

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE**  
**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN**  
**UNIDAD DE POSGRADOS**

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

**ANÁLISIS, DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE AISLANTES TÉRMICOS**  
**FABRICANDO BLOQUES DE HORMIGÓN CON CASCARILLA DE ARROZ**  
**PARA SU APLICACIÓN EN EDIFICACIONES**

**RESPONSABLE:**

**CARLOS FRANCISCO TERNEUS PAEZ**

**SANGOLQUÍ – ECUADOR**

## CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR

El suscrito Dr. Leonardo Goyos Pérez Phd., 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 HORMIGÓN CON CASCARILLA DE ARROZ PARA SU APLICACIÓN EN EDIFICACIONES"** realizado por el Señor Ingeniero Carlos Francisco Terneus Pérez, de nacionalidad ecuatoriana, con cédula de identidad No. 1707217244, como requisito para la obtención del título de Magister en Energías Renovables, II Promoción de la Universidad de las Fuerzas Armadas 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, 29 de julio de 2015

---

DR. LEONARDO GOYOS PEREZ., Phd.

**DIRECTOR**

## DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

CARLOS FRANCISCO TERNEUS PÁEZ

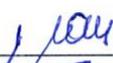
### DECLARA QUE:

El proyecto de posgrado denominado “ANÁLISIS, DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE AISLANTES TÉRMICOS FABRICANDO BLOQUES DE HORMIGÓN CON CASCARILLA DE ARROZ PARA SU APLICACIÓN EN EDIFICACIONES”, 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, 29 de julio de 2015



---

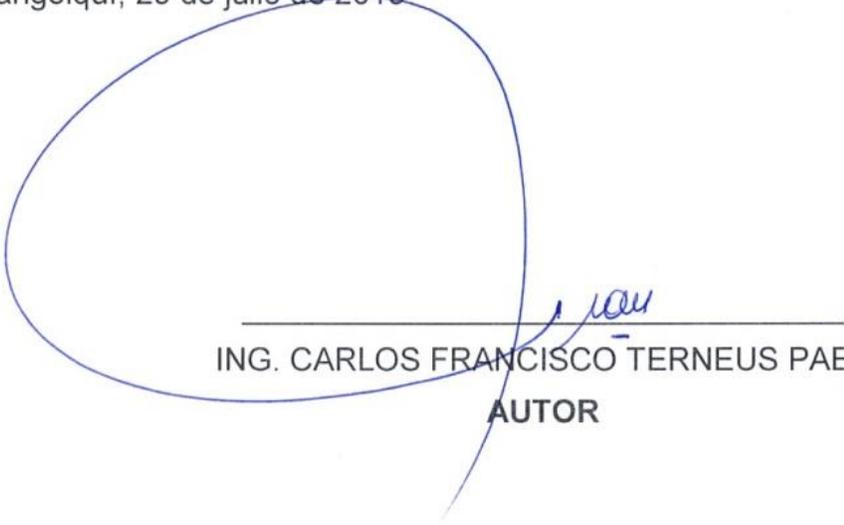
ING. CARLOS FRANCISCO TERNEUS PAEZ

AUTOR

## AUTORIZACIÓN

Yo, **CARLOS FRANCISCO TERNEUS PAEZ** autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución, el trabajo titulado “**ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE UN AISLANTE TÉRMICO ELABORADO CON BIOMASA DE CASCARILLA DE ARROZ**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 29 de julio de 2015



ING. CARLOS FRANCISCO TERNEUS PAEZ  
AUTOR

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>CAPÍTULO 1: GENERALIDADES .....</b>	<b>1</b>
1.1. MOTIVACIÓN Y CONTEXTO .....	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	3
1.2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	3
1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA .....	4
1.4. OBJETIVO GENERAL.....	5
1.5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	5
1.6. ALCANCE .....	5
<b>CAPITULO 2: MARCO TEORICO .....</b>	<b>6</b>
2.1. CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE .....	6
2.2. EFICIENCIA ENERGÉTICA.....	7
2.2.1. CONCEPTOS GENERALES .....	7
2.2.2. AISLAMIENTO TÉRMICO EN EDIFICIOS .....	7
2.3. HUELLA DE CARBONO.....	12
2.3.1. CONCEPTOS GENERALES .....	12
2.3.2. HUELLA ECOLÓGICA.....	12
2.3.3. HUELLA DE CARBONO EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN .....	13
2.3.4. RIESGO EN LA SALUD HUMANA POR LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN EN LAS EDIFICACIONES. ....	15
2.4. CARACTERÍSTICA DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN .....	15
2.4.1. COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA .....	15
2.4.1.1. MEDICIÓN DEL COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD.....	15
2.4.2. RESISTENCIA .....	17
2.4.2.1. TIPOS DE BLOQUES .....	18
2.4.2.2. RESISTENCIA DE BLOQUES PARA LA CONSTRUCCIÓN.....	19
2.4.3. MÁQUINA DE ENSAYOS UNIVERSALES .....	20
2.4.4. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	22
2.4.5. DENSIDAD .....	24
2.4.5.1. PROCEDIMIENTO Y ENSAYO EN BLOQUES.....	24
2.5. AISLANTES TÉRMICOS.....	25
2.5.1. AISLANTES TÉRMICOS CONVENCIONALES .....	25
2.5.1.1. MATERIALES AISLANTES SINTÉTICOS INORGÁNICOS.....	25
2.5.1.2. MATERIALES NATURALES INORGÁNICOS.....	26
2.5.1.3. MATERIALES SINTÉTICOS ORGÁNICOS .....	26

<b>CAPITULO 3: CASCARILLA DE ARROZ .....</b>	<b>28</b>
3.1. DESCRIPCIÓN .....	28
3.1.1. LOCALIZACIÓN Y CANTIDAD .....	29
3.1.2. OTRAS APLICACIONES INDUSTRIALES DE LA CASCARILLA DE ARROZ.....	31
3.2. AISLANTES TÉRMICOS BASADOS EN CASCARILLA DE ARROZ.....	32
3.2.1. EN BLOQUES.....	33
3.2.1.1. CON AGLOMERANTE CAL .....	33
3.2.1.2. CON AGLOMERANTE CEMENTO .....	34
3.2.1.3. ADITIVOS .....	42
3.2.2. EN PLACAS .....	42
<b>CAPITULO 4: DESARROLLO EXPERIMENTAL.....</b>	<b>46</b>
4.1. ELABORACIÓN DE PROBETAS.....	46
4.2. MEDICIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS .....	56
4.3. MEDICIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA .....	57
4.3.1. EQUIPO DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA.....	57
4.3.1.1. PLACA CENTRAL Y GUARDA.....	58
4.3.1.2. PLACA FRÍA .....	59
4.3.1.3. ESTRUCTURA.....	61
4.3.2. PROCEDIMIENTO.....	61
4.3.3. CALIBRACIÓN DEL EQUIPO.....	64
4.3.4. PRUEBA DE CONDUCTIVIDAD .....	67
<b>CAPÍTULO 5: ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIONES .....</b>	<b>71</b>
5.1. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA MECÁNICA .....	71
5.2. ANÁLISIS DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA .....	72
<b>CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>74</b>
6.1. CONCLUSIONES.....	74
6.2. RECOMENDACIONES .....	74
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>76</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>83</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.1</b> Mapa de temperatura media multianual – 1999 .....	<b>9</b>
<b>Figura 2.2</b> Madena de suministro en construcciones. ....	<b>14</b>
<b>Figura 2.3</b> Máquina de ensayos universales modelo fm – 1033 de la ESPE .....	<b>21</b>
<b>Figura 3.1</b> Distribución de las piladoras en el país. ....	<b>32</b>
<b>Figura 3.2</b> Esfuerzo de compresión de las muestras.....	<b>34</b>
<b>Figura 4.1</b> Medición del peso de cascarilla saturada en balanza electrónica.....	<b>49</b>
<b>Figura 4.2</b> Medición del peso de cemento en balanza electrónica. ....	<b>49</b>
<b>Figura 4.3</b> Medición del peso de agua en balanza electrónica.....	<b>50</b>
<b>Figura 4.4</b> Mezcla homogénea de cemento y cascarilla.....	<b>50</b>
<b>Figura 4.5</b> Mezcla homogénea de cemento, cascarilla y agua.....	<b>51</b>
<b>Figura 4.6</b> Mezcla homogénea de cemento, cascarilla, arena y agua utilizando las manos.....	<b>51</b>
<b>Figura 4.7</b> Mezcla homogénea final. ....	<b>52</b>
<b>Figura 4.8</b> Depósito de la mezcla en molde cilíndrico de acero. ....	<b>53</b>
<b>Figura 4.9</b> Enrazado del exceso de concreto en el molde. ....	<b>54</b>
<b>Figura 4.10</b> Probetas solidas de la mezcla. ....	<b>55</b>
<b>Figura 4.11</b> Almacenamiento de las probetas cubiertas por agua.....	<b>55</b>
<b>Figura 4.12</b> Probeta sometida a la prueba de compresión. ....	<b>56</b>
<b>Figura 4.13</b> Resistencia mecánica vs dosificación. ....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
<b>Figura 4.14</b> Placa de aluminio del anillo de guarda. ....	<b>58</b>
<b>Figura 4.15</b> Placa del anillo de guarda aislada. ....	<b>58</b>
<b>Figura 4.16</b> Ubicación de los pernos en el anillo de guarda. ....	<b>59</b>
<b>Figura 4.17</b> Serpentín de cobre tipo parrilla. ....	<b>60</b>
<b>Figura 4.18</b> Ensamble de la placa principal y secundaria mediante pernos.....	<b>61</b>
<b>Figura 4.19</b> Estructura metálica para ensayos térmicos. ....	<b>61</b>
<b>Figura 4.20</b> Vistas frontal y lateral de las placas. ....	<b>63</b>
<b>Figura 5.1</b> Comparación de conductividad térmica.....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2.1</b> Zonas climáticas. ....	10
<b>Tabla 2.2</b> Coeficientes de transferencia u. climas fríos. ....	10
<b>Tabla 2.3</b> Coeficientes de transferencia u. climas cálidos que usen climatización activa. ....	11
<b>Tabla 2.4</b> Coeficientes de transferencia u. climas cálidos que usen climatización pasiva. ....	11
<b>Tabla 2.5</b> Clasificación de los bloques y resistencia mínima a la compresión. ....	22
<b>Tabla 3.1</b> Conductividad térmica de diferentes aislantes .....	28
<b>Tabla 3.2</b> Densidades de la cascarilla de arroz. ....	29
<b>Tabla 3.3</b> Composición de la cascarilla de arroz. ....	29
<b>Tabla 3.4</b> Producción anual de cascarilla de arroz. ....	30
<b>Tabla 3.5</b> Piladoras de arroz por categoría y procesamiento. ....	31
<b>Tabla 3.6</b> Resistencia de materiales en las muestras de cal con cascarilla de arroz. ....	33
<b>Tabla 3.7</b> Proporciones de las muestras. ....	35
<b>Tabla 3.8</b> Propiedades físicas y mecánicas de las muestras. ....	36
<b>Tabla 3.9</b> Proporciones de las muestras. ....	37
<b>Tabla 3.10</b> Proporciones físicas y mecánicas de las muestras. ....	37
<b>Tabla 3.11</b> Variación el porcentaje de sus componentes a partir de una muestra patrón. ....	38
<b>Tabla 3.12</b> Resistencia a los siete y 28 días .....	38
<b>Tabla 3.13</b> Pretratamiento y dosificación de las muestras. ....	39
<b>Tabla 3.14</b> Morteros endurecidos. ....	41
<b>Tabla 3.15</b> Características de las muestras obtenidas. ....	43
<b>Tabla 4.1</b> Densidad de materiales utilizados .....	46
<b>Tabla 4.2</b> Dosificación del mortero: 1:2:3 .....	48
<b>Tabla 4.3</b> Dosificación del mortero: 1:2:5 .....	48
<b>Tabla 4.4</b> Dosificación del mortero: 1:2:7 .....	48
<b>Tabla 4.5</b> Dosificación y resistencia mecánica .....	57
<b>Tabla 4.6</b> Registro de temperaturas .....	64

<b>Tabla 4.7</b> Datos de calibración .....	64
<b>Tabla 4.8</b> Datos calculados muestra F .....	65
<b>Tabla 4.9</b> Datos calculados muestra M .....	66
<b>Tabla 4.10</b> Promedio y desviación estándar .....	66
<b>Tabla 4.11</b> Variables estadísticas .....	67
<b>Tabla 4.12</b> Tolerancia .....	67
<b>Tabla 4.13</b> Datos geométricos de la prueba de conductividad .....	68
<b>Tabla 4.14</b> Datos eléctricos de la prueba de conductividad .....	69
<b>Tabla 4.15</b> Registro de temperaturas .....	69
<b>Tabla 4.16</b> Flujo de calor hacia las placas frías .....	70
<b>Tabla 4.17</b> Conductividad aparente de las muestras .....	70

## RESUMEN

El presente trabajo nace de la necesidad de buscar un tipo de material de construcción autóctono que sustituya a los tradicionales que generan un importante impacto ambiental debido a su alto consumo de energía. Por otro lado la cascarilla de arroz, que es abundante en nuestro país por ser el arroz parte fundamental de la dieta de los ecuatorianos, presenta dificultades en su disposición final por no existir hasta el momento una utilización práctica de este desecho, obligando con esto a los productores a quemarlo, ahondando con esto la afectación al medio ambiente. La presente tesis elabora un mortero que reemplaza parte del árido fino con cascarilla de arroz, obteniéndose con esto un material liviano, económico, aislante del calor que puede utilizarse en estructuras no portantes. Adicionalmente se construye y prueba un equipo medidor de conductividad térmica del tipo denominado de placa caliente bajo la norma ASTM C177 donde se realizaron las mediciones de aislamiento térmico.

Palabras claves:

- cascarilla de arroz
- mortero
- materiales alternativos
- equipo de placa caliente
- conductividad térmica

## ABSTRACT

This work emerges from the need to seek a kind of endemic construction materials to replace the traditional, which generate a significant environmental impact due to their high energy consumption. Moreover rice husk, which is abundant in our country such as rice essential part of the diet of Ecuadorians, presents difficulties in their disposal in the absence of a practical use of this type of waste, which forced producers to burn, deepening involvement to the environment. This thesis develops a mortar that replaces part of the fine aggregate with rice husk, achieving a lightweight, economical, heat insulating material that can be used in non-structural applications. The use of rice husks in the manufacture of blocks offers a low cost solution that reduces environmental impact. In addition, a measuring thermal conductivity equipment called hot plate was built and tested under standard ASTM C177. Here insulation test were held.

### Keywords:

- rice husk
- mortar
- alternative materials
- hot plate equipment
- thermal conductivity

## ***CAPÍTULO 1: GENERALIDADES***

### **1.1. MOTIVACIÓN Y CONTEXTO**

La Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE desde el año 2009 mantiene la Maestría en Energías Renovables, que se encuentra ya en su cuarta promoción, cubriendo tópicos relacionados con las fuentes de energía solar, geotérmica, hidráulica, biomasa, eólica así como también eficiencia energética y bioclimatismo.

En lo que respecta a este último módulo, su profesor ha venido siendo el arquitecto Luis Velasco Roldán, quien se incorpora a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE en el año 2013 dentro del Programa Prometeo “Viejos Sabios”, que es una iniciativa de la Secretaría Nacional de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (Senescyt) del gobierno de Ecuador, (Molinar Higuera, 2010) que invita a investigadores extranjeros o ecuatorianos residentes en el exterior a contribuir a la generación y transferencia de conocimiento científico en el Ecuador.

El profesor Velasco, luego de visitar diferentes lugares y zonas del país, decide dedicarse a buscar una solución a un problema crónico en nuestro país que es la vivienda, y dentro de esto la eficiencia energética en la construcción utilizando materiales endémicos del lugar. Con este fin, en marzo del 2014, se organiza el seminario de tesis de eficiencia energética para analizar materiales de origen vegetal, agrícola o agroindustrial que puedan ser de interés para la construcción de viviendas populares.

Este interés por la eficiencia energética en edificaciones utilizando materiales alternativos, comparte también el Instituto de Investigaciones Tecnológicas para el diseño ambiental del Hábitat humano, en Resistencia, Argentina en donde Jacobo (Jacobo Guillermo José, 2004) se cuestiona el costo ambiental de los

materiales de construcción y busca optimizar el consumo energético en las edificaciones haciendo un análisis de una serie de materiales orgánicos, inorgánicos y combinados a lo largo de todo su ciclo de vida. Concluye indicando que es posible la reducción del consumo energético global con el uso adecuado de los materiales de construcción.

Continuando con publicaciones, cabe destacar a la República de Colombia que comparte una geografía similar al Ecuador, donde destacan los artículos de la Universidad del Norte con Carolina Cadena (Cadena Carolina Giovanna, 2002), quien desarrolla una alternativa tecnológica para utilizar los desechos agroindustriales, específicamente en el caso de la cascarilla de arroz, utilizando para ello el equipo de placa caliente y como resultado arroja valores competitivos de conductividad térmica para este material.

Muñoz et al. (Muñoz Alejandro, 2006), de la misma manera realiza las pruebas en un equipo similar al caso anterior y evalúa la mezcla de celulosa de papel con cemento y cenizas, destacándose que los dos materiales pueden servir como aislantes térmicos pero el segundo a altas temperaturas.

De la misma manera, Molinar et al. (Molinar Higuera, 2010) de México, realiza estudios con la fibra de coco concluyendo que este material puede jugar un papel importante como aislamiento térmico para paredes y techos encontrando de este modo optimizar el uso de la energía. En el mismo país, pero en la zona de Oaxaca que tiene un clima similar al de la costa ecuatoriana, el Instituto Politécnico Nacional (Alavez Ramirez Rafael, 2006) realiza pruebas de conductividad y resistencia térmica para techumbres de la palma real, bagazo de coco, mezclados con ferro cemento y mortero ligero, encontrándose que su coeficiente de transferencia de calor disminuye.

