



**ESPE**

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN CON  
LA COLECTIVIDAD  
DIRECCIÓN DE POSTGRADOS**

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

**TEMA: “ANÁLISIS, DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE AISLANTES  
TÉRMICOS FABRICANDO BLOQUES DE ADOBE CON PAJA”**

**AUTOR: BURI TENE ALEXANDRA ELIZABETH**

**DIRECTOR: ING. MSC. PhD. LEONARDO GOYOS PÉREZ**

**SANGOLQUÍ**

**2015**

## CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR

El suscrito Ing. PhD. Leonardo Goyos Pérez, con pasaporte N° XDA668210, en calidad de Director de Tesis de la Maestría en Energías Renovables,

### CERTIFICA

Que el presente proyecto de grado que lleva como título, “**ANÁLISIS, DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE AISLANTES TÉRMICOS FABRICANDO BLOQUES DE ADOBE CON PAJA**” realizado por la Ingeniera Alexandra Elizabeth Buri Tene de nacionalidad ecuatoriana, con cédula de identidad No.1717717373, como requisito para la obtención del título de Magíster en Energías Renovables, Promoción II de la ESPE, fue desarrollada bajo mi dirección y asesoría. La misma que cumple con los requerimientos científicos, tecnológicos y académicos, razón por la cual autorizo su presentación y defensa.

Sangolquí, 10 de julio de 2015



---

ING. Leonardo Goyos Pérez PhD.

**DIRECTOR**

# DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

**ALEXANDRA ELIZABETH BURI TENE**

## DECLARA QUE:

El proyecto de posgrado denominado “**ANÁLISIS, DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE AISLANTES TÉRMICOS FABRICANDO BLOQUES DE ADOBE CON PAJA**”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

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

Sangolquí, 10 de julio de 2015



ING. ALEXANDRA BURI TENE

**AUTOR**

## AUTORIZACIÓN

Yo,

**ALEXANDRA ELIZABETH BURI TENE**

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución, el trabajo titulado “**ANÁLISIS, DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE AISLANTES TÉRMICOS FABRICANDO BLOQUES DE ADOBE CON PAJA**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 10 de julio de 2015



ING. ALEXANDRA BURI TENE

**AUTOR**

## DEDICATORIA

*A mis padres por ser ejemplo de superación, dedicación, esfuerzo, y por darme el legado  
más grande:*

*“La educación”.*

*Con todo cariño a mi esposo Francisco por su apoyo constante, por estar siempre a mi lado  
dándome ánimos para continuar.*

*Principalmente a mi hijo Julián, por ser mi motivación; su inocencia y alegría son mi  
inspiración frente a cualquier situación.*

**ALEXANDRA BURI TENE**

**Julio, 2015**

## AGRADECIMIENTO

*Mi agradecimiento a mi Director de Tesis, Ing. PhD. Leonardo Goyos, por su valiosa colaboración y apoyo académico e intelectual en la realización de la presente investigación.*

*Al Dr. Arq. Luis Velasco Roldán, quien encaminó el presente trabajo de investigación.*

*A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE y todo su cuerpo docente por los conocimientos impartidos*

**ALEXANDRA BURI TENE**

**Julio, 2015**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR .....	II
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD .....	III
AUTORIZACIÓN .....	IV
DEDICATORIA .....	V
AGRADECIMIENTO .....	VI
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	VII
INDICE DE FIGURAS .....	XI
RESUMEN .....	XII
ABSTRACT .....	XIV
<b>CAPITULO I. GENERALIDADES.....</b>	
1	
1. ANTECEDENTES .....	1
2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	3
3. OBJETIVOS.....	4
3.1. General.....	4
3.2. Específicos .....	4
4. ALCANCE DEL PROYECTO.....	4
5. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA .....	5

<b>CAPITULO II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>7</b>
<b>2.1. CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE .....</b>	<b>7</b>
<b>2.2. EFICIENCIA ENERGÉTICA.....</b>	<b>7</b>
2.2.1. Conceptos generales .....	7
2.2.2. Aislamiento térmico de edificios.....	8
<b>2.3. HUELLA DE CARBONO .....</b>	<b>9</b>
2.3.1. Emisiones de CO <sub>2</sub> de edificaciones .....	9
2.3.2. Mitigación del cambio climático en el sector edificios .....	10
2.3.3. Cambio climático y emisiones de CO <sub>2</sub> .....	11
2.3.4. La biomasa como alternativa de reducción de emisiones.....	12
2.3.5. Huella Ecológica, Huella de carbono .....	14
2.3.6. Huella de carbono en el sector de la construcción .....	16
2.3.7. Emisiones de los distintos materiales de construcción .....	17
<b>2.4. RIESGOS EN LA SALUD HUMANA POR LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN EN LAS EDIFICACIONES .....</b>	<b>18</b>
2.4.1. Elementos tóxicos y peligrosos para la salud humana en la construcción de edificaciones .....	18
<b>2.5. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.....</b>	<b>20</b>
2.5.1. Coeficiente de conductividad térmica .....	20
2.5.2. Coeficiente de transferencia de calor .....	21
2.5.3. Permeabilidad al vapor de agua .....	22
2.5.4. Resistencia.....	22
2.5.5. Densidad.....	24
2.5.6. Durabilidad .....	25
<b>2.6. AISLANTES TÉRMICOS CONVENCIONALES .....</b>	<b>26</b>
<b>2.7. AISLANTES TÉRMICOS NATURALES .....</b>	<b>27</b>
<b>2.8. PAJONAL .....</b>	<b>28</b>
2.8.1. Descripción .....	28
2.8.2. Localización y cantidad.....	28
2.8.3. Características.....	28
<b>2.9. ADOBE .....</b>	<b>29</b>
<b>2.10. POSIBILIDADES DE AGLOMERACIÓN DE ADOBES.....</b>	<b>32</b>

2.10.1. En bloques o en masa .....	32
2.10.2. Con aglomerante cemento.....	33
2.10.3. Con aglomerante cal.....	36
<b>CAPITULO III. DESARROLLO EXPERIMENTAL.....</b>	<b>38</b>
3.1. RECOLECCIÓN DE LAS MUESTRAS.....	38
3.3. PRUEBA DE PLASTICIDAD.....	42
3.4. PRUEBA DE RESISTENCIA .....	43
3.5. ELABORACIÓN DE ADOBES .....	44
4.3.6. ENSAYO DE RESISTENCIA .....	48
<b>CAPITULO IV. ANALISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES.....</b>	<b>49</b>
<b>4.1 RESULTADOS ENSAYO DE RESISTENCIA .....</b>	<b>49</b>
<b>4.2. RESULTADOS ENSAYO DE CONDUCTIVIDAD .....</b>	<b>56</b>
<b>CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES GENERALES .....</b>	<b>60</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>63</b>

**INDICE DE ILUSTRACIONES**

<b>Ilustración 1.</b> Recolección de muestras de pajonal	<b>38</b>
<b>Ilustración 2.</b> Recolección de muestras	<b>39</b>
<b>Ilustración 3.</b> Prueba granulométrica - Ensayo 1	<b>40</b>
<b>Ilustración 4.</b> Prueba granulométrica – Ensayo 2	<b>41</b>
<b>Ilustración 5.</b> Forma de realizar la prueba de plasticidad	<b>42</b>
<b>Ilustración 6.</b> Prueba de plasticidad	<b>43</b>
<b>Ilustración 7.</b> Prueba de resistencia	<b>44</b>
<b>Ilustración 8.</b> Prueba de resistencia	<b>44</b>
<b>Ilustración 9.</b> Preparación de la tierra y pajonal	<b>45</b>
<b>Ilustración 10.</b> Molde de madera para elaboración de adobes	<b>46</b>
<b>Ilustración 11.</b> Mezcla	<b>46</b>
<b>Ilustración 12.</b> Elaboración de adobes	<b>47</b>
<b>Ilustración 13.</b> Diagrama del equipo utilizado	<b>56</b>

**INDICE DE FIGURAS**

<b>Figura 1.</b> Resultados de ensayo de resistencia en las muestras suelo – pajonal .....	50
<b>Figura 2.</b> Resultados de ensayo de resistencia en las muestras suelo – pajonal .....	51
<b>Figura 3.</b> Resultados de ensayo de resistencia en las muestras suelo – pajonal .....	53
<b>Figura 4.</b> Comparación de resultados de ensayo de resistencia para el 60 % en paja .....	54
<b>Figura 5.</b> Gráfico coeficiente de conductividad Vs el tiempo.....	58

## RESUMEN

La presente tesis realiza el análisis, desarrollo y evaluación de aislantes térmicos fabricando bloques de adobe con paja, mediante la elaboración de bloques estabilizados o no, con cal y cemento. En el primer capítulo se describe el entorno respecto a la vivienda en el Ecuador y las condiciones de confort de las edificaciones en el país. Se plantea la problemática, se establece el objetivo general y los objetivos específicos de la investigación, así como su justificación y alcance. El capítulo segundo, se refiere al desarrollo de las definiciones conceptuales como base teórica para la presente investigación. Los temas descritos en este capítulo se refieren a: Construcción Sostenible, Eficiencia Energética en Edificaciones, Huella de Carbono, Aislantes Térmicos Convencionales y no Convencionales, Características de los Materiales de Construcción, Fabricación de adobes con aglomerante cemento y con aglomerante cal. En el capítulo tercero, se expone el desarrollo experimental de la investigación. Se inicia con la descripción de la recolección de muestras de suelos y el análisis de su idoneidad para su uso en la fabricación de adobes. A continuación se describe el proceso de elaboración de los prototipos a ser ensayados. Finalmente se describen los procedimientos para los ensayos de resistencia y conductividad. En el capítulo cuarto se presenta el análisis de los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia y conductividad realizados a los prototipos de adobe. Finalmente en el capítulo quinto, se presentan las conclusiones a las que se llegaron con el estudio, respondiendo a los objetivos generales y específicos planteados.

**Palabras clave:**

- **ADOBES**
- **CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE**
- **RESISTENCIA DE ADOBES**
- **CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE ADOBES**
- **PAJONAL**

## **ABSTRACT**

This thesis makes the analysis, development and evaluation of thermal insulation making adobe bricks with straw, by developing or blocks stabilized with lime and cement. The first chapter describes the status of housing in Ecuador and comfort conditions of the buildings in the country. The problem arises, the general objective and specific objectives of the research as well as their justification and scope is established. The second chapter concerns the development of the conceptual definitions and theoretical basis for this investigation. The topics discussed in this chapter relate to: Sustainable Building, Energy Efficiency in Buildings, Carbon Footprint, Thermal Insulation conventional and unconventional, Characteristics of Building Materials, Manufacture of bricks with cement and lime binder. In the third chapter, the experimental research development is exposed. It starts with the description of the soil sample collection and analysis of their suitability for use in the manufacture of bricks. Then the process of developing the prototypes to be tested is described. Finally, the procedures for testing resistance and conductivity are described. The fourth chapter analysis of results of tests conducted to strength and conductivity adobe prototype is presented.

Finally in the fifth chapter, the conclusions that were reached with the study, responding to the general and specific objectives are presented.

**Keywords:**

- ADOBES
- SUSTAINABLE CONSTRUCTION
- RESISTANCE ADOBE
- THERMAL CONDUCTIVITY OF BRICKS
- PAJONAL

## “ANÁLISIS, DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE AISLANTES TÉRMICOS FABRICANDO BLOQUES DE ADOBE CON PAJA”

La presente tesis es una investigación que tiene por objetivo fabricar y estudiar bloques de adobe como aislante térmico agregando paja para su aplicación en la construcción de edificaciones.

Los bloques fueron construidos de forma artesanal acorde a técnicas conocidas. Los ensayos de resistencia y conductividad se elaboraron en los laboratorios de la ESPE acorde a procedimientos establecidos.

Para la estabilización de los bloques se utilizó cal en unas muestras y cemento en otras, algunas muestras fueron construidas sin estabilizante.

## **CAPITULO I. GENERALIDADES**

### **1. ANTECEDENTES**

La región Interandina es la zona donde se encuentran asentadas las principales comunidades indígenas del Ecuador y está caracterizada por zonas de gran altitud, como los páramos, donde se alcanzan 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 las viviendas y menos aún un óptimo consumo de energía.

La pérdida de energía en una vivienda en la mayoría de casos se debe a la inexistencia de sistemas de construcción adecuados y falta de estrategias de uso de recursos de energía renovable. Esto se evidencia especialmente en viviendas de clase media a baja 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 también 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.

