



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

**MAESTRIA EN ENERGÍAS RENOVABLES
PROMOCIÓN III**

**TESIS DE GRADO MAESTRÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES
III PROMOCIÓN**

**TEMA: “ANÁLISIS Y DESARROLLO PARA LA FABRICACIÓN DE
BLOQUES DE HORMIGÓN COMO AISLANTES TÉRMICOS BASADOS EN
LA BIOMASA DE LA CASCARILLA DE CACAO APTO PARA
CONSTRUCCION EN EDIFICACIONES”.**

AUTOR: CARRERA HIDALGO, ALVAO ISAAC

DIRECTOR: DR. ARQ. VELASCO ROLDAN, LUIS

SANGOLQUÍ - 2015

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR

El suscrito Dr. Arq. Luis Velasco Roldan, con cedula de identidad No AAH986981, en calidad de Director de Tesis de la Maestría en Energías Renovables,

CERTIFICA

Que el presente proyecto de grado que lleva como título, **“ANÁLISIS Y DESARROLLO PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE HORMIGÓN COMO AISLANTES TÉRMICOS BASADOS EN LA BIOMASA LA CASCARILLA DE CACAO APTO PARA CONSTRUCCION EN EDIFICACIONES”** realizado por el Ingeniero ALVARO ISAAC CARRERA HIDALGO, de nacionalidad ecuatoriana, con cédula de identidad No. 1716134521, como requisito para la obtención del título de Magíster en Energías Renovables, III Promoción de la ESPE, fue desarrollada bajo mi dirección y asesoría. La misma que cumple con los requerimientos científicos, tecnológicos y académicos, razón por la cual autorizo su presentación y defensa.

Sangolquí, 02 de junio de 2015



DR. ARQ. LUÍS VELASCO ROLDÁN
DIRECTOR

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

ALVARO ISAAC CARRERA HIDALGO

DECLARO QUE:

El proyecto de postgrado denominado “ANÁLISIS Y DESARROLLO PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE HORMIGÓN COMO AISLANTES TÉRMICOS BASADOS EN LA BIOMASA LA CASCARILLA DE CACAO APTO PARA CONSTRUCCION EN EDIFICACIONES” ha sido desarrollado en base a una investigación, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme a las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

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

Sangolquí, 02 de junio de 2015

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, stylized loop and a smaller mark below it.

ING. ALVARO ISAAC CARRERA HIDALGO

AUTOR

AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Yo,

ALVARO ISAAC CARRERA HIDALGO

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución, el trabajo titulado: “ANÁLISIS Y DESARROLLO PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE HORMIGÓN COMO AISLANTES TÉRMICOS BASADOS EN LA BIOMASA LA CASCARILLA DE CACAO APTO PARA CONSTRUCCION EN EDIFICACIONES”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 02 de junio de 2015



Ing. Alvaro Isaac Carrera Hidalgo

AUTOR

DEDICATORIA

Este esfuerzo lo dedico a familia que estuvo apoyándome incondicionalmente en todo momento. A mi esposa Viviana y mi hijo Isaac que son mi motor y más grande orgullo y por quien me esfuerzo cada día más.

AGRADECIMIENTOS

A todas las personas que de una u otra forma me colaboraron para terminar esta investigación. A los Doctores Luis Velasco Roldan y Leonardo Goyos por su apoyo incondicional.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR	ii
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN	iv
AGRADECIMIENTOS	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
INDICE DE TABLAS	xiii
RESUMEN	xiv
INTRODUCCIÓN	¡Error! Marcador no definido.
CAPÍTULO 1	1
GENERALIDADES	1
1.1. Responsables del proyecto	1
1.2. Colaboradores científicos y profesionales	1
1.3. Área del tema	1
1.4. Institución beneficiaria del proyecto	1
1.5. Institución auspiciante del proyecto	1
1.6. Beneficiarios potenciales del proyecto	2
1.7. Localización geográfica	2
1.8. Duración del proyecto	2
1.9. Área de Influencia	3
1.10. Antecedentes	4
1.11. Definición del problema	6
1.12. Justificación e importancia	7
1.13. Objetivos	9
1.13.1. Objetivo general	9
1.13.2. Objetivos específicos	9
1.14. Alcance del proyecto	9
CAPÍTULO 2	11

MARCO TEÓRICO	11
2.1. Construcción sostenible	11
2.2. Eficiencia energética	13
2.2.1. Conceptos generales.....	13
2.2.2. Aislamiento térmico en edificios	15
2.3. Huella ecológica	17
2.3.1. Cambio climático y emisiones de CO2	17
2.3.2. Emisiones de CO2 en edificaciones	17
2.3.3. Mitigación del cambio climático en el sector edificatorio	18
2.3.4. La biomasa como alternativa de reducción de emisiones.....	19
2.3.5. Huella ecológica y huella de carbono	20
2.3.6. Huella de carbono en el sector de la construcción.....	21
2.3.7. Riesgos en la salud humana por los materiales de construcción.....	22
2.3.8. Materiales biológicos	22
2.4. Características de los materiales de construcción	23
2.4.1. Coeficiente de conductividad térmica	23
2.4.2. Método de la lámina caliente	26
2.4.3. Coeficiente de transferencia de cerramientos.....	27
2.4.4. Conductividad térmica en bloques.....	29
2.4.5. En placas (muros y techos)	31
2.4.6. Resistencia.....	32
2.4.7. Resistencia en bloques	32
2.4.8. Durabilidad. Pérdida de prestaciones	35
2.5. Aislantes térmicos	35
2.5.1. Aislantes térmicos convencionales.....	35
CAPÍTULO 3.....	39
METODOLOGÍA.....	39
3.1. Bloques de cascarilla de cacao	39
3.2. Biomasa disponible en Ecuador de interés para el estudio.....	40
3.2.1. Cascarilla de cacao	40
3.2.2. Descripción de la biomasa	41
3.2.3. Localización y cantidad de biomasa cacao.....	41

3.2.4. Características de interés de biomasa cacao	42
3.2.5. Poder calorífico	43
3.3. Posibilidades de aglomeración de la biomasa	44
3.3.1. Con aglomerante cemento	44
3.3.2. Aditivos	45
3.3.3. Ensayo de bloques de cemento con cascarilla de cacao.....	45
3.3.4. Granulometría de la biomasa	48
3.4. Panel aislante a base de cascarilla de cacao	54
3.4.1. Procedimiento para la elaboración	54
3.4.2. Panel Aislante (P3).....	56
3.4.3. Panel aislante (P04)	57
3.5. Conclusiones de los ensayos P03 y P04 con cáscara de cacao.....	58
3.5.1. Resultados del panel P03.....	58
3.5.2. Resultados del panel P04.....	59
CAPÍTULO 4.....	61
DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	61
4.1. Determinación de las variables y parámetros de control.....	61
4.1.1. Aplicación en bloques.....	61
4.1.2. Conductividad	62
4.1.3. Humedad.....	63
4.1.4. Resistencia.....	63
4.2. Materiales y equipo	64
4.2.1. Aparato de medición de conductividad	64
4.2.2. Moldes y sistemas de prensado	68
4.2.3. Prensa rompe cilindros de hormigón - Máquina de compresión	69
4.3. Protocolo de medición de las propiedades físicas y mecánicas.....	70
4.3.1. Planificación y protocolo de medición de conductividad	70
4.3.2. Planificación y protocolo de medición de humedad	77
4.3.3. Planificación y protocolo para pruebas de resistencia a la compresión	81
4.3.4. Pruebas con probetas cilíndricas.....	81
5.1.1. Pruebas con bloques.....	85
5.2. Modelo de evaluación de resultados	85

CAPÍTULO 5.....	87
ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	87
5.1. Datos obtenidos.....	87
5.2. Estadísticas y análisis en bloques de hormigón con cáscara de cacao.....	87
5.2.1. Conductividad.....	87
5.2.2. Resistencia a la compresión.....	91
5.2.3. Humedad.....	94
5.2.4. Huella de carbono.....	94
5.2.5. Coste de elaborar un bloque de hormigón con cáscara de cacao.....	96
5.2.6. Precio Unitario para la elaboración de bloque de hormigón.....	97
5.2.7. Ciclo de vida del bloque de cáscara de cacao.....	97
CAPÍTULO 6.....	99
ANÁLISIS DEL COSTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	99
6.1. Análisis de costos de la investigación.....	99
6.2. Análisis de costos de estudio de campo.....	100
6.3. Costos directos.....	101
6.4. Costos indirectos.....	102
6.5. Análisis de costos del estudio experimental.....	103
6.5.1. Costos directos.....	103
6.5.2. Costos indirectos.....	104
6.6. Costo total de la investigación.....	104
CAPÍTULO 7.....	106
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	106
7.1. Conclusiones.....	106
7.2. Recomendaciones.....	107
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	109
ANEXOS.....	112
ANEXO 1.....	113
ANEXO 2.....	117