Como indican algunas de las publicaciones citadas anteriormente, para medir la conductividad térmica de un aislante se requiere del denominado Equipo de

Placa Caliente, conocido como GHP por sus siglas en inglés, que es el que se utilizará en el presente trabajo investigativo.

## **1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

El problema radica en que miles de toneladas de CO<sub>2</sub> se emiten al ambiente, acentuando el efecto invernadero planetario y los consecuentes cambios climáticos, por causas atribuidas a las edificaciones como el mal aislamiento térmico y el consumo de gran cantidad de energía en los equipos de extracción, procesamiento y transporte de los diferentes materiales de construcción (Jacobo & Edgardo, 2004). El aislamiento térmico en las viviendas tiene como principal objetivo la disminución del consumo de energía.

Por ello surge la oportunidad de aprovechar los productos vegetales de desecho (Cadena Carolina Giovanna, 2002) para lograr aislamientos térmicos naturales. En productos de origen vegetal, agrícola o agroindustrial, el Ecuador ocupa un lugar preponderante, por estar ubicado justamente en la zona ecuatorial que se caracteriza por la alta pluviosidad, la vegetación exuberante y su biodiversidad reconocida mundialmente (Sierra, 1999). Entre los desechos agrícolas más importantes se destacan la caña de azúcar, la cascarilla de arroz y de café, y el raquis de la palma africana (Tapia Clotario, 2009).

Los desechos agrícolas si no tienen una utilidad generan un impacto ambiental debido a una inadecuada disposición, como es el caso de la cascarilla de arroz que es común verla en la costa ecuatoriana incinerándose en los patios de las piladoras (Tapia Clotario, 2009). Cabe señalar que el volumen de cascarilla de arroz es considerable, puesto que esta gramínea es el cultivo más extenso del Ecuador y ocupa más de la tercera parte de la superficie de productos transitorios del país.

Por otro lado, materiales de construcción de uso común y extendido como aislantes térmicos, tales como el poliestireno y el poliuretano, demandan gran cantidad de energía y son fabricados en base a derivados del petróleo como son el benceno y etileno para el primero y el gas natural para el segundo (Jacobo & Edgardo, 2004).

En base a los problemas y oportunidades mencionados en los párrafos anteriores, se plantea la siguiente pregunta: ¿Hasta dónde se puede mejorar la eficiencia energética adicionando biomasa a los elementos constructivos tradicionales?

### **1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA**

Al ser el Ecuador un País con una gran biodiversidad, la generación de residuos agrícolas es significativa y no existe en todos los casos una utilización práctica de estos como es el caso de la cascarilla de arroz, que actualmente se la quema por no existir una opción viable de utilización final del producto, con lo cual lejos de dar una solución al cambio climático se lo acentúa.

Por otro lado los materiales convencionales de construcción son los causantes de emitir millones de toneladas de GEI al ambiente, siendo una de las principales áreas causantes del cambio climático planetario. A esto se suma el riesgo que presentan para la salud humana algunos elementos aislantes como el poliestireno y el poliuretano cuya inhalación de sus gases es altamente tóxica.

Para lograr un material de construcción aislante, tal como bloque y panel, se pretende realizar esta investigación que busca las bondades de la mezcla de cascarilla de arroz con cemento con el fin de obtener elementos constructivos que aumenten el confort en el habitáculo pero buscando disminuir la producción de GEI que este proceso convencionalmente produce.

Cabe mencionar que según la Constitución ecuatoriana uno de los aspectos más importantes es el derecho a la naturaleza y se promueve un ambiente sano y sustentable (SENPLADES, 2013). En este sentido el presente proyecto apunta en la misma dirección que los lineamientos nacionales.

#### **1.4. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la cascarilla de arroz como aditivo a los materiales de construcción tradicionales para viviendas.

#### **1.5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Determinar la resistencia mecánica de morteros con cascarilla de arroz con el fin de ser utilizados en construcción de viviendas

Analizar la conductividad térmica de morteros con cascarilla de arroz con el fin de mejorar la eficiencia energética de una vivienda

Construir el equipo de placa caliente para medir la conductividad térmica de la cascarilla de arroz.

#### **1.6. ALCANCE**

Mediante el presente trabajo de tesis, se pretende a través de un programa de diseño experimental, obtener resultados de bloques de cemento con cascarilla de arroz con una composición de terminada, que le permita mantener una resistencia a la compresión dentro de ciertos límites y una conductividad térmica comparable con aislantes térmicos para edificación.

## ***CAPITULO 2: MARCO TEORICO***

En este capítulo se hace una revisión inicialmente de aspectos relacionados con el cuidado del medio ambiente que es lo que motiva este trabajo. Se revisa aspectos relacionados con la construcción sostenible, la eficiencia energética y la huella de carbono. Se hace una revisión de la propuesta para la norma de eficiencia energética en el Ecuador.

En una segunda parte se revisa las siguientes características de los materiales de construcción: el coeficiente de conductividad térmica, la resistencia a la compresión, la densidad. En este subcapítulo se revisa los procedimientos según la norma INEN para la realización de ensayos.

El capítulo 2.5 se refiere a los aislantes térmicos, ya sean estos naturales o sintéticos.

### **2.1. CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE**

La ex primera ministra noruega *Gro Harlem Brundtland*, que encabezó la Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo para la Organización de las Naciones Unidas, presentó en 1987 el informe *Our common future*, en donde se utilizó por primera vez el término “sostenible” definido con el siguiente párrafo que pasó a la posteridad: *Satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las del futuro para atender sus propias necesidades*(Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo, 1988).

Aquí se analizó que La globalización del mundo, que con un capitalismo en su sed insaciable de vender, ha ido creando productos que han ido deteriorando las reservas naturales del planeta, es por eso que hoy en día la red humana ha sobreexplotado su entorno y debe modificar su estilo de vida para evitar que la crisis social y la degradación de la naturaleza sea irreversible (María, 2012).

## **2.2. EFICIENCIA ENERGÉTICA**

### **2.2.1. CONCEPTOS GENERALES**

A partir del informe “Our common future” ya mencionado en el párrafo anterior, se estableció que la protección ambiental no era una tarea nacional sino global, y que todo el planeta debía trabajar para revertir la situación y mirar al desarrollo y el ambiente como inseparables (Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo, 1988), por ello en 1992 en la Cumbre de la tierra en Río de Janeiro los jefes de estado se comprometieron a impulsar medidas de eficiencia energética en diferentes áreas (Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo, 1988).

El sector de la construcción, que es uno de los mayores consumidores de energía (Noticias Jurídicas, 2006), (Comite ejecutivo de la norma ecuatoriana de la construccion, 2011), se planteó la necesidad de cambiar las formas de construcción con el fin de disminuir la demanda energética y fomentar el diseño y construcción desde un punto de vista sostenible. En diversos países surgieron iniciativas públicas y privadas, que lograron disminuir significativamente la demanda de energía incluso muy por debajo de las exigencias reglamentarias (MINVU, 2006).

### **2.2.2. AISLAMIENTO TÉRMICO EN EDIFICIOS**

Con la finalidad de evitar que las patrones actuales en la edificación comprometa la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades, los gobiernos consideraron prioritario redactar un marco legal de adopción de criterios de eficiencia con el fin de concebir, diseñar, construir y utilizar los edificios desde la perspectiva de la sostenibilidad ambiental, a continuación se cita algunos de ellos.

El Manual de aplicación reglamentaria térmica del MINVU (Ministerio de Vivienda y Urbanismo en Chile) que incorpora dos modificaciones a la ordenanza General de Urbanismo y Construcciones mediante la cual se

establecen requisitos progresivos de acondicionamiento térmico a las viviendas. Chile es el primer país de Latinoamérica que incorpora en su reglamento de construcción exigencias de acondicionamiento térmico para todas las viviendas (MINVU, 2006).

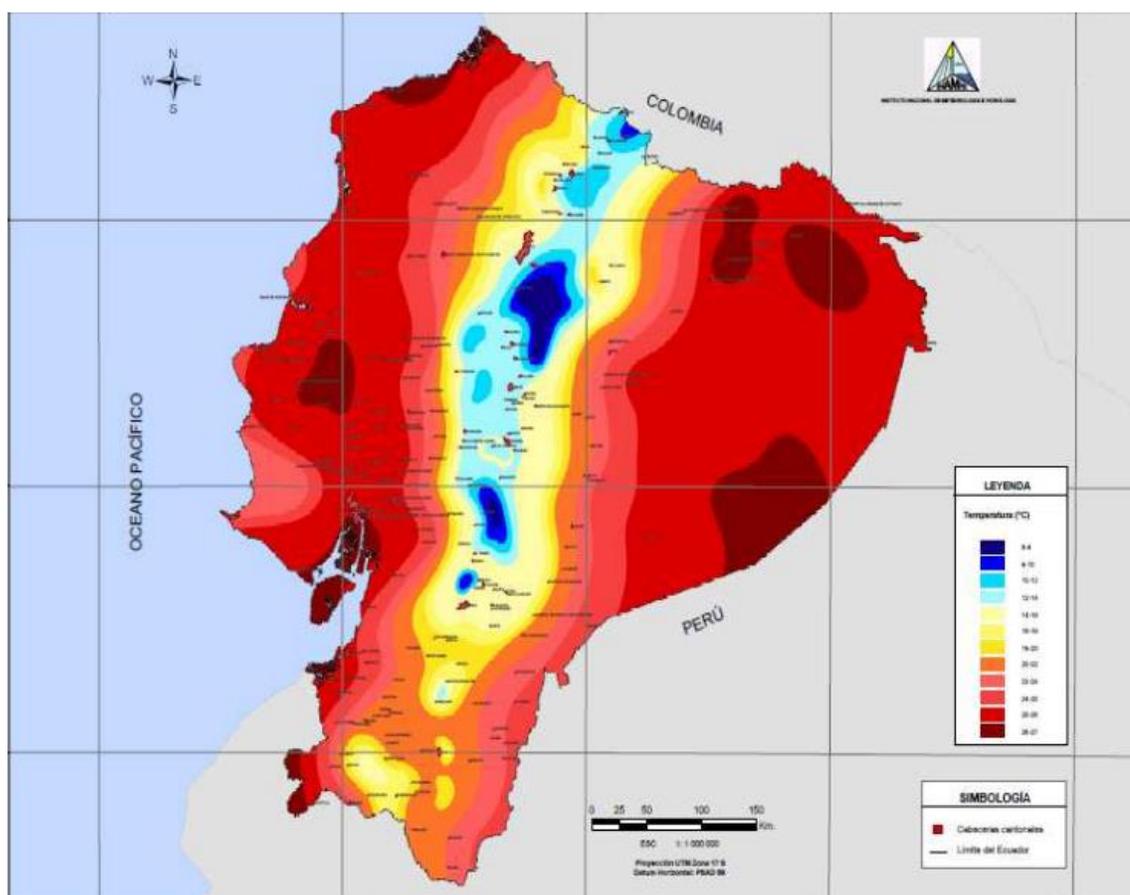
El decreto 21/2006 del 14 de febrero regula la adopción de criterios ambientales y de ecoeficiencia en los edificios del Gobierno de la generalidad de Cataluña. En el artículo 4 desarrolla los parámetros de ecoeficiencia relativos a la energía, donde se establecen coeficientes de transmitancia, orientaciones con respecto a la luz solar, entre otros (Noticias Jurídicas, 2006).

La Comisión de energía de California, que es la agencia que determina las políticas energéticas del Estado, se jacta de haber disminuido millones de dólares en consumo energético gracias a su buena gestión a favor de la eficiencia energética. Entre sus funciones se encuentra la de promover la eficiencia energética y conservación aplicando estándares de eficiencia energética en edificaciones (California Energy Commission, 2014).

En el caso del Ecuador, mediante decreto ejecutivo No. 705 del 06 de abril de 2011, se crea la norma de Eficiencia energética (CIMEG, 2015) en la construcción como capítulo 13 del Código de la construcción 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 y recursos no renovables y las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas. Esta se crea sobre todo por el poco cuidado energético debido a la presencia de subsidios fuertes en el ámbito de la tarifa eléctrica, el gas de uso doméstico, el desconocimiento del uso pasivo en edificaciones, el déficit de vivienda y la falta de una normativa legal que regule al sector desde el punto de vista de consumo energético. Cabe indicar que las edificaciones generan un impacto ambiental tanto en su proceso constructivo como de funcionamiento. De igual manera generan un impacto social en el entorno, en las personas y en el ordenamiento urbanístico territorial.

Los parámetros a considerar en una edificación según la NEC-11, son los siguientes: Uso y consumo de la energía activa y pasiva, uso del agua, tipos de agua, uso del suelo, consumo de materiales escasos, impactos ambientales e integración social, económica y cultural.

Considerando la relación existente entre zonas climáticas y eficiencia energética. El INAHMI, ha establecido doce zonas climáticas de acuerdo a su temperatura media anual como indica la Fig. 2.1.



**Figura 2.1** Mapa de temperatura Media multianual – 1999.

**Fuente:** NEC-11

En base al mapa anterior, se ha agrupado al país en seis zonas térmicas, como indica la Tabla 2.1.

**Tabla 2.1**

Zonas climáticas.

Zona climática	Rango de temperatura. Según datos del INAHMI
<b>ZT1</b>	6 – 10°C
<b>ZT2</b>	10 – 14°C
<b>ZT3</b>	14 – 18°C
<b>ZT4</b>	18 – 22°C
<b>ZT5</b>	22 – 25°C
<b>ZT6</b>	25 – 27°C

**Fuente:** NEC-11.

En lo referente a consideraciones constructivas de diseño, menciona las características que deben tener los materiales como son la energía incorporada, sus propiedades térmicas, químicas y la disposición final o reutilización de los mismos.

En la transmitancia y aislamiento térmico específicamente, lo cual tiene que ver directamente con el tema de esta tesis, se presenta en la Tabla 2.2 los coeficientes de transferencia máximos para climas fríos, en la Tabla 2.3 los coeficientes de transferencia máximos para climas cálidos que usen climatización activa y la Tabla 2.4 los coeficientes de transferencia máximos para climas cálidos con climatización pasiva.

**Tabla 2.2**

Coeficientes de transferencia U. Climas fríos.

Coeficiente global U en función del tipo de cerramiento y la zona climática [W/m <sup>2</sup> K].							
Zona climática	T <sub>m</sub> (°C)	Fachadas en contacto con el aire	Cerramientos en contacto con el terreno	Cubiertas en contacto con el aire	Cerramientos en contacto con espacios no habitados no ventilados y medianeras	Cerramientos en contacto con espacios no habitados ventilados	Ventanas y lucernarios
<b>ZT1</b>	6 – 10	1,00	1,00	0,75	1,40	1,15	5,7
<b>ZT2</b>	10-14	1,25	1,25	1,00	1,80	1,50	5,70

<b>ZT3</b>	14-18	1,80	1,80	1,50	2,50	2,50	5,70
------------	-------	------	------	------	------	------	------

**Fuente:** NEC-11

**Tabla 2.3**

Coeficientes de transferencia U. Climas cálidos que usen climatización activa.

Coeficientes de transferencia U máximos en función del tipo de cerramiento y la zona climática. Climas cálidos que usen climatización activa [W/m<sup>2</sup>K]

<b>Zona climática</b>	Tm (°C)	Fachadas en contacto con el aire	Cerramientos en contacto con el terreno	Cubiertas en contacto con el aire	Cerramientos en contacto con espacios no habitados no ventilados y medianeras	Cerramientos en contacto con espacios no habitados ventilados	Ventanas y lucernarios
<b>ZT4</b>	18 – 22	2,50	2,50	1,50	3,00	2,50	5,70
<b>ZT5</b>	22- 25	2,00	2,00	1,00	2,50	2,00	5,70
<b>ZT6</b>	25 – 27	1,50	1,50	0,75	2,00	1,50	5,70

**Fuente:** NEC-11

**Tabla 2.4**

Coeficientes de transferencia U. Climas cálidos que usen climatización pasiva.

Coeficientes de transferencia U máximos en función del tipo de cerramiento y la zona climática. Climas cálidos que usen climatización pasiva [W/m<sup>2</sup>K].

<b>Zona climática</b>	Tm (°C)	Fachadas en contacto con el aire	Cerramientos en contacto con el terreno	Cubiertas en contacto con el aire	Cerramientos en contacto con espacios no habitados no ventilados y medianeras	Cerramientos en contacto con espacios no habitados ventilados	Ventanas y lucernarios
<b>ZT4</b>	18, – 22,0	2,50	2,50	1,50	3,00	2,50	5,70
<b>ZT5</b>	22,0 . 25,0	3,00	3,00	1,00	3,00	3,00	5,70
<b>ZT6</b>	25, – 27,0	3,00	3,00	0,75	3,00	3,00	5,70

**Fuente:** NEC-11

En cuanto a los materiales de construcción, la normativa exige que al menos el 20% cumpla con las siguientes características que se mencionan a continuación: Uso de materiales reciclados, locales que se encuentre dentro de un radio no mayor a 100 km, desmontables o modulares, materiales procesados con el fin de obtener mejores características técnicas, de baja toxicidad y que sean naturales y renovables. Se debe garantizar la calidad del producto según normas INEN u otras normas internacionales.

## **2.3. HUELLA DE CARBONO**

### **2.3.1. CONCEPTOS GENERALES**

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)

Se trata de 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). 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.

### **2.3.2. HUELLA ECOLÓGICA**

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).

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.