## 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 el uso de energía con fines de calefacción, representa el uso de combustibles fósiles y por lo tanto emisiones de gases de efecto invernadero, causantes del cambio climático, por lo que el desarrollo de aislantes térmicos a partir de biomasa se convierte en una estrategia de optimización de materiales de construcción sino también en una estrategia para la mitigación de los efectos de este fenómeno climático.

Actualmente, las viviendas en Ecuador tienen importantes problemas de comportamiento térmico y energético. Sin embargo esta situación se podría mejorar considerando los factores 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.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. General**

- Fabricar y estudiar bloques de adobe como aislante térmico agregando paja para su aplicación en la construcción de edificaciones.

#### **3.2. Específicos**

- Realizar los ensayos de resistencia mecánica sobre los prototipos elaborados.
- Realizar los ensayos de conductividad térmica sobre los prototipos elaborados.
- Establecer las proporciones óptimas entre adobe con paja con las cuales se obtenga un producto técnicamente viable, mediante un modelo estadístico.

### **4. ALCANCE DEL PROYECTO**

Desarrollo de un aislante térmico mediante bloques de adobe con paja, estabilizados o no con cal, a través de la caracterización de la conductividad térmica, la resistencia mecánica, la absorción de humedad de los prototipos según los ensayos normalizados, obteniendo un equilibrio entre resistencia y conductividad térmica, minimizando esta última para que puedan ser utilizados en la construcción de edificaciones.

## 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 la zonas de clase media a baja, cuyos asentamientos se encuentran además 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 dentro del ámbito ecuatoriano sin que esto implique un incremento económico significativo.

## **CAPITULO II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE**

La construcción sostenible es aquella que basada en el uso de materiales no perjudiciales para el ambiente y la salud, implica un uso eficiente de los recursos naturales y de los materiales (Ramírez, 2014).

La reducción de impactos ambientales debe lograrse en todas las etapas de la construcción, considerando diferentes alternativas, a favor de evitar el agotamiento de los recursos y previniendo la degradación ambiental o los prejuicios a la salud humana (Kibert, 1994).

Algunos elementos clave para alcanzar edificaciones sostenibles son: gestión del ciclo de vida, tanto de las edificaciones como de los materiales y componentes utilizados; utilización de recursos reciclables y renovables en la construcción y operación y prevención de residuos y emisiones contaminantes (CCCS, 2014).

### **2.2. EFICIENCIA ENERGÉTICA**

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

La Agencia Internacional de la Energía (EIA, por sus siglas en inglés) define a la eficiencia energética como un medio para administrar y limitar el crecimiento en el consumo energético. El uso de la energía es eficiente si ofrece más servicios por el mismo aporte de energía, o los mismos servicios con menos consumo de energía.

En Ecuador en 2011, mediante D.E. N° 705 del 06 de abril de 2011, se estableció la “Norma para Eficiencia Energética en la Construcción”, con el propósito de establecer especificaciones y características técnicas mínimas a ser tomadas en cuenta en el diseño, construcción, uso y mantenimiento de las edificaciones en el país, reduciendo de esta manera el consumo de energía y recursos necesarios, así como establecer los mecanismos de control y verificación de las mismas.

### **2.2.2. Aislamiento térmico de edificios**

Existe variedad de aislamientos térmicos para almacenar o disipar energías no necesarias, la gran mayoría de los aislamientos son fabricados con aglomerados a base de petróleo; y otros con materias vegetales como: Palma africana, fibras de coco, bagazo de caña, cascarilla de cacao, cascarilla de arroz, cascara da banano, fibras de madera de balsa, etc.

El aislamiento térmico es un factor clave en la gestión energética de edificaciones ya que controla el gasto innecesario por pérdidas debido a la transferencia de calor de un cuerpo a otro.

La elección y el grado de aislamiento se basan en una serie de factores: durabilidad, instalación, costo, impacto ambiental, clima y efectos tóxicos.

## **2.3. Huella de carbono**

### **2.3.1. Emisiones de CO<sub>2</sub> de edificaciones**

El calentamiento del sistema climático es inequívoco, como evidencian ya los aumentos observados del promedio mundial de la temperatura del aire y del océano, el deshielo generalizado de nieves y hielos, y el aumento del promedio mundial del nivel del mar. (IPCC, 2007)

El cambio climático es producido por los gases de efecto invernadero (GEI), siendo el CO<sub>2</sub> el principal GEI. Según el informe 2007 del IPCC, las emisiones mundiales de GEI por efecto de actividades humanas han aumentado, desde la era preindustrial, en un 70% entre 1970 y 2004.

El mismo informe indica que en el año 2004, las emisiones directas de GEI del sector de edificios (se excluyen las emisiones del uso de la electricidad) fueron de 5 GtCO<sub>2</sub>-eq/año.

En el Ecuador la Segunda Comunicación Nacional para el Cambio Climático, publicó el Inventario Nacional de GEI en el cual se cuantifica las emisiones sectoriales del sector de edificios basándose en su consumo energético, es así que las emisiones del sector energía para el año 2006 fueron de 26,895.41 GtCO<sub>2</sub>-eq/año.

En general las emisiones de GEI de Ecuador al mundo son inferiores al 0.1 % de las emisiones mundiales. A pesar de ser un aporte mínimo, el país debido a su categoría de país en vías de desarrollo, es altamente vulnerable a los efectos del cambio climático, por lo tanto la implementación de acciones para mitigar el cambio climático son una prioridad.

Las tendencias actuales en el suministro de energía y el uso son insostenibles desde el punto de vista económico, ambiental y social. Sin implementación de medidas, las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) incrementarán al doble para el 2050. (International Energy Agency, 2014)

### **2.3.2. Mitigación del cambio climático en el sector edificios**

La mitigación del cambio climático se refiere a la reducción de emisiones de GEI, expresadas en toneladas de Dióxido de Carbono Equivalente (tCO<sub>2</sub>-eq).

El potencial de mitigación en edificaciones está basado principalmente en acciones de ahorro energético denominada eficiencia energética.

Las soluciones energéticas para edificaciones están basadas en tecnologías y prácticas para la optimización del recurso energético como: iluminación más eficiente y aprovechamiento de la luz natural, aislamiento térmico mejorado, diseño solar activo y pasivo para la calefacción y el aire acondicionado.

Los cambios de hábitos de consumo y los patrones de comportamiento también contribuyen a la reducción de emisiones de GEI. Los cambios en el estilo de vida y patrones de consumo que enfatizan la conservación de recursos pueden contribuir al desarrollo de una economía con bajo contenido de carbono que es equitativa y sostenible. Los edificios que usan eficientemente la energía, a la vez que limitan el incremento de las emisiones de CO<sub>2</sub>, pueden mejorar

también la calidad del aire en espacios cerrados y al aire libre, mejorar el bienestar social e incrementar la seguridad de la energía (IPCC, 2007).

El agua, la disposición de los residuos, el uso de recursos y las emisiones de carbono se vislumbran como retos para las actividades modernas. En los últimos años el ser humano ha reconocido que tiene que ser más sustentable en su actitud y prácticas, entender la afectación de sus acciones significa determinar en donde se producen los impactos y utilizar esa información para identificar donde deben centrarse las acciones.

La cuantificación de emisiones de CO<sub>2</sub> en una actividad específica se denomina Cálculo de la Huella de Carbono. El concepto de Huella de Carbono, introducido por Wackernagel en 1996, ha tomado mucha fuerza en la actualidad para determinar las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a una actividad específica. Actualmente más organizaciones están recurriendo al cálculo de su Huella de Carbono para desarrollar opciones para reducir los impactos de sus operaciones, al mismo tiempo que descubren los beneficios que presenta la eficiencia en cuanto al ahorro en costos, o destacando la competitividad en materia de recursos en relación con los productos de la competencia. (The Carbon Trust, 2014)

### **2.3.3. Cambio climático y emisiones de CO<sub>2</sub>**

El calentamiento del sistema climático es inequívoco, como evidencian ya los aumentos observados del promedio mundial de la temperatura del aire y del océano, el deshielo generalizado de nieves y hielos, y el aumento del promedio mundial del nivel del mar. (IPCC, 2007)

El cambio climático es producido por los gases de efecto invernadero (GEI), siendo el CO<sub>2</sub> el principal GEI. Según el informe 2007 del IPCC, las emisiones mundiales de GEI por efecto de actividades humanas han aumentado, desde la era preindustrial, en un 70% entre 1970 y 2004.

El mismo informe indica que en el año 2004, las emisiones directas de GEI del sector de edificios (se excluyen las emisiones del uso de la electricidad) fueron de 5 GtCO<sub>2</sub>-eq/año.

En el Ecuador la Segunda Comunicación Nacional para el Cambio Climático, publicó el Inventario Nacional de GEI en el cual se cuantifica las emisiones sectoriales del sector de edificios basándose en su consumo energético, es así que las emisiones del sector energía para el año 2006 fueron de 26,895.41 GtCO<sub>2</sub>-eq/año.

En general las emisiones de GEI de Ecuador al mundo son inferiores al 0.1 % de las emisiones mundiales. A pesar de ser un aporte mínimo, el país debido a su categoría de país en vías de desarrollo, es altamente vulnerable a los efectos del cambio climático.

#### **2.3.4. La biomasa como alternativa de reducción de emisiones**

La biomasa es considerada como una fuente de energía renovable que puede ser usada en sustitución de los combustibles fósiles. La obtención de energía a partir de biomasa es un proceso considerado

carbono neutro, pues las emisiones del proceso son equilibradas con el CO<sub>2</sub> absorbido previamente por las plantas. (CER, 2014.)

La directiva de la Unión Europea (EU) define a la biomasa como: la fracción biodegradable de productos, desechos y residuos de la agricultura (incluyendo sustancias vegetales y animales), silvicultura e industrias relacionadas, así como la fracción biodegradable de los residuos municipales e industriales.

La biomasa sólida (materia orgánica de origen vegetal o animal), como fuente energética, puede ser usada para aprovechamiento térmico o eléctrico.

Sovacool (2008), presenta las estimaciones de emisiones de gases de efecto invernadero por unidad de electricidad producida (en gCO<sub>2</sub>e/kWh) para la biomasa entre 14 y 41. (Cerdeira, 2014). Sin embargo la reducción de emisiones dependerá del tipo de materia prima, variaciones en el stock de carbono debido a cambio de uso de la tierra, transporte, procesamiento de las materias primas y tecnologías de conversión para producir calor y electricidad.

Es importante resaltar que el aprovechamiento energético supone “convertir un residuo en un recurso”, de esta forma se consigue gestionar residuos procedentes de podas y limpieza de bosques, rastrojos y podas agrícolas, disminuyendo el riesgo de incendios, enfermedades y plagas, y su propagación, y a su vez dando un valor a los residuos para que sean aprovechados y reutilizados. (IDEA, 2007).

---

<sup>1</sup>Carbono Neutro, significa alcanzar un balance en las emisiones de GEI que se emiten con las emisiones que se reducen o compensan mediante acciones de reducción de emisiones o captura de CO<sub>2</sub>.

### **2.3.5. Huella Ecológica, Huella de carbono**

En los noventa, William Rees y Mathis Wackernagel de la Universidad de British Columbia, conciben el concepto de huella ecológica como una herramienta contable que permite estimar los requerimientos en términos de recursos relacionados con la tierra y el agua, y la asimilación de los residuos para satisfacer las necesidades de una determinada población, entidad, región o país, expresadas en áreas productivas globales (Wackernagel y Rees, 1995; Rees, 1996).

La huella ecológica, tiene subcomponentes, siendo la más significativa en función de su impacto directo en el cambio climático, la huella de carbono cuya participación en la huella ecológica alcanza casi el 50% (WWF, 2008),

Comúnmente 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.(CEPAL, 2010).

La huella de carbono es la medida del impacto de todos los gases de efecto invernadero producidos por nuestras actividades (individuales, colectivas, eventuales y de los productos) en el medio ambiente. (CEPAL, 2010). La huella de carbono se expresa comúnmente en

toneladas de tCO<sub>2</sub>-eq, por lo cual su uso se ha extendido como herramienta en el debate de las causas e impactos del cambio climático.

El cálculo de la huella de carbono tiene dos enfoques metodológicos: de abajo hacia arriba, con base en análisis de procesos (PA, por sus siglas en inglés) o de arriba hacia abajo, con base al análisis de entradas y salidas al ambiente (EIO, por sus siglas en inglés).

