= Resistencia térmica (m<sup>2</sup>. K/W.)

e =espesor o longitud o transferencia (m)

$\lambda$  =conductividad térmica (W/m.K)

**Tabla 26**

**Valores del coeficiente global de transferencia de calor**

Muestra	e	$\lambda$	R	K
	m	W/m.°C	m <sup>2</sup> . K/W.	W/m <sup>2</sup> .°C
<b>Placas rígidas de Totora</b>	0,038	0,021	1,80	0,56
<b>Totora a granel</b>	0,052	0,019	2,73	0,36

El coeficiente global de transferencia de un cerramiento para las placas rígidas de totora es 0,56 W/m<sup>2</sup>.K y para la Totora a granel es de 0,36 W/m<sup>2</sup>.K

#### **5.4 Fabricación y análisis de bloques de adobe.**

Es importante determinar el porcentaje máximo de totora que permita obtener una mezcla homogénea y fácil de manejar para evitar agrietamientos en el proceso de secado.

Se pesó la tierra, la Totora y se agregó agua hasta lograr que todos los materiales se mezclen por completo, además se trabajó con los siguientes

porcentajes en peso de los materiales propuestos, obteniéndose los siguientes resultados:

**Tabla 27**

**Porcentajes de totora adicionada adobes**

<b>Pruebas</b>	<b>% Tierra</b>	<b>% Totora</b>	<b>Agua ml</b>	<b>Observaciones</b>
<b>P1</b>	98	2	2000	Se mezclan los materiales fácilmente sin presencia de grietas.
<b>P2</b>	95	5	2000	Se mezclan los materiales fácilmente. Sin presencia de grietas
<b>P3</b>	91	9	2200	Se mezclan los materiales fácilmente y no existen grietas.
<b>P4</b>	88	12	2500	No se logra mezclar los materiales adecuadamente , las partículas de totora tienden a separarse de la mezcla dejando grietas y espacios vacíos en la mezcla

Por lo tanto en esta prueba se observa que el máximo porcentaje de totora que se puede colocar es 9% ya que si se sobrepasa este porcentaje la mezcla de materiales resulta difícil y tiende a desmoronarse y/o agrietar el bloque de adobe.

También se observa que los adobes que contienen tamaños de partícula de totora de 1 cm tienden a agrietar el adobe y no se compactan totalmente con la tierra por lo que se decide trabajar con tamaños de 0,5 cm aproximadamente.

En cuanto a los estabilizantes al no existir una norma exclusiva para adobes nos basamos en la norma UNE 4141, Bloques de Tierra comprimida para muros y

tabiques la misma que indica que los estabilizantes no deben sobrepasar el 15% en peso de masa seca.

Por lo tanto se ha decidido trabajar con porcentajes de Totora de 8% y como estabilizantes se utiliza cal y cemento en proporciones de 5, 10, 12 y 15 % de manera que se determine la máxima resistencia a la máxima concentración de totora.

Además se ha elaborado dos adobes sin totora en los que se ha adicionada 10% de cemento y 10% de cal respectivamente como estabilizantes.

**Tabla 28**

**Proporciones de los materiales para la fabricación de adobes**

Muestra	% Totora	% Cemento	% Cal	% Tierra
1	-----	10		90
2	-----		10	90
3	8	5	-	87
4	8	10	-	82
5	8	12	-	80
6	8	15	-	77
7	8	-	5	87
8	8	-	10	82
9	8	-	12	80
10	8	-	15	77

Los adobes fabricados con dichas proporciones son secados hasta los 30 días para posteriormente determinar la resistencia a la compresión.

## 5.5 Determinación de la resistencia a la compresión:

El ensayo de compresión es un ensayo técnico que permite determinar la resistencia de un bloque a su deformación ante un esfuerzo de compresión.

Se han elaborado los adobes estabilizados y sometidos a un proceso de secado por un período de 30 días debido que en este tiempo el adobe alcanza su resistencia óptima.

### 5.5.1 Procedimiento del ensayo de resistencia a la compresión:

El presente ensayo comienza de la siguiente forma:

- Se pesa el bloque y se anota su peso



**Figura 34. Determinación del peso de los adobes**

- Se procede en el adobe a tomar las medidas del área donde se va aplicar la carga.
- Se coloca el bloque en la prensa y se verifica que se encuentre ubicado en el centro de la misma.