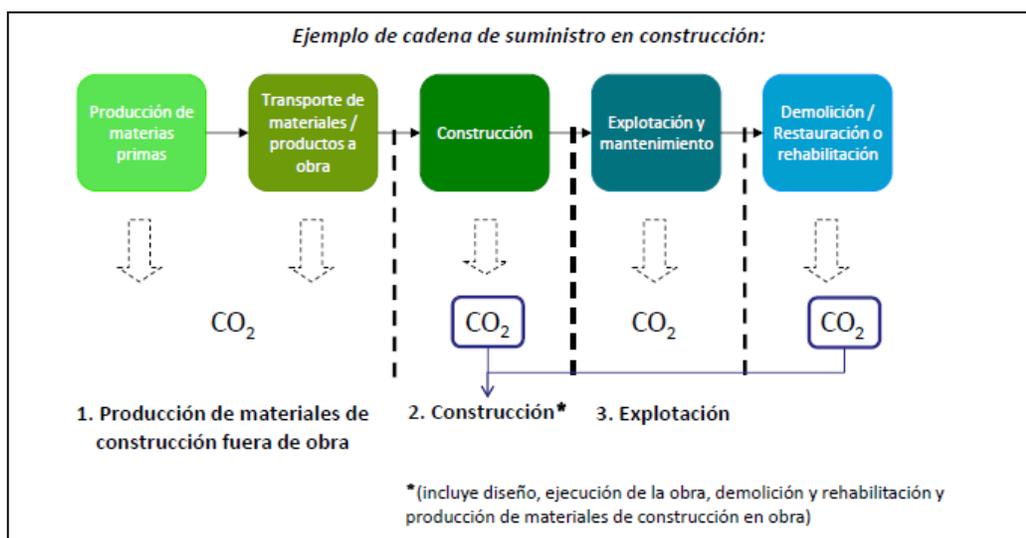
El análisis de entradas y salidas al ambiente (EIO), permite una aproximación hacia la estimación de la huella de carbono, mediante tablas de las cuentas económicas del sector en combinación con los datos de las cuentas de medio ambiente.

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.

### **2.3.3. 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).



**Figura 2.2** Cadena de suministro en construcciones.

**Fuente:** 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 GHG Protocolo, 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.

### **2.3.4. RIESGO EN LA SALUD HUMANA POR LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN EN LAS EDIFICACIONES.**

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. CARACTERÍSTICA DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

### **2.4.1. COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA**

La razón a la cual el calor se transfiere por conducción a través de una superficie transversal de un material al existir un gradiente de temperatura perpendicular al área, se le denomina coeficiente de conductividad térmica y se le denota generalmente con  $\kappa$

#### **2.4.1.1. MEDICIÓN DEL COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD**

Con el fin de determinar la conductividad térmica en aislantes, existen algunos métodos, la mayoría de estos están basados en flujo estable unidireccional. Dentro de estos hay dos, el absoluto y el de comparación. El primero determina la potencia de calor que fluye por el espécimen directamente de las variables eléctricas. El segundo utiliza un material referencial de coeficiente de conductividad conocido. Para seleccionar uno u otro entran varios factores en juego como puede ser la precisión deseada, el rango de temperaturas, el tipo de espécimen, el costo, la fabricación, etc. En términos generales el método absoluto es el más utilizado.

Dentro de estos, el de placa caliente, GHP por las siglas de guarded hot plate en inglés, es el más ampliamente utilizado y preciso. Ha sido adoptado por la Asociación Americana de Normas y materiales (ASTM) y está cubierto bajo la norma C177 que fue publicada por primera ocasión en 1942 y ha sido actualizada en el 2013 (ASTM, 2013).

El GHP básicamente consiste en una placa caliente y una fría. La primera con una zona central, donde se toma la medida de potencia eléctrica está cubierta por una guarda, que está a la misma temperatura que las zonas centrales pero aisladas térmicamente. La guarda elimina, cuando se encuentran a la misma temperatura, el flujo radial de calor desde la placa central. Al otro lado del espécimen de prueba se encuentra la placa fría que mantiene la temperatura por debajo de la caliente gracias a la circulación de un fluido. La función del GHP es la de mantener el gradiente de temperatura en el espécimen (Xaman. J, 2009).

En condiciones ideales, los platos se encuentran en perfecto contacto térmico con el espécimen, el flujo de calor viaja, independiente del tiempo, en la dirección  $z$  (perpendicular a las placas) de la caliente a la fría.

Bajo estas condiciones la aparente conductividad térmica  $k_z$  se determina con el flujo de calor  $Q_e$  la diferencia de temperaturas  $\nabla T = T_c - T_f$  entre la placa central caliente y la fría, el ancho "L" del espécimen y la superficie de la placa central "A" en la ecuación 2.1 que se obtiene a partir de la Ley de Fourier.

$$k_z = Q_e \frac{L}{A \Delta T} \quad (2.1)$$

El GHP es ampliamente conocido en la comunidad científica y existen diferentes investigaciones al respecto, destacamos a continuación aquellas que se refieren a la metodología de construcción. El artículo elaborado en la Universidad Nacional del Nordeste en Argentina, denominado Fabricación de un equipo de placa caliente para determinación de la conductividad térmica de

materiales. Uso en investigación y docencia (Martina P, 2003), además de basarse en la norma ASTM C177 utiliza la específica argentina IRAM 11.549. Este trabajo que destaca por su didáctica, presenta el inconveniente que la placa caliente y la guarda no son ensambladas lo que dificulta su uso. En contraste con el anterior, en el Departamento de energía de la Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, se desarrolló un Equipo para evaluar en forma experimental el coeficiente de conductividad térmica de los materiales de construcción (Lopez R., 2000) , que es compacto y permite su maniobrabilidad, en este caso se tiene una cámara de vacío para evitar las pérdidas laterales. En lo que se refiere a la aplicación del GHP para determinar la conductividad térmica en desechos agrícolas, destaca Carolina Cadena de la Universidad del Norte con el estudio de la variación en la conductividad térmica de la cascarilla de arroz aglomerada con fibras vegetales (Cadena Carolina Giovanna, 2002), en donde utiliza un equipo de placa caliente para desarrollar materiales de ingeniería que permitan disminuir el impacto ambiental. En el Ecuador destaca un proyecto de fin de carrera, elaborado en la Universidad de las Fuerzas Armadas (Calero F., 2013), que lleva por título: Desarrollo experimental de un aislante térmico utilizando cascarilla de arroz y aglutinantes naturales, en planchas rígidas. Este es un primer intento por construir un equipo de medición de conductividad térmica para desechos agrícolas y específicamente para cascarilla de arroz considerando que es uno de los desechos agrícolas más abundantes en nuestro país, pero que pese a ello no tiene una utilidad práctica (Sierra, 1999) .

#### **2.4.2. RESISTENCIA**

Para la determinación de la resistencia de los materiales de construcción, es importante dar ciertas definiciones importantes relacionadas con el tema de la fabricación de los bloques, paneles y la construcción en general.

El área bruta de los bloques será el área total incluyendo las celdas, medidas en el plano perpendicular a la dirección de las cargas gravitacionales.

El área neta de los bloques será el área bruta excluyendo el área de las celdas, medidas en el plano perpendicular a la dirección de las cargas gravitacionales.

El bloque de concreto es un cuerpo prismáticos sólido o con huecos utilizados para conformar la mampostería, fabricados de cemento Portland o modificado, agua y agregados minerales con o sin la inclusión de otros materiales.

La mampostería confinada es un sistema constructivo que resiste cargas laterales en la cual la mampostería está confinada por marco de concreto reforzado; los bloques de mampostería constituyen el alma de un diafragma y los marcos constituyen los patines.

La mampostería reforzada es un sistema constructivo en el que se utilizan muros constituidos de bloques sólidos o huecos de concreto, En el que se disponen de acero de refuerzo tanto la dirección vertical como horizontal, de tal manera que el acero y mampostería trabajan de manera conjunta.

#### **2.4.2.1. TIPOS DE BLOQUES**

Existen diferentes maneras de fabricar bloques para la construcción, como se detallan a continuación:

**Bloques Huecos.** Son los que presenta en su sección más desfavorable una área neta por lo menos del 50% del área bruta y el espesor de sus paredes será cuando menos igual a 2.5 cm.

**Bloques Sólidos.** Son los que presenta en su sección más desfavorable un área neta por lo menos del 75% del área bruta y el espesor de sus paredes sea cuando menos igual a 2.5 cm

Bloque de Hormigón celular. El hormigón celular conocido también como hormigón espumoso o aireado, se trata de un hormigón muy liviano, constituido por una matriz sólida de cemento que contiene en su interior un conjunto de pequeñas burbujas de aire distribuidas uniformemente en la mezcla y formadas por la adición de un agente en base de aluminio.

El alcance de la presente investigación, se centra en la elaboración de un bloque de hormigón sólido con la presencia de cascarilla de arroz que le permita formar porosidades, lo que le daría características similares al hormigón celular pero sin el uso de aditivos químicos como polvo de aluminio o peróxido de hidrógeno que pueden resultar tóxicos.

#### **2.4.2.2. RESISTENCIA DE BLOQUES PARA LA CONSTRUCCIÓN**

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, o esfuerzos, en el material. (Ross & Chilver, 1999).

Para determinar la resistencia de los bloques, existen tres diferentes fuerzas o resistencias principales a las cuales se puede someter a los bloques macizos, estas son: resistencia a la tracción, resistencia a la flexión y resistencia a la compresión.

Resistencia a la Tracción.- La resistencia a tracción del hormigón es muy pequeña en comparación con la resistencia a compresión.

Resistencia de Flexión.- La resistencia a la flexión ( $RF$ ) 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).

$$RF = \frac{M}{W} \quad (2.2)$$

Donde:

$RF$  = Resistencia a la flexión,

$M$  = Momento flexionante, [Kg.m]

$W$  = Momento de resistencia del material, [Kg.m]

Debido a que el comportamiento de tensión – deformación de los materiales frágiles no se describe mediante el ensayo de tracción, se emplea el ensayo de flexión, el cual no es utilizado generalmente.

Resistencia a la Compresión.-Es la Tensión máxima que un material puede soportar bajo aplastamiento de carga, se calcula dividiendo la carga máxima por el área de sección transversal original de una muestra en una prueba de compresión. Esta es una prueba obligatoria por la normativa ecuatoriana y mundial que se realiza en el equipo que se describe a continuación.

### **2.4.3. MÁQUINA DE ENSAYOS UNIVERSALES**



**Figura 2.3** Máquina de ensayos universales modelo FM – 1033 de la ESPE

La máquina de ensayos universales del Laboratorio de resistencia de la ESPE es de la casa AMSLER, modelo FM – 1033 con una capacidad máxima de compresión de 200 toneladas.

Para poder determinar la resistencia a la compresión de los bloques a fabricar con biomasa como agregado, tomaremos de referencia parte de la información encontrada en las normas del Instituto Ecuatoriano de normalización INEN.

El sistema constructivo del Ecuador utiliza los bloques huecos de hormigón para el cerramiento de las viviendas (paredes), incluso según el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) define a los bloques de hormigón como elementos paralelepípedos que, dependiendo de sus dimensiones, tendrán uno ó más huecos transversales interiores. Mientras que a los bloques macizos o sólidos, llamados adoquines, los utiliza para la construcción de pasos peatonales, estacionamientos y calles.

Por esta razón la normativa Ecuatoriana tiene parámetros de resistencia mínima a la compresión bastante altos para los bloques macizos entre 20 MPa

y 40 MPa, mientras que la resistencia mínima para los bloques huecos de hormigón que se usan para paredes son de máximo 6 MPa.

Estos datos referenciales se tomaran como punto de partida al momento de realizar los ensayos de resistencia a la compresión de los bloques a fabricar durante la investigación.

#### 2.4.4. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.

Para determinar la resistencia a la compresión de los bloques solidos con Biomasa como agregado, se utilizara el procedimiento de la norma INEN 1485 que aplica para adoquines o bloques macizos, pero para el análisis de resultados se utilizara los parámetros de resistencia a la compresión dados en la norma INEN 643: 1993 para los bloques huecos de hormigón que son los usados para la cerramientos (paredes) de viviendas.

**Tabla 2.5**

Clasificación de los bloques y resistencia mínima a la compresión.

Tipo	Uso	Resistencia mínima a la compresión a los 28 días [MPa]
<b>A</b>	Paredes exteriores de carga, sin revestimiento	6
<b>B</b>	Paredes exteriores de carga, con revestimiento. Paredes interiores de carga, con o sin revestimiento	4
<b>C</b>	Paredes divisoras exteriores, sin revestimiento	3
<b>D</b>	Paredes divisorias exteriores, con revestimiento Paredes divisorias interiores, con o sin revestimiento	2.5
<b>E</b>	Losas alivianadas de hormigón armado	2

**Fuente:** Norma INEN 643: 1993

El objetivo del ensayo, descrito en la norma INEN 1485, es aplicar una carga progresiva de compresión a un bloque macizo hasta que este no soporte más carga y falle.

Este ensayo permite determinar la resistencia de un bloque a compresión mediante la utilización de una máquina de compresión equipada con dos placas de acero de dureza mínima ROCKWELL C55. La placa superior debe estar provista de rótula esférica. Las caras de apoyo de las placas deben tener grabadas circunferencias concéntricas de 1 mm de profundidad y de 1 mm ancho, aproximadamente, para facilitar el centrado de las probetas. El centro de la rótula debe coincidir con el centro de la cara de apoyo. Si el radio de la rótula es más pequeño que el radio o longitud de la probeta que va a ensayarse, la porción de superficie de apoyo extendida más allá de la rótula y el lado de la probeta. La menor dimensión de la superficie de apoyo será al menos como el diámetro menor de la rótula, y la superficie de apoyo del bloque macizo tendrá como dimensión mínima lo más cerca + 3 % a la mayor dimensión de la probeta a ensayarse.

Las unidades de muestra se las debe sumergir en agua a temperatura a 20 °C +/- 5 °C durante 24 horas.

Se limpia las placas de la máquina de compresión con un paño y se quita cualquier residuo o arenilla de la cara del bloque. Se debe recubrir la cara superior e inferior del bloque, las cuales deben estar en contacto con las placas de la máquina, con una capa de 4 mm de capping o triplay.

Se coloca el bloque en la máquina de compresión con la cara de desgaste hacia arriba. Si las placas superior e inferior de la máquina de compresión son más pequeñas que el bloque, se debe colocar una plancha de acero de 25 mm de espesor entre la placa de acero de la máquina y el bloque, para que haya una distribución uniforme de la carga en las caras del bloque. Se aplica la carga en forma continua y no intermitente a una velocidad aproximada de 15 MPa por minuto, hasta que no se pueda soportar una carga mayor registrar la carga máxima aplicada.

La resistencia a la compresión del bloque se calcula con la ecuación 2.3:

$$C = \frac{P}{A_s} \quad (2.3)$$

Donde:

C= Resistencia a la compresión [MPa]

P= Carga máxima [N]

A<sub>s</sub>= Área Total de la cara en contacto del Bloque [mm<sup>2</sup>]

#### **2.4.5. 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; pero es menos aislante térmico.

La densidad depende, fundamentalmente, del peso del agregado 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).

##### **2.4.5.1. PROCEDIMIENTO Y ENSAYO EN BLOQUES**

En el caso de bloques para la construcción de edificios a realizar en nuestro país, los ensayos de cálculo de densidad y resistencia mecánica deben basarse en las normas ecuatorianas INEN 639 (bloques huecos de hormigón, muestreos

y ensayos) y INEN 640 (bloques huecos de hormigón determinación de la resistencia a la compresión). Estas normas son basadas de las ASTM, las cuales hacen alusión a los bloques macizos para estas pruebas; las definiciones de los bloques y su uso se encuentran dentro de las normas usadas.

Para los bloques de hormigón y muestreos de ensayo se basa en la norma técnica ecuatoriana INEN 639 Segunda revisión.

La densidad del bloque se calcula con la ecuación (2.4):

$$D \left[ \frac{Kg}{m^3} \right] = \frac{M_d}{M_s - M_i} * 1000 \quad (2.4)$$

Donde:

$M_d$  = Masa del espécimen seco al horno, [Kg]

$M_s$  = Masa del espécimen saturado, [Kg]

$M_i$  = Masa del espécimen sumergido, [Kg]

## 2.5. AISLANTES TÉRMICOS

Mantener una temperatura aceptable en las construcciones puede ahorrar una gran cantidad de energía y de dinero. Esto se logra con materiales térmicamente aislantes que pueden ser convencionales o naturales no convencionales.

### 2.5.1. AISLANTES TÉRMICOS CONVENCIONALES

Los aislantes térmicos convencionales se dividen en: Sintéticos inorgánicos, Naturales inorgánicos, sintéticos orgánicos y naturales orgánicos.

#### 2.5.1.1. MATERIALES AISLANTES SINTÉTICOS INORGÁNICOS

Entre estos se encuentra la lana de vidrio y lana de roca, que es un material compuesto de la fusión del sílice y vidrio reciclado a 1450 °C y de escoria proveniente de erupciones volcánicas a 1600 °C, respectivamente.

Se la puede encontrar en paneles y fieltro con coeficientes de conductividad térmica alrededor del 0,040 W/m°K (Neila, 1997).

Como inconvenientes se puede indicar que la lana de roca emite formaldehído, que es un aldehído declarado cancerígeno por la OMS (Organización Mundial de la Salud, 2014) y fibras y puede ser atacada por la humedad. La lana de vidrio esparce fibras causantes de problemas respiratorios y cáncer de pulmón.

#### **2.5.1.2. MATERIALES NATURALES INORGÁNICOS**

La arcilla expandida es un agregado inerte y liviano, producido industrialmente a partir de arcillas naturales a las cuales se las calienta hasta alcanzar su estado pirolástico a temperaturas de 1100 °C. Este material no contiene orgánicos, por lo tanto se lo utiliza como agregado en la fabricación de hormigón liviano. Presenta un coeficiente de conductividad térmica alrededor de 0,15 [W/m°K].