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Mapa de área de influencia para el proyecto con cascarilla de cacao.....	3
Figura 2	Etapas del ciclo de vida de una edificación. (Acosta Domingo, 2005).....	12
Figura 3	Acciones de promoción de eficiencia energética. (Horta Luiz, 2010)	14
Figura 4	Ejemplo de cadena de suministro para la construcción.....	17
Figura 5	Potencial de de CO2 en sectores productivos.....	19
Figura 6	Distribución de emisiones de GEI a nivel mundial y en Latinoamérica.....	21
Figura 7	Probeta de ensayo con material aislante.	27
Figura 8	Gráfico de transferencia de calor. (Incropera, 1996)	28
Figura 9	Porcentaje del área cultivada, III Censo Nacional Agropecuario, 2000	42
Figura 10.	Porcentaje del área cultivada por provincia Fuente: III Censo Nacional.....	43
Figura 11	Medidas del bloque de cemento	46
Figura 12	Selección de máquina troceadora.....	47
Figura 13	Pasos para el trocear la cáscara de cacao	48
Figura 14	Medida de la cáscara troceada de cacao.....	49
Figura 15	Elementos para la fabricación del bloque.....	49
Figura 16	Pasos para la fabricación del bloque de cemento	50
Figura 17	Fotografías finales del bloque aislante.....	51
Figura 18	Fotografías finales del bloque aislante B2.....	52
Figura 19	Medida de los paneles aislantes	54
Figura 20	Medida de los paneles aislantes	55
Figura 21	Vistas de molde para la fabricación de los paneles aislantes.....	55
Figura 22	Cola blanca Industrial (blanca, 2010)	56
Figura 23	Mezcla de materiales y aglomerados panel P3.....	57
Figura 24	Mezcla de materiales y aglomerados panel P3.....	59
Figura 25	Mezcla de materiales y aglomerados panel P4.....	60
Figura 26	Placa caliente	65
Figura 27	Equipo de refrigeración.....	65
Figura 28	Tarjeta de control de sistema de placa caliente	66
Figura 29	Máquina de medición de coeficiente térmico.....	67
Figura 30	Molde de madera para fabricación de bloques.....	68
Figura 31	Molde de metal para tableros o paneles	69
Figura 32	Sistema de prensado del molde de metal	69
Figura 33	Máquina de compresión.....	70
Figura 34	Encendido del sistema de enfriamiento.....	71
Figura 35	Comprobación de temperaturas en placa caliente	72
Figura 36	Instalación del material de prueba en el equipo	73
Figura 37	Estabilización de temperaturas entre placa fría y placas calientes.....	74
Figura 38	Envoltura plástica para evitar pérdidas	76
Figura 39	Muestras de cacao desmenuzado	77
Figura 40	Prueba de humedad	78

Figura 41	Peso de la muestra húmeda	78
Figura 42	Pruebas de humectación/secado	80
Figura 43	Peso de ingredientes para probeta de biomasa	82
Figura 44	Elaboración de masa de probetas.....	83
Figura 45	Compactación de probetas	83
Figura 46	Desmolde de probetas	84
Figura 47	Ensayo de compresión	84
Figura 48	Resultados de coeficiente de conductividad térmica en bloques.....	88
Figura 49	Resultados de coeficiente de conductividad térmica en granel.	89
Figura 50	Resultados de coeficiente de conductividad térmica en bloque y granel.	89
Figura 51	Resultado de dispersión Densidad Vs. Resistencia	90
Figura 52	Diferencia de temperatura.....	90
Figura 53	Resultados de pruebas de resistencia a la compresión en probetas.....	92
Figura 54	Componentes de cemento, arena y biomasa	92
Figura 55	Dimensiones del bloque de cacao C3 y resultados de resistencia.	93
Figura 56	Gráfica de huella de carbono para la elaboración de bloque de cacao.	95
Figura 57	Proceso de fabricación de bloques de cáscara cacao.....	96
Figura 58	Diagrama de Gantt de ejecución de proyecto	99
Figura 59	Proceso de investigación para bloques de cáscara de cacao	101

INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Comparativa de conductividad térmica para diferentes materiales.....	30
Tabla 2	Aislantes térmicos comunes.....	37
Tabla 3	Aislantes térmicos comunes.....	38
Tabla 4	Poder calorífico de cáscaras de cacao por tipo.....	43
Tabla 5	Tipo y uso de bloques de acuerdo a norma INEN 638.....	44
Tabla 6	Proporciones de mezcla para fabricación bloque B1.....	50
Tabla 7	Proporciones de mezcla para fabricación bloque B2.....	51
Tabla 8	Resultado de evaporación de humedad del bloque B01 y B02.....	52
Tabla 9	B10, Peso seco 4210 gr.....	53
Tabla 10	B12, Peso seco 3050 gr.....	53
Tabla 11	B13, Peso seco 3420 gr.....	53
Tabla 12	B14, Peso seco 2840 gr.....	54
Tabla 13	Porcentaje de mezcla Panel P3.....	56
Tabla 14	Porcentaje de mezcla Panel P4.....	58
Tabla 15	Porcentaje de evaporación.....	58
Tabla 16	Norma INEN 638 para dimensiones de bloques.....	62
Tabla 17	Norma INEN 643 de resistencia mínima de compresión.....	86
Tabla 18	Resultados de las pruebas de medición de conductividad térmica.....	87
Tabla 19	Precio Unitario para la elaboración de bloque de hormigón.....	97
Tabla 20	Impacto durante el ciclo de vida de la elaboración de un bloque.....	98
Tabla 21	Matriz de riesgo para elaboración de bloque de cáscara de cacao.....	98
Tabla 22	Costos directos del estudio de campo.....	102
Tabla 23	Coste de producción para la elaboración de muestras de prueba.....	102
Tabla 24	Costo indirecto del estudio de campo.....	103
Tabla 25	Costos directos del estudio experimental.....	103
Tabla 26	Costo indirecto del estudio experimental.....	104
Tabla 27	Costo por misceláneos.....	104
Tabla 28	Costo total de la investigación.....	105

RESUMEN

La presente investigación tiene por objeto analizar la situación actual de los sistemas constructivos del parque edificatorio en el Ecuador y fomentar alternativas que mejoren el hábitat para los climas extremadamente fríos y calurosos que tiene las diferentes regiones del país. El propósito de este trabajo es ayudar a científicos y estudiantes a investigar los posibles usos de los desperdicios generados de la cosecha del cacao y utilizar las mejores alternativas para fines estructurales, que sean amigables con el ambiente, viables económicamente y que garanticen mejorar el confort en las viviendas. Por lo tanto la metodología del presente artículo obtendrá su importancia en la fabricación de prototipos de bloques de hormigón con diferentes concentraciones de biomasa seca los cuales han sido sometidos a pruebas de laboratorio para evidenciar sus mejores características mecánicas y físicas de los cuales se obtuvieron satisfactorios resultados los cuales se puede incentivar para que profesionales, investigadores, docentes de varios Centros de Educación Superior del país, consultores nacionales, extranjeros, y Organismos Internacionales, continúen analizando nuevas alternativas para cambiar las formas de construcción en el país con el fin de reducir el consumo de energía durante la construcción de la edificación.

PALABRAS CLAVES:

CASCARA DE CACAO

CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

AISLAMIENTO TÉRMICO

EFICIENCIA ENERGÉTICA

BLOQUE DE HORMIGÓN.

ABSTRACT

This research aims to analyze the current situation of the construction systems of edificario park in Ecuador and promote alternatives to improve the habitat for extremely cold and hot climates have different regions of the country. The purpose of this article is to help scientists and students to investigate possible uses of waste generated cocoa harvest and use the best alternatives for structural purposes, which are environmentally friendly, economically viable and to ensure improved comfort housing. Therefore the methodology of this article will get its importance in the manufacture of prototypes of concrete blocks with different concentrations of dry biomass which have been subjected to laboratory tests to demonstrate their best mechanical and physical characteristics of which satisfactory results which can be an incentive for professionals, researchers, teachers of various higher education institutions of the country, national consultants, foreign, and international organizations, to continue exploring new ways to change the forms of construction in the country in order to reduce consumption Power during the construction of the building.

KEYWORDS:

COCOA HUSKS

THERMAL CONDUCTIVITY

THERMAL INSULATION

ENERGY EFFICIENCY

CONCRETE BLOCK.

“ANÁLISIS Y DESARROLLO PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE
HORMIGÓN COMO AISLANTES TÉRMICOS BASADOS EN LA BIOMASA LA
CASCARILLA DE CACAO APTO PARA CONSTRUCCION EN
EDIFICACIONES”

El Ecuador al ser un país cacaotero genera cientos de toneladas de desecho orgánico que queda luego de la cosecha del fruto, una vez que se extrae la mazorca, la cascara es arrumada, quedando inutilizado y en ocasiones se lo utilizar como abono o alimento para ganado. Comúnmente la cascara se descompone rápidamente en un ambiente húmedo, pero si a este se le realiza un proceso de secado toma características sólidas muy compactas, se estima que una hectárea de cacao produce alrededor de 30 toneladas de fruto y de eso solo una tonelada es la mazorca, las 29 toneladas restantes es la cascara que se desecha. El objetivo de esta investigación busca incentivar el uso de esta materia inutilizada para introducirle en el mercado de la construcción, con esto se pretende desarrollar bloques de hormigón mezclados con cascara de cacao, cemento y arena para determinar la mejor condición de resistencia y que sea un buen aislante térmico. Con esos resultados se puede incentivar para que profesionales, investigadores, docentes de varios Centros de Educación Superior del país, consultores nacionales, extranjeros y Organismos Internacionales continúen analizando e investigando nuevas alternativas para cambiar las forma tradicional de la construcción en el Ecuador, con el fin de utilizar las mejores alternativas para fineses estructurales, que sean amigables con el ambiente, viable económicamente y que garanticen mejorar el confort en las viviendas.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1. Responsables del proyecto

El ejecutor responsable del proyecto es:

Ing. Álvaro Isaac Carrera Hidalgo

1.2. Colaboradores científicos y profesionales

Los colaboradores científicos del proyecto son:

Dr. Luis Velasco Roldán

1.3. Área del tema

El área del tema del proyecto es:

Energía y Mecánica

1.4. Institución beneficiaria del proyecto

Las instituciones beneficiarias del proyecto son:

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Laboratorio de Energías Renovables.