- Luego el laboratorista, acciona la prensa la cual aplica una presión constante sobre la cara superior del bloque de tierra cruda, hasta que llegue a su fracaso.
- En el momento de fracaso del adobe la máquina muestra en la pantalla la máxima carga total aplicada.



**Figura 35. Ensayo de la resistencia a la compresión**

El cálculo de la resistencia a la compresión se obtiene dividiendo la carga total para el área de la cara del bloque sometida a compresión, obteniendo la resistencia en  $\text{kg/cm}^2$ .

Fórmula:

$$RC = \frac{CT}{A}$$

*Ecuación 5.3*

Dónde:

$R_C$  = Resistencia a la compresión

$CT$  = Carga total.

$A$  = El área de la cara del adobe.



Los resultados de las pruebas realizadas por cada dosificación fueron:

**Tabla 29.**

**Valores de resistencia a la compresión**

Muestra	Peso	Dimensiones			Área	Densidad	Carga	Resistencia a la compresión	Edad	Observaciones
		a	b	c						
	g	cm	cm	cm	cm <sup>2</sup>	g/cm <sup>3</sup>	kgf	Kgf/cm <sup>2</sup>	días	
1	5789	28,3	13,3	9,4	376,39	1,64	9044,65	24,03	30	
2	5798	28,5	13,1	9,6	373,35	1,61	6962,97	18,65	30	
3	3477	28,2	13,2	9,2	372,24	1,015	2064	5,54	30	
4	3675	28,5	13,4	10	381,9	0,962	2295	6,01	30	
5	3582	28,4	13,4	9,5	380,56	0,990	2801	7,36	30	
6	3442	28,4	13,5	8,5	383,8	1,056	4655	12,12	30	
7	3602	28,5	13,3	9,5	379,05	1,001	-----	-----	30	Presenta grietas y fisuras
8	3579	28,5	13,4	9,5	381,9	0,98	-----	-----	30	Presenta grietas y fisuras
9	3572	28,5	13,5	9,5	384,8	0,977	2694	7,00	30	
10	3447	28,4	13,3	9,2	377,72	0,991	2807	7,43	30	

En el análisis se han obtenido valores de resistencia a la compresión entre 5,54 y 12,12 kgf/cm<sup>2</sup> para muestras que contienen totora en su composición, en cambio los adobes estabilizados con cemento y cal y sin totora en su dosificación presentan valores de resistencia a la compresión de 24,03 y 18,65 kgf/cm<sup>2</sup>.

La muestra que presenta mayor resistencia a la compresión de  $12,12 \text{ kgf/cm}^2$  es aquella que contiene en su composición 77% de Tierra, 15% de cemento y 8% de Totora en peso seco.

### 5.6 Determinación del coeficiente global de transferencia de calor para envolventes de Adobe y Totora

El coeficiente global de transferencia de calor puede ser determinado por medio de la suma de las resistencias térmicas correspondientes al adobe como barro macizo y al coeficiente de conductividad de la Totora determinado en la presente investigación.

Por lo tanto tomando en cuenta la densidad del bloque de adobe se procede a estimar el coeficiente de conductividad térmica en el siguiente gráfico:

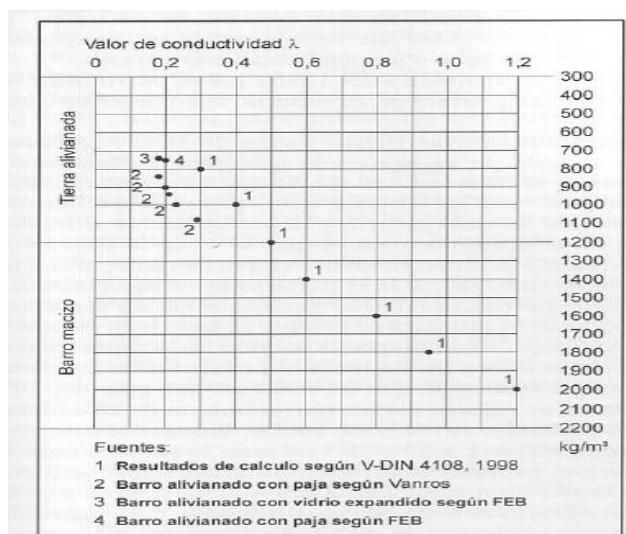


Figura 36. Coeficiente de conductividad térmica del adobe

Fuente: (Gernot, 2005)

La densidad del bloque de adobe como barro macizo según los ensayos realizados es de aproximadamente 1600 Kg/m<sup>3</sup>, correspondiente a un coeficiente de conductividad térmica de 0,8 W/m°C.