Cabe indicar que el Ecuador, posee abundantemente este recurso en la provincia de Cotopaxi. (Cotopaxi noticias, 2014).

#### **2.5.1.3. MATERIALES SINTÉTICOS ORGÁNICOS**

Dentro de los materiales sintéticos orgánicos se encuentran el poliestireno expandido, el poliestireno extruido y la espuma de poliuretano que es comúnmente utilizada para distintas aplicaciones.

El poliestireno expandido es un derivado del petróleo y del gas natural, se lo comercializa principalmente en planchas bajo el nombre de espuma-flex, no presenta llama al quemarse, posee resistencia a la absorción de agua, presenta un coeficiente de conductividad de 0,040 W/m°K.

El Poliestireno extruido es una espuma rígida resultante de la extrusión del poliestireno en presencia de un gas espumante. Comparte con el anterior las mismas propiedades y composición, pero la diferencia se encuentra en su proceso de conformación, lo cual le da una estructura de burbuja que lo permite mojarse sin perder sus propiedades.

La espuma de poliuretano es un material plástico poroso formado por una agregación de burbujas que se forma por la reacción química de un poliol y un isocianato. Esta reacción genera dióxido de carbono que produce las burbujas. Tiene un coeficiente de conductividad de  $0,023 \text{ W/m}^\circ\text{K}$ .

Estos productos son derivados de combustibles fósiles y demandan gran cantidad de energía en su fabricación, por lo que afecta al proceso de contaminación ambiental.

## **CAPITULO 3: CASCARILLA DE ARROZ**

### **3.1. DESCRIPCIÓN**

La cascarilla de arroz es el recubrimiento del grano de arroz, con la forma del grano cariósido y su dimensión es variada por las numerosas variedades que existen, estas fluctúan en longitud de 4 – 14 mm, en ancho 2 – 4 mm, y un espesor promedio de 50 micras de milímetro. Su apariencia superficial es irregular con ranuras longitudinales (Cadena Carolina Giovanna, 2002), lo que le confiere propiedades abrasivas, (Echeverría Manuel, 2010). Tiene gran cantidad de poros en su interior, alrededor del 54% (Cadena Carolina Giovanna, 2002), por lo que tiene una capacidad termoaislante similar a los aislantes usados comercialmente, como se verifica en la Tabla 3.1.

**Tabla 3.1**

Conductividad térmica de diferentes aislantes

Aislante	Coeficiente de conductividad [W/mK]
<b>Fibra de vidrio</b>	0.038
<b>Poliestireno expandido</b>	0.033
<b>Lana mineral</b>	0.030
<b>Cascarilla de arroz</b>	0.036

En referencia a la densidad, se identifican tres tipos: densidad a granel, densidad aparente y densidad verdadera. La primera se refiere a la relación de una cantidad de masa en un volumen determinado, aquí influye la diversidad de tamaños, el contenido de humedad y su grado de compactibilidad. La segunda se obtiene si al volumen antes mencionado se le restan los espacios libres, en este caso influyen los poros y la tercera es la cantidad que resulta si al volumen anterior se le excluyen los poros internos y externos. En la siguiente tabla No. 3.2 Se encuentran los valores de las densidades obtenidas en los laboratorios de Agrocalidad, según indica Echeverría (Echeverría Manuel, 2010).

**Tabla 3.2**

Densidades de la Cascarilla de arroz.

Densidad	[kg/m <sup>3</sup> ]
<b>A granel</b>	0,102
<b>Aparente</b>	0,649
<b>Verdadera</b>	1,418

**Fuente:** Echeverría Manuel, 2010.

Posee propiedades ignífugas debido a su composición mayoritaria de óxido de silicio (SiO<sub>2</sub>), llamado comunmente sílice, que le da el cuerpo a la cascarilla. Ver Tabla 3.3.

**Tabla 3.3**

Composición de la cascarilla de arroz.

Composición	Fracción en peso
<b>Sílice (SiO<sub>2</sub>)</b>	90 – 97
<b>Óxido de Calcio (CaO)</b>	0,2 – 1,5
<b>Óxido de Magnesio (MgO)</b>	0,1 – 2,0
<b>Óxido de Potasio (K<sub>2</sub>O)</b>	0,6 – 1,6
<b>Óxido de Sodio (Na<sub>2</sub>O)</b>	Trazas – 1,75
<b>Óxido de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)</b>	0,3
<b>Sulfatos (SO<sub>3</sub>)</b>	0,1 – 1,13
<b>Cloro (Cl)</b>	0,15 – 0,40
<b>Óxido de hierro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)</b>	Trazas – 0,40
<b>Oxido de Manganeso (MnO<sub>2</sub>)</b>	Trazas

**Fuente:**Echeverría Manuel, 2010.

### 3.1.1. LOCALIZACIÓN Y CANTIDAD

El Ecuador debido a su localización geográfica goza de un gran potencial agropecuario, y el arroz se destaca como un producto importante por ser la base de la alimentación del ciudadano ecuatoriano.

En la Tabla 3.4, se detalla la producción de arroz y de cascarilla en el Ecuador.

**Tabla 3.4**

Producción anual de cascarilla de arroz.

<b>Año</b>	<b>Producción de arroz en cáscara [TM]</b>	<b>Cascarilla de arroz [TM]</b>
<b>1990</b>	409601	90112
<b>1991</b>	539846	118766
<b>1992</b>	560598	123331
<b>1993</b>	652823	143621
<b>1994</b>	712101	156662
<b>1995</b>	839308	184647
<b>1996</b>	818987	180177
<b>1997</b>	741125	163047
<b>1998</b>	722089	158859
<b>1999</b>	874874	192472
<b>2000</b>	912354	200718
<b>2001</b>	929865	204570
<b>2002</b>	931427	204914
<b>2003</b>	934166	205516
<b>2004</b>	1071601	235752
<b>2005</b>	1017179	223779
<b>2006</b>	1096303	241186
<b>2007</b>	1100242	242053
<b>2008</b>	1050175	231038

**Fuente:** Echeverría Manuel, 2010.

Según el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca en el año 2012, se tienen registradas 933 piladoras de arroz que se encuentran funcionando. Las piladoras se clasifican según su tamaño en primera o segunda categoría dependiendo de que su capacidad de producción sea mayor o menor a 20 quintales por hora, respectivamente.

Las primeras, además de su capacidad de procesamiento, realizan las siguientes funciones: descascaramiento intensivo, separación automática de impurezas, blanqueamiento, pulimento y separación de polvillo y arrocillo,

mientras las segundas no blanquean ni pulen el grano y el resultado final tiene un porcentaje elevado del grano quebrado.

En la Tabla 3.5 a continuación, se encuentra resumido el número de piladoras por provincia.

**Tabla 3.5**

Piladoras de arroz por categoría y procesamiento.

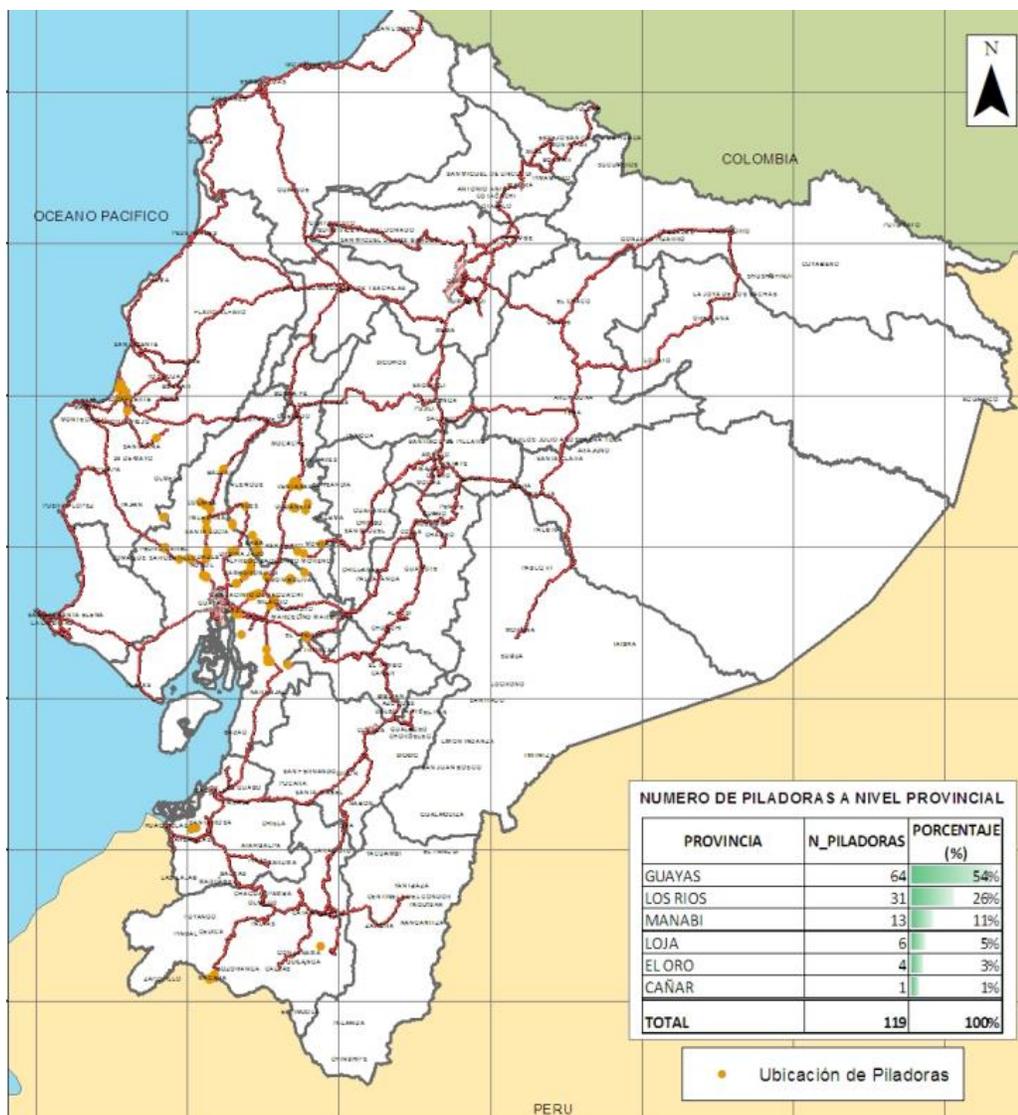
Provincia/cantón	Piladoras por categoría			Procesamiento
	1ra Cat	2da Cat	Toatl	QQ/hora
<b>Guayas</b>	268	173	441	12690
<b>Los Rios</b>	91	343	434	986
<b>Cañar</b>	1	4	5	76
<b>Manabi</b>	8	22	30	550
<b>Esmeraldas</b>	1	4	5	90
<b>El Oro</b>	3	5	8	162
<b>Otras provincias</b>	3	7	10	150
<b>Total nacional</b>	375	558	933	23578

Fuente: Magap.

A continuación se presenta en la Fig. 3.1 la ubicación de las piladoras en el país, que se ubican preferentemente en la provincia del Guayas con un 54% de concentración, luego le siguen Los Rios con 31%, Manabí con 13% y entre Loja, El Oro y Cañar se reparten apenas un 10%.

### 3.1.2. OTRAS APLICACIONES INDUSTRIALES DE LA CASCARILLA DE ARROZ

La cascarilla de arroz en el Ecuador se considera un desecho y no se aprovecha industrialmente, y al contrario genera un problema con su disposición final debido a su poco interés comercial, a lo que se suma el alto costo que significa transportarla debido a su baja densidad. Es por ello que muchas piladoras tienden a incinerarlas, produciendo ceniza que causa daño al medio ambiente y al terreno circundante.



**Figura 3.1** Distribución de las piladoras en el país.

**Fuente:** Geoportal del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, 2012.

Sin embargo investigaciones ecuatorianas destacan potenciales aplicaciones como combustible (Echeverría Manuel, 2010), y múltiples usos de la ceniza en la industria del cemento como adición puzolánica. (Kumar A., 2012).

### 3.2. AISLANTES TÉRMICOS BASADOS EN CASCARILLA DE ARROZ.

A continuación se revisan diferentes artículos de aislantes térmicos naturales en base de cascarilla de arroz tanto en bloques como en paneles.

### 3.2.1. EN BLOQUES

Debido a las propiedades de la cascarilla de arroz, esta provee importantes beneficios en la producción de bloques. Este residuo agrícola disminuye la densidad del bloque, mejora las propiedades aislantes y proporciona beneficios ambientales. Se lo puede encontrar con aglomerante cal o cemento principalmente.

#### 3.2.1.1. CON AGLOMERANTE CAL

Gökhan y Osman (Gökhan Görhan, 2013) de Turquía realizaron una investigación de los efectos en la porosidad y conductividad térmica al añadir cascarilla de arroz a los bloques de cal. La cascarilla de arroz fue sustituida en un porcentaje de 5%, 10% y 15%, tanto molida como sin moler. Se prepararon en bloques de 40mm x 70mm x 50mm que fueron quemados por el tiempo de una hora. La resistencia a la compresión disminuyó a un rango entre 7 y 10 MPa pero continuaron cumpliendo la normativa aplicable. La menor conductividad térmica fue obtenida con cascarilla de arroz sin moler. En la Tabla 3-6, las muestras se clasifican con las siglas B, que representa al bloque sin cascarilla, BG al bloque con cascarilla sin moler y BC al bloque con cascarilla molida.

**Tabla 3.6**

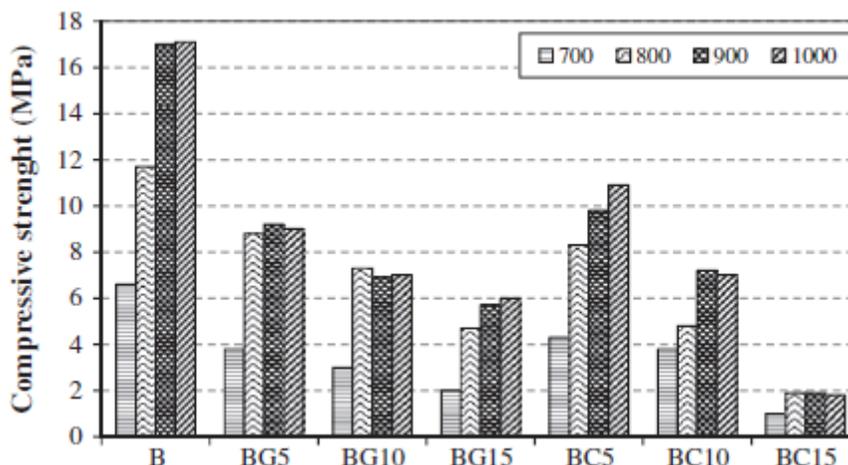
Resistencia de materiales en las muestras de cal con cascarilla de arroz.

	Cal	Cascarilla sin moler [MPa]	Cascarilla molida [MPa]
<b>B</b>	100	-	-
<b>BG5</b>	95	5	-
<b>BG10</b>	90	10	-
<b>BG15</b>	85	15	-
<b>BC5</b>	95	-	5
<b>BC10</b>	90	-	10

BC15	85	-	15
------	----	---	----

Fuente:Gökhan Görhan, 2013.

El autor indica que el esfuerzo a la compresión se realizó para diferentes temperaturas de quemado de 700°C, 800°C, 900°C y 1000°C, esto se puede ver en el Figura 3.2.



**Figura 3.2** Esfuerzo de compresión de las muestras.

Fuente:Gökhan Görhan, 2013.

Se puede comprobar en la Fig. 3.2 que el esfuerzo a la compresión disminuye a medida que aumenta la cantidad de cascarilla. La pendiente de la resistencia a la compresión de la cascarilla sin moler es menos pronunciada que aquellas con cascarilla molida. Las muestras con cascarilla de arroz sin moler con un porcentaje del 15% soportan mayor resistencia a la compresión que aquellas con cascarilla molida al mismo porcentaje, que no presenta una adecuada estructura, no tiene una fuerte cohesión y de hecho fue la que arrojó la peor resistencia a la compresión de las muestras.

De acuerdo con la norma aplicable en Turquía, el mínimo esfuerzo de un bloque debe ser de 5Mpa. En este caso todas las muestras pasaron este valor mínimo. (Gökhan Görhan, 2013).

### 3.2.1.2. CON AGLOMERANTE CEMENTO

En Turquía, Sisman (Sisman C.B., 2011), realiza un estudio en el que investiga las propiedades físicas, mecánicas y térmicas de la mezcla concreto con cascarilla de arroz en edificaciones de baja altura que no requieren gran resistencia a la compresión pero en lugares donde el aislamiento térmico es un factor importante.

Los materiales utilizados fueron: agregado mixto pasado por una malla de 8mm, se especifica como agregado 1 en la tabla, arena de río se especifica como agregado 2 y cemento Portland ASTM Type I PC 42.5 que corresponde a una resistencia de 42.5 Mpa a la compresión.

Para preparar las muestras de concreto liviano se utilizaron técnicas de mezclado normalizadas. La cascarilla de arroz fue sumergida en agua por un tiempo de 30 minutos debido a su gran capacidad de absorción.

La cascarilla de arroz, cuyo pretratamiento no indica, reemplazó en proporciones de 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% y 30 % en volumen que corresponde a las muestras CRH0, CRH5, CRH10, CRH15, CRH20, CRH25 y CRH30 respectivamente.

El resumen se indica en la Tabla 3.7.

**Tabla 3.7**

Proporciones de las muestras.