1.5. Institución auspiciante del proyecto

La institución auspiciante del proyecto es:

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

1.6. Beneficiarios potenciales del proyecto

El proyecto está desarrollado para permitir introducir los desechos de la cáscara de cacao en la fabricación de bloques de hormigón y utilizarlos en el mercado de la construcción de viviendas con el objetivo de mejorar sus características mecánicas, térmicas y abaratar su coste.

En el ámbito académico, los Alumnos de Maestría en Energías Renovables y de las carreras de Ingeniería de Universidades Públicas y Privadas, así como los grupos de investigación multidisciplinarios involucrados en este proyecto se beneficiarán del aporte científico generado.

Entidades Gubernamentales y de sectores estratégicos como El Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI) y El Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos tendrán la base que generará continuidad en proyectos de este tipo para el beneficio común y el cambio de la matriz energética ecuatoriana.

1.7. Localización geográfica

El proyecto y su desarrollo científico se localizan en El Campus de la matriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, se halla ubicado en el valle de Los Chillos en Sangolquí, a una distancia de 22 kilómetros al Sur Este del Centro Colonial de Quito a una altitud de 2.510 metros sobre el nivel del mar. Bajo estas condiciones ambientales se desarrollarán las pruebas y prototipos de investigación que serán ensayados en el Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, en los laboratorios de Energía Renovables ESPE.

1.8. Duración del proyecto

El tiempo de duración del proyecto de investigación es de doce meses posteriores a la aprobación del perfil de proyecto de grado de Magister en Energías Renovables.

1.9. Área de Influencia

Para analizar el área de influencia del proyecto es necesario pensar en los lugares geográficos donde se produce la biomasa de cascarilla de cacao, para lo cual toma importancia la utilización del mapa de biomásas del Ecuador en donde se han establecido los siguientes sectores indicados a continuación:



Figura 1 Mapa de área de influencia para el proyecto con cascarilla de cacao.

Para el caso del cacao, las zona de cultivo es más limitada, reduciéndose específicamente a la región costa, desde el nivel del mar hasta los 500 m.s.n.m., principalmente en las provincias de Guayas, Los Ríos y Manabí; con cultivos específicos en zonas del oriente principalmente en la provincia del Napo, aunque históricamente el Oriente Ecuatoriano fue el primer lugar de cultivo de cacao en el Ecuador.

La producción de cacao en el mundo está limitada a unos pocos países. Del total de los granos cosechados en 2011, el 74.8% se cultivaron en África, el 13% en Asia y el 12.1% en América. Aun cuando los porcentajes varían año

tras año, África sigue siendo el rey del cacao. Al contrario de lo que se podría pensar, países con tradición chocolatera como México o Ecuador sólo representan un pequeño porcentaje del total consumido en el mundo. (Llavona, 2011)

1.10. Antecedentes

En un contexto global, la utilización de biomásas para su empleo en materiales de construcción son históricamente conocidos, en Ecuador, el uso de biomasa se ha estructurado en todas las regiones del País: Costa, Sierra, Oriente e Insular. Cada clima con su propia biodiversidad ha permitido que los habitantes con el conocimiento empírico de los recursos existentes puedan adaptarlos a su entorno. El bahareque es ejemplo de ello, utiliza carrizo para fortalecer la estructura de barro y arcilla. Su utilización es más difundida en la región sierra, así como las viviendas con techo de paja. En la costa en zonas como Esmeraldas, se utiliza la palma de pambil para estructurar casi completamente una vivienda rural, su uso es generalizado y ha sido heredado hasta el día de hoy. En las regiones urbanas de la costa, donde se centran niveles de pobreza elevados, las construcciones se realizan con caña guadúa, vegetación endémica del lugar. (Yépez Tambaco, 2012). De esta biomasa, por su utilización ampliamente difundida se han desarrollado trabajos de arquitectura como el enunciado por la empresa constructora DouglasDreher, cuya vivienda se basa en paneles de caña guadúa.

En lo referente a bagazo caña de azúcar son innumerables las investigaciones realizadas sobre su uso para aprovechamiento energético, priorizando su utilización en obtención de energía eléctrica a través de cogeneración (Instituto Cubano de Investigaciones de los derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA, 2015), también se enfatiza en el aprovechamiento de la caña para biocombustibles (Juan Domínguez, 2011). En el área de la

construcción se analiza el bagazo de caña para reforzamiento de cementos como material puzolánico donde se lo compara con otras biomásas como cascarilla de arroz y hojas de maíz (Águila Arboláez, 2005); o se estudia la mezcla idónea para ensayos de resistencia para sustitución de cemento (MARCOS, 2009); trabajos que enfatizan la caracterización química y física del bagazo (CARMONA DURÁN, 2011), inclusive se han desarrollado empresas dedicadas a la fabricación de bloques con esta combinación como es el caso de la colombiana ECOMAT S.A.

Existen otros trabajos que analizan la fabricación de materiales de construcción: bloques y tableros con el uso del bagazo sin pasar por procesos de calcinación. Se encuentra mayor cantidad de investigaciones en la fabricación de bloques, con el uso de fibra de bagazo para recuperar resistencia mecánica (Reyes Bañuelos, 2008) como con la mezcla de fibra con agregados pétreos (Pozo García, 2011). Los trabajos realizados para tableros enfatizan las características mecánicas de los mismos y sus cualidades físicas y estéticas (Reyes, 2012) también se realizan comparaciones con otros tipos de biomásas como el aserrín y el papel-cartón (Rojas, 2013). En Ecuador, la creación de tableros a partir de bagazo se ha desarrollado en los últimos años (CASIAS, 2013) con la implementación de técnicas establecidas en la fabricación de aglomerados industrializados.

Para la cáscara de cacao, se encuentran trabajos de caracterización de la biomasa con fines principalmente para obtención de residuos de poder calorífico apto para procesos de generación de energía (Sánchez, 2013) y sus características como aislantes térmicos (Olivares del Valle, 2013). Referencias de investigaciones que consideren la cascarilla de cacao para materiales de construcción no han sido recabadas.

1.11. Definición del problema

El proyecto nace de dos problemáticas presentes en dos sectores productivos del Ecuador. El primero, es la condición esencialmente agrícola del País cuyos procesos conllevan a la generación de residuos agrícolas que exigen grandes cantidades de energía para su procesamiento.

Y el segundo, el sector de la construcción; en Ecuador el incremento de la construcción de las edificaciones, aun viene acompañada de un gran problema, se sigue manteniendo la forma tradicional de construcción y no se fomenta el uso eficiente de los recursos energéticos existentes en el entorno.

Las edificaciones convencionales que realizó el MIDUVI para concretar sus proyectos de desarrollo no siempre tuvieron buenos resultados, muchas de las viviendas fueron abandonadas por no contar con un diseño que permita vivir cómodamente dentro de las mismas debido a los climas cambiantes del Ecuador, un mismo modelo no es aplicable a la Costa, Sierra, Oriente y Región Insular. Se establecen dos problemáticas: el hacinamiento, viviendas con personas habitando en mayor número a su capacidad y sin suficientes servicios básicos y construcción con materiales inadecuados. Una estructura típica de cemento y techos de zinc se tornaba en una estructura fría para los climas de la sierra y extremadamente calurosa para los climas de la costa y Amazonía.

La unión de estas dos problemáticas confluye en el desarrollo de productos de construcción que combinen la utilización de biomasas con sus características de aislación térmica con criterios eficientes de reducción de procesos energéticos para desarrollar ambientes confortables con aplicaciones sostenibles y respetuosas al ambiente para sus procesos de elaboración.

Se desarrolla entonces una investigación en las cualidades de aislación térmica priorizando sobre las características físicas en los bloques de hormigón

con cascarilla de cacao. Producto que se evalúa económicamente para minimizar costos de fabricación y optimización de recursos.

1.12. Justificación e importancia

El Ecuador está comprometido con la generación de proyectos que ayuden a fomentar las posibilidades de modificar la matriz energética desarrollando alternativas sustentables y sostenibles que permitan a los agentes involucrados percibir las ventajas de la utilización eficiente de recursos. De acuerdo al balance energético nacional publicado en el año 2013 por el Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos se estableció una demanda de energía de 94 millones de BEP de los cuales el 13% corresponde al consumo residencial y el 1% al sector de la construcción, del año 2011 al año 2012 el sector de la construcción ha crecido en un 7.6% y el sector residencial 5.4% en consumo de energía. Disgregando un poco más, se tiene que, en referencia al uso de GLP y electricidad el sector residencial representa un 92% y 29% respectivamente del consumo de los mismos. Mayoritariamente en las zonas de Costa y Oriente, el consumo de la mayor demanda de energía eléctrica corresponde al acondicionamiento de ambientes, esto, puede justificarse en parte, al uso de edificaciones convencionales sin el respectivo análisis energético en su desarrollo arquitectónico.