Los cálculos para determinar el coeficiente de conductividad de adobe y totora se realiza considerando un espesor de 15 cm para el adobe y para la Totora espesores desde 10 a 1 cm.

Por lo tanto:

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

$$R_{TOTAL} = R_{ADOBE} + R_{TOTORA}$$

$$k = \frac{1}{R_{total}}$$

Tabla 30

## Coeficiente de transferencia de calor

	Material	$\rho$ Kg/m <sup>3</sup>	$\lambda$ W/m°C	e m	R m <sup>2</sup> . K/W	R Total m <sup>2</sup> . K/W	K W/m <sup>2</sup> .°C
1	Adobe	1600	0,8	0,15	0,187	5,44	0,18
	Totora	106,83	0,019	0,10	5,26		
2	Adobe	1600	0,8	0,15	0,187	4,92	0,203
	Totora	106,83	0,019	0,09	4,73		
3	Adobe	1600	0,8	0,15	0,187	4,39	0,22
	Totora	106,83	0,019	0,08	4,21		
4	Adobe	1600	0,8	0,15	0,187	3,34	0,30
	Totora	106,83	0,019	0,06	3,15		
5	Adobe	1600	0,8	0,15	0,187	2,81	0,35
	Totora	106,83	0,019	0,05	2,63		
6	Adobe	1600	0,8	0,15	0,187	2,28	0,43
	Totora	106,83	0,019	0,04	2,10		
7	Adobe	1600	0,8	0,15	0,187	1,76	0,57
	Totora	106,83	0,019	0,03	1,57		
8	Adobe	1600	0,8	0,15	0,187	1,24	0,81
	Totora	106,83	0,019	0,02	1,05		
9	Adobe	1600	0,8	0,15	0,187	0,71	1,40
	Totora	106,83	0,019	0,01	0,52		

### 5.7 Valores máximos del coeficiente de transmisión en W/m<sup>2</sup>°C de la envolvente térmica en edificios

Existen normas de eficiencia energética en la edificación que determina los valores máximos del coeficiente de transferencia de calor para envolventes térmicas.

Los valores que se especifican en cada norma son los siguientes:

**Tabla 31**

**Coefficiente de transferencia de calor según normas española, argentina y ecuatoriana**

	<b>Norma española</b> <b>DB-HE "Ahorro de Energía", del</b> <b>Código Técnico de la Edificación</b>	<b>Norma</b> <b>argentina</b> <b>IRAM 11605</b>	<b>Norma</b> <b>ecuatoriana</b> <b>NEC -2011</b>
Muros y elementos en contacto con el terreno	0,55	0,36	1
Cubiertas y suelos en contacto con el aire	0,35	0,31	0,75
Particiones interiores	0,70		

Por lo tanto los espesores de adobe y totora que cumple con la norma para muros y elementos en contacto con el suelo son los siguientes:

**Tabla 32**

**Espesor de Totora y adobe (barro macizo) para muros y elementos en contacto con el suelo.**

<b>Muros y elementos en contacto con el terreno</b>			
	<b>Norma española DB-HE "Ahorro de Energía", del Código Técnico de la Edificación</b>	<b>Norma argentina IRAM 11605</b>	<b>Norma ecuatoriana NEC -2011</b>
Valores máximos según la norma correspondiente $W/m^2 \cdot ^\circ C$	0,55	0,36	1
Espesores para cumplimiento de la norma m	Barro macizo: 0,15 Totora : 0,04	Barro macizo : 0,015 Totora: 0,05	Barro macizo :0,015 Totora: 0,03

Como se puede observar dentro de la norma española se necesita espesores de barro y Totora de 0,15 y 0,04 m respectivamente.

Para la norma argentina IRAM 11605 se necesita un espesor de 0,15 m de barro y 0,04 m de totora, mientras que para la norma ecuatoriana se necesita un espesor de Totora de 0,03 m.