El análisis de procesos (PA), se refiere al impacto individual de un proceso en su ciclo de vida, conocido como de la cuna a la tumba. El World Resources Institute (WRI) ha desarrollado el “Product life cycle accounting and reporting standard (Estándar para contabilidad del ciclo de vida del producto)”, que proporciona requisitos y lineamientos para las empresas y otros organismos para cuantificar e informar públicamente su inventario de emisiones de GEI asociado con un producto específico.

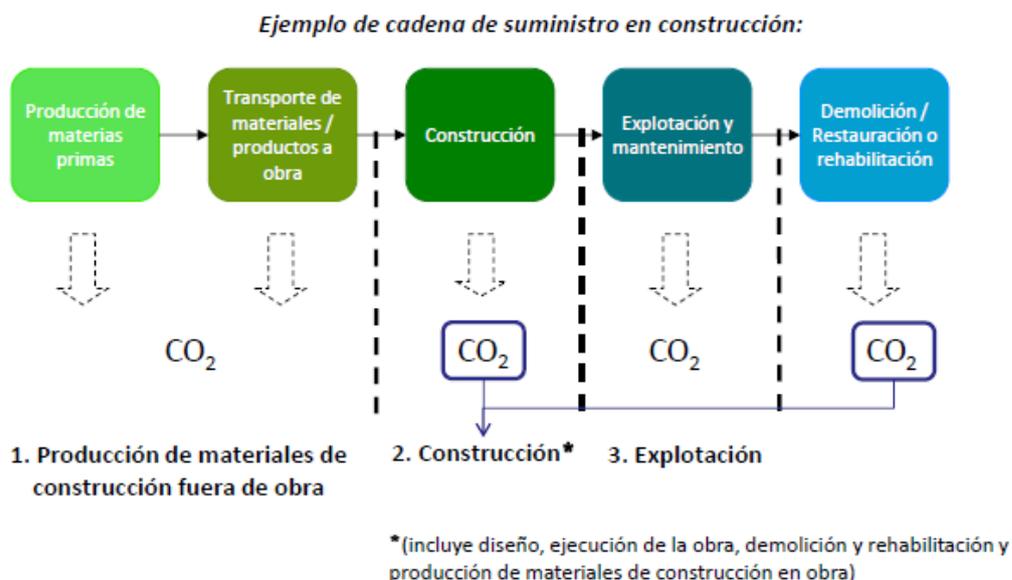
El análisis de entradas y salidas al ambiente (EIO), permite una aproximación hacia la estimación de la huella de carbono, mediante tablas de las cuentas económicas del sector en combinación con los datos de las cuentas de medio ambiente.

La selección del método depende del propósito de la investigación, y la disponibilidad de datos. Se puede decir que el análisis EIO es aplicable para el establecimiento de la huella de carbono de sistemas macro. Mientras que el análisis PA es fácilmente aplicable en sectores industriales, empresas individuales, grupos de productos, los hogares, el gobierno, el ciudadano promedio o un grupo socioeconómico.

### 2.3.6. 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 (Campos, Méndez, & Salas, 2013).

El sector de la construcción contempla tres ámbitos de operación, de cara a la cuantificación de emisiones. (FCC Construcción, 2011)



La Red Europea de Empresas de la Construcción para la Investigación y el Desarrollo (ENCORD, por sus siglas en inglés) ha

desarrollado el protocolo para medición de CO<sub>2</sub> en la construcción, como complemento al Protocolo para medición y reporte de GEI, conocido como como GHG Protocol, desarrollado por el World Resources Institute (WRI).

El protocolo es usado por empresas de construcción para medir las emisiones de CO<sub>2</sub> resultantes de sus operaciones y de la cadena de suministro. Esta guía puede ser aplicable también a las empresas que fabrican sus propios materiales de construcción.

El protocolo se compone de los siguientes elementos:

Descripción de las áreas operacionales.

Identificación de los límites organizacionales

Alcance y significado de la medición de emisiones.

### 2.3.7. Emisiones de los distintos materiales de construcción

**Tabla 1. Emisiones de los distintos materiales de construcción**

Material	Densidad	Emisiones por Kg	Emisiones por m <sup>3</sup>
Tapial (sin estabilizar)	2,000kg/m <sup>3</sup>	0.004kg CO <sub>2</sub> /Kg	9.7kgCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
Adobe	1,200kg/m <sup>3</sup>	0.06kg CO <sub>2</sub> /Kg	74kgCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
Hormigón en masa in situ	2,2600kg/m <sup>3</sup>	0.14kg CO <sub>2</sub> /Kg	320kgCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
Hormigón prefabricado, 2% de acero	2,500kg/m <sup>3</sup>	0.18g CO <sub>2</sub> /Kg	455kgCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
Pared de ladrillo macizo	1,600kg/m <sup>3</sup>	0.19kg CO <sub>2</sub> /Kg	301kgCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
Pared de ladrillo hueco	670kg/m <sup>3</sup>	0.14kg CO <sub>2</sub> /Kg	95kgCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>

## **2.4. RIESGOS EN LA SALUD HUMANA POR LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN EN LAS EDIFICACIONES**

El conocimiento del impacto al ambiente debido a la construcción de una edificación es un elemento de la construcción sostenible.

Los materiales y los componentes con los que se construye el edificio pueden ser una fuente de materiales problemáticos, como pueden ser los tratamientos químicos aplicados a diferentes materiales, que se evaporan en la atmósfera del edificio. Los sistemas de control ambiental y otros servicios incrementan la comodidad y salubridad de los ambientes en los edificios.(Groak, 1996)

### **2.4.1. Elementos tóxicos y peligrosos para la salud humana en la construcción de edificaciones**

Algunos materiales de construcción son ampliamente conocidos por sus efectos nocivos, en la Tabla 1, se presentan los principales elemento contaminantes que podemos hallar en los edificios, sus efectos y las posibles soluciones.

**Tabla 2. Toxicidad de los materiales de construcción**

<b>MATERIAL/ SUBSTANCIA</b>	<b>PROBLEMA</b>	<b>RECOMENDACIÓN</b>
Aglomerado de madera	Emanaciones de formaldehído de las resinas ureicas y fenólicas.	Evitar los productos a base de formaldehído ureico. Es preferible el contrachapado.
Aislación de espuma plástica (poliuretano o PVC)	Emanaciones de componentes orgánicos volátiles. Humo muy tóxico al inflamarse.	Evitar su uso. Buscar sustitutos como la viruta de madera o el corcho aglomerado.
Aislación de fibra de vidrio	El polvo de lana de vidrio es un carcinógeno, la resina plástica ligante tiene fenol formaldehído.	Sellar, evitando el contacto de la fibra con el aire interior.
Alfombras sintéticas	Acumulan polvo, hongos y emanaciones de componentes volátiles. Los adhesivos aplicados emiten gases nocivos. Se cargan fácilmente de estática.	Es preferible evitarlas, en especial en lugares donde pudieran humedecerse. Si deben usarse, no emplee adhesivos. Pida bases de yute o lana y no de látex sintético.
Cañerías de cobre para agua (que requieran soldadura de plomo)	La soldadura de plomo (ya prohibida en muchos países) desprende partículas de este metal.	Solicitar soldadura sin plomo y contra flujo de vapor o agua sobrecalentada por el sistema antes de habilitar la instalación
Cañerías de plástico (PVC) para agua	Los solventes de los plásticos y adhesivos e hidrocarburos clorados se disuelven en el agua.	No utilizar cañerías de PVC para el agua potable.
Cemento/hormigón	Las gravas graníticas empleadas como áridos suelen ser radiactivas.	Alternativa bio-hormigón, fácil elaboración, disminuyendo la proporción del cemento y aumentando la de cal. El cemento blanco es más sano que el gris.
Ladrillos refractarios	Contienen distintos porcentajes de aluminio tóxico.	Elegir los colores más claros, que contienen menos aluminio.
Pinturas sintéticas de interior	Emanan componentes orgánicos volátiles y gases de mercurio.	Exigir pinturas al agua y libres de mercurio. Ventilar bien el edificio antes de ocuparlo. Existen pinturas de baja toxicidad.
Pisos vinílicos o plastificados	Producen emanaciones tóxicas del material y de los adhesivos.	Se puede sustituir por linóleo o corcho. El hidro laqueado es menos tóxico que el plastificado. La cerámica es completamente no-tóxica.

Tomado de: (Hess, 2014) Características de los materiales de construcción

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

### **2.5.1. Coeficiente de conductividad térmica**

El calor se transmite por conducción, convección y radiación. Al hablar de conductividad térmica de un material se hace referencia a la propiedad de transmitir calor desde el lado de mayor temperatura al de menor temperatura con influencia de condiciones individuales de cada material como espesor, superficie, tiempo, diferencia de temperatura y deterioro o envejecimiento de material, entre las áreas que intercambian calor.

El coeficiente de conductividad térmica, entonces, es el parámetro que indica el calor cedido en una superficie. Se representa por el símbolo  $\lambda$  (lambda) siendo sus unidades  $[W/m \cdot K]$ . La conductividad térmica de un sólido puede ser más de cuatro órdenes de magnitud más grande que la de un gas. Cuanto menor es el valor de conductividad térmica es mejor su comportamiento como aislante térmico y su valor de resistencia es importante.

En el caso de edificaciones como las diferencias de temperatura varían lentamente durante el día las ecuaciones de conductividad térmica se pueden considerar bajo un flujo constante. La conductividad térmica es independiente del espesor de un material pero debe incluir variables dadas por conducción de materiales sólidos, convección a través del aire en espacios vacíos e intercambio de radiación entre las superficies de la matriz sólida.

Para determinar la conductividad de un bloque de material para construcción el método más utilizado es el de lámina o placa caliente. Este equipo se construye bajo normas ASTM C177-85.

El coeficiente de conductividad térmica se asocia al ahorro energético al hablar de mejor aislamiento térmico, entendiéndose el mismo en su característica de impedir que el calor se transmita desde el exterior al interior en verano y desde el interior al exterior en invierno, minimizando costos de refrigeración y calefacción.

### **2.5.2. Coeficiente de transferencia de calor**

El coeficiente de transferencia de calor,  $h$ , es una aproximación que “representa” las condiciones reales de flujo, sus propiedades y la geometría del sistema. El coeficiente de transferencia de calor, no necesariamente es constante en el tiempo y posición y se necesitan correlaciones adecuadas para obtener una idea de su valor (Borbón, Cabanillas, & Pérez, 2010).

Siempre que un objeto esté a una temperatura distinta que su ambiente, habrá transferencia de calor por convección.

Cuantifica la transmisión de calor de los materiales. Más concretamente, es el flujo de calor por unidad de tiempo que atraviesa la unidad de superficie de un material con dos caras paralelas cuando entre los dos ambientes del material hay una diferencia de temperatura de un grado centígrado ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ). Este elemento es importante a fin de evaluar el ambiente interno de una construcción.

**Tabla 3. Modelos matemáticos de transferencia de calor.**

Conducción	Convección	Radiación
$q = k_c A \frac{T_1 - T_2}{L}$	$q = h_c A (T_1 - T_2)$	$q = \varepsilon_{ef} \sigma A (T_1^4 - T_2^4)$

Elaborado por: Autor

### 2.5.3. Permeabilidad al vapor de agua

La permeabilidad de vapor de agua es la cantidad de vapor (gramos) que pasa a través de la unidad de superficie (m<sup>2</sup>) de material de espesor unidad (cm) por la unidad de tiempo (t) cuando la diferencia de presión de vapor entre sus caras es la unidad.

Describiendo más detalladamente, la permeabilidad al vapor de agua en edificaciones donde la temperatura del interior (*sala, comedor, dormitorios*) es mayor que la del ambiente, existe posibilidades de condensación, produciendo que el agua ingrese en las capas aislantes provocando daños irreversibles y reduciendo la vida útil de los materiales que lo conforman.

Para reducir los problemas mencionados en el párrafo anterior, los aislamientos deben ser conformados por materiales de alta calidad, para que de esta forma aporte una efectiva barrera de vapor.

### 2.5.4. Resistencia

La resistencia es la capacidad de una estructura, de sus partes y elementos de contrarrestar una carga determinada sin descomponerse. (Pisarenko, Yákovlev, & Matvéev, 1979). Dentro de los materiales, está

definido en gran medida por las tensiones internas, en el material (Ross & Chilver, 1999).