Referenciando al sector de la construcción, el crecimiento de la industria ha sido del 10% en los últimos 12 años; sin embargo, el desarrollo de nuevos modelos constructivos ha sido incentivado únicamente en los últimos años y sus resultados beneficiosos aún no han podido ser evidenciados de manera global dentro del consumo energético del País. El ejemplo más visible de uso de construcción convencional para desarrollo de viviendas en las diferentes regiones del País es el Proyecto MIDUVI, que no presentó resultados de

satisfacción elevada debido a las condiciones específicas de cada zona geográfica establecida para este proyecto.

Se enfatiza entonces, el desarrollo de nuevos proyectos en este sentido, utilizar materiales alternativos que generen confort en las viviendas, que sean amigables con el ambiente y viables económicamente. En Latinoamérica ya se encuentran trabajos que cuestionan el costo ambiental de los materiales de construcción versus el consumo energético desarrollado en todo su ciclo de vida.

Combinando estas dos situaciones en la industria de la construcción y el consumo residencial, se viabiliza el desarrollo de la siguiente investigación, que valida la fabricación zonal de materiales de construcción en base a desechos agrícolas en este caso la cascarilla de cacao, con procesos de elaboración y combinación de biomasa y elementos comunes para lograr identificar la conductividad térmica de los mismos. Engloba entonces, una factible solución a los conflictos descritos anteriormente; el uso de la biomasa de desecho permitirá reducir la huella de carbono que causa su eliminación y permitirá utilizar materiales que intrínsecamente al ser naturales serán amigables con el ambiente, el coste de los mismos consecuentemente disminuirá, reduciendo el costo final de la edificación y volviéndola accesible a los sectores menos favorecidos con proyección a usos más específicos; las características térmicas de los productos de construcción permitirán generar condiciones climáticas confortables dentro de una vivienda, reduciendo, por ende, el consumo de energía eléctrica utilizado para este fin.

1.13. Objetivos

1.13.1. Objetivo general

Investigar y desarrollar boques de hormigón como aislantes térmicos basados en la biomasa utilizando los desperdicios naturales de cáscara de cacao para su aplicación en la construcción de edificaciones.

1.13.2. Objetivos específicos

- Analizar las características mecánicas, físicas y térmicas de los materiales para la construcción con la combinación de cemento con fibras de cascarilla de cacao.
- Elaborar modelos constructivos para el proceso de fabricación de bloques o placas con la combinación de los aglomerados de estudio.
- Explicar la huella ecológica que interviene en la construcción sostenible de los modelos combinados de desechos vegetales.
- Analizar la investigación, como propuesta para establecer costos constructivos para nuevas edificaciones en el Ecuador, que garanticen mejor aislamiento, bajo coste, mejora en eficiencia energética y aplicabilidad pública generalizada.

1.14. Alcance del proyecto

A través de un programa de diseño experimental se pretende obtener bloques de hormigón a partir de los desechos de la cáscara de cacao a través de la caracterización de la conductividad térmica, resistividad y humedad de los materiales utilizados y que puedan ser empleados para la construcción de nuevas edificaciones.

Se enfatiza en las características de estas biomásas en referencia a conductividad térmica, que ha sido poco desarrollada en trabajos anteriores. También se realiza una evaluación de los costos de fabricación para que presenten una ventaja competitiva en relación a los existentes en el mercado.

Al final del desarrollo del trabajo se obtendrán los resultados experimentales y se emitirán criterios para trabajos posteriores en esta área. Se realizará una publicación en una revista internacional calificada dentro de la base Scopus como mínimo en el tercer cuartil.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1. Construcción sostenible

Entendiendo que "superar la cultura de la emergencia para entrar en la de la sostenibilidad, entendida en sentido positivo, como una actuación oportuna en el tiempo a fin de facilitar medidas capaces para prevenir los problemas" (Ezio Mancini, Jordi Bigues) se puede definir la construcción sostenible como el desarrollo del diseño arquitectónico de tal forma que pueda aprovechar los recursos naturales, reducir el impacto ambiental en las edificaciones y sus habitantes. (Contreras Lilian, 2010). Implica aspectos tales como diseño y administración de edificaciones, construcción y rendimiento de materiales y uso de recursos. No limitándose a esto, sino con proyección a desarrollar un urbanismo sostenible no solo en cuanto a recursos sino también a su función como un lugar para vivir.

Las edificaciones después de su construcción siguen generando contaminantes, emisiones. Su ciclo de vida implica impactos ambientales en cada una de sus etapas: materiales de construcción de fuentes naturales, grandes cantidades de energía, costes ecológicos, deposición de residuos y vertederos, etc. Nace el término de "edificios enfermos" por los niveles de compuestos orgánicos volátiles (COV) que pueden tener concentraciones elevadas cientos de veces con relación al exterior en semejanza con lo que se considera en niveles de ruido.

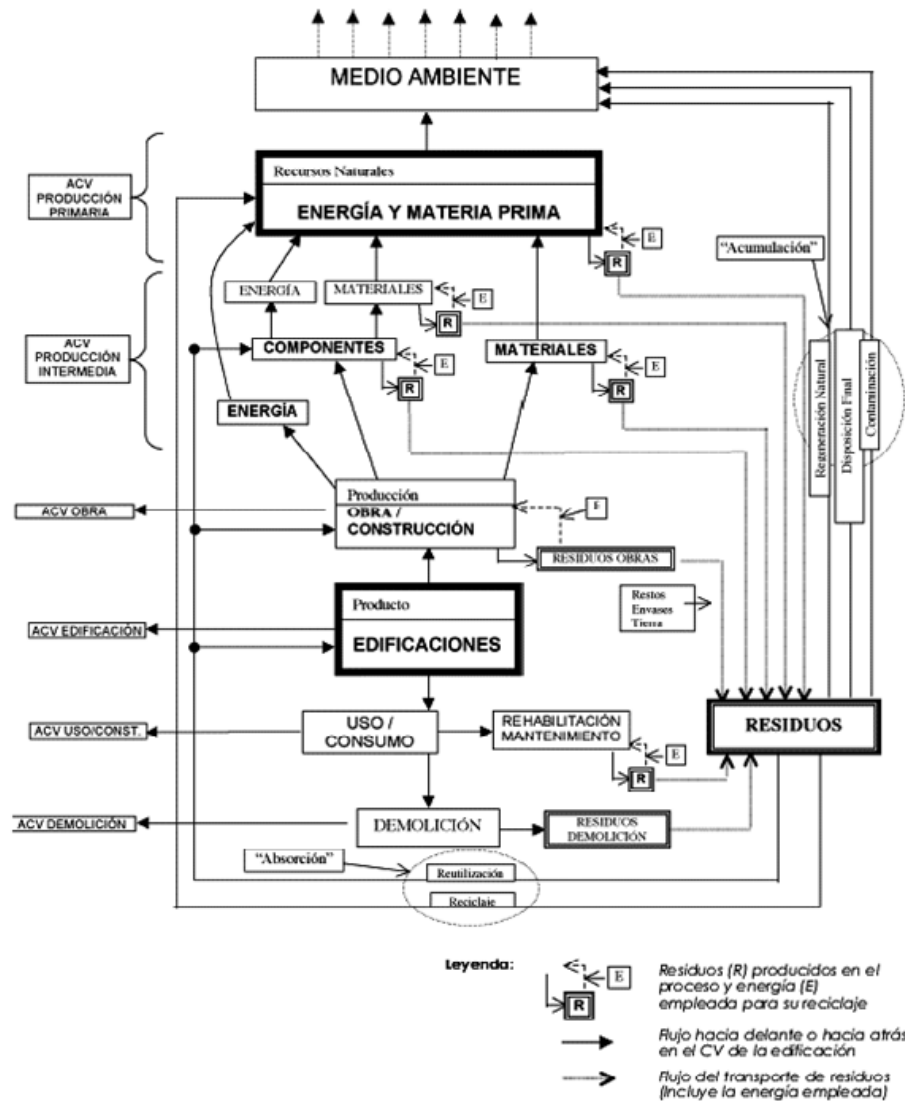


Figura 2. Etapas del ciclo de vida de una edificación.

Fuente: (Acosta Domingo, 2005)

En el año 1996, nacen los 15 puntos de la "Redacción de Berlín" y el mismo año en Copenhague la "Conferencia Europea de Ministros sobre Política de Vivienda Sostenible" expresa que las mejoras y reducción de impacto ambiental en el área de la edificación necesitan de:

- Planeamiento urbano.
- Reducción de las demandas derivadas del transporte.
- Ahorro de agua y energía.
- Tratamiento de desechos de forma especial los materiales de construcción.
- Mejora del clima interior de los edificios.
- Desarrollo de la implicación local en los procesos de planteamiento y la gestión de vivienda.
- Mantenimiento y más rehabilitación de las viviendas existentes.
- Utilización de nuevos materiales constructivos bajo el concepto de sostenibilidad.
- Libertad de circulación de los materiales.