Los coeficientes de transferencia de calor para suelos y cubiertas son los siguientes:

Tabla 33

## Coeficientes de transferencia de calor para cubiertas y suelos

<b>Cubiertas y suelos en contacto con el aire</b>			
	Norma española DB-HE "Ahorro de Energía", del Código Técnico de la Edificación	Norma argentina IRAM 11605	Norma ecuatoriana NEC -2011
<b>Valores máximos según la norma correspondiente <math>W/m^2 \cdot ^\circ C</math></b>	0,35	0,31	0,75
<b>Espesores para cumplimiento de la norma m</b>	Barro macizo: 0,15 Totora : 0,05	Barro macizo : 0,015 Totora: 0,06	Barro macizo :0,015 Totora: 0,03

Por lo tanto para un espesor de 0,015 cm de barro macizo se necesitan espesores de Totora de 0,05m; 0,06m y 0,03m para las normas española, argentina y ecuatoriana respectivamente.

Para las particiones interiores según la Norma española el valor máximo del coeficiente de transmisión de calor es de  $0,70 W/m^2 \cdot ^\circ C$  , por lo que para el cumplimiento de la norma se necesita espesores de 0,015 m para barro macizo y de 0,03 m de Totora .

## 5.8 Determinación del coeficiente global de transferencia de calor para placas rígidas.

Las placas rígidas de Titora elaboradas cuyo coeficiente de conductividad térmica es  $0,021 \text{ W/m}^\circ\text{C}$  podría ser utilizadas como cielos rasos o tumbados por lo que con los siguientes espesores se cumple con la normativa:

**Tabla 34**

**Normativas para el coeficiente global de transferencia de calor en edificaciones**

Muestra	Norma española DB-HE "Ahorro de Energía", del Código Técnico de la Edificación	Norma argentina IRAM 11605	Norma ecuatoriana NEC -2011
	0,35	0,31	0,75
Coeficiente / Espesor de la placa rígida para cumplir norma	$0,35 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ $e=0,06\text{m}$	$0,31 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ $e=0,07\text{m}$	$0,70 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ $e=0,03$



## CONCLUSIONES

- Se han elaborado placas rígidas de totora en las cuales se ha utilizado como aglutinante Acrilato de Polivinilo, PVA o cola de carpintero por ser un material accesible, económico, biodegradable y presentando los mejores resultados en cuanto a la adhesión de la biomasa al compararla con el aglutinante de almidón de yuca.

- Los ensayos realizados en cuanto al tamaño de partículas demostraron que los tamaños de 30, 10 y 3 cm no presentaban buena adhesión entre las partículas dejando espacios vacíos lo que afectó la fragilidad de la placa dificultando la realización de los ensayos, a diferencia de las placas elaboradas con tamaños de partícula de 1 y 0,5 cm presentaron buena adhesión y firmeza.

- El porcentaje de aglutinante óptimo en peso fue de 15,7% para partículas de 1cm con una dilución de PVA en agua de 1,5:1 y de 27,3% para partículas de 0,5 cm de largo con una dilución de 3:1, además la utilización de aglutinante no varía considerablemente el coeficiente de conductividad térmica ya que existe una diferencia de 0,006 W/m°C

- En cuanto a la determinación del coeficiente de conductividad térmico de la Totora se realizaron dos pruebas. En la primera se realizó el análisis de Totora a granel, es decir sin la adición de ningún tipo de aglutinante obteniéndose un valor de  $\lambda=0,019\text{W/m}^\circ\text{C}$  a una densidad de  $106,86\text{ Kg/m}^3$ . En el segundo ensayo se utilizaron placas rígidas de Totora en las cuales se utilizó 15,7 % de aglutinante dando como resultado  $\lambda=0,021\text{ W/m}^\circ\text{C}$  a una densidad de  $251,4\text{ Kg/m}^3$

- El Código Técnico de la Edificación de España considera un material aislante aquel que presenta un coeficiente de conductividad térmica inferior a  $0,060 \text{ W/m}\cdot\text{°C}$  por lo que al presentar la Totorá valores de  $0,019$  y  $0,021 \text{ W/m}\cdot\text{°C}$  cumple con dicha normativa .

- Entre los aislantes térmicos que presentan los mejores coeficientes de conductividad térmica están el algodón, limo, cáñamo y lana de oveja con valores de conductividad de alrededor de  $0,04 \text{ W/m}\cdot\text{°C}$  lo que indica que la Totorá presenta un coeficiente de conductividad térmica inferior a los aislantes más utilizados en el mercado, lo que se debe en gran parte al tejido tubular esponjoso que presenta en su estructura.