Existen tres diferentes solicitaciones principales a las cuales se puede someter a los bloques macizos, estas son: tracción, flexión y compresión.

**Tracción.-** es la que intenta estirar un objeto (aplicable generalmente para cables de acero, puentes colgantes, etc).

Los ensayos para determinar la resistencia a la tracción para bloques de construcción se realizan muy pocas veces, no estando normalizados en casi ningún país. La resistencia a la tracción puede variar entre 1/8 y 1/57 de la resistencia a la compresión, tomándose como término medio en los bloques usados en construcción 1/28 de la resistencia a la compresión.

**Flexión.-**se define como el cociente del momento flexionante ( $M$ ), producida por la fuerza máxima ( $FM$ ) aplicada, y el momento de resistencia del material ( $W$ ) (Navarro, 2005).

$$RF = \frac{M}{W}$$

Formula 1.1

Debido a que el comportamiento de tensión – deformación de los materiales frágiles no se describe mediante el ensayo de tracción, porque es difícil conseguir probetas de tracción con la geometría requerida y sobre todo los resultados obtenidos a partir de ensayos bajo cargas de tracción y de compresión tienen una diferencia significativa. Por esta razón se emplea el ensayo de flexión, pero no es utilizado normalmente para determinar resistencia de los bloques de construcción aunque existen metodologías para hacerlo.

**Compresión.-** capacidad del material para resistir a las fuerzas que intentan comprimirlo o apretarlo. El esfuerzo de compresión es la de las tensiones o presiones que existe dentro de un sólido deformable o medio continuo, caracterizada porque tiende a una reducción de volumen o un acortamiento en determinada dirección. En general, cuando se somete un material a un conjunto de fuerzas se produce tanto flexión como cizallamiento o torsión, todos estos esfuerzos conllevan la aparición de tensiones tanto de tracción como de compresión. En un prisma el esfuerzo de compresión puede caracterizarse más simplemente como la fuerza que actúa sobre el material de dicho prisma, a través de una sección transversal al eje baricéntrico, lo que tiene el efecto de acortar la pieza en la dirección de ese eje (Magdaleno, Silva S. , & Montes Bernabé , 2010).

### **2.5.5. Densidad**

En los materiales empleados para la fabricación tanto de bloques como de planchas, la densidad es un factor que está relacionado directamente con otras variables como la resistencia a la compresión, la absorción a la humedad.

La densidad es la cantidad de masa ocupada en un volumen, es así como se tiene la densidad de los materiales y la densidad ya del bloque o plancha construida; en los bloques macizos se tiene una mayor densidad a su vez se tiene un mayor peso ya que se tiene más masa en un mismo volumen a diferencia de otros tipos de bloque como los

huecos, que son los más comunes en las construcciones de nuestro país.

En los bloques macizos al ser más densos se tiene una menor absorción a la humedad; por lo que en su fabricación el empleo de materiales aislantes como agregados puede lograr mejores características y mayor rendimiento.

La densidad depende, fundamentalmente, del peso del bloque y del proceso de fabricación (compactación dada a la mezcla); y en menor grado de la dosificación de la mezcla (contenido de cemento, porcentaje de agua).

Se debe buscar que la densidad sea siempre la máxima que se pueda alcanzar con los materiales, dosificaciones y equipos disponibles, pues de ella dependen directamente todas las demás características de las unidades tales como la resistencia a la compresión, la absorción, la permeabilidad, la durabilidad y su comportamiento a la manipulación durante la producción, transporte y manejo en obra; su capacidad de aislamiento térmico y acústico y las características de su superficie como la textura, el color, etc (Fernández Martínez & Varela Cáceres, 2012).

### **2.5.6. Durabilidad**

La durabilidad es la capacidad de materiales y componentes de conservar las características y funcionalidad para la que fue seleccionado durante su vida útil prevista. La durabilidad está estrechamente relacionada con otros conceptos y hechos fundamentales en la construcción arquitectónica, como son los de calidad y su control, uso y mantenimiento, así como con el de envejecimiento. Así, la mayor durabilidad del edificio y sus componentes se relaciona con mayor calidad del proceso constructivo, con un correcto uso y

una adecuada conservación. El envejecimiento, por el contrario reduce paulatina pero naturalmente la vida útil prevista, en estrecha relación con las operaciones de conservación y renovación ordinarias y extraordinarias. El fallo de durabilidad suele consistir en un proceso anormal que conduce desde unas causas últimas o factores que influyen sobre la durabilidad, hasta las consecuencias o efectos diferidos y acumulados de las lesiones, que pueden terminar en el colapso o la ruina del elemento en cuestión.  
(alojamientos. uva.es )

## 2.6. Aislantes térmicos convencionales

El aislante térmico debe tener la capacidad de evitar pérdidas de calor y cambios de temperatura entre zonas con diferente temperatura, casi siempre interior y exterior.

Convencionalmente algunos de los materiales usados son:

- Lana mineral: fabricado a partir de roca volcánica, denominada basalto, también se usa como aislante acústico.  $\lambda = 0,05 - 0,03 \left( \frac{W}{m^2 \times ^\circ C} \right)$
- Poliestireno expandido: se lo conoce como corcho blanco y se lo usa también como protector de objetos.  $\lambda = 0,039 - 0,029 \left( \frac{W}{m^2 \times ^\circ C} \right)$
- Poliestireno extruido: más aislante térmico por lo cual se lo usa también en suelos. Además es resistente al agua, por lo cual se usa también en cámaras frigoríficas.  $\lambda = 0,039 - 0,033 \left( \frac{W}{m^2 \times ^\circ C} \right)$
- Espuma de poliuretano: es el más usado en la construcción, pero también es tóxico en su combustión por lo que cada vez se usa menos, se usa para aislar huecos o filtraciones en juntas.  $\lambda = 0,042 - 0,0359 \left( \frac{W}{m^2 \times ^\circ C} \right)$

- Aislantes térmicos reflectantes: materiales muy ligeros y fáciles de colocar en paredes y cubiertas. Combinan diferentes aislantes con una lámina reflectante que el calor pase por radiación.

## 2.7. Aislantes térmicos naturales

- Fibra de madera: aíslan térmica y acústicamente, se componen de fibras largas de madera (Abeto) combinadas con aglomerante. Se pueden usar como aislamiento en el interior en rehabilitaciones energéticas o en obra nueva como capa intermedia de paredes.  $\lambda = 0,04 \left( \frac{W}{m^2 \times ^\circ C} \right)$ .
- Cáñamo: aislamiento térmico y acústico para paredes.  $\lambda = 0,041 \left( \frac{W}{m^2 \times ^\circ C} \right)$ .
- Lana de oveja: algunas veces se usa 100% lana de oveja y otras veces, mezclada con polyester reciclado en porcentaje variable.  $\lambda = 0,039 \left( \frac{W}{m^2 \times ^\circ C} \right)$
- Celulosa reciclada insuflada: elaborada en un 90% de papel reciclado y 10% de sales bóricas para protección de insectos y fuego.  $\lambda = 0,037 \left( \frac{W}{m^2 \times ^\circ C} \right)$ .
- Celulosa reciclada por paneles: elaborada de papel periódico reciclado, en forma de paneles que se pueden cortar y se adaptan a diferentes superficies sin juntas ni puentes térmicos.  $\lambda = 0,039 \left( \frac{W}{m^2 \times ^\circ C} \right)$

## **2.8. PAJONAL**

### **2.8.1. Descripción**

Pajonal es término de origen español derivado de paja, más concretamente de su aumentativo pajón, que se usa para designar diversas gramíneas. En América del Sur en particular se refiere a las formaciones de gramíneas, propias de las altitudes medias y altas de los Andes. (Izco, Pulgar, Aguirre, & Santin, 2014)

Su nombre científico es *Calamagrostis intermedia*.

### **2.8.2. Localización y cantidad**

Se distribuye entre los 2500 a 4500 m ha sido registrada en las provincias de Azuay, Bolívar, Cañar, Carchi, Chimborazo, Cotopaxi, Imbabura, Loja, Napo, Pichincha, Sucumbíos, Tungurahua. (Jorgensen & S, 1999)

### **2.8.3. Características**

Son plantas herbáceas de hasta 1 m de alto y 80 cm de diámetro, con tallos cespitosos. Las hojas lineales, aciculares, de hasta 60 cm de largo, los bordes de las hojas presentan una textura carrasposa o cortante al tacto. Las inflorescencias se disponen en forma de espigas terminales, son de color morado cuando están jóvenes y de color amarillento cuando están maduras. Estas plantas crecen formando colonias bastante extensas, pudiendo llegar a ser dominantes en las zonas de páramo herbáceo, se las conoce comúnmente como pajas. (Jorgensen & S, 1999)

El tallo se usa en la construcción del techo y piso de los lugares donde duerme el ganado. También usa para elaborar pequeños cestos, para techar viviendas y en la construcción de chozas. (De la Torre, Lucía; Navarrete, Hugo; Muriel, Priscila; Macía, Manuel; Balslev, Henrik, 2008)

## **2.9.ADOBE**

El pajonal mezclado con tierra se conoce como adobe. La tierra ha sido usado como material de construcción desde las desde las primeras manifestaciones constructivas del hombre. El adobe era usado en América en la era precolombina. (Viñuales, 2007)

El adobe se basa en una masa de barro, frecuentemente mezclada con paja, moldeada con forma prismática, de tamaño variable y secada al aire para formar muros. (Bestraten, Hormías, & Altemir, 2010)

La paja agregada a la tierra, hace las veces de armazón y ayuda químicamente en el proceso de secado del adobe, aunque ello puede tener inconvenientes secundarios. (Viñuales, 2007). Sin embargo la inclusión de paja en los bloques de adobe, siempre buscará mejorar la calidad de la mezcla, la adherencia de las capas y la mayor liviandad del muro.

Finalmente el agua es un componente importante en la mezcla de tierra con pajonal.

La tierra con la que se elabora el adobe, debe ser limpia, sin piedras ni desperdicios y debe triturarse. Debe contener un balance apropiado de arena y arcilla, puesto que los suelos arcillosos ocasionan

quebrantamientos, mientras que los suelos arenosos no tienen suficiente adherencia.

Los suelos con excesivo material orgánico (tierras negras) no son aptos para la construcción, por su baja resistencia y poca duración ante la humedad. Los suelos con sales solubles (suelos blanquecinos), atraen la humedad, por lo tanto debe rechazarse este tipo de suelos.

La manufactura de bloques puede incluir la adhesión de elementos estabilizadores naturales como la paja o artificiales como cal, cemento o emulsión asfáltica. El uso de energía requerido para su fabricación es bajo.

La mayor desventaja en el uso de ladrillos de adobe; sin embargo, es su grosor que disminuye considerablemente la relación entre la superficie total del edificio y el espacio interior. (Hamed, M, & Maslina, 2013)

Cuando se trata de muros aislados, el principal agente destructor será la lluvia directa y la humedad ambiente.

El momento de construir los bloques de adobe, de preferencia es la época seca para garantizar un adecuado secado y lograr que se estructuren con firmeza. (Niroumanda, Zainb, & Jamilc, 2013)

### **Dimensionamiento**

El adobe es un material común utilizado en zonas rurales no sólo en Ecuador, sino en Latinoamérica. Las dimensiones varían acorde a la zona, a continuación se muestran algunos ejemplos:

Tabla 4. Dimensionamiento de adobes

PAÍS	DENOMINACIÓN	TIPO DE SUELO (%)			Dimensiones (cm)
		Arena	Limo	Arcilla	
Argentina	Adobe	60	27	11	11*25*40
	Adobe mejorado	58	34	8	8*28*28
Bolivia	Adobe	20	20	60	$\frac{1}{2} a * a * 2a$
Salvador	Adobe estabilizado	45	10	45	10*20*40
Guatemala	Adobe	NI2			9*19*40
Panamá	Adobe	40	-	50	15*20*30
Perú	Adobe reforzado	25	-	75	8*18*38
Uruguay		NI			5*20*20

**Tomado de:** Arquitectura de Tierra en Iberoamérica

Es importante mencionar que aunque en Ecuador no existe normativa para el dimensionamiento de Adobes, se encontró que la norma peruana la norma E.80 “Adobe”, que indica sobre las formas y dimensiones:

“Los adobes podrán ser de forma de planta cuadrada o rectangular y en el caso de encuentros con ángulos diferentes de 90° de formas especiales:

Sus dimensiones deberán ajustarse a las siguientes proporciones:

- Para adobes rectangulares el largo sea aproximadamente el doble del ancho.
- La relación entre el largo y la altura debe ser del orden de 4 a 1.
- En lo posible la altura debe ser mayor a 8 cm.