2.2. Eficiencia energética

2.2.1. Conceptos generales

Para hablar de eficiencia energética se debe establecer claramente dos conceptos:

Eficiencia: expresa una productividad o una relación beneficio/costo. Así, una alta eficiencia representa la capacidad de obtener una producción de bienes y servicios con bajo consumo energético.

Eficacia o efectividad: ambas palabras representan el mismo concepto, más genérico y menos consolidado asociado a la realización de metas y objetivos (Horta Luiz, 2010).

Todo proceso que implique la conversión de una fuente primaria de energía, implica uso de grandes cantidades de energía y niveles de pérdidas. Definiendo

de manera resumida como pérdida de energía a la diferencia entre los flujos energéticos consumidos y producidos; si este proceso se anexa a sistemas más y más complejos, la determinación de la eficiencia de un sistema se vuelve complicada y minuciosa.

Por ejemplo, en sectores como el residencial, sólo con alteraciones de hábitos referentes al impacto energético, se puede obtener un ahorro entre el 15% y 30%.



Figura 3 Acciones de promoción de eficiencia energética.

Fuente: (Horta Luiz, 2010)

En países como Ecuador y pudiendo decir Latinoamérica, donde la demanda energética no es exigida por las condiciones ambientales y de desarrollo social, el concepto de eficiencia energética se hace más difuso en relación a países de alto avance social y tecnológico cuyas condiciones ambientales diferencian condiciones de bienestar obligatorias para una supervivencia segura, el concepto de eficiencia se fortalece; por lo que en sí, en Ecuador, la propaganda de eficiencia debe más bien enfocarse a que, mientras más energía pueda ser ahorrada y reutilizada, más personas tendrán acceso a ella, con la consecuente mejora de su calidad de vida y crecimiento, evidentemente, enmarcados en un escenario de desarrollo sostenible.

2.2.2. Aislamiento térmico en edificios

Al hablar de aislación térmica de una edificación, hablamos de su influencia directa en el confort térmico de sus ocupantes, ya que protege la vivienda de condiciones exteriores adversas permitiendo que al interior existan condiciones agradables. El confort térmico depende de la temperatura de confort, que a su vez depende de 4 factores definidos: temperatura del aire, temperatura de radiación de los elementos circundantes, humedad del aire y velocidad del mismo.

La transferencia de calor se produce por conducción, convección y radiación. El aislar una edificación o vivienda hace que este calor no se transmita por conducción desde el interior al exterior en verano y viceversa en invierno. Es así que se utilizan materiales aislantes, cuya función en esencia es resistirse al paso de calor, siendo el material más aislante el que permite mantener quieto el aire en su interior, por ende se encuentran en este grupo los materiales porosos. (Construcción, 2008).

El aislamiento térmico es un factor clave en la gestión energética de edificaciones ya que controla el gasto innecesario por pérdidas debido a la transferencia de calor de un cuerpo a otro. Entre sus principales ventajas se encuentran (Construcción, 2008):

- Ahorran energía al mantener temperaturas de confort.
- Evitan condensación en muros previniendo efectos nocivos y mejorando la higiene ambiental.
- Disminuyen manchas producidas por los puentes térmicos y muchas veces los eliminan ayudando a mantener equilibrios y reduciendo costos por mantenimientos.
- A nivel macro disminuyen gastos en salud y gastos energéticos en viviendas por uso de petróleo y gas.

La elección y el grado de aislamiento se basan en una serie de factores:

- Durabilidad
- Instalación
- Costo
- Impacto ambiental
- Clima
- Efectos tóxicos

Los materiales aislantes naturales pueden ser reutilizados y reciclados, y son totalmente biodegradables. No son tóxicos, son libres de alérgenos y pueden ser manejados con seguridad e instalado.

En Ecuador, existe la norma de la construcción NEC-11 que en su capítulo 13 de Eficiencia energética en la Construcción tiene por objetivo fomentar el diseño y construcción de edificaciones considerando la sostenibilidad, eficiencia y buen manejo de los recursos. 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. 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 (Comité ejecutivo de la norma ecuatoriana de la construcción, 2011)

2.3. Huella ecológica

2.3.1. Cambio climático y emisiones de CO₂

2.3.2. Emisiones de CO₂ en edificaciones

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 CO₂ 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 CO₂ como proyectos de reforestación o similares en el área a intervenir con la edificación; de forma tal que en tales casos, la huella de CO₂ 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).

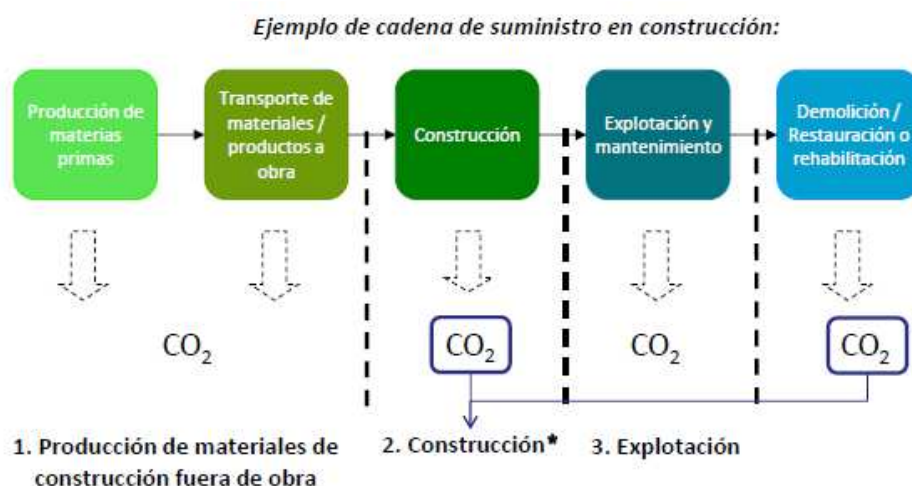


Figura 4. Ejemplo de cadena de suministro para la construcción.

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 CO₂ en la construcción, como complemento al Protocolo para medición y reporte de GEI, conocido como GHG Protocol, desarrollado por el World Resources Institute (WRI). (Carla Barriga, 2010).

El protocolo es usado por empresas de construcción para medir las emisiones de CO₂ resultantes de sus operaciones y de la cadena de suministro. Esta guía puede ser aplicable también a las empresas que fabrican sus propios materiales de construcción.

El protocolo se compone de los siguientes elementos:

- Descripción de las áreas operacionales.
- Identificación de los límites organizacionales
- Alcance y significado de la medición de emisiones.
- Recopilación de la información.
- Identificación de las fuentes de emisiones.

2.3.3. Mitigación del cambio climático en el sector edificatorio

De acuerdo a PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) el sector de la construcción es responsable del más de la tercera parte del uso de energía en la mayoría de ciudades, 30% a 40% de toda la energía primaria; esta energía es consumida mayoritariamente durante la vida útil de la edificación para calentamiento, ventilación, luces, etc. Se considera que solo un 10 a 20% de energía consumida pertenecen a la manufactura de materiales, construcción y demolición. (PNUMA, 2007)

La mitigación del cambio climático se refiere a la reducción de emisiones de GEI, expresadas en toneladas de Dióxido de Carbono Equivalente (tCO₂-eq).

Las edificaciones son las que mayor potencial de reducción de CO₂ y emisiones de GEI presentan únicamente con la utilización de buenas prácticas y mejores tecnologías. (IPCC, 2007)

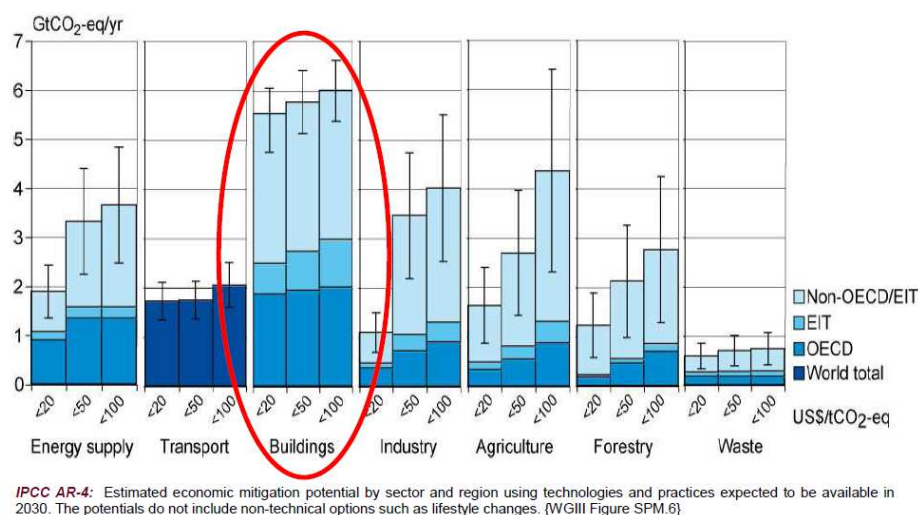


Figura 5. Potencial de CO₂ en sectores productivos

2.3.4. La biomasa como alternativa de reducción de emisiones

La biomasa es considerada como una fuente de energía renovable que puede ser usada en sustitución de los combustibles fósiles. La obtención de energía a partir de biomasa es un proceso considerado carbono neutro pues las emisiones del proceso son equilibradas con el CO₂ absorbido previamente por las plantas. (CER, 2014.) Siempre y cuando se vuelva a restituir a la especie que fue utilizada.