- La Tierra utilizada para la fabricación de adobes corresponde a un suelo de arenas limosas cuya composición fue de  $57,42\%$  de arenas,  $42,58\%$  de arcillas y  $14,84\%$  de limos, por lo tanto al presentar un mayor porcentaje de arcillas según la Norma E-80 se decidió estabilizarla con cemento y cal en diferentes proporciones hasta un  $15\%$  en peso según la Norma.

- La cantidad máxima de Totorá que se puede adicionar a un adobe es de  $9\%$  en peso con una humedad de  $0,5\%$  y tamaño de partícula entre  $0,5$  y  $1 \text{ cm}$  de largo. La densidad de un adobe sin Totorá es de alrededor de  $1600 \text{ kg/m}^3$  y con la adición de un  $8\%$  de biomasa la densidad del adobe es de  $960 \text{ kg/m}^3$  aproximadamente es decir que se ha vuelto un bloque más liviano disminuyendo su peso en un  $40\%$ .

- La máxima resistencia determinada fue de  $12,12 \text{ kgf/cm}^2$  con un porcentaje en peso de 8% de totora, 15% de cemento y de 77% de Tierra. La Norma E-80 determina que la resistencia a la compresión mínima aceptable es de  $12 \text{ kg/cm}^2$  por lo que se acoge a la norma.
- Dentro del campo de eficiencia energética en edificaciones , según el Código Técnico de Edificación Español, para cumplir la normativa en cuanto a muros en contacto con el suelo se necesita un espesor de barro macizo de 0,15 m y 0,04 m de Totora a granel, mientras que en la normativa argentina espesores de barro y Totora de 0,15 y 0,05 m respectivamente.
- Para suelos y cubiertas se necesitan espesores de 0,15 m de barro y 0,05 cm de Totora para cumplir con la normativa española , mientras que para la normativa argentina se necesita un espesor de 0,15 m de barro y 0,06 m de Totora.
- Para la normativa ecuatoriana NEC-11 se necesitan espesores de 0,15 m de barro y 0,03 m de Totora tanto para muros como para cubiertas y suelos, con los cuales se cumple con la normativa.
- Las placas rígidas de Totora utilizadas como tumbados o cielos rasos se necesitaría espesores de 0,06 m para normativa española, 0,07 m para normativa argentina y 0,03m para la norma.

## RECOMENDACIONES

- Es importante y se debe tener especial cuidado en el tiempo de estabilización del equipo para la medición del coeficiente de conductividad térmica estableciéndose un tiempo de estabilización entre 4 a 6 horas.
- La fabricación de adobes se han realizado de manera tradicional en función de que cualquier persona pueda fabricarlos, sin embargo se podría continuar la investigación fabricando bloques de tierra comprimida para mejorar la resistencia del material constructivo.
- Al ser el adobe un material constructivo que tiende a contraerse o dilatarse debido al contenido de arcilla, es difícil tener superficies planas para realizar los ensayos de conductividad por lo que se recomienda en futuras investigaciones fabricar probetas de hormigón adicionadas con Totorá.

## BIBLIOGRAFÍA

- Bedoya, C., & Neila, J. (1997). *Técnicas de acondicionamiento ambiental*. Madrid: Editorial Técnica Universitaria de Obras.
- Berge, B. (2009). *The ecology of building materials* . Oxford: Elseiver.
- Binici, H., & Eken, M. (2013). *An enviromentallly friendly thermal insulation material from sunflower stalk, textile waste and stubble fibres*. Turkey: Elsevier.
- Cadena, C., & y Bula, A. (2002). *Estudio de la variacion de la conductividad térmica de la cascarilla de arroz aglomerada con fibras vegetales*. Barranquilla.
- CEPAL. (2010). *Huella de carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios* . Santiago de Chile.
- Charlson, J., & Harvey, H. (1997). *Development of strw insulation board: fabrication, testing, performance modeling* . Massachusetts.
- Corporación de desarrollo tecnológico. (2008). *Aislación térmica exterior. Manual de diseño para soluciones en edificaciones* . Santiago de Chile .
- García, A. (2003). Aplicaciones constructivas de un material compuesto de escayola y fibras naturales de typha Latifolia. *Técnicas Innovadoras y Sostenibles en la Edificación* , 73-77.
- García, A., & Amado, M. (2013). Madera plástica con paja de trigo y matriz polimérica . *tecnología en marcha Vol 26*, 26-38.
- Gernot, M. (2005). *Manual de construcción en Tierra* . Alemania : Fin de siglo.