## **2.10. POSIBILIDADES DE AGLOMERACIÓN DE ADOBES**

### **2.10.1. En bloques o en masa**

Como se indicó en el punto 2.9. el pajonal mezclado con tierra se conoce como adobe. Este sistema constructivo en tierra cruda, está formado por unidades o “bloques” de tierra cruda secada al sol.

Es un material prácticamente incombustible, con un valor de ignición de F-180, esto significa que puede soportar el fuego durante 180 minutos sin arder.

El adobe permite un intercambio de humedad entre el exterior e interior, que mantienen saludables niveles de humedad en el interior de las viviendas. Tiene mayor inercia térmica, es decir que contiene mejor el calor.

Otro tipo de disposiciones donde actúa la tierra como principal componente son los tapiales. La técnica del tapial se define como tierra amasada y apisonada en un encofrado para formar muros monolíticos.(Maldonado, Vela Cossío, & Hoz, 2003)

También es conocido el bloque de tierra comprimido que se caracteriza por ser un paralelepípedo de tierra que se prensa mecánicamente, suele llevar una pequeña proporción de cal o cemento y se deja secar al aire para formar muros.

Conocido como BTC estabilizado, podríamos decir que el BTC es un tapial confinado en tamaños pequeños pero las dosificaciones, así como el contenido de humedad y la presión aplicada en el proceso de ejecución son semejantes.

Otra técnica para uso de tierra es la es conocida como "Cob" que consiste en una masa de barro y abundante paja que se apila y moldea a mano para formar muros monolíticos. La composición del material es parecida al adobe, pero el moldeado se realiza directamente en el muro sin previo confinamiento en un paralelepípedo. (Bestraten, Hormías, & Altemir, 2010)

En lo que respecta a la durabilidad y seguridad de las construcciones de adobe, se puede indicar que presentan una gran resistencia al tiempo.(Diego & Narváez, 2010)

#### **2.10.2. Con aglomerante cemento**

La Portland Cement Association (PCA, por sus siglas en inglés) define: "El suelo - cemento es una mezcla íntima de suelo, con cemento pulverizado, para obtener mayor densidad. Cuando el cemento se hidrata la mezcla se transforma en un material duro, durable y rígido.

El suelo cemento o también conocido como adobe tecnificado, es fabricado por medios mecánicos y tiene adicionado estabilizadores como el cemento Portland Tipo I, según Norma NOM-CI-1980 al 6%.(Gutiérrez & Santiago, 2002). Este actúa sobre el suelo, modificando el comportamiento de sus partículas y mejorando su estabilidad, transformando la masa resultante en una estructura difícil de alterar y de mejor resistencia con respecto a un suelo natural.

El suelo cemento difiere del concreto de cemento Portland en varios aspectos; uno de ellos y el más significativo es la manera en que los

agregados o las partículas de suelo se mantienen unidas. En el concreto la mezcla contiene la pasta de cemento suficiente para adherirse en una capa al área superficial de todos los agregados y llenar los vacíos; mientras que en las mezclas de suelo cemento la pasta de cemento es insuficiente para formar una capa sobre todas las partículas, lo que da como resultado una matriz de cemento que aglomera los módulos de material no cementado.

Otra diferencia entre un bloque de suelo - cemento y un ladrillo tradicional, radica en el procedimiento de obtención, el primero es realizado mediante estabilización y prensado del suelo, utilizando la tierra no fértil como materia prima, a diferencia del proceso de amasado, moldeo y cocción con alto consumo energético del segundo.

Algunas de las ventajas que tienen son las siguientes: el coste del bloque se limita a la cantidad y precio del cemento, es ligeramente más pesado que un ladrillo convencional, tienen menor capacidad higroscópica (un ladrillo de suelo-cemento absorbe 10 veces menos agua que un ladrillo cocido tradicional). (Gatani, 2000)

Los suelos más aptos son que presentan alta resistencia y poca contracción al secarse; los de características arcillosas y orgánicas son poco aptos para las mezclas de suelo-cemento, pero pueden ser mejorados mediante la adición de arena.

Sin embargo, el suelo ideal para la confección de ladrillos de suelo cemento es el de naturaleza arenosa, con una proporción de finos tal que le confiera cierta plasticidad para su moldeo en bloques. En ese

sentido, una proporción adecuada sugerida por (ROSETO, 1996): Arcilla: 5-10%, Limo: 10-20 % y Arena: 60-80%.

Aunque otros investigadores recomiendan que las proporciones en el suelo se encuentran entre: arena: entre 40 y 85% y la suma de arcilla y limo entre 20 y 60 % como, Klees y Natalini, resumen en la tabla que se presenta a continuación:

**Tabla 5. Composición porcentual para elaboración de adobe - cemento**

Criterio de	Composición Porcentual		
	Arena	Arcilla	Limo
ICPA	70 a 85	5 a 10	10 a 20
Houben	40 a 70	20 a 30	0 a 30
CINVA	45 a 80	Suma: 20 a 55	
Merril	Más de 50	Suma: menor de 50	

Es conveniente evitar aquellos suelos con contenidos de sales que afecten el cemento (como los sulfatos) con materia orgánica.

A efectos de minimizar los costes, se debe considerar en primer lugar la tierra local, que debe extraerse a una profundidad entre 30 -40 cm de la superficie, evitando vestigios de cobertura vegetal.

El cemento, se constituye en el elemento estabilizante, mejorando las condiciones del suelo, frente a agentes como la humedad, dándole características de estabilidad y resistencia. El cemento que se emplea generalmente es el denominado portland.

La determinación práctica del porcentaje de cemento en las mezclas utilizadas se realiza experimentalmente variando la proporción del volumen

de cemento entre un 6 % y un 12 %. Usando suelos con un porcentaje de arena del 50%, se puede asegurar su estabilización con un 10% de cemento.(Klees & Natalini).

La mezcla de los bloques de suelo-cemento, incluye la adición de agua, cuya función es hidratar, fraguar el cemento y permite trabajar la tierra. El agua añadida debe ser limpia, libre de material particulado y partículas en suspensión o disolución tales como cloruros o sulfatos.

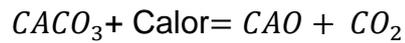
El control de cantidad y calidad de agua en la mezcla, es un factor determinante, ya que actúa como lubricante de las partículas de la mezcla. Si resulta excesivamente húmeda o por el contrario muy seca, existe afectación en el producto final. Si no existe suficiente lubricación entre partículas, éstas difícilmente podrán ocupar los espacios intersticiales de la mezcla en el momento de la compactación; en tanto que una mezcla por demás plástica dificultará procedimientos de compactación mecánicos y su acabado final será más parecido al adobe. (Gatani, 2000)

La cantidad de agua total oscila generalmente entre 8 y 16%.(Klees & Natalini)

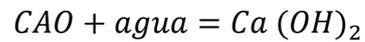
### **2.10.3. Con aglomerante cal**

La cal es un químico natural que se obtiene de la roca caliza, generalmente se encuentra en la naturaleza con un elevado nivel de pureza en carbonato de calcio.

La cal se obtiene de la transformación química del carbonato de calcio (piedra caliza) en óxido de calcio (cal viva).



La cal hidratada se obtiene cuando la cal viva reacciona químicamente con el agua:



La cal se puede usar como estabilizante en la elaboración de adobes o tapiales a fin de incrementar la resistencia mecánica y la resistencia al agua. Dependiendo del tipo de suelo se puede usar cal aérea en suelos arcillosos o cal hidráulica en suelos arenosos. La cal viva puede ser utilizada pero al ser manipulada directamente puede ocasionar afecciones a la piel.

El porcentaje aplicado generalmente es de 5% en volumen, pero puede variar entre 2% y 8% y preferentemente se usa tierras arcillosas.

Además el uso de cal reduce los efectos de la erosión y permite tener aristas y caras lisas

## CAPITULO III. DESARROLLO EXPERIMENTAL

### 3.1. RECOLECCIÓN DE LAS MUESTRAS

Se ubicó pajonales, en el lugar denominado Papallacta a 64 Km de la ciudad de Quito a 3300 msn, en donde además se encontró viviendas construidas de adobe.



**Ilustración 1.** Recolección de muestras de pajonal

Las muestras de suelo se tomaron en las zonas aledañas. Se establecieron tres puntos para tomar las muestras de suelo.

- Punto 1. Junto a la carretera principal Quito Papallacta
- Punto 2. En el sitio denominado Corrales, junto a una vía de segundo orden que conduce hacia el sitio denominado Penas Blancas.
- Punto 3. En el sitio denominado Penas Blancas a 3970 msnm justo en el límite donde se empieza a encontrar pajonales.



<b>Punto 1</b> <b>Muestra: MS01</b>	<b>Punto 2</b> <b>Muestra: MS02</b>	<b>Punto3</b> <b>Muestra: MS03</b>
--	--	---------------------------------------

**Ilustración 2.** Recolección de muestras

### **3.2. ENSAYO GRANULOMÉTRICO**

Se conoce a esta prueba como prueba de la botella, sirve para determinar la cantidad de los componentes principales (arena, limos y arcilla) presentes en la muestra.

#### **Procedimiento**

- Llenar con tierra tamizada una botella de boca ancha de un litro de capacidad hasta la mitad de su altura, llenar la parte restante con agua limpia.
- Agitar la botella durante 5 minutos o hasta que todas las partículas de tierra estén en suspensión.
- Una vez agitado poner la botella sobre una mesa y esperar que todas las partículas de arena reposen al fondo. Las partículas de arena reposaran inmediatamente mientras las partículas de limos y arcillas duraran algunas horas.
- Medir las capas para determinar la proporción de arena y limos con arcilla.

- Se recomienda que la cantidad de arena fluctuó entre 1.5 y 3 veces la cantidad de limos y arcilla.



|

<b>MS01</b>	<b>MS02</b>
-------------	-------------



<b>MS01</b>	<b>MS01 - MS02 -MS03</b>
-------------	--------------------------

**Ilustración 3.** Prueba granulométrica - Ensayo 1.

### **Resultados**

Una vez que se dejó reposar las muestras de suelo, se observó que la cantidad de arenas era superior al 80%, por lo tanto la calidad del suelo de las muestras tomadas no es óptima para la elaboración de adobes.

Debido a estos resultados se hizo necesario ubicar muestras de suelo con mayor contenido de arcillas y limos, por lo cual se identificó en Quito en el barrio denominado San José de Monjas en el área verde que es zona protegida propiedad de la Empresa Eléctrica Quito, un sitio para recolección de suelo y dentro la zona una ladrillera artesanal, de ahí se obtuvo las muestras de suelo: MS04, MS05, MS06.

A las muestras se les aplicó a la prueba de la botella y se obtuvo un contenido apropiado de arenas, arcillas y limos en la muestra MS06 correspondiente a la ladrillera artesanal.