Es importante resaltar que el aprovechamiento energético supone “convertir un residuo en un recurso”, de esta forma se consigue gestionar residuos procedentes de podas y limpieza de bosques, rastrojos y podas agrícolas, disminuyendo el riesgo de incendios, enfermedades y plagas, y su propagación,

y a su vez dando un valor a los residuos para que sean aprovechados y reutilizados. (IDEA, 2007).

2.3.5. Huella ecológica y huella de carbono

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

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

La huella de carbono (HC) es un indicador de la cantidad de gases de efecto invernadero (GEI) generados y emitidos por una empresa o durante el ciclo de vida de un producto a lo largo de la cadena de producción, a veces incluyendo también su consumo, recuperación al final del ciclo y su eliminación. La HC considera los 6 GEI identificados en el Protocolo de Kioto: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆).

En Ecuador el Ministerio del Ambiente, a través de la Dirección de Información, Seguimiento y Evaluación, ejecuta, el proyecto Identificación, Cálculo y Mitigación de la Huella Ecológica del Sector Público y Productivo del Ecuador; mismo que se encuentra priorizado por SENPLADES y que tiene como objetivo impulsar el consumo sustentable de recursos en el Ecuador a través de la identificación, cálculo y mitigación de la Huella Ecológica.

2.3.6. Huella de carbono en el sector de la construcción

De lo expuesto en la sección anterior, limitándonos al sector de manufactura y construcción se tiene que para el año 2010 participaba con un 13% como fuente de GEI mientras que para este mismo año solo en Latinoamérica su participación era del 6%(CEPAL, 2013):

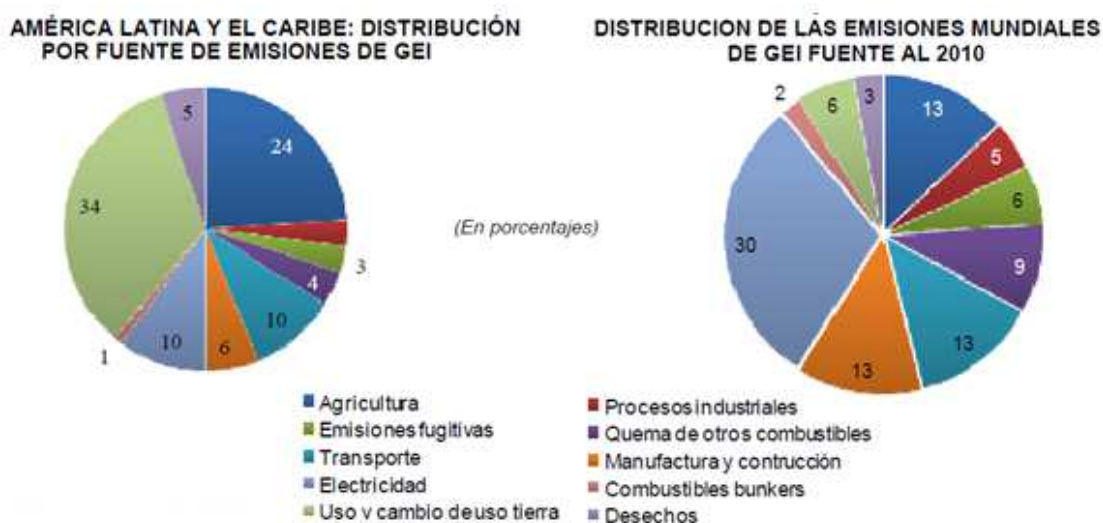


Figura 6. Distribución de emisiones de GEI a nivel mundial y en Latinoamérica.

Fuente; (CEPAL, 2013)

Podría decirse que son porcentajes bajos en relación a unidades presentadas por electricidad y transporte, sin embargo, en el sector de la construcción, existe sinergia con el área de la obtención de materiales, es decir el sector industrial al cual se hará referencia dejando por esta ocasión de lado a las emisiones que se causa a nivel residencial (CIES Centro de Iniciativas para Edificación Sostenible, 2012).

El 5% de toda la producción mundial de CO₂ se debe a la fabricación del cemento, y este es un porcentaje que en años sucesivos no solo se mantendrá

sino que se incrementará conforme se activen las economías emergentes asiáticas. Tengamos en cuenta que el cemento es el elemento fundamental del hormigón, y este es junto con el acero y el aluminio los productos más consumido mundialmente en la construcción. Para cuantificar de una manera sencilla la aportación de cemento a la producción de CO₂ basta con echar un vistazo a los siguientes ratios: Cada tonelada de cemento producida por el sistema convencional produce una tonelada de CO₂; es decir si en vez de cemento convencional, se produce cementos especiales se puede llegar a reducir la cifra de emisiones de CO₂ a 0,4 toneladas por tonelada producida. (Domoterra, 2015).

2.3.7. Riesgos en la salud humana por los materiales de construcción

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).

2.3.8. Materiales biológicos

Existe un sinnúmero de aislamientos térmicos los cuales nos ayudan a almacenar o disipar energías, la gran mayoría de los aislamientos son fabricados con aglomerados a base de petróleo pero también muchos materiales vegetales naturales de biomasas como se indicó en la sección de aislamiento. En Ecuador al ser un país megadiverso en flora, existe un recurso significativo de biomasas que pueden ser utilizadas para la fabricación de elementos de construcción. Entre las más importantes se pueden indicar:

- Palma africana

- Fibras de coco
- Bagazo de caña
- Cascarilla de cacao
- Cascarilla de arroz
- Cáscara da Banano
- Fibras de madera de balsa
- Bambú
- Totorá
- Pajonal
- Mazorcas de maíz

2.4. Características de los materiales de construcción

2.4.1. Coeficiente de conductividad térmica

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

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

Para determinar la conductividad de un bloque de material para construcción el método más utilizado es el de lámina o placa caliente. Este equipo se construye bajo normas ASTM C177-13.

La transmisión por conducción tiene lugar en un cuerpo determinado, desde la zona de mayor temperatura a la zona de menor temperatura, por el simple contacto molecular. Si bien puede producirse en medios sólidos, líquidos o gaseosos, esta forma de transmisión resulta típica de los primeros. El flujo del calor es directamente proporcional a la diferencia de temperatura y a la conductividad del material e inversamente proporcional al espesor del material que atraviesa.

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

Por la ley de Fourier, la conductividad térmica se define como:

$$k = \frac{q_x^n}{\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)}$$

Se sigue que, para un gradiente de temperatura establecido, el flujo de calor por conducción aumenta con el incremento de la conductividad térmica. La conductividad térmica de un sólido es mayor que la de un líquido, que a su vez es mayor que la de un gas. La conductividad térmica de un sólido puede ser más de cuatro órdenes de magnitud más grande que la de un gas. Esta tendencia se debe en gran parte a las diferencias en el espacio intermolecular para los dos estados. (Incropera, 1996). Esta propiedad depende de la

estructura física de la materia, atómica y molecular, que se relaciona con el estado de la materia.

Los métodos experimentales de medida de la conductividad térmica se pueden agrupar en dos categorías: estáticos (estacionarios) y dinámicos, según la temperatura de cada punto del material sea independiente o no del tiempo. En este trabajo nos referiremos únicamente a los métodos estacionarios.

En los métodos estacionarios, durante la medida, la temperatura es constante en todos los puntos de la muestra. Al utilizar métodos estacionarios es necesario determinar el flujo de calor y el gradiente de temperatura a lo largo de la probeta de ensayo, midiendo la temperatura en dos o más posiciones distintas (Jourdain, 1996). En los ensayos de este tipo se alcanza un alto grado de precisión en las medidas, pero el tiempo necesario para alcanzar el equilibrio puede ser muy grande, especialmente si la conductividad térmica es muy baja. Por ello, para elevadas temperaturas este método no es adecuado.

Los métodos estacionarios se han empleado en los primeros estudios sobre la conductividad térmica, debido probablemente a la menor complejidad de las ecuaciones matemáticas que utilizan. Además, para determinar la conductividad con precisión, necesitan un perfecto aislamiento, o un sistema de compensación por pérdidas de calor; sin embargo, presenta la ventaja de que pueden medir muestras no homogéneas, aunque necesitan un tiempo muy largo para realizar las medidas, y éstas no se pueden hacer a temperatura ambiente.

Se escoge entonces el método de la placa o lámina caliente para la obtención del coeficiente de conductividad.

2.4.2. Método de la lámina caliente

Las normas indican que para calcular el coeficiente de conductibilidad térmica se debe fabricar un aparato llamado de placa caliente, que como su nombre lo indica consiste esencialmente en una fuente caliente constituida por una placa calefactora que comprende una parte central y un anillo de guarda separados por un espacio no mayor de 3mm. Esta fuente caliente está colocada en el centro del equipo. La fuente caliente se alimenta por medio de 4 conductores eléctricos (2 que van a la parte central y 2 que van al anillo de guarda). Estos conductores van conectados a 2 variadores de tensión que permiten una alimentación progresiva de la corriente eléctrica que irá calentando paulatinamente la placa caliente. De este circuito eléctrico se medirán permanentemente la tensión y la corriente. A ambos lados de la placa caliente se colocan 2 placas de material conductor (preferentemente cobre, pudiendo utilizarse aluminio u otros) con el objeto de formar una superficie homogénea de transmisión del calor. Luego, saliendo hacia fuera se colocan sendas probetas del material a experimentar, y luego de las probetas, hacia fuera, se colocan planchas que hacen de fuente fría. Estas fuentes frías tienen serpentines por donde circula el agua de la red a efectos de mantener constante la temperatura.