<b>Tipo</b>	<b>Porcentaje de cascarilla</b>	<b>cemento</b>	<b>Agregado 1</b>	<b>Agregado 2</b>	<b>Agregado 3</b>	<b>a/c</b>	<b>Pre tratamiento</b>
	<b>%</b>	<b>Kg/m<sup>3</sup></b>	<b>Kg/m<sup>3</sup></b>	<b>Kg/m<sup>3</sup></b>	<b>Kg/m<sup>3</sup></b>		
<b>CRH0</b>	0	300	766.52	1188.1	-	0.6	No indica
<b>CRH5</b>	5	300	728.15	1128.72	-	0.6	No indica
<b>CRH10</b>	10	300	689.88	1069.63	-	0.6	No indica
<b>CRH15</b>	15	300	651.6	1009.88	-	0.6	No indica
<b>CRH20</b>	20	300	613.33	950.62	-	0.6	No indica
<b>CRH25</b>	25	300	574.81	891.11	-	0.6	No indica

<b>CRH30</b>	30	300	536.54	831.60	-	0.6	No indica
--------------	----	-----	--------	--------	---	-----	-----------

**Fuente:**Sisman C.B., 2011.

El efecto de la diferente proporción de cascarilla de arroz en la muestra afecta directamente sobre la resistencia a la compresión, la densidad y la conductividad como indica la Tabla 3.8.

**Tabla 3.8**

Propiedades físicas y mecánicas de las muestras.

		CRH0	CRH5	CRH1 0	CRH1 5	CRH2 0	CRH2 5	CRH3 0
<b>Peso Kg/m<sup>3</sup></b>	7 días	2228	2125	2003	1947	1845	1798	1762
	28 días	2268	2172	2077	1992	1918	1849	1797
<b>Esfuerzo de compresión MPa</b>	7 días	30.3	27.1	24.6	22.1	19.7	17.1	14.2
	28 días	37.5	33.8	30.3	26.8	23.4	20.5	17.6
<b>Absorción de agua</b>	%	3.03	3.45	3.93	4.36	4.77	5.12	5.48
<b>Conductividad térmica</b>	W/m <sup>°K</sup>	1.535	1.29	1.126	0.990	0.88	0.79	0.71

**Fuente:**Sisman C.B., 2011.

Este estudio determina que un bloque de concreto con cascarilla de arroz varía su resistencia a la compresión de 17.6 – 37.5 MPa, su conductividad térmica decrece variando entre 1.53 y 0.79 W/mK y su densidad varía entre 2268 y 1797 kg/m<sup>3</sup>. (Sisman C.B., 2011).

Adicionalmente Nabi (Nabi Yuzer, 2013), realiza un estudio comparativo entre concreto con fibras de polipropileno y con cascarillas de arroz, debido a que a altas temperaturas el concreto puede estallar se incluye pequeñas fibras de polipropileno, sin embargo estas al calentarse emiten una serie de gases que son dañinos para el ser humano. Sin embargo al utilizar cascarilla de arroz se reduce la presión de vapor que es el causante del estallido y emite gases menos nocivos. Si bien este análisis está fuera del alcance del proyecto motivo de esta tesis, en este estudio se realizan muestras de cemento con cascarilla de arroz que a modo de comparación sirven para el presente proyecto. Se utiliza para el efecto cemento Portland CEM I, 42,5 R que es equivalente al

usado en las pruebas anteriores, y tres tipos de agregado. El denominado agregado 1 es piedra gruesa, agregado 2 es arena de piedra triturada y agregado 3 es arena natural de río. En la Tabla 3.9 se encuentra el detalle.

**Tabla 3.9**

Proporciones de las muestras.

<b>Tipo</b>	<b>Porcentaje de cascarilla</b>	<b>cemento</b>	<b>Agregado 1</b>	<b>Agregado 2</b>	<b>Agregado 3</b>	<b>a/c</b>	<b>Pre tratamiento</b>
	<b>%</b>	<b>Kg/m<sup>3</sup></b>	<b>Kg/m<sup>3</sup></b>	<b>Kg/m<sup>3</sup></b>	<b>Kg/m<sup>3</sup></b>		<b>No indica</b>
<b>I</b>	0	300	447	646	855	0.6	No indica
<b>II</b>	1.5	289	430	622	824	0.58	No indica
<b>III</b>	3.0	278	414	599	792	0.57	No indica
<b>IV</b>		258	385	557	737	0.55	No indica

**Fuente:**Nabi Yuzer, 2013.

Los resultados se muestran en la Tabla3.10.

**Tabla 3.10**

Proporciones físicas y mecánicas de las muestras.

		<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>
<b>Peso Kg/m<sup>3</sup></b>	28 días	2230	2210	2170	2120
<b>Esfuerzo de compresión MPa</b>	28 días	27.2	26.2	22.8	20.5
<b>Conductividad térmica W/m<sup>°K</sup></b>		1.88	1.85	1.80	1.68

**Fuente:**Nabi Yuzer, 2013.

La prueba de la resistencia a la compresión realizada para las muestras II, III y IV indica que la reducción es del 4%, 16% y 25% con respecto a la muestra I que no tiene cascarilla.

Esta reducción en la resistencia a la compresión se le atribuye a la porosidad inducida por la presencia de la cascarilla de arroz. (Nabi Yuzer, 2013) Si bien las muestra IV y CRH5 tienen el mismo porcentaje de cascarilla, es decir 5% en peso, la cantidad de sus componentes varía, por esta razón se entiende que los

valores de los coeficientes de esfuerzo a la compresión y conductividad térmica varían.

Julián Serrano en su artículo titulado: “Materiales de construcción con propiedades aislantes a base de cáscara de arroz” (Salas J., 1985), realizó pruebas de mezclas de cemento Portland PA – 350, equivalente al CEM I de característica resistente 35 MPa, con cascarilla como agregado fino. De estas determina una a la que le denomina muestra patrón y a partir de ella, variando el porcentaje de sus componentes, obtiene sus muestras como indica la Tabla 3.11. La cual ha sido adaptada de la Tabla 3.11 de la referencia, con el fin de expresar los componentes en unidades comparables con los otros autores que se han mencionado en los párrafos anteriores.

**Tabla 3.11**

Variación el porcentaje de sus componentes a partir de una muestra patrón.

Tipo	Porcentaje de	cemento	a/c
	cascarilla		
	%	Kg/m <sup>3</sup>	
<b>P</b>	23	267	0,755
<b>A</b>	18	295	0,755
<b>B</b>	33	240	0,755
<b>F</b>	23	267	0,755
<b>G</b>	33	295	0,535
<b>L</b>	18	295	0,755

Determina la resistencia a los tres, siete y setenta días, en la siguiente Tabla 3.12 se recogen únicamente con las dos últimas edades.

**Tabla 3.12**

Resistencia a los siete y 28 días

		<b>P</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>F</b>	<b>G</b>	<b>L</b>
<b>Esfuerzo de</b>	7 días	0.49	0.44	0.17	0.22	0.18	0.29

<b>compresión MPa</b>	28 días	0.12	0.64	0.2	0.85	1.13	2.28
-----------------------	---------	------	------	-----	------	------	------

Se cita a Tomás Serrano quien en el 2012 realiza un estudio extensivo de morteros (Serrano Tomas, 2012), lo cual aporta sin duda a la investigación.

Utiliza para el efecto cemento Portland tipo CEM I – 52.5R, que tiene una característica de resistencia a la compresión mayor que en el de las pruebas de los autores anteriormente señalados. La arena fina silíceo (AFA 80) fue de tamaño máximo de árido 1 mm y los porcentajes de arena retenidos en tamices fueron de: 39,93% entre 1 - 0,5 mm, 52,34% entre 0,5 - 0,16 mm, 5,43% entre 0,16 - 0,08 mm, 2,3% menor que 0,08 ms. El agua utilizada fue agua potable.

Los ensayos demostraron que no se puede utilizar la cascarilla de arroz sin moler debido a que se demandaban gran cantidad de agua y por lo tanto una segregación de la pasta de cemento, este comportamiento atribuye el autor a la forma cóncava de la cascara. Por otro lado para obtener materiales poco densos se requería grandes volúmenes de cáscara lo que impedía el fraguado.

En el estudio ya indicado, se realizaron muestras catalogadas como M1 a M25 y las proporciones se indican en la Tabla 3.13. Cabe indicar que en esta prueba se expresan los componentes en gramos y no en Kg/m<sup>3</sup> como en las tablas anteriores, sin embargo para efectos de comparación aportan significativamente. En la columna de pretratamiento, se encuentra que puede ser únicamente con agua, que corresponde de la M1 a la M5, o con la sigla “A” de ácido y “B” de base.

**Tabla 3.13**

Pretratamiento y dosificación de las muestras.

<b>Tipo</b>	<b>Porcentaje de cascarilla</b>	<b>cemento</b>	<b>Agregado 1</b>	<b>a/c</b>	<b>Pre tratamiento</b>
	<b>%</b>	<b>G</b>	<b>g</b>		
<b>M1</b>	28	100	150	1.4	Agua

<b>M2</b>	18	100	150	0.8	Agua
<b>M3</b>	10	100	150	0.8	Agua
<b>M4</b>	10	100	150	0.7	Agua
<b>M5</b>	11	100	150	0.6	Agua
<b>M6</b>	10	100	150	0.7	A/24h
<b>M7</b>	10	100	150	0.7	B/24h
<b>M8</b>	10	100	150	0.7	A/24h B/24h
<b>M9</b>	10	100	150	0.7	A/24h B/24h
<b>M10</b>	10	100	150	0.7	A/24h
<b>M11</b>	10	100	150	0.7	B/24h
<b>M12</b>	10	100	150	0.76	B/24h
<b>M13</b>	10	100	150	0.7	B/24h
<b>M14</b>	11	100	150	0.6	A/24h
<b>M15</b>	11	100	150	0.5	A/24h
<b>M16</b>	10	100	150	0.7	B/24h
<b>M17</b>	11	100	150	0.6	B/24h
<b>M18</b>	11	100	150	0.5	A/72h B/24h
<b>M19</b>	11	100	150	0.6	A/24h B/24h
<b>M20</b>	0	100	150	0.4	NO
<b>M21</b>	10	100	150	0.5	B/24h
<b>M22</b>	8	100	150	0.4	B/24h
<b>M23</b>	8	100	150	0.4	B/24h
<b>M24</b>	8	100	150	0.4	B/24h
<b>M25</b>	8	100	150	0.4	B/24h

**Fuente:** (Serrano Tomas, 2012)

El pretratamiento de la cascarilla de arroz fue clave en su desempeño. Cuando se realizó con agua (muestras M1 a M5) o con ácido únicamente (muestras M6, M10, M14 y M15), no se logró fraguar el cemento, mientras que al hacerlo con base sí. Cabe indicar que la resistencia mecánica se vio

afectada en todos los casos, razón por la cual el autor concluye indicando que no recomienda para uso portante sin embargo se encuentran valores superiores a los 2.5 MPa en las muestras M20, M22, M23 y M24 como se puede ver en la Tabla 3.14.

**Tabla 3.14**

Morteros endurecidos.

	<b>Peso</b>	<b>Esfuerzo de</b>
	<b>[Kg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>compresión [MPa]</b>
	28 días	28 días
<b>M7</b>	960	0.87
<b>M8</b>	1140	1.81
<b>M9</b>	1060	1.99
<b>M11</b>	970	1.13
<b>M12</b>	960	1.38
<b>M13</b>	950	1.5
<b>M16</b>	1020	1.56
<b>M17</b>	970	1.37
<b>M18</b>	970	1.29
<b>M19</b>	-	-
<b>M20</b>	1280	5.37
<b>M21</b>	970	1.29
<b>M22</b>	1140	2.64
<b>M23</b>	1140	2.6
<b>M24</b>	1210	4.13
<b>M25</b>	1280	2.03

**Fuente:** (Serrano Tomas, 2012)

Al tratar la cascarilla de arroz primero con disolución ácida y luego con básica, mejoró sustancialmente la resistencia a compresión de las muestras M8 y M9 con referencia a sus similares M7 y M11. La relación agua/cemento es de 0,76 y cáscara/cemento 0,375. Pero si compara M18 con M21 y M18 con M17, se puede ver que resulta inefectivo el tratamiento con ácido.

Si se aumenta el tiempo de inmersión de la cáscara de arroz en la solución básica, de 24 a 72 horas, se observa un gran aumento de la resistencia a compresión como se puede ver la diferencia entre las muestras M7 y M16.

En los resultados de la M19 se puede ver la importancia del tratamiento previo de la cascarilla de arroz, que requiere eliminar sus carbohidratos puesto que aumentan la concentración de azúcar en el medio acuoso e impide su fraguado.

La influencia de la cascara de arroz en las prestaciones mecánicas queda de manifiesto comparando la muestra M20 que no tiene cascarilla con la M22 con la misma relación agua/cemento, decae de 2,24MPa y 5,38 MPa en resistencia a la flexión y de 1,37MPa a 2,64 MPa en resistencia a la compresión, su densidad no disminuye significativamente.

### **3.2.1.3. ADITIVOS**

En las investigaciones bibliográficas realizadas y revisadas ya en los párrafos anteriores, no hacen mención a aditivos, excepto Serrano en su investigación de morteros aligerados con cascarilla de arroz (Serrano Tomas, 2012) en la que indica que utiliza cloruro cálcico anhidro ( $\text{CaCl}_2$ ) como acelerante del proceso de fraguado y lo menciona como una propuesta efectiva en su estudio.

### **3.2.2. EN PLACAS**

Se han realizado pruebas de cascarilla de arroz en forma de placas, llamadas también aglomerados o tableros. A continuación se revisan artículos al respecto.

Gutiérrez(Jaime Gutierrez M.D., 2014) presenta los resultados obtenidos al incorporar elementos biometabólicos al proceso de fabricación de un aglomerado a base de cascarilla de arroz para ser usado como aislamiento térmico.

Por medio de pruebas de laboratorio Cadena (Cadena C., 2002), demuestra en el 2002 que es factible aglomerar la cascarilla de arroz con elementos naturales y subproductos agrícolas. Realiza pruebas con almidón de yuca que es un adherente natural de fácil fabricación y obtención que no presenta impacto negativo al medio ambiente, fibra de fique que se obtiene a partir de una planta nativa de Colombia, fibras de banano que se obtienen a partir del vástago de esta planta y acrilato de polivinil (PVA) como adherente artificial de bajo impacto ambiental.

Los procesos de aglomeración utilizados fueron dos, el denominado “1”, consistió en aglutinar las fibras directamente con el adherente y posteriormente presionar en un molde a una presión de 50 Pa y el denominado “2”, similar al proceso de fabricación de papel, en el cual se utilizó una pulpa no maderera a partir de fibras de banano el cual se incorporó al resto de elementos con la adición de agua para un posterior moldeado con tamices de la forma y dimensiones requeridas. Posteriormente se secan las láminas obtenidas por ambos métodos.

En la Tabla 3.15 se muestran las características de las muestras obtenidas.

**Tabla 3.15**

Características de las muestras obtenidas.

Ítem	Composición	Proceso de aglomeración	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Masa (Kg)	Conductividad (W/m <sup>°K</sup> )
1	Cascarilla de arroz, almidón de yuca, fibra de fique y banano. Comprimido	1	336.54	472.84	0.0965
2	Cascarilla de arroz, PVA, fibra de banano	2	203.02	280.98	0.2117
3	Cascarilla de arroz, almidón y fibra de yuca, fibra de fique	1	380.77	571.16	0.0901

4	Cascarilla de arroz, almidón de yuca, fibra de fique y banano. Sin comprimir	2	194.96	267.88	0.0653
---	--	---	--------	--------	--------

**Fuente:** Cadena C., 2002.

Como se puede desprender de la Tabla 3.15, la composición que mejores características aislantes presenta es la de ítem 4, aglomerada con almidón de yuca, fibra de fique y banano. Debido a que se realizó con el proceso de aglomerado “2” fue realizada sin presión, lo que seguramente permitió mayor cantidad de porosidades y menor coeficiente conductivo.

La muestra 2, es la que presenta peor desempeño en conductividad térmica a pesar de haberse utilizado acrilato de polivinilo (PVA) y en el proceso de aglomeración “2” por lo tanto sin presión.

En el 2013, los autores de la investigación anterior, participan con Gutiérrez en el estudio de un nuevo aglomerante (Jaime Gutierrez M.D., 2014) que incorporara elementos biometabólicos con el fin de brindar mayor estabilidad física sin perder su capacidad termoaislante y adicionalmente buscar un método para generar porosidades manteniendo su carácter ecológico y de bajo costo. Para ello proponen adicionar una cepa de la levadura para aprovechar su capacidad metabólica productora de gas con el fin de generar múltiples burbujas dentro del material. Este nuevo estudio cae fuera del alcance del presente trabajo de investigación.

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. [9]

En la Escuela Superior Politécnica del Litoral en el 2007, como tesis de pregrado, 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 Clotario, 2009).

## ***CAPITULO 4: DESARROLLO EXPERIMENTAL***

### **4.1. ELABORACIÓN DE PROBETAS**

Para la elaboración de probetas se siguió el procedimiento que se detalla a continuación,

Se realizó el pretratamiento de la cascarilla dejándola en reposo con hidróxido de calcio y se establecieron los siguientes pesos y proporciones para la muestra: (ver Tabla 4.1).

Para efectuar pruebas por resistencia a la compresión se utilizan probetas cilíndricas de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura.

Para determinar la cantidad de componentes se parte del dato de densidad de cada material.

**Tabla 4.1**

Densidad de materiales utilizados

Material	Densidad [Kg / m <sup>3</sup> ]
<b>Cemento</b>	3140
<b>Agua</b>	1000
<b>Arena</b>	2500
<b>Cascarilla</b>	350

La arena con la que se trabajó es de bajo nivel de humedad, por lo que se obtuvo el valor indicado. Para obtener la densidad de la biomasa se realizó una prueba en el Laboratorio con cascarilla saturada de agua y se obtuvo el dato de 350 [Kg/m<sup>3</sup>].