<b>MS04</b>	<b>MS05</b>
-------------	-------------



<b>MS05</b>	<b>MS04 - MS05 - MS06</b>
-------------	---------------------------

**Ilustración 4.** Prueba granulométrica – Ensayo 2

### 3.3. PRUEBA DE PLASTICIDAD

Sirve para determinar la calidad de la tierra y permite saber si ésta es arcillosa, arenosa o arcillo – arenosa. Consiste en formar con tierra humedecida un rollo de 1,5 cm de diámetro, suspenderlo en el aire y medir la longitud del extremo que se rompe. (MORALES, 2015)

Se presentan tres casos:

- Tierra arenosa (Inadecuada)

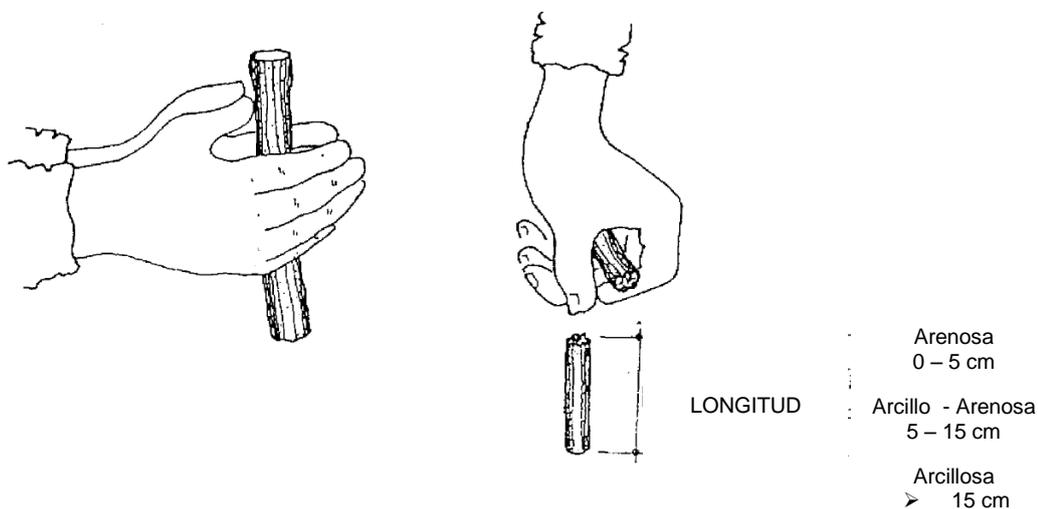
Cuando el rollo se rompe antes de alcanzar los 5 cm

- Tierra arcillo - arenosa (Adecuada)

Cuando el rollo se rompe al alcanzar una longitud entre 5 y 15 cm

- Tierra arcillosa (Inadecuada)

Cuando el rollo alcanza una longitud mayor de 15 cm



**Ilustración 5.** Forma de realizar la prueba de plasticidad

## Resultados

Para este ensayo se utilizó únicamente la MS03, MS04 y MS06, que fueron las que mejor resultado tuvieron en el ensayo anterior.

Las muestras MS04 y MS05 se rompieron antes de alcanzar una longitud mayor a los 5 cm, mientras que la muestra MS06 se rompió en una longitud de 7cm, como se muestra en la siguiente ilustración:



<b>MS04</b>	<b>MS04</b>	<b>MS04</b>
-------------	-------------	-------------

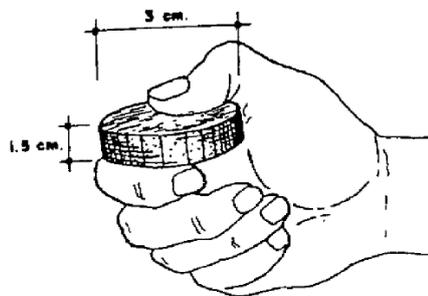
Ilustración 6. Prueba de plasticidad

### 3.4. PRUEBA DE RESISTENCIA

Consiste en amasar tierra húmeda y elaborar 5 discos de 3 cm de diámetro por 1,5 cm de espesor. Se debe dejar secar por 24 horas y luego tratar de romperlos. (MORALES, 2015)

Se presentan tres casos:

- Baja resistencia, cuando el disco se aplasta fácilmente (Inadecuada)
- Media o alta resistencia, cuando el disco se aplasta con dificultad o se rompe con sonido seco. (Adecuada)



**Ilustración 7.** Prueba de resistencia

### Resultados

Los discos elaborados con las muestras MS04 y MS06, tuvieron forma compacta, pero al momento de romperlas la MS04 se rompió con facilidad, mientras que la MS06 presentó resistencia, algunos discos no se rompieron al presionarlos con la mano. La MS05 no tuvo forma compacta al momento de realizar los discos y por lo tanto se rompió con facilidad.



MS04	MS05	MS06
------	------	------

**Ilustración 8.** Prueba de resistencia

### 3.5. ELABORACIÓN DE ADOBES

#### Preparación de la tierra y pajonal

De acuerdo a la elaboración artesanal del adobe, la tierra debe ser remojada con un día de anticipación, a fin de lograr que se encuentre humedecida y absorba la suficiente cantidad de agua, de esa manera se evita que al momento de agregar la paja, se pierda humedad.

Una forma artesanal de verificar si la humedad del adobe es adecuada, es elaborando una bola con un puñado de tierra, se la deja caer desde una altura aproximada de 1m, y esta debe romperse en pocos pedazos para asegurar que la cantidad de agua añadida es la adecuada.

Respecto a las fibras de pajonal, se cortaron en extensiones de 5cm aproximadamente.



**Ilustración 9.** Preparación de la tierra y pajonal

### **Dimensionamiento del adobe**

Considerando los fines experimentales de los adobes, las dimensiones consideraron las siguientes dimensiones:

- Alto: 5 cm
- Ancho: 10 cm
- Largo: 20 cm

El molde utilizado se elaboró en madera cepillada, sin fondo. El molde debe ser remojado en cada utilización.



**Ilustración 10.** Molde de madera para elaboración de adobes

### **Mezcla**

Sobre el suelo regular se extiende la tierra humedecida formando un cráter en el cual se agrega agua en cantidades pequeñas.



**Ilustración 11.**Mezcla

Para la preparación de muestras se consideró incrementos del porcentaje de pajonal (en volumen). Usando como muestra patrón para los ensayos con estabilizante cemento al 10% (en volumen) y para los ensayos con estabilizante cal al 5% (en volumen). El tiempo de secado es de 30 días.

### **Suelo - pajonal**

- Adobe patrón (4 muestras)
- Adobe con 20% de pajonal (2 muestras)
- Adobe con 40% de pajonal (2 muestras)
- Adobe con 60% de pajonal (2 muestras)
- Adobe con 80% pajonal (2 muestras)

### **Suelo - pajonal - cemento**

- Adobe con 10% cemento (4 muestras)
- Adobe con 10% cemento – 20% pajonal ( 2 muestras)
- Adobe con 10% cemento – 40% pajonal ( 2 muestras)
- Adobe con 10% cemento – 60% pajonal ( 2 muestras)
- Adobe con 10% cemento – 80% pajonal ( 2 muestras)

### **Suelo – pajonal - cal**

- Adobe con 5% cal (4 muestras)
- Adobe con 5% cal – 20% pajonal (2 muestras)
- Adobe con 5% cal – 40% pajonal (2 muestras)
- Adobe con 5% cal – 60% pajonal (2 muestras)
- Adobe con 5% cal – 80% pajonal (2 muestras)

**Ilustración 12.** Elaboración de adobes



### 3.6. ENSAYO DE RESISTENCIA

El ensayo de resistencia se elaboró en el laboratorio de la ESPE, el área de los adobes sobre los cuales se aplica la compresión es de 200 cm<sup>2</sup>, la prensa debe ser colocada de tal forma que la presión se aplique al centro de la muestra.

Se aplica una presión constante, hasta llegar a la fracturación de las muestras, determinando así la máxima carga aplicada.

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 kg/cm<sup>2</sup>.

Fórmula:

$$Resistencia = \frac{C}{A}$$

Dónde:

R<sub>resistencia</sub> = Resistencia a la compresión

C = Carga

A = El área de la cara del adobe.

## CAPITULO IV. ANALISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

### 4.1 RESULTADOS ENSAYO DE RESISTENCIA

La resistencia a compresión de los adobes, depende en gran parte de la naturaleza de la tierra, del método de producción, del tamaño de las muestras ensayadas y de la cantidad de humedad que contienen las muestras.

De las 36 muestras elaboradas, únicamente se pudieron ensayar 26, debido a que algunas tenían fisuras producidas por el traslado hacia el laboratorio.

#### Suelo - Pajonal

Muestra	Área cm <sup>2</sup>	Carga kg	Resistencia kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia Mpa
<b><i>Suelo(Patrón)</i></b>				
SP 0% a	200	1450	7,25	0,73
SP 0% b	200	1880	9,4	0,94
		Promedio		<b>0,83</b>
<b><i>Suelo - 60% pajonal</i></b>				
SP 60% a	200	7890	39,45	3,95
SP 60% b	200	8780	43,9	4,39
		Promedio		<b>4,17</b>
<b><i>Suelo - 80% pajonal</i></b>				
SP 80% a	200	8670	43,35	4,34
SP 80% b	200	8860	44,3	4,43
		Promedio		<b>4,38</b>

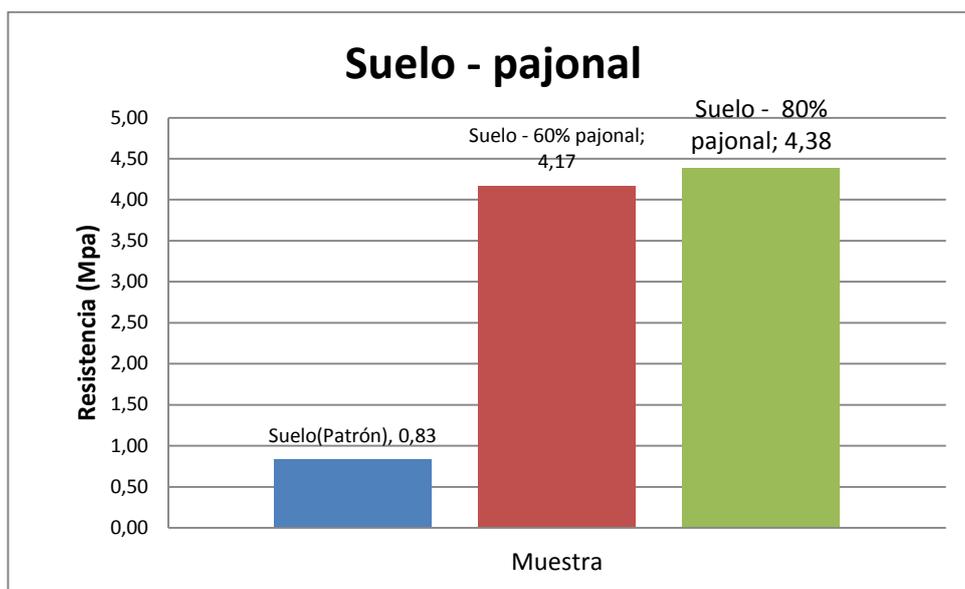


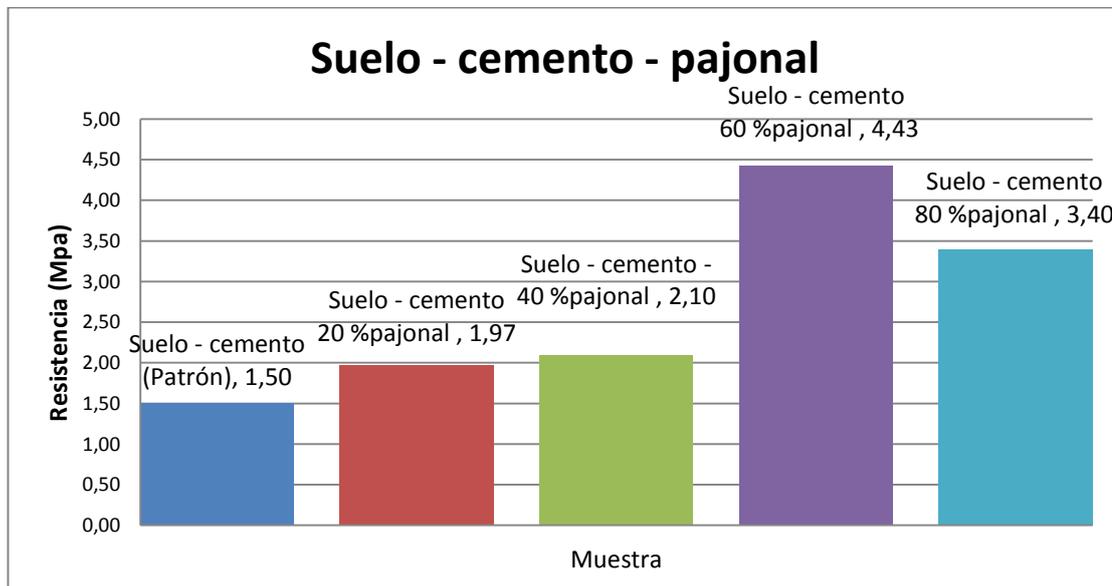
Figura 1. Resultados de ensayo de resistencia en las muestras suelo – pajonal

### Análisis de resultados

- La resistencia a la compresión de las muestras de suelo se incrementa notablemente al agregar el pajonal, porque la adición de fibras incrementa la propiedad de elasticidad del adobe. Se puede decir también que la incorporación de fibras disminuye la capacidad de deformación del adobe a acciones de flexión y compresión.
- El incremento de la resistencia entre el 60% y 80% (en volumen) de contenido de pajonal es mínimo, esto se debe a que el exceso de pajonal en la composición del adobe no favorece a la adherencia entre los componentes, incluso se puede esperar que valores mayores al 80% presenten una mínima resistencia.