En ambas caras de la probeta a ensayar deben colocarse termocuplas en número suficiente para registrar permanentemente las temperaturas de la cara fría y de la cara caliente. Todo en conjunto va rodeado de un material aislante para que no se produzcan fugas de calor al exterior. Se forma así una especie de emparedado horizontal formado por varias capas, donde el calor se produce eléctricamente en el centro y se va transmitiendo hacia ambos lados externos por conducción” (Martina, 2011). Todo lo indicado se observa en el siguiente esquema:

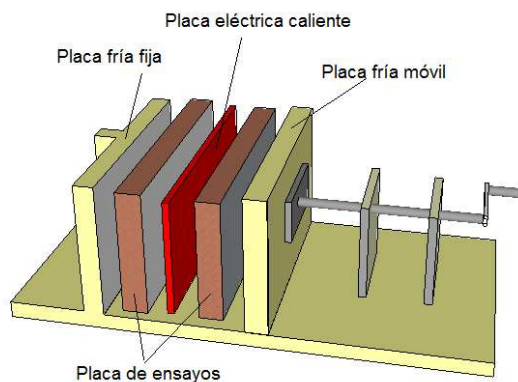


Figura 7 Probeta de ensayo con material aislante.

La norma que rige la construcción y el funcionamiento de un equipo de placa caliente es la ASTM 177-85 Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot Plate Apparatus.

2.4.3. Coeficiente de transferencia de cerramientos

“Transferencia de calor es la energía en tránsito debido a una diferencia de temperaturas”. Siempre que exista una diferencia de temperaturas en un cuerpo o entre cuerpos, debe ocurrir una transferencia de calor.

Cuando existe un gradiente de temperatura en un medio estacionario que puede ser un sólido o un fluido utilizamos el término conducción para referimos a la transferencia de calor que se producirá a través del medio. En cambio, el término convección se refiere a la transferencia de calor que ocurrirá entre una superficie y un fluido en movimiento cuando están a diferentes temperaturas. El tercer modo de transferencia de calor se denomina radiación térmica. Todas las superficies con temperatura finita emiten energía en forma de ondas electromagnéticas. Por tanto, en ausencia de un medio, existe una transferencia neta de calor por radiación entre dos superficies a diferentes temperaturas. (Incropera, 1996).

El coeficiente de transferencia de calor, es una aproximación que “representa” las condiciones reales de flujo, sus propiedades y la geometría del sistema.

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

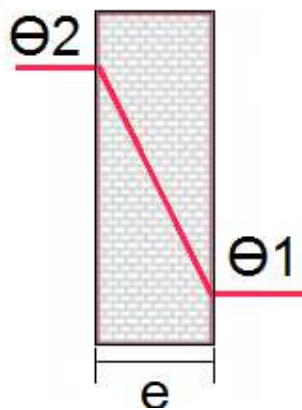


Figura 8 Gráfico de transferencia de calor.

Fuente: (Incropera, 1996)

$$q = (\theta_2 - \theta_1) \cdot \lambda / e$$

Siendo:

q : flujo de calor por conducción, por unidad de superficie y de tiempo.
(W/m²)

λ : coeficiente de conductividad (W/m^{°K})

e : espesor del elemento (m)

$(\theta_2 - \theta_1)$: diferencia de temperatura

Una de características de un cerramiento que define eficiencia energética se le otorga a la temperatura de bienestar interna, el garantizar una estancia confortable en este sentido disminuye significativamente las necesidades energéticas aplicadas tanto para calefacción como para enfriamiento. Para comprobar el resultado térmico de un material de cerramiento, es importante conocer cuál es su coeficiente de transferencia térmica (K). Entonces es importante conocer tanto la capacidad de aislamiento de un material sí como su capacidad de acumulación. El coeficiente de transferencia térmica K al combinarlo con el concepto de coeficiente de conductividad térmica nos dice que K es la cantidad de calor que pasa por un metro cuadrado de cerramiento cuando las temperaturas a ambos lados difieren un grado de temperatura, siendo sus unidades $[W/m^2oC$ o $^oK]$. Es decir, cuando mayor es el valor de K, más rápido se transfiere el calor a través de un cerramiento. Para el cálculo de K es importante definir el tipo de cerramiento de acuerdo a la aplicación, tenemos entonces: cerramientos simples, compuestos, con cámara de aire ventilada y no ventilada, de espesor variable y la combinación de todos estos. El cálculo de K se lo realiza mediante la relación de resistencias térmicas de los materiales que están dadas por el inverso de la conductividad de dichos materiales, más el inverso de los coeficientes superficiales de transmisión. (NBE CT-79)

Una norma de referencia utilizada para conocer los valores máximos para el coeficiente de transferencia térmica es la NBE CT-79 (Norma Básica Española de Edificación), estos valores deben ser relacionados a la locación del proyecto de acuerdo a las temperaturas ambientales mínimas y medias.

2.4.4. Conductividad térmica en bloques

El coeficiente de conductividad térmica se asocia al ahorro energético al hablar de mejor aislamiento térmico, entendiéndose el mismo en su

característica de impida que el calor se transmita desde el exterior al interior en verano y desde el interior al exterior en invierno, minimizando costos de refrigeración y calefacción. En el siguiente cuadro muestra la comparativa de la conductividad de distintos materiales.

Tabla 1

Comparativa de conductividad térmica para diferentes materiales aislantes.

Material	Densidad aparente (Kg/m ³)	Conductividad térmica (W/m.°C)
1. ROCAS Y SUELOS NATURALES		
1.1 Rocas y terrenos		
Arena con humedad natural	1700	1,400
	1500	0,580
Basalto	2800	1,279
Arena seca	3000	3,721
Caliza	2600-3000	3,488
Granito	2500-3000	3,372
	2500	1,976
Mármol	2850	3,488
Pizarra	2700	3,500
Roca porosa en general	1700-2500	2,330
	1800	2,100
Suelo coherente con humedad natural	2100	0,930
1.2 Materiales de relleno		
Cascote de ladrillo	1300	0,410
Escoria de carbón	1200	0,190
	1700	0,810
Grava suelta	1900	2,326
2.PASTAS, MORTEROS Y HORMIGONES		
2.1. Revestimientos continuos		

CONTINÚA 

	200	0,116
	400	0,209
Enlucido de yeso	600	0,291
	800	0,300
Enlucido de yeso con perlita	570	0,18
	200	0,081
Enlucido de yeso con vermiculita	400	0,116
	600	0,163
Morteros de cal y bastardos	1600	870
Mortero de cemento	2000	1,4
2.2. Hormigones		
Hormigón armado normal		
	600	0,17
Hormigón armado con áridos ligeros	1000	0,33
	1400	0,55

Referencia. (Bedoya Cesar, 1997)

2.4.5. En placas (muros y techos)

En la investigación realizada en Kyoto por Widyorini y Umemura, en el año 2005 se determinaron las propiedades del bagazo de caña con y sin médula debido a que al gran contenido de azúcar dificultaba el uso de aglomerantes y por lo tanto desarrollaron un tablero de aislamiento térmico sin aglomerantes utilizando un sistema de prensado en caliente a temperatura de 180°C en el cual no se eliminó la médula del bagazo y los azúcares residuales.

Las densidades de los tableros elaborados sin aglomerante fueron relativamente altas, alrededor de 1,34 a 1,36 g/cm³.

Los resultados mostraron que la médula del bagazo proporciona alta resistencia a la flexión en comparación con el bagazo desmenuzado.

Otra investigación realizada en la Universidad de Sheffield, en el año 2011 se describe la producción de placas de aislamiento térmico de baja densidad elaborada a partir de cáscara de coco y bagazo sin el uso de aditivos químicos de unión y a través del método de prensado en caliente.

Se obtuvieron paneles de aislamiento con valores de coeficientes de conductividad térmica desde 0,046 a 0,068 W/m.^{°K} para espesores de 2,5 a 3 cm de espesor.

2.4.6. 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 en la construcción en general.

2.4.7. Resistencia en bloques

La resistencia es la capacidad de una estructura, de sus partes y elementos de contrarrestar una carga determinada sin descomponerse. (Pisarenko G., 1979). Dentro de los materiales, está definido en gran medida por las tensiones internas, o intensidades de fuerza, en el material.

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 dianita 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.

Bloque sólido de hormigón elaborado con agregado de Biomasa. Para esta investigación se fabrica un bloque sólido con biomasa como agregado de tal forma que forme porosidades para introducir aire en el producto final, esperando que tenga propiedades similares al del bloque de hormigón celular (agua, arena, cemento y aire).

Se debe tomar en cuenta la compactación al momento de fabricar los bloques porque de proceso de fabricación dependerán las características, como la resistencia, y densidad de los bloques.

De acuerdo a la investigación realizada para determinar la resistencia de los bloques, se encontró que 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. En el presente trabajo referimos únicamente la resistencia a la compresión.