Se establecen para las pruebas experimentales realizar con las dosificaciones siguientes: 1:2:3, 1:2:5 y 1:2:7, las cuales se las denominará D1, D2 y D3 respectivamente, considerando que se desea conseguir un material que aun siendo inferior en resultados técnicos de resistencia, permita perfilar

una respuesta autóctona para edificaciones de bajo costo. A continuación se muestran en la Tabla 4.2

**Tabla 4.2**

Porcentaje de cascarilla en las dosificaciones

Denominación	Dosificación	Porcentaje de cascarilla
D1	1 : 2 : 3	50%
D2	1 : 2 : 5	63%
D3	1 : 2 : 7	70%

Para obtener las dosificaciones del mortero que se requiere, se realizan los cálculos respectivos. A continuación se muestra un ejemplo de cálculo de la dosificación 1:2:3.

$$Volumen\ Cilindro = \pi * \frac{1^2}{4} * 2 = 1.57 dm^3$$

Calculo cemento:

$$Vol.\ Cemento = 1.57 * \left( \frac{1}{1 + 2 + 3} \right) = 0.26 dm^3$$

$$Peso\ Cemento = 0.26 dm^3 * 3.14 \frac{kg}{dm^3} = 0.82 kg$$

Calculo arena:

$$Vol.\ Arena = 0.26 * 2 = 0.52 dm^3$$

$$Peso\ Arena = 0.52 dm^3 * 2.5 \frac{kg}{dm^3} = 1.31 kg$$

Calculo biomasa:

$$Vol.\ Biomasa = 0.26 * 3 = 0.79 dm^3$$

$$\text{Peso Biomasa} = 0.79 \text{ dm}^3 * 0.35 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} = 0.27 \text{ kg}$$

**Tabla 4.3**

Dosificación del mortero: 1:2:3

<b>Material</b>	<b>Peso [kg]</b>	<b>Volumen [dm<sup>3</sup>]</b>
<b>Cemento</b>	0.82	0.26
<b>Arena</b>	1.31	0.52
<b>Cascarilla de arroz</b>	0.27	0.79
<b>Agua</b>	0.4	0.4

**Tabla 4.4**

Dosificación del mortero: 1:2:5

<b>Material</b>	<b>Peso [kg]</b>	<b>Volumen [dm<sup>3</sup>]</b>
<b>Cemento</b>	0.62	0.2
<b>Arena</b>	0.98	0.39
<b>Cascarilla de arroz</b>	0.3	0.98
<b>Agua</b>	0.45	0.45

**Tabla 4.5**

Dosificación del mortero: 1:2:7

<b>Material</b>	<b>Peso [kg]</b>	<b>Volumen [dm<sup>3</sup>]</b>
<b>Cemento</b>	0.49	0.16
<b>Arena</b>	0.79	0.31
<b>Cascarilla de arroz</b>	0.38	1.10
<b>Agua</b>	0.42	0.42

### 3.- Pesar la cascarilla saturada



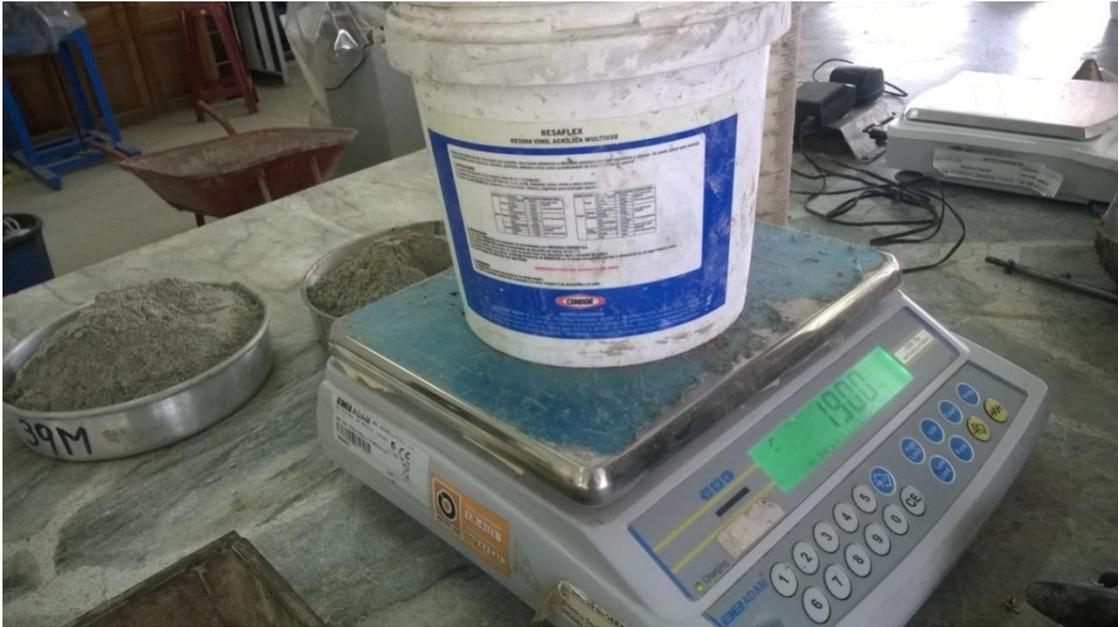
**Figura 4.1** Medición del peso de cascarilla saturada en balanza electrónica.

### 4.- Pesar el cemento



**Figura 4.2** Medición del peso de cemento en balanza electrónica.

5.- Pesar el agua



**Figura 4.3** Medición del peso de agua en balanza electrónica.

6.- Pesar la arena

7.- Revolver el cemento y la cascarilla con una espátula en una plancha metálica.



**Figura 4.4** Mezcla homogénea de cemento y cascarilla.

8.- Agregar un poco de agua.



**Figura 4.5** Mezcla homogénea de cemento, cascarilla y agua.

9.- Agregar la arena y más agua

10.- Mezclar con las manos hasta que todo el contenido este homogéneo, utilizar guantes de caucho.



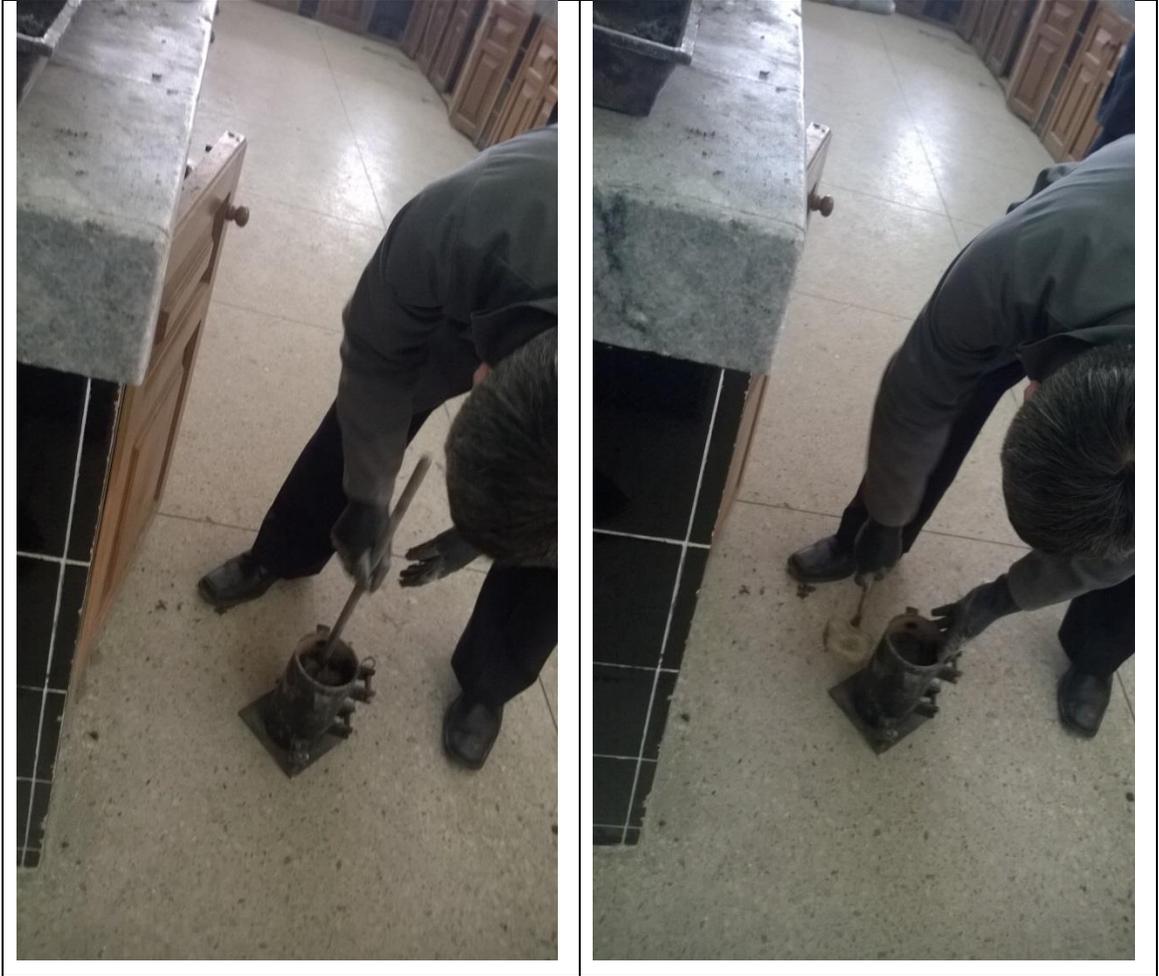
**Figura 4.6** Mezcla homogénea de cemento, cascarilla, arena y agua utilizando las manos.

11.- Agregar el resto de contenido de agua. La cantidad de agua utilizada fue determinada según el aspecto de la mezcla.



**Figura 4.7** Mezcla homogénea final.

12.- Depositar en el molde de acero de 10cm de radio y 20 cm de altura en tres capas. Llenar el molde en tres capas de igual volumen. Cada capa debe compactarse con 25 penetraciones de la varilla de 3/8" de diámetro, distribuyéndolas uniformemente en forma de espiral y terminando en el centro. La capa inferior se compacta en todo su espesor; la segunda y tercera capa se compacta penetrando no más de 1" en la capa anterior. Después de compactar cada capa golpear a los lados del molde ligeramente de 10 a 15 veces con el mazo de goma de 1,25 kg. Distribuidos en cada cuadrante, para liberar las burbujas de aire que puedan estar atrapadas.



**Figura 4.8** Depósito de la mezcla en molde cilíndrico de acero.

13.- Enrasar el exceso de concreto con la varilla de compactación. Identificar los especímenes con la información correcta respecto a la fecha, tipo de mezcla y lugar de colocación.



**Figura 4.9** Enrazado del exceso de concreto en el molde.

14.- La probeta se retira del molde a las 24 horas después de moldeadas. Hecho esto se marcará en la cara circular de la probeta las anotaciones de la tarjeta de identificación del molde.



**Figura 4.10** Probetas solidas de la mezcla.

15.- Después de elaboradas las probetas se transportarán al lugar de curado donde deberán permanecer sin ser perturbados durante el periodo de curado inicial. Después de desmoldar las probetas y antes de que transcurran 30 minutos después de haber removido los moldes, almacene las probetas en condiciones adecuadas de humedad, siempre cubiertas por agua a una temperatura de entre 23 y 25°C.



**Figura 4.11** Almacenamiento de las probetas cubiertas por agua.

16.- Evaluar la resistencia a los 7 días, donde además se debe dejar constancia del peso y dimensiones de las probetas, de la fecha y hora del ensayo.

17.- Se somete a la prueba de compresión



**Figura 4.12** Probeta sometida a la prueba de compresión.

#### **4.2. MEDICIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS**

Conforme indica el procedimiento indicado en el paso 17 del numeral 1.4, a los 7 días se determina la resistencia de los cilindros. Los resultados se muestran en la tabla a continuación.

**Tabla 4.6**

Dosificación y Resistencia mecánica

	Peso [kg]	Altura [cm]	Radio [cm]	Área [cm <sup>2</sup> ]	Carga [kg]	Resistencia [MPa]
D1	2.68	20.2	10.2	81.71	3780	4.63
D2	2.39	20.1	10.1	80.12	2900	3.62
D3	1.92	20	10.25	82.52	860	1.04

En el caso de D2, se obtuvo la densidad a partir de un bloque de 300 x 300 x 50 mm cuyo peso fue de 6.48 [Kg]. La densidad obtenida fue de: 1439 [Kg/m<sup>3</sup>]. A continuación se muestra en la Tabla 4.7

**Tabla 4.7**

Densidad

	Peso [kg]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Densidad [Kg/m <sup>3</sup> ]
D2	6.48	0.0045	1439

### 4.3. MEDICIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

Para medir la conductividad térmica se construyó un equipo de placa caliente, como se describe en el apartado 2.4.1.1 de este texto.

#### 4.3.1. EQUIPO DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

El equipo de conductividad térmica se construyó en el Laboratorio de Termodinámica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, con el fin de apoyar los proyectos de investigación propuestos dentro del ámbito de los materiales de construcción con desechos agrícolas.

Como se ha mencionado ampliamente en el subcapítulo 2.4.1.1 este equipo utiliza el método absoluto, y es el más ampliamente utilizado y preciso y ha sido

adoptado por la Asociación Americana de Normas y materiales (ASTM) bajo la norma C177(ASTM, 2013) y está compuesto por los siguientes elementos:

#### 4.3.1.1. PLACA CENTRAL Y GUARDA

La Placa central compuesta por dos placas de aluminio, de 150x150mm con un espesor de 2mm, En medio de estas se encuentra una resistencia de 93 ohmios como indica el apartado 6.3.2.1 de la norma ASTM C177-13

Guarda conformada por dos marcos e aluminio 2mm de espesor, con un agujero cuadrado y centrado de 153x153mm (ver Figura 4.14), y en medio de estas una resistencias eléctrica.



**Figura 4.14** Placa de aluminio del anillo de guarda.

Para evitar el contacto entre las resistencias y las placas de aluminio se usó una cinta aislante de fibra de vidrio adherida a las placas (ver Figura 4.15).



**Figura 4.15** Placa del anillo de guarda aislada.

La rendija entre la placa central y el anillo de guarda, está limitado por la norma ASTM C177-13 a un área máxima del 5% del área de la placa central.

$$\text{Área placa central} = (150 * 150)mm^2 = 22500mm^2$$

$$5\% \text{ del Área de la placa central} = 0.05 * 22500mm^2 = 1125mm^2$$

Si suponemos una rendija de 1.5mm de distancia entre la placa central y la guarda

$$\text{Área rendija} = 4 * (151.5 * 1.5)mm^2 = 909mm^2$$

Lo que nos resulta en un área menor al 5% del área de la placa central.

El ensamble de las placas se realizó con pernos de cabeza cónica de 1/8 de pulgada los cuales se colocaron en las posiciones indicadas en la Figura 4.16.



**Figura 4.16** Ubicación de los pernos en el anillo de guarda.

#### **4.3.1.2. PLACA FRÍA**

Para el equipo se requiere de dos placas frías, cuya finalidad es desechar el flujo de calor suministrado por la placa caliente, como indica el apartado 6.6.1 de la norma ASTM C177-13. Esto se logra a través de un flujo de agua que circula por el serpentín. Cada una está constituida por tres partes que son:

Una placa de aluminio con las siguientes dimensiones: 300mm. X 300mm y 10mm de espesor, a la cual se le practica ocho ranuras de 10mm de espesor y 5mm de profundidad con el fin de ubicar aquí el serpentín.



**Figura 4.17** Serpentín de cobre tipo parrilla.

Una tapa de aluminio con las siguientes dimensiones: de 300mm. X 300mm y 2mm de espesor. Es utilizada para cubrir el serpentín.

Un serpentín tipo parrilla que está fabricado en tubería de cobre de  $\frac{1}{4}$  de pulgada tipo L, armada con 8 tubos de 36 cm, 14 tubos de 3 cm, 14 térs, y 2 codos.

Según la norma ASTM C177-13, la superficie fría debe tener las mismas dimensiones exteriores de la guarda y ser del mismo material.

Para el ensamble se utilizan pernos de cabeza cónica de  $\frac{1}{8}$  de pulgada para juntar la placa con la tapa y en el medio de las dos el serpentín, como se indica en la Figura 4.18.



**Figura 4.18** Ensamble de la placa principal y secundaria mediante pernos.

#### 4.3.1.3. ESTRUCTURA

La estructura consta de una base de chapa metálica y tubo cuadrado, y encima de esta una subestructura que se asemeja a un tornillo de banco ya que tiene una parte fija y una móvil que se desplaza paralela a la primera gracias a un eje roscado y una manivela. En la parte fija y móvil van las placas frías, una a cada lado. Este desplazamiento no solo permite ajustar la distancia que varía entre placas dependiendo del grosor de las muestras, sino que además mantiene el paralelismo entre las placas y las muestras, lo cual es un requerimiento de norma.



**Figura 4.19** Estructura metálica para ensayos térmicos.

#### 4.3.2. PROCEDIMIENTO

Para La prueba de conductividad se procede según indica la norma. Se preparó dos muestras idénticas de un área de 300 mm x 300 mm.

Se instalan las muestras en el equipo de placa caliente sujetas entre la parte fija y móvil, de tal manera que dispuestos verticalmente se pueden distinguir los siguientes elementos: placa fría sujeta a parte fija de la subestructura, muestra A, placa caliente y guarda, muestra B, placa fría sujeta a parte móvil.

Termocuplas se instalan en las caras de las placas frías y en las caras de la placa caliente con el fin de determinar la diferencia de temperatura. Se instala adicionalmente otra termocupla en la guarda con el fin de verificar que la temperatura entre la placa central y la guarda se mantenga con una diferencia menor a 0.2 grados. (ASTM, 2013). También se mide la temperatura en el agua de refrigeración.