## Suelo – Cemento – Pajonal

Muestra	Area cm2	Carga kg	Resistencia kg/cm2	Resistencia Mpa
<b>Suelo - cemento (Patrón)</b>				
SPCe 0% a	200	1580	7,9	0,79
SPCe 0% b	200	3110	15,55	1,56
SPCe 0% c	200	4320	21,6	2,16
		Promedio		1,50
<b>Suelo - cemento - 20 %pajonal</b>				
SPCe 20%	200	3940	19,7	1,97
<b>Suelo - cemento - 40 %pajonal</b>				
SPCe 40%	200	4190	20,95	2,10
<b>Suelo - cemento - 60 %pajonal</b>				
SPCe 60%	200	8850	44,25	4,43
<b>Suelo - cemento - 80 %pajonal</b>				
SPCe 80%	200	6800	34	3,40



**Figura 2.** Resultados de ensayo de resistencia en las muestras suelo – pajonal

### **Análisis de resultados**

- La resistencia del suelo con 10 % de cemento varía entre 0,70 Mp y 2,16 Mp.
- La resistencia de las muestras ensayadas, se incrementa a medida que se incrementa el porcentaje de pajonal (en volumen) utilizado en cada adobe. Es así que para la muestra con 20% de pajonal la resistencia alcanzada fue de 1,97 Mpa, mientras que para las muestras con 40 % y 60% se alcanzó 2,19 Mpa y 4,43% respectivamente.
- Cuanto el pajonal es agregado en un 80% la resistencia disminuye notablemente. Se comprueba que un exceso de pajonal afecta a la compactación de los materiales del adobe, afectando a la resistencia.

## Suelo – cal - pajonal

<b>Suelo - Cal (Patrón)</b>				
1	200	1820	9,1	0,91
2	200	1600	8	0,80
3	200	2010	10,05	1,01
4	200	1430	7,15	0,72
<b>Suelo - cal -10% Pajonal</b>				
1	200	3740	18,7	1,87
3	200	3660	18,3	1,83
<b>Suelo - cal -40% Pajonal</b>				
1	200	6630	33,15	3,32
3	200	7680	38,4	3,84
<b>Suelo - cal -60% Pajonal</b>				
1	200	10090	50,45	5,05
2	200	13120	65,6	6,56
3	200	14800	74	7,40
<b>Suelo - cal -80% Pajonal</b>				
1	200	7840	39,2	3,92
3	200	8940	44,7	4,47

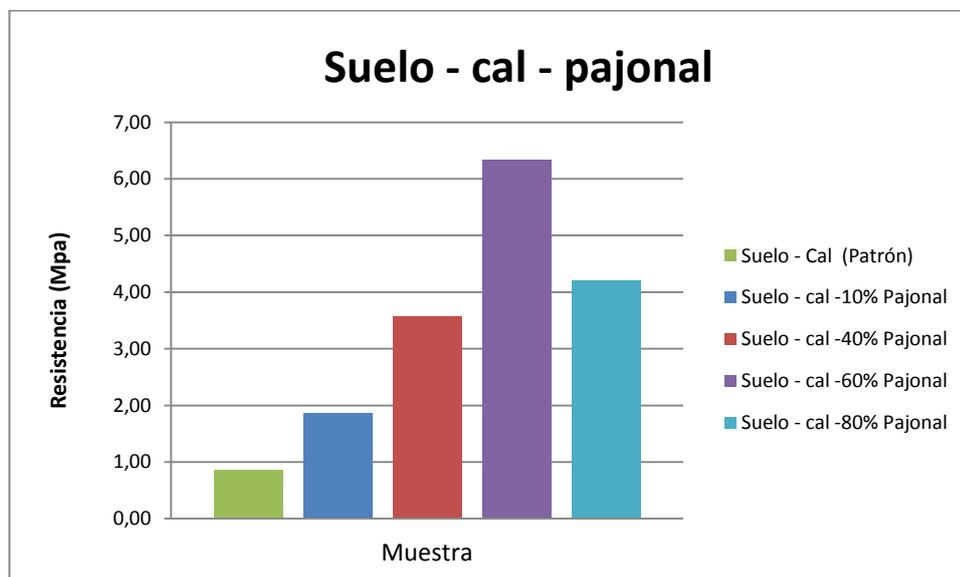


Figura 3. Resultados de ensayo de resistencia en las muestras suelo – pajonal

### Análisis de resultados:

La resistencia del suelo con 5% cal varía entre 0,72 y 0,91. Cuando se agrega el pajonal en distintos porcentajes, se observa que la resistencia aumenta hasta el 60% de pajonal, mientras que cuando se incrementa

pajonal al 80% se observa que la resistencia disminuye. De igual forma que en el ensayo con las muestras de adobe – cemento, el exceso de fibras de pajonal, afecta la compactación de los elementos.

### Comparación de resultados

A continuación se compara la resistencia obtenida en las distintas combinaciones de adobe, para un porcentaje de 60% de pajonal, que en todos los casos fue la mejor resistencia alcanzada.

Tabla 6. Comparación de resultados – 60% de paja			
	Suelo – pajonal	Suelo – cemento – pajonal	Suelo – cal - pajonal
Resistencia (Mpa)	4,17	4,43	6,33

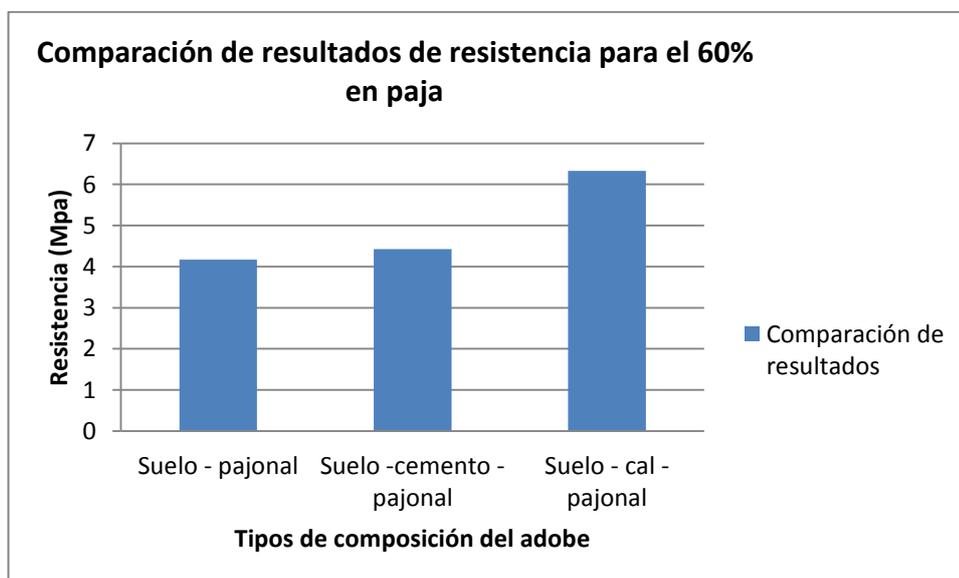


Figura 4. Comparación de resultados de ensayo de resistencia para el 60 % en paja

### Análisis de resultados

- Al comparar los resultados del ensayo de resistencia para un mismo tipo de porcentaje de pajonal (60%) se observa que la resistencia entre las muestras suelo-pajonal y suelo-cemento-pajonal son similares (4,17 Mpa

y 4,43 Mpa, respectivamente) mientras que la muestra que contiene cal, es ligeramente superior (6,33 Mpa).

## 4.2. RESULTADOS ENSAYO DE CONDUCTIVIDAD

El ensayo se realizó mediante el equipo del laboratorio de la ESPE, que consiste en un sistema de placas, para medición de la conductividad térmica de las muestras que dieron mejor resultado en el ensayo de resistencia.

El equipo se fundamenta en el principio de la aplicación de la ley de Fourier, y opera bajo las siguientes suposiciones:

- Flujo de calor unidireccional
- Coeficiente de conductividad térmica constante
- Material homogéneo

La ley de Fourier se expresa como:

$$Q = \lambda A \left( -\frac{\delta T}{\delta x} \right)$$

Dónde:

Q = razón de transferencia de calor

A = área

dT/dx = gradiente de temperatura

$\lambda$  = coeficiente de transferencia de calor

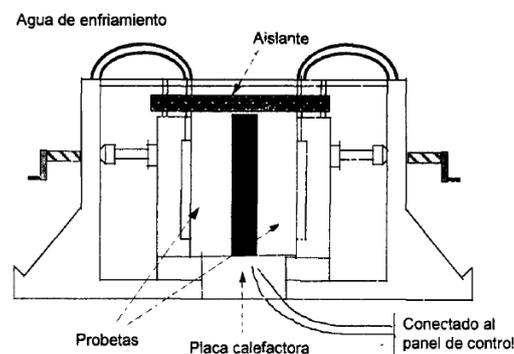


Ilustración 13. Diagrama del equipo utilizado. Tomado de (Lopez, Morales, Diaz, & Lizardi, 2015)

La ilustración muestra el diagrama básico del equipo utilizado, que consta de una placa central que tiene como función suministra el calor que se va a transferir. A ambos lados de ésta se colocan las placas elaboradas con adobe y 60% de paja de  $0,3 \times 0,3 \times 0,03$ m. Se debe procurar que las placas tengan la menor cantidad de asperezas, a fin de evitar que existan espacios por los cuales pueda circular el aire que afecte las mediciones.

A los lados de las placas de adobe se coloca otra placa, que tiene como función Servir de sumidero del calor generado en la placa caliente y garantizar el flujo de calor entre ambas a través del material sometido al ensayo El equipo contiene también 2 termopares colocados simétricamente para medir la temperatura al centro de la placa y a un extremo de la placa central.

La placa calentadora tiene acoplada una resistencia eléctrica, de donde se obtiene la energía. La determinación de la energía transferida a la placa calentadora se logra con la medición del voltaje y amperaje.

Una vez que se conecta el suministro eléctrico, se proporciona energía a la placa, la cual se va calentando gradualmente.

Se realizaron mediciones con un rango de 30 min entre cada una de ellas, a fin de observar el comportamiento de las temperaturas T1 y T2.

A continuación se muestran los resultados obtenidos:

Tabla 7. Resultados obtenidos del ensayo de conductividad

Hora	11:15	11:45	12:29	13:20	14:20	15:00	15:30	16:00
T1 (°C)	25,8	24,7	23,5	22,6	21,9	21,6	21,4	21,4
T2 (°C)	26,1	25,1	23,9	23,2	22,5	22,3	22,1	22
T3 (°C)	19,1	18,5	17,4	16,6	16,1	15,8	15,7	15,6
T4 (°C)	15,5	15	14,1	13,5	13,1	12,8	12,7	12,7
V1 (v)	13,81	13,81	13,82	13,82	13,81	13,81	13,82	13,81
Tref (°C)	17,2	16,8	16,4	16,4	15,8	15,7	15,7	15,7
T ambiente (°C)	20,6	20,6	20,6	20,6	20,6	20,6	20,6	20,6
Humedad (%)	62	62	62	62	62	62	62	62
T1-T4	10,3	9,7	9,4	9,1	8,8	8,8	8,7	8,7
T1-T3	6,7	6,2	6,1	6	5,8	5,8	5,7	5,8
1+(T1-T4/T1-T3)	2,54	2,56	2,54	2,52	2,52	2,52	2,53	2,50
Qelect	2,05	2,05	2,05	2,05	2,0463	2,0463	2,0493	2,0463
Q2	0,81	0,80	0,81	0,81	0,813	0,813	0,811	0,819
area *Q2	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,025
lamda	0,159	0,170	0,175	0,180	0,186	0,186	0,188	0,187

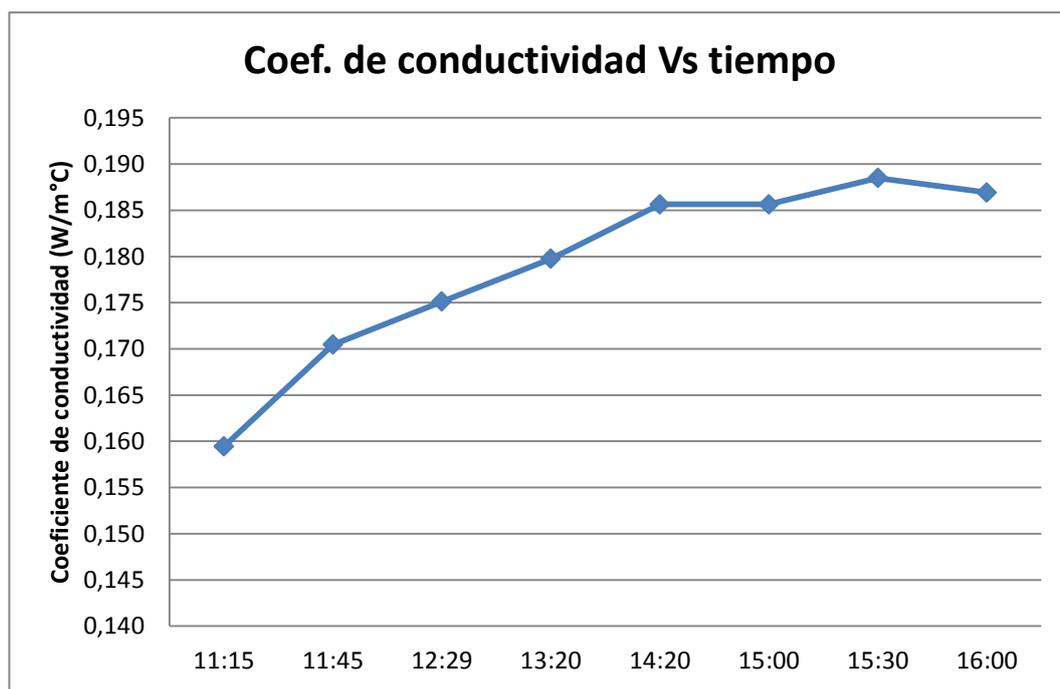


Figura 5. Gráfico coeficiente do conductividad Vs el tiempo.