- Goodhew, S., & Griffiths, R. (2004). *Sustainable earth wall to meet the building regulation*. United of Kingdom: Elseiver.
- Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción. (2010). *Código Técnico de la Edificación ,Catálogo de elementos constructivos del CTE*. Madrid.
- Jhonson, U., Abdullah, B., & Moid, Z. (2013). *A comparision of the thermal conductivity of oil palm shell foamed concrete with conventional materials*. Malaysia: Elsevier.
- López, F. (2006). *Sobre el uso y la gestión como los factores principales que determinan el consumo de energía en la edificación . una aportación para reducir el impacto ambiental en los edificios*. Cataluña: Universidad Politecnica de Cataluña.
- Mangesh, M., & Raul, R. (2012). *Application of agro-waste for sustainable construction materials: A review*. Nagpur: Elsevier.
- Manohar, K. (2012). Renewable building thermal insulation oil palm fibre . *Internacional Journal of engineeiring and Technology.*, 43-54.
- Method S.T . (2013). C114-06 Standar Test Method for Steady State Thermal Transmission Properties By Means. 5-12.
- Method S.T. (2013). C177-13 Standar test method for Steady State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Propierties by means of the guarded -hot-plate. 1-23.
- MIDUVI. (2011). *Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-11*. Quito.
- Mier, M. (2007). *Evaluar cinco dosis de Bioseptic en la descomposición de Totora, (Schoenoplectus californucus)*. Ibarra.

- Miguet, J., & Garrido, L. (2012). *Self sufficient Green Architecture*. Barcelona: Instituto Monsa.
- Olgay, V. (1998). *Arquitectura y clima*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili.
- Panyakaew, S., & Fotios, S. (2011). *New thermal insulation boards made from coconut husk and bagasse*. United Kingdom: Elsevier.
- Pinto, J., Cruz, D., Paiva, A., & Pereira, S. (2012). *Characterization of corn cob as a possible raw building material*. Portugal: Elsevier.
- Pinto, J., Viera, B., Pereira, S., & Varum, A. (2012). *A corn cob lightweight concrete for non structural application*. Portugal: Elsevier.
- Ramanaiah, A., Ratna, V., & Chandra, H. (2012). *Mechanical properties and thermal conductivity of Typha Angustifolia natural fibre reinforced polyester composites*. India: Elsevier.
- Ramirez, A., Castillo, F., Morales, V., & Guzman, M. (2012). *thermal conductivity of coconut fibre filled ferrocemento sandwich panel*. Oaxaca: Elsevier.
- Reglamento Nacional de Construcciones. (2000). *NORMA TÉCNICA E.80 ADOBE*. Lima : SENSICO.
- Rey, F., & Eloy, V. (2006). *Eficiencia Energética en edificios : certificación y auditorías energéticas*. Madrid: Editorial Thomson.
- Rodríguez, M., & Saroza, B. (2005). *Identificación de la composición óptima del adobe como material de construcción de una escuela en Cuba*. Madrid.
- Samson, A., & Hans-Wolf, R. (2009). *Fibers of coffee husk and hulls for the production of particles boards*. Stuttgart: Springer Netherlands.
- Serrano, J., & Castro, J. (1985). *Materiales de construcción con propiedades aislantes a base de cáscara de arroz*. *Informes de la construcción*, 53-63.

- Siavichay, D., & Joffre, N. (2010). *Adobe en la construcción*. Universidad de Cuenca , Cuenca.
- Stevens, M., & Chris, H. (2003). *California Bulrush Schoenoplectus californicus*. California : University of California .
- Tapia, C. (2007). *Elaboración de tableros de partícula fina a partir de residuos lignocelulósicos y resinas termoestables*. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- UNE 41410. (2008). *Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques* . Madrid.
- Widyorini, R., & Umemura, K. (2005). *Manufacture and properties of binderless particle board from bagasse*. Kyoto: Elsevier.
- Witt, D. (1996). *Fundamentos de transferencia de calor*. México: Incropera.
- Wuzella, G., Raj, A., Batge, T., & Juey, S. (2011). *Novel, Binder free fiber reinforced composites based on renewable resource from de reed like plant Typha sp*. Vienna: elsevier.
- Zach, J., & Korjenic, A. (2012). *Performance evaluation and research of alternative thermal insulation based in sheep wool*. Czech Republic: Elsevier.



## **ANEXOS**