El control de la temperatura entre la placa central y en la guarda se realiza manualmente, por medio de sendos potenciómetros acoplados a estos elementos. Al variar la resistencia de los potenciómetros, varía el voltaje de entrada, la potencia eléctrica y evidentemente la temperatura. De esta manera se controla, como se indicó en el párrafo precedente, que las temperaturas de la placa central y la guarda sean similares.

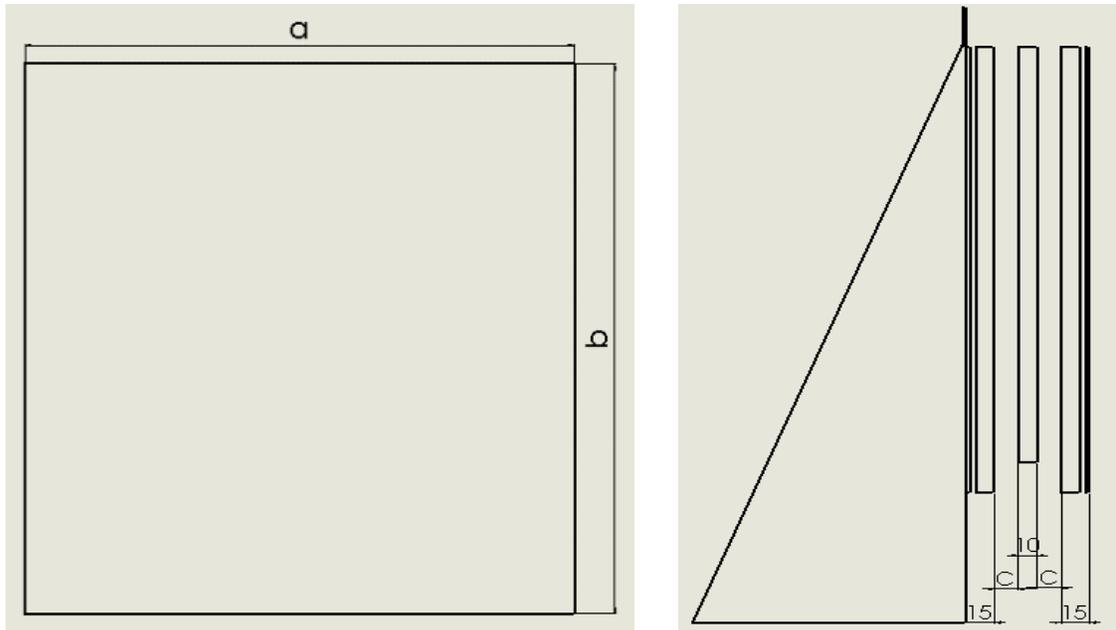
Se lleva un registro de las diferentes mediciones ya explicadas en el párrafo anterior en forma periódica, hasta observar que la diferencia de temperatura entre la placa caliente y las placas frías se estabiliza.

Se registran los datos geométricos de la prueba de conductividad, tales como:

$\Delta x$  = Espesor de la muestra [mm]

$a$  = Longitud de la arista [mm]

$A$  = Área de la placa [mm<sup>2</sup>]



**Figura 4.20** Vistas frontal y lateral de las placas.

Se registran los datos eléctricos:

V = Voltaje en la placa central [voltios]

R = Resistencia de la placa central [ $\Omega$ ]

Con estos datos se calcula la potencia eléctrica con la Ecuación 4.1.

$$P = \frac{V^2}{R} \quad (4.1)$$

P = Potencia eléctrica [W]

El equipo de placa caliente está diseñado de tal forma que toda la potencia eléctrica que ingresa se transforma en calor. Este calor fluye únicamente en sentido axial, puesto que teóricamente no existe diferencia de temperatura entre la placa y la guarda que eventualmente permitirían un flujo de calor radial. Por lo tanto en esta tesis se considera que la potencia eléctrica entregada es igual que el calor entregado  $Q_e$

Al estabilizarse el sistema se registran las siguientes temperaturas:

**Tabla 4.7**

Registro de temperaturas

Item	Ubicación	Valor [°K]
T1	Temperatura de la placa central	17.6
T2	Temperatura de la guarda	17.5
T3	Temperatura de la placa fría fija	14.1
T4	Temperatura de la placa fría móvil	13.4

A partir de la ecuación (4.1) de la Ley de Fourier, calculamos el coeficiente de transferencia de calor donde la aparente conductividad térmica  $k_z$  se determina con el flujo de calor  $Q_e$  la diferencia de temperaturas  $\nabla T = T_c - T_f$  entre la placa central caliente y la fría, el ancho “L” del espécimen y la superficie de la placa central “A”.

$$k_z = Q_e \frac{L}{A\Delta T} \quad (4.2)$$

### 4.3.3. CALIBRACIÓN DEL EQUIPO

Para la calibración del equipo, se utiliza un material de conductividad térmica conocida. Como referencia se escoge la plancha de poliestireno que es conocida en el argot popular como espumaflex.

En la Tabla 4.7 se encuentran los datos obtenidos de temperaturas y voltajes

**Tabla 4.8**

Datos de calibración

	Descripción	13:30	14:00	14:10	14:45	14:50	15:00	15:05
T1	Temperatura de la placa central [°K]	49.3	49	49.4	50.8	50.7	50.4	50.3
T2	Temperatura de la guarda [°K]	45.2	45.8	46.3	48.6	48.7	48.9	48.9

T3	Temperatura de la placa fría fija [°K]	15.6	15.5	15.5	15.7	15.7	15.7	15.7
T4	Temperatura de la placa fría móvil [°K]	14.8	14.6	14.7	14.9	14.9	14.9	14.9
Vi	Voltaje en la placa central [voltios]	18.3	18.3	18.3	18	17.8	17.6	17.6

La diferencia existente las temperaturas de las placas frías T3 y T4, se debe a que el serpentín de enfriamiento se encuentra conectado en serie, razón por la cual el flujo de agua al pasar por la primera placa fría fija adquiere calor y aumenta su temperatura y luego pasa por la placa fría móvil.

Por ello el flujo de calor se distribuirá en forma proporcional a la diferencia de temperaturas, para la muestra fija, se utiliza la ecuación 4.4.

$$Q_f = \frac{Q_e}{\frac{T_1 - T_4}{T_1 - T_3} + 1} \quad (4.3)$$

Donde:

$Q_f$  = Flujo de calor muestra F [W]

**Tabla 4.9**

Datos calculados muestra F

	Descripción	13:30	14:00	14:10	14:45	14:50	15:00	15:05
$Q_e$	Flujo de calor total [W]	3.60	3.60	3.60	3.48	3.40	3.33	3.33
$Q_f$	Flujo de calor muestra fija [W]	1.777	1.775	1.778	1.720	1.682	1.645	1.645
$\Delta T_{1-3}$	Diferencia de temperatura [°K]	33.7	33.5	33.9	35.1	35	34.7	34.6
$k_z$	Conductividad térmica [W/m°K]	0.035	0.035	0.035	0.032	0.032	0.031	0.031

Para la muestra móvil, se utiliza la ecuación 4.5.

$$Q_m = Q_e - Q_f \quad (4.4)$$

Donde:

$Q_m$  = Flujo de calor muestra M [W]

**Tabla 4.10**

Datos calculados muestra M

	<b>Descripción</b>	<b>13:30</b>	<b>14:00</b>	<b>14:10</b>	<b>14:45</b>	<b>14:50</b>	<b>15:00</b>	<b>15:05</b>
$Q_e$	Flujo de calor [W]	3.60	3.60	3.60	3.48	3.40	3.33	3.33
$Q_m$	Flujo de calor muestra M [W]	1.820	1.822	1.820	1.760	1.721	1.683	1.683
$\Delta T_{1-4}$	Diferencia de temperatura [°K]	34.5	34.4	34.7	35.9	35.8	35.5	35.4
$k_z$	Conductividad térmica [W/m°K]	0.035	0.035	0.035	0.032	0.032	0.031	0.031

Con los valores de conductividad térmica obtenidos en las Tablas 4.8 y 4.9, se obtiene el promedio y la desviación estándar que se muestra en la Tabla 4.10

**Tabla 4.11**

Promedio y desviación estándar

	<b>Descripción</b>	<b>Valor [W/m°K]</b>
$\bar{X}$	Promedio de la muestra	0.033
s	Desviación estándar de la muestra	0.002

Por medio de la estadística se pueden obtener los límites de confianza bilaterales entre los cuales estaría con un nivel de confianza del 95%, el valor de la referencia según lo indica la ecuación 4.6

$$\bar{x} - t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} \frac{s}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{x} + t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (4.5)$$

**Tabla 4.12**

Variables estadísticas

	Descripción	Valor [W/m°K]
$\alpha$	Significancia	0.05
$n - 1$	Grados de libertad	5
$t_{\frac{\alpha}{2}, n-1}$	Punto crítico	0.962
$\bar{x} - t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} \frac{s}{\sqrt{n}}$	Límite de confianza inferior	0.032
$\bar{x} + t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} \frac{s}{\sqrt{n}}$	Límite de confianza superior	0.034

De la Tabla 4.11, se observa que la plancha de poliestireno utilizada debería estar entre los valores de 0.032 y 0.034 [W/m°K]. El dato bibliográfico (Kreith, 2012) está en el rango de 0.033 [W/m°K] y 0.040 [W/m°K]. Por lo tanto se concluye que el equipo es exacto.

La tolerancia de las observaciones se muestra en la Tabla 4.12.

**Tabla 4.13**

Tolerancia

	Descripción	Valor [W/m°K]
$\bar{x} + 3 * s$	Límite de tolerancia inferior	0.034 - 0.006
$\bar{x} - 3 * s$	Límite de tolerancia superior	0.34 + 0.006

#### 4.3.4. PRUEBA DE CONDUCTIVIDAD

Para La prueba de conductividad se procedió según indica la norma. Se preparó dos muestras de cemento con cascarilla de arroz de dimensiones 300 mm x 300 mm x 50 mm. Esta muestra se realizó con la proporción 1:3:5 en volumen.

Se instalan las muestras en el equipo de placa caliente sujetas entre la parte fija y móvil, de tal manera que dispuestos verticalmente se pueden distinguir los siguientes elementos: placa fría sujeta a parte fija de la subestructura, muestra F, placa caliente y guarda, muestra M, placa fría sujeta a parte móvil.

Termocuplas se instalan en las caras de las placas frías y en las caras de la placa caliente con el fin de determinar la diferencia de temperatura. Se instala adicionalmente otra termocupla en la guarda con el fin de verificar que la temperatura entre la placa central y la guarda se mantenga con una diferencia menor a 0.2 grados. (ASTM, 2013). También se mide la temperatura en el agua de refrigeración.

El control de la temperatura entre la placa central y en la guarda se realiza manualmente, por medio de sendos potenciómetros acoplados a estos elementos. Al variar la resistencia de los potenciómetros, varía el voltaje de entrada, la potencia eléctrica y evidentemente la temperatura. De esta manera se controla, como se indicó en el párrafo precedente, que las temperaturas de la placa central y la guarda sean similares.

Se lleva un registro de las diferentes mediciones ya explicadas en el párrafo anterior en forma periódica, hasta observar que la diferencia de temperatura entre la placa caliente y las placas frías se estabiliza.

En la Tabla 4.13 se encuentran los datos geométricos de la prueba de conductividad.

**Tabla 4.14**

Datos geométricos de la prueba de conductividad

Item	Ubicación	Valor
$\Delta x$	Espesor de la muestra [mm]	50
a	Longitud de la arista [mm]	150
A	Área de la placa [mm <sup>2</sup> ]	22500

En la Tabla 4.14 se encuentran los datos eléctricos de interés de la prueba de conductividad:

**Tabla 4.15**

Datos eléctricos de la prueba de conductividad

Item	Variable	Valor
V	Voltaje en la placa central [voltios]	9.75
R	Resistencia de la placa central [ $\Omega$ ]	93.1
P	Potencia eléctrica ( $V^2/R$ ) [W]	1.02

En el Anexo A se puede encontrar el registro de datos de temperatura a lo largo del tiempo. Al estabilizarse el sistema se registran las siguientes temperaturas:

**Tabla 4.16**

Registro de temperaturas

Item	Ubicación	Valor [ $^{\circ}\text{K}$ ]
T1	Temperatura de la placa central	17.6
T2	Temperatura de la guarda	17.5
T3	Temperatura de la placa fría fija	14.1
T4	Temperatura de la placa fría móvil	13.4

$$\Delta T_A = T_1 - T_3 = 17.6[{}^{\circ}\text{C}] - 14.1[{}^{\circ}\text{C}] = 3.5[{}^{\circ}\text{C}] \quad (4.6)$$

$$\Delta T_B = T_1 - T_4 = 17.6[{}^{\circ}\text{C}] - 13.4[{}^{\circ}\text{C}] = 4.2[{}^{\circ}\text{C}] \quad (4.7)$$

Donde:

$\Delta T_A$  = Diferencia de temperaturas en la placa fría fija [ $^{\circ}\text{K}$ ]

$\Delta T_B$  = Diferencia de temperaturas en la placa fría móvil [ $^{\circ}\text{K}$ ]

El equipo de placa caliente está diseñado de tal forma que toda la potencia eléctrica que ingresa se transforma en calor. Este calor fluye únicamente en sentido axial, puesto que teóricamente no existe diferencia de temperatura entre la placa y la guarda que eventualmente permitirían un flujo de calor radial. Por lo tanto se considera que la potencia eléctrica entregada es igual que el calor entregado  $Q_e$ . Considerando la fórmula 4.3 se calcula los flujos de calor  $Q_a$  y  $Q_b$  hacia las placas frías fija y móvil respectivamente.

**Tabla 4.17**

Flujo de calor hacia las placas frías

Item	Variable	Valor
$Q_a$	Flujo de calor hacia la placa fija [W]	0.55
$Q_b$	Flujo de calor hacia la placa móvil [W]	0.47

A partir de la ecuación 4.2 se obtiene la tabla 4.18

**Tabla 4.18**

Conductividad aparente de las muestras

Item	Ubicación	Valor
$k_{Z-A}$	Conductividad aparente de la muestra A [W/m <sup>2</sup> K]	0.29
$k_{Z-B}$	Conductividad aparente de la muestra B [W/m <sup>2</sup> K]	0.31
$k_Z$	Promedio conductividad aparente [W/m <sup>2</sup> K]	0.30

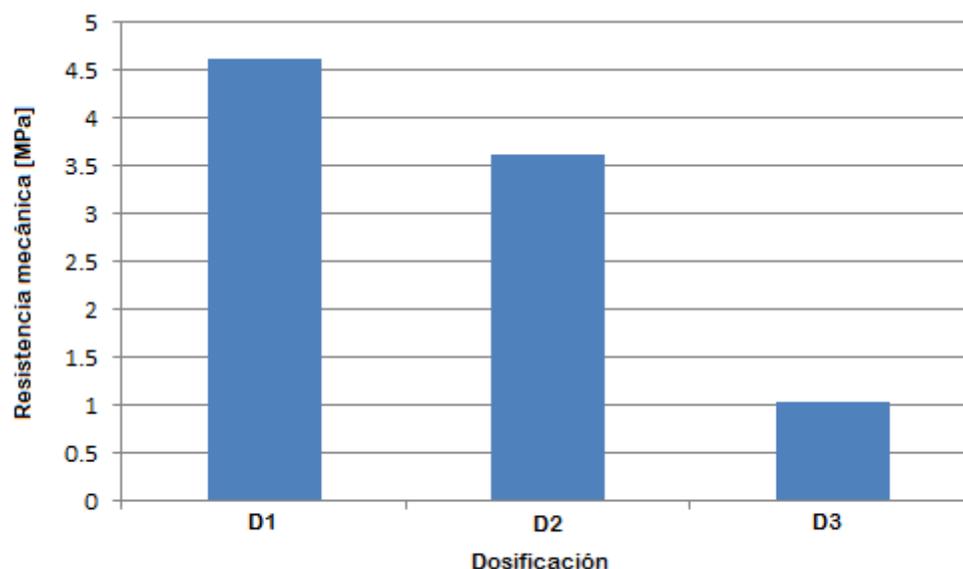
Como se puede observar en la Tabla 4.18, el valor promedio de conductividad aparente es 0.30 [W/m<sup>2</sup>K].

## ***CAPÍTULO 5: ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIONES***

En el siguiente capítulo se realiza un análisis de los resultados obtenidos en el subcapítulo 4.2 y 4.3 donde se obtienen los resultados de las pruebas de resistencia mecánica y de conductividad térmica.

### **5.1. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA MECÁNICA**

En el capítulo 4.2 se habla de la medición de las propiedades mecánicas de las probetas denominadas D1, D2 y D3 las cuales obtienen valores de 4.63, 3.62 y 1.04 [MPa] respectivamente como se indica en la Fig. 5.1



**Figura 5.1** Resistencia Mecánica y dosificación

Como era de esperarse, la resistencia mecánica no fue la misma que los morteros tradicionales, sin embargo lo que se espera de esta investigación es utilizar un material autóctono que provea de otras propiedades tales como el aislamiento térmico, pero para aplicaciones no estructurales.

Cómo se observa en la Fig. 5.1, la resistencia mecánica disminuye conforme se incrementa el contenido de cascarilla de arroz lo cual se atribuye a la adherencia de la pasta de cemento a la cascarilla y a la cantidad de agua

utilizada considerando la característica higroscópica de este residuo agroindustrial.