### **Análisis de resultados:**

- Se observa que en las primeras horas del ensayo, el sistema se encuentra inestable. A partir de las 14h30 se observan mediciones estables.
- Los resultados obtenidos para las placas de adobe con paja al 60% son de 0,186 el mínimo y 0,188 el máximo, siendo el promedio de 0,187.
- El resultado promedio obtenido es menor que el que se indica referencialmente para el adobe en la literatura revisada, de la siguiente manera:

<b>Referencia</b>	<b>Coef de conductividad (W/m°C)</b>
<b>Experimento propio</b>	0,187
<b>Editorial DCA</b>	0,95
<b>Eudomus</b>	0,45 – 0,8
<b>Sitio solar</b>	0,25
<b>Sol-Arq</b>	0,60

Es de notar que la literatura no indica el porcentaje de paja contenido por el adobe ensayado, por lo tanto no se puede comparar de forma directa la muestra correspondiente a este trabajo. Sin embargo, se puede decir que probablemente la diferencia se debe a que este trabajo consideró el mayor porcentaje de pajonal en sinergia con la resistencia.

## CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES GENERALES

- De los ensayos de resistencia para los prototipos de **Suelo – Pajonal**, se concluye que la resistencia se incrementa a medida que se adiciona fibras de pajonal, por lo tanto el valor de la resistencia para la muestra de suelo (sin pajonal) fue de 0,83 Mpa, mientras que para las muestras con 60% de pajonal en volumen se obtuvo 4,17 Mpa y para las muestras con 80% de pajonal en volumen se obtuvo 4,38 Mpa.
- La resistencia alcanzada en los prototipos de pajonal con 60 % y 80% (en volumen) de pajonal es ligeramente diferente, Por lo tanto, se concluye que luego de un 60% de pajonal, la resistencia no se incrementa notablemente.
- De los ensayos de resistencia para los prototipos de **Suelo – Cemento – Pajonal**, se concluye que la resistencia de las muestras ensayadas, se incrementa a medida que se incrementa el porcentaje de pajonal (en volumen) utilizado en cada adobe. Es así que para la muestra con 20% de pajonal la resistencia alcanzada fue de 1,97 Mpa, mientras que para las muestras con 40 % y 60% se alcanzó 2,19 Mpb y 4,43% respectivamente.
- Sin embargo se comprobó que al incrementar el pajonal a un 80% en la composición del adobe, la resistencia disminuye, por lo tanto se concluye que 60% es el valor máximo de pajonal que puede ser utilizado en prototipos de suelo – cemento – pajonal.
- De los ensayos de resistencia para los prototipos de **Suelo – Cal – Pajonal**, se concluye que la resistencia se incrementa a medida que se

incrementa el porcentaje de pajonal (en volumen). Es así que se obtuvo que para un 10% de pajonal (en volumen) se alcanzó una resistencia de 1,85 Mpa, mientras que para un porcentaje de 60% de pajonal se alcanzó una resistencia de 6,33 Mpa.

- Sin embargo cuando el porcentaje de pajonal es de 80% la resistencia disminuye, por lo tanto se concluye que 60 %este es el máximo porcentaje de pajonal que puede ser utilizado en prototipos de suelo – cal – pajonal.
- De los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia se concluye que el uso el uso de estabilizantes como el cemento y cal, se constituyen en una forma de mejoramiento técnico para la fabricación de adobes. De igual manera, la incorporación de fibras vegetales como pajonal, ayuda a mejorar la adherencia entre las capa e incrementan la propiedad de elasticidad del adobe.
- Experimentalmente se determinó que el coeficiente promedio de conductividad alcanzado es de 0,187 (W/m°C), el mismo que se encuentra aproximadamente un 3% sobre los valores determinados para aislantes térmicos convencionales. Es decir a pesar de no alcanzar la conductividad de materiales convencionales, es un muy buen material aislante.
- El rescate y mejoramiento de materiales tradicionales significa beneficios para el ambiente y la salud, puesto que no requiere consumo de energía, ni combustibles fósiles para su fabricación. La elaboración de adobes es

un material de construcción económico y que se constituye en una alternativa sustentable.

## BIBLIOGRAFIA

- Bestraten, S., Hormías, E., & Altemir, A. (03 de 06 de 2010). *Universitat Politècnica de Catalunya*. Obtenido de <http://upcommons.upc.edu/handle/2117/20154>
- Borbón, A. C., Cabanillas, R. E., & Pérez, J. B. (2010). Modelación y Simulación de la Transferencia de Calor en Muros de Bloque de Concreto Hueco . *Información Tecnológica*, 21(3), 27-38.
- Campos, I., Méndez, H., & Salas, M. (2013 йил Abril). *Instituto Costarricense del Acero y el Cemento*. Retrieved 2014 йил 02-abril from <http://boletin-icccyc.com/files/files/ARTICULO%20ABRIL%20Calculador%20Huella%20de%20Carbono%20para%20Edificaciones.pdf>
- CCCS. (12 de Mayo de 2014). *Construcción Sostenible*. Obtenido de <http://www.cccs.org.co/construccion-sostenible>
- CEPAL. (2010). *La huella del carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios*. Santiago de Chile: Naciones Unidas.
- Diego, S., & Narváez, J. (2010). *Adobe en la construcción*. Cuenca: Universidad de Cuenca. Facultad de Arquitectura y Urbanismo.
- FCC Construcción. (2011 йил Febrero). *www.anavam.com*. Retrieved 2014 йил 05-abril from <http://www.anavam.com/docs/foroXI-ponencia-mesadebate-Sectores%20difusos-cConstruccion.pdf>

- Fernández Martínez, V. J., & Varela Cáceres, E. A. (2012). Diseño y Contrucción de un Muro confinado de Bloques aligerados de suelo-cemento. *Doctoral dissertation*. Obtenido de Googel academics.
- Gatani, M. P. (2000). *www.csic.es*. Obtenido de [informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/.../informesdelaconstruccion/.../](http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/.../informesdelaconstruccion/.../).
- Groak, S. (13 de mayo de 1996). *The analysis of building*. Obtenido de <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/936/1018>
- Gutiérrez, R. S., & Santiago, M. O. (2002). *Utilización de ladrillos de adobe estabilizados con cemento Portland al 6% y reforzados con fibra de coco, para muros de carga en Tampico*. Madrid.
- Hamed, N., M, Z., & Maslina, J. (2013). *Various Types of Earth Buildings*. Science Direct.
- Hess, A. A. (22 de junio de 2014). *Impacto Ambiental de componentes y materiales de construcción*. Recuperado el 22 de junio de 2014, de Instituto de Estabilidad – Facultad de Ingeniería – UNNE: [www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/com2005/7.../T-032.pd](http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/com2005/7.../T-032.pd)
- International Energy Agency. (22 de junio de 2014). Recuperado el 22 de junio de 2014, de <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TechnologyRoadmapEnergyEfficientBuildingEnvelopes.pdf>

Izco, J., Pulgar, Í., Aguirre, Z., & Santin, F. (06 de junio de 2014).

*www.scielo.org*. Obtenido de

<http://www.scielo.org.pe/pdf/rpb/v14n2/a10v14n02.pdf>

Kibert, C. (1994). First International Conference on Sustainable Construction. Florida.

Klees, D. R., & Natalini, M. B. (s.f.). *www.unne.edu.ar*. Recuperado el 21 de julio de 2014, de

[www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/cyt/tecnologicas/t-015.pdf](http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/cyt/tecnologicas/t-015.pdf)

Magdaleno, C. C., Silva S. , L., & Montes Bernabé , J. L. (2010). *Resistencia Mecanica del Adobe Compactado Incrementada por Bagazo de Agave*. Instituto Politecnico Nacional., Centro interdisciplinario de Investigacion para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca, Oaxaca.

Maldonado, L., Vela Cossío, F., & Hoz, J. (2003). *Diccionario de construcción tradicional*. San Sebastián: Nerea.

MORALES, R. (15 de mayo de 2015). Obtenido de [www.comitesromero.org](http://www.comitesromero.org)

Navarro, A. (2005). Elaboración y evaluación de tableros aglomerados a base de plástico de alta densidad y fibra de estopa de coco. *M. en C. Tesis, Universidad de Colima*.

Niroumanda, H., Zainb, M., & Jamilc, M. (2013). *Science Direct*. Obtenido de [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

Oshiro, F. (s.f.). *Construcción de vivienda económica con adobe estabilizado*. Obtenido de [http://ri.search.yahoo.com/\\_ylt=A0LEVvaEZbtTFG0AI44PxQt.;\\_ylu=X3oDMTByMG04Z2o2BHNIYwNzcgRwb3MDMQRjb2xvA2JmMQR2dGikAw--/RV=2/RE=1404818949/RO=10/RU=http%3a%2f%2fwww.scribd.com%2fdoc%2f202945590%2fConstruccion-de-Vivienda-Economica-Con-Adobe-Estabilizado/RK](http://ri.search.yahoo.com/_ylt=A0LEVvaEZbtTFG0AI44PxQt.;_ylu=X3oDMTByMG04Z2o2BHNIYwNzcgRwb3MDMQRjb2xvA2JmMQR2dGikAw--/RV=2/RE=1404818949/RO=10/RU=http%3a%2f%2fwww.scribd.com%2fdoc%2f202945590%2fConstruccion-de-Vivienda-Economica-Con-Adobe-Estabilizado/RK)

Perrilliat, R. J., & Farah, J. C. (2000). RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA. *In Primer Simposio Nacional de Estructuras de Mampostería para la Vivienda*.

Pisarenko, G. S., Yákovlev, A. P., & Matvéev, V. V. (1979). *Manual de resistencia de materiales*. Rusia: Mir Moscú.

Ramírez, A. (05 de mayo de 2014). *Observatorio Medioambiental de Aragón (OMA)*. Obtenido de [http://omaaragon.es/riesgos/app/webroot/ficheros/\\_3330.pdf](http://omaaragon.es/riesgos/app/webroot/ficheros/_3330.pdf)

ROSETO, O. (1996). Bloques con Mezclas Hipercomprimidas de Suelo-Cemento. *Cemento. Año 2.*, 11-13.

Ross, C. T., & Chilver, A. (1999). *Strength of materials and structures* (Cuarta ed.). Butterworth-Heinemann.

Viñuales, G. M. (12 de febrero de 2007). *Consejo Nacional de*

*Investigaciones Científicas y Técnicas*. Obtenido de

<http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0CCcQFjAB&url=http%3A%2F%2Frevistas.javeriana.edu.co%2Fsitio%2Fapuntes%2Ffile.php%3Ftable%3Darticulos%26field%3Dpdf%26id%3D169&ei=NoS3U4e0GdXJsQTF54LgCA&usg=AFQjCNEp1C3t7GoV>