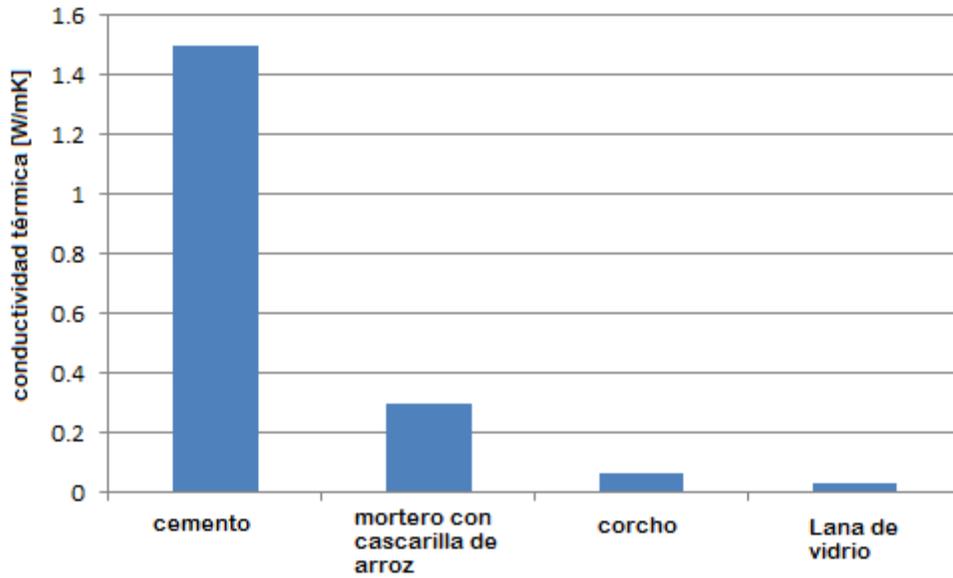
Según la Fig. 5.1, la Dosificación D3 tiene una resistencia a la compresión de 1.04 [MPa], lo cual le invalida por ser una resistencia demasiada baja, sin embargo las dosificaciones D1 y D2 tienen un valor de resistencia ubicado entre 2 y 4 [MPa] lo que le permite asegurar su transporte, puesta en obra y uso para aplicaciones no portantes (Salas J., 1985)

La densidad de la muestra D2, es 1439 [kg/m<sup>3</sup>] lo cual le ubica dentro de los materiales por debajo de los 1,5 [g/cm<sup>3</sup>], por lo tanto se le considera como material muy ligero (Serrano Tomas, 2012). La baja densidad es una ventaja que incide favorablemente en el transporte y el costo de construcción.

## **5.2. ANÁLISIS DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA**

Con la muestra D2 se realiza la prueba de conductividad térmica explicada en el subcapítulo 4.8.2. en donde se obtiene el valor de 0.30 [W/m<sup>°K</sup>]. Como se puede ver en la Fig. 5.2 este dato es significativamente menor que el que se obtuviera sin incluir cascarilla de arroz, el cual estaría alrededor de 1.5 [W/m<sup>°K</sup>] (Sisman C.B., 2011). Sin embargo es mayor que los aislantes tradicionales. Se muestran como ejemplos el corcho 0.064 [W/m<sup>°K</sup>] y la lana de vidrio 0.030 [W/m<sup>°K</sup>]

En la Fig. 5.2 se encuentra la conductividad térmica de algunos materiales de construcción entre los que se incluye el cemento, el corcho y la lana de vidrio junto con la muestra de mortero con cascarilla de arroz realizada en esta tesis. Aquí se puede ubicar que el valor de conductividad de la muestra obtenida es mayor que los aislantes tradicionales, sin embargo es mucho menor que el cemento.



**Figura 5.2** Conductividad térmica y tipo de material

La prueba anteriormente indicada se realizó en el equipo de conductividad térmica construido en el Laboratorio de Termodinámica con este propósito. Este equipo fue calibrado utilizando como muestra de referencia conocida: plancha de poliestireno. En base a las observaciones realizadas y al valor bibliográfico de la muestra, se determinó que el equipo es exacto. Tiene una tolerancia de  $\pm 0.006$  [W/m<sup>2</sup>K].

## ***CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES***

### **6.1. CONCLUSIONES**

Se han obtenido morteros en los que se incluye la cascarilla de arroz como agregado que presentan resistencias mecánicas entre 2 y 4 MPa, que es el valor mínimo que se esperaría de un bloque para poder ser manipulado y utilizado en aplicaciones no estructurales.

Como era de esperarse la resistencia mecánica disminuye con el porcentaje de cascarilla que se adiciona, sin embargo resulta interesante para construcciones pequeñas cercanas a los lugares donde se encuentra este desecho agroindustrial.

Morteros con dosificación 1:2:5 presentan un coeficiente de conductividad térmica de 0.30 [W/m<sup>2</sup>K], que es aproximadamente dos veces menor que el equivalente con concreto. Esto abre la posibilidad de utilizarse este material para uso no portante tal como el aislamiento térmico o acústico de recintos.

El equipo medidor de conductividad térmica denominado de placa caliente, construido en el Laboratorio de Termodinámica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, cubre un vacío existente en el medio para medir las propiedades térmicas de materiales aislantes. El equipo de placa caliente cumple totalmente con las especificaciones de la norma ASTM C177. El equipo se encuentra este momento realizando sus primeros ensayos y apoyando diversas investigaciones de este centro de estudios. En la prueba de calibración realizada con plancha de poliestireno demostró ser exacto y tener una tolerancia de 0.06 [W/m<sup>2</sup>K].

### **6.2. RECOMENDACIONES**

Se recomienda continuar con las investigaciones relacionadas con la utilización de biomasa residual a fin de encontrar nuevos materiales con lo cual

se lograría no solo un desarrollo tecnológico sino eventualmente reducción de importaciones y menor afectación ambiental.

Continuar con el perfeccionamiento del equipo de conductividad térmica de placa caliente, con el fin de eliminar los errores sistemáticos y reducir la incertidumbre asociada. Realizar un procedimiento de calibración exhaustiva con al menos dos materiales con valores de conductividad conocidos, en diferentes rangos de temperatura. Insistir en la automatización de la temperatura de la guarda con el fin de evitar la presencia constante de una persona para asegurar que la diferencia de temperatura con la placa caliente no exceda los  $0.2^{\circ}\text{K}$ .

Propiciar estudios con la cascarilla de arroz, puesto que es un subproducto industrial abundante en nuestro país, que por el momento no tiene una aplicación práctica para el volumen de producción existente y que por el contrario produce una afectación al ambiente con la práctica extendida de quemarlo frente al problema de la disposición final.

## **Bibliografía**

- Alavez Ramirez Rafael, C. M. (2006). Materiales regionales como recurso bioclimático para techumbres en climas cálidos húmedos. Un caso de estudio en Oaxaca, México. *Naturalez y desarrollo*, 4(1), 64 - 75.
- ASTM. (2013). *Norma ASTM C177, Standard test method for steady state heat flux measurements and thermal transmission properties by means of the guarded hot plate apparatus*. Recuperado el 25 de nov de 2013, de 10.1520/c0177-13, [www.astm.org](http://www.astm.org)
- C.X., D.-F. (2013). Preparation and characterization of masonry units, lightweight concrete based and agro-industrial wastes: A review. *Journal of Physics: Conference Series*, 466(1).
- Cadena C., B. A. (2002). Estudio de la variación en la conductividad térmica de la cascarilla de arroz aglomerada con fibras vegetales. *Ingeniería y Desarrollo en la Universidad del Norte.*, 3 - 9.
- Cadena Carolina Giovanna, B. S. (2002). eStudio de la variación en la conductividad térmica de la cascarilla de arroz aglomerada con fibras vegetales. *Ingeniería y Desarrollo. Universidad del Norte*(12), 8-9.
- Calero F., V. L. (2013). *Desarrollo experimental de un aislante térmico utilizando cascarilla de arroz y aglutinante naturales en planchas rígidas*. Sangolqui: Tesis de grado, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- California Energy Commission. (enero de 2014). *California Energy Commision*. Recuperado el 13 de abril de 2014, de <http://www.energy.ca.gov/accessibility.html>
- Campos, I., Méndez, H., & Salas, M. (Abril de 2013). *Instituto Costarricense del Acero y el Cemento*. Recuperado el 02 de abril de 2014, de <http://boletin->

icccyc.com/files/files/ARTICULO%20ABRIL%20Calculador%20Huella%20de%20Carbono%20para%20Edificaciones.pdf

CEPAL. (2010). *La huella del carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios*. Santiago de Chile: Naciones Unidas.

Chiang Kung-Yuh, C. P.-H.-R.-L. (2009). Lightweight bricks manufactured from water treatment. *Hazard Mater*, 171, 76 - 82.

Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo. (1988). *Nuestro Futuro Común*. Madrid: Alianza Editorial.

Comite ejecutivo de la norma ecuatoriana de la construcción. (2011). Eficiencia energética en la construcción. En *Norma Ecuatoriana de la Construcción* (págs. 0 - 51). Quito.

Cotera, G. d. (10 de 07 de 2014). *ASOCEM asociación de productores de cemento*. Obtenido de [http://www.asocem.org.pe/scmroot/bva/f\\_doc/concreto/MGC30\\_morteros\\_arroz.pdf](http://www.asocem.org.pe/scmroot/bva/f_doc/concreto/MGC30_morteros_arroz.pdf)

Cotopaxi noticias. (17 de junio de 2014). Obtenido de Cotopaxi. Primer periódico multimedia del centro del país.: <http://cotopaxinoticias.com/seccion.aspx?sid=11&nid=987>

Echeverría Manuel, L. O. (2010). *Caracterización energética de la cascarilla de arroz para su utilización en la generación termoeléctrica*. Quito: Tesis de grado. Facultad de Ingeniería Mecánica.

FCC Construcción. (Febrero de 2011). *www.anavam.com*. Recuperado el 05 de abril de 2014, de <http://www.anavam.com/docs/foroXI-ponencia-mesadebate-Sectores%20difusos-Construccion.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 Google academics.
- Fernández, V. J., & Varela, E. A. (2012). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MURO CONFINADO DE BLOQUES ALIGERADOS DE SUELO-CEMENTO.
- GHALI, A., FAVRE, R., & ELDBADRY, M. (2002). *CONCRETE STRUCTURES Stresses and Deformation* (Third ed.). London: Spon Press.
- Gökhan Görhan, O. S. (2013). Porous clay bricks manufactured with rice husks. *Construction and building materials*, 40, 390 - 396.
- INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACION. (2012). Bloques Huecos de Hormigón. Muestreo y Ensayos. *INEN 639 Segunda revisoón , Primera*. Quito, Ecuador.
- J., S., & J., C. (1985). Materiales de construcción con propiedades aislantes en base a cascara de arroz. *Informes de la construcción*, 37(372), 53 - 64.
- Jacobo Guillermo José, V. D. (2004). Materiales aislantes en la edificación arquitectónica. *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas(T-094)*.
- Jacobo, G. J., & Edgardo, V. D. (2004). Materiales aislantes en la edificación arquitectónica. *Comunicaciones científicas y tecnológicas*, T-094.
- Jaime Gutierrez M.D., C. C. (2014). Thermal insulation produced from rice husk agglomerated using starch produced by *saccharomyces cerevisiae* [Aislamiento térmico producido a partir de cascarilla de arroz aglomerada utilizando almidón producido con *saccharomyces cerevisiae*]. *DYNA (Colombia)*, 138 - 143.

- Kumar A., M. K. (Octubre de 2012). Properties and industrial applications of Rice husk: A review. (E. r. innovations, Ed.) *International Journal of emerging technology and advanced engineering*, 2(10), 86 - 90.
- Lopez R., M. J. (2000). Equipo para evaluar en forma experimental el coeficiente de conductividad térmica de los materiales de construcción. *Revista mexicana de física*, 47(2), 148 - 152.
- Mangesh V. Madurwar, R. V. (2013). Application of agro-waste for sustainable construction materials: A review. *Construction and Building Materials*, 38, 872 - 878.
- María, M. J. (2012). *Self sufficient green architecture*. Barcelona: Instituto Monsa de ediciones.
- Martina P, A. A. (2003). Fabricación de un equipo de placa caliente para determinación de la conductividad térmica de materiales. Uso en investigación y docencia. *Universidad Nacional del Nordeste, Comunicaciones científicas y tecnológicas*.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. (2012). *Geoportal del Agro ecuatoriano*. Obtenido de <http://geoportal.magap.gob.ec/geonetwork/srv/spa/metadata.show>
- MINVU. (1999). Manual de Aplicación Reglamentación Térmica.
- MINVU. (2006). Manual de aplicación reglamentación térmica. En *Ordenanza general de Urbanismo y construcción*. Santiago.
- Molinar Higuera, J. H. (2010). Evaluación térmica de un material atípico para uso como aislante térmico en construcciones civiles. *INTEC JOURNAL*, 1(1), 87 - 95.

- Muñoz Alejandro, C. F. (2006). Evaluación de la celulosa de papel y de las cenizas de carbón, como materiales aislantes alternativos. *DYNA*(148), 1 - 8.
- Nabi Yuzer, Z. C. (2013). Influence of raw rice husk addition on structure and properties of concrete. *Construction and building materials*, 44, 54 - 62.
- 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*.
- Neila, B. (1997). *Técnicas de acondicionamiento ambiental. Fundamentos arquitectónicos*. Madrid: Editorial Universitaria.
- Noticias Jurídicas. (16 de Agosto de 2006). *Noticias Jurídicas*. Recuperado el 13 de abril de 2014, de [http://noticias.juridicas.com/base\\_datos/CCAA/ca-d21-2006.html](http://noticias.juridicas.com/base_datos/CCAA/ca-d21-2006.html)
- Organización Mundial de la Salud. (21 de 06 de 2014). *Organización Mundial de la salud*. Obtenido de <http://www.who.int/es/>
- Pérez Carrion, M. T., Baeza Brotons, F., Garcés Terradillos, P., Galao Malo, O., & Payá Bernabeu, J. (19 de Abril de 2013). Uso Potencial de ceniza de lodo de depuradora como sustitución de árido fino en bloques de Hormigón prefabricados. *Dyna*, 142-150.
- 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.

- R, S. (1999). *Propuesta preliminar de un sistema de clasificación de vegetación para el Ecuador Continental. Proyecto INEFAN/GEF-BIRF y Ecociencia.* Quito.
- Ross, C. T., & Chilver, A. (1999). *Strength of materials and structures* (Cuarta ed.). Butterworth-Heinemann.
- Salazar C., J., Garcia O., C., & Olava, J. (1988). Dosificación de hormigones ligeros con cascarilla de café. *Ingeniería Agrícola*, 51 - 56.
- senplades. (2009-2013). [http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/07/Plan\\_Nacional\\_para\\_el\\_Buen\\_Vivir.pdf](http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/07/Plan_Nacional_para_el_Buen_Vivir.pdf). Recuperado el 12 de febrero de 2013
- SENPLADES. (2012). *Transformación de la matriz productiva. Revolución productiva a través del conocimiento y del talento humano.* Quito: Ediecuatorial.
- SENPLADES. (2013). *Plan Nacional de Desarrollo.* Quito.
- Serrano Julian, C. J. (julio de 1985). Materiales de construcción con propiedades aislantes a base de cascara de arroz. (C. S. Científicas, Ed.) *Informes de la construcción*, 37(372).
- Serrano Tomas, B. V. (2012). MORTEROS ALIGERADOS CON CASCARILLA DE ARROZ: DISEÑO DE MEZCLAS Y EVALUACIÓN DE PROPIEDADES. *DYNA*, 79(175).
- Serrano, & Castro. (1985). Materiales de construcción con propiedades aislantes a base de cascarilla de arroz. *Informes de la Construcción*.
- Sisman C.B., G. E. (2011). Effects of organic waste (rice husk) on the concrete properties for farm buildings. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 17(1), 40 - 48.

- Tapia Clotario, P. C. (2009). *Comparación de las propiedades de compuestos en base de polímeros en mezcla con diversos residuos agroindustriales del Ecuador*. Recuperado el 17 de 01 de 2014, de <http://www.dspace.espol.edu.ec>
- Treviño A., S. J. (2003). El desarrollo sustentable: Interpretación y análisis. *Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambinete y Desarrollo*, 6(21), 55 - 59.
- White, T. P. (1992). *Resistencia de Materiales* (Vol. 46). Universidad de Salamanca.
- Xaman. J, L. L. (2009). Analysis of the temperature distribution in a guarded hot plate apparatus for measuring thermal conductivity. *Applied thermal Engineering*, 29, 617 - 623.

ANEXO A

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE  
 LABORATORIO D TERMODINAMICA  
 Toma De DATOS PRINCIPALES DE LABORATORIO  
 ING. FRANCISCO TERMEUS PAEZ

Hora	7:45	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00
T1	84,8	27,9	24,4	20,9	20,3	19,3	19,4	18,8	18,5	18,2
T2	24,2	22,2	21,5	21,1	20,5	19,9	19,6	19,2	18,7	18,4
T3	18,2	18,1	16,8	16,3	15,9	15,5	15,2	15,0	14,9	14,6
T4	12,2	12,2	15,8	15,4	15,12	14,7	14,5	14,2	14,1	13,9
V1	7,53	7,52	7,94	7,99	7,99	8,12	8,12	8,10	8,05	8,04
V2	8,95	9,53	7,43	7,43	7,47	6,30	6,30	6,30	5,92	5,92
Tc	19,50	19,20	18,60	18,50	18,40	18,30	18,20	18,20	17,90	17,90
Hora	12:30	12:00	13:30	14:15	15:00	15:30	16:00			
T1	12,9	17,7	17,1	13,4	13,4	17,9	13,6			
T2	18,2	18,2	18,0	12,5	17,6	13,5	17,5			
T3	12,5	14,5	14,4	14,1	14,1	14,1	14,1			
T4	13,3	13,18	13,17	13,5	13,5	13,5	13,4			
V1	8,04	8,10	8,81	8,54	9,06	20,23	9,25			
V2	5,40	4,95	4,43	4,44	4,44	4,44	4,44			
Tc	12,9	18,0	17,19	18,1	18,1	22,9	17,8			

27.3  
 55.3  
 2