Resistencia a la Compresión.- Capacidad del material para resistir a las fuerzas que intentan comprimirlo o apretarlo. El esfuerzo de compresión es la resultante de las tensiones o presiones que existe dentro de un sólido deformable o medio continuo, caracterizada porque tiende a una reducción de volumen o un acortamiento en determinada dirección.

El ensayo para determinar la resistencia a la compresión en los bloques para la construcción, es el más importante, por ser este el esfuerzo con el que normalmente trabajan los bloques, y esta normado en la mayoría de los países como es el caso del Ecuador.

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 INEN define a los bloques de hormigón como elementos paralelepípedos que, dependiendo de sus dimensiones, tendrán uno o 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 con un mínimo de 2MPa para mampostería liviana.

Para determinar la resistencia a la compresión de los bloques sólidos con Biomasa como agregado, se utilizará el procedimiento de la norma INEN 1485 que aplica para adoquines o bloques macizos, pero para el análisis de resultados se utilizan los parámetros de resistencia a la compresión dados en la norma (INEN 639, 2012) para los bloques huecos de hormigón que son los usados para la cerramientos (paredes) de viviendas.

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.

2.4.8. Durabilidad. Pérdida de prestaciones

(Guigou, 2001) define “La durabilidad como la capacidad de durar. Un material durable será aquel capaz de resistir las agresiones debidas a procesos mecánicos, físicos o químicos, actuando externamente o desde su interior”.

La pérdida de prestaciones se la entiende como el deterioro que sufren los materiales en sus propiedades y composición. (Guigou, 2001) explica que “El deterioro es el resultado de procesos alteradores. Todo material es proclive a sufrir alguna alteración, por lo que el conocimiento de sus limitaciones es de vital importancia al ahora de la elección para su empleo en construcción”.

2.5. Aislantes térmicos

2.5.1. Aislantes térmicos convencionales

Para el aislamiento, es decir lo que permitirá evitar las pérdidas de energía, se realizan disposiciones constructivas como cámaras de aire. Dentro del aislamiento se pueden definir los siguientes grupos:

Lanas minerales: La lana mineral es una sustancia inorgánica fabricada a partir de fibras minerales (arena silíceas y roca basáltica), con unas propiedades de aislamiento térmico y acústico excelentes, combinadas con una excepcional protección contra el fuego. Ejemplos: lana de roca, lana de vidrio.

Productos poliméricos: Son los de mayor rendimiento, pero es preciso evitar aquellos que han empleado en su fabricación los hidroclorofluorocarburos HCFC's o clorofluorocarburos CFC's, y que produzcan residuos tóxicos.

Poliestireno extruido (XPS): Es un aislante de altas prestaciones, y de alta resistencia a los agentes meteorológicos y al envejecimiento. Es el único aislante térmico capaz de mojarse sin perder sus propiedades.

Poliestireno expandido (EPS): Es un aislante de altas prestaciones, y de alta resistencia a los agentes meteorológicos y al envejecimiento.

Poliuretano PUR/PIR: se utiliza en forma de paneles rígidos o en aplicación proyectada in situ de espuma rígida ligera, con más del 90 % de las celdas cerradas y muy aislante. Tiene una gran adherencia sobre cualquier superficie, no absorbe humedad ambiental y la relación precio capacidad aislante es muy buena. Posee un alto grado de combustión que hace que se esté sustituyendo por otros productos como las lanas minerales que son ignífugas.

Uno de los grandes problemas que se asocia a la utilización de productos poliméricos es la emisión de compuestos orgánicos volátiles COV.

Productos ligeros reflectantes: láminas reflexivas de múltiples capas (LRMCs) láminas y pantallas termo-reflectantes, compuestas por materias fibrosas sintéticas o naturales, que reducen la transferencia térmica por conducción-convección (poliéster, lana, lino, cáñamo, etc.) y materiales con burbujas de aire que reducen la transferencia térmica por conducción-convección.

Vidrio celular: aislante fabricado con vidrio reciclado, que mediante procesos térmicos se esponja apareciendo una red de burbujas de aire en su interior. Es un aislante de muy buenas características mecánicas y de baja absorción de agua. Es un material no combustible.

Productos naturales: son ecológicos porque precisan de leves procedimientos de manufactura, pero necesitan ser tratados contra insectos y hongos y ha de tenerse la precaución de que no se saturen de agua porque pierden sus

propiedades aislantes: Corcho, Celulosa, Lana de oveja, Lino o cáñamo, Serrín y Paja

Tabla 2

Aislantes térmicos comunes

Denominación		Origen	Conductividad (k) W/m.K)	Factor de resistencia al difusión del vapor de agua (μ)	Inflamable ¹	Peso aproximado (kg/m ³)	Formato	Medidas de protección en su instalación	Coste energético de producción (kWh/m ²)	Contenido de producto reciclado (β-3) ³	Biodegradable ⁴
	Lana mineral (MW) Lana de roca (SW)	Mineral	0,03 - 0,05	1	NO	Δ5	Panel, rollo y a granel	Ojos, sistema respiratorio y piel	15 - 25	1	No
	Lana mineral (MW) Lana de vidrio (GW)	Mineral	0,03 - 0,05	1 - 1,3	NO	Δ5	Panel, rollo y a granel	Ojos, sistema respiratorio y piel	15 - 50	2	No
	Poliestireno expandido (EPS)	Sintético	0,029 - 0,053	20 - 40	SI	Δ5	Panel y a granel	No	75 - 125	1	No
	Poliestireno extruido (XPS)	Sintético	0,025 - 0,04	100 - 220	SI	<15	Panel	Guañas	75 - 125	1	No
	Poliuretano o Polisocianurato (PUR)	Sintético	0,019 - 0,040	60 - 150	SI	<10	Panel y espuma	Ojos, sistema respiratorio y piel	70 - 125	1	No
	Perlita Expandida (EPB)	Mineral	0,040 - 0,060	3 - 8	NO	Δ5	Panel, rollo, espuma y a granel	Protección frente al polvo	5 - 20	0	No
	Vidrio celular (CG)	Mineral	0,035 - 0,055	Infinita	NO	Δ60	Panel y espuma	No	10 - 75	3	SI
	Lana de oveja (SHW)	Animal	0,035 - 0,050	1 - 2	SI	<25	Rollo y a granel	No	10 - 40	0	SI

Referencia: (IVE, Instituto Valenciano de Edificación, 1998)

Tabla 3

Aislantes térmicos comunes

	Denominación	Origen	Conductividad (k) W/(m.K)	Factor de resistencia la difusión de vapor de agua (μ)	Inflamable ¹	Precio aproximado €/m ³	Formato	Medidas de protección en su instalación	Coste energético de producción MWh/m ³ ²	Contenido de producto reciclado (0-3) ³	Biodegradable ⁴
	Algodón (CO)	Vegetal	0,029 - 0,040	1 - 2	Autorextingible	<10	Rollo	No	40 - 50	0-3	Si
	Cáñamo (HM)	Vegetal	0,037 - 0,045	1 - 2	NO	<25	Panel, rollo, proyectado y a granel	No	1 - 40	0	Si
	Celulosa (CL)	Vegetal	0,034 - 0,069	1 - 2	Autorextingible	<25	Panel, rollo, proyectado y a granel	Protección frente al polvo	1 - 25	3	Si
	Corcho (ICB)	Vegetal	0,034 - 0,100	5 - 30	NO	<25	Panel, rollo y a granel	No	1 - 25	0	Si
	Fibras de coco (CF)	Vegetal	0,043 - 0,047	1 - 2	NO	<40	Panel y rollo	No	1 - 10	0	Si
	Lino (FLX)	Vegetal	0,037 - 0,047	1 - 2	NO	<25	Panel, rollo y proyectado	No	25 - 40	0	Si
	Virutas de madera (WF)	Vegetal	0,038 - 0,107	1 - 10	Si	<40	Panel, proyectado y a granel	No	5 - 25	0-2	Si

Referencia: (IVE IVE Instituto Valenciano de Edificación, 1998)

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

3.1. Bloques de cascarilla de cacao

De acuerdo a un estudio elaborado por el programa CYTED (Beraldo) el término CBC se designa al compuesto formado por biomasa vegetal y cemento. En este trabajo se indican importantes consideraciones para la creación de prototipos con mezcla cemento y biomasa vegetal tal como está concebida la presente investigación. En relación a la mezcla indica que debido a las características de cada biomasa, como su forma, su constitución, su capacidad física, depende el uso en conjunto con el cemento y la forma de elaborarlo ya sea a través de molde o compactación.

Indica también que un prototipo con biomasa vegetal y cemento lleva mayor tiempo en secado, pero su compactación muchas veces se ve aventajada por la cantidad acumulada de humedad de algunas biombras, entendiendo en este sentido que muchas veces el compuesto es más susceptible cuando tiene menor cantidad de agua que cuando la tiene en exceso.

Entre las principales ventajas se enumeran la accesibilidad a la materia prima en zonas propias de producción, entre las desventajas a mejorar se indican, la susceptibilidad ante la formación de hongos, limitaciones para usos exteriores sin los revestimientos adecuados, en algunos casos la compatibilidad con la mezcla cemento de algunas biombras vegetales por ejemplo aquellas que tienen exceso de azúcar que dificultan el fraguado e indica que esto puede implicar procesos adicionales, como un mayor tiempo de almacenaje para reducir porcentajes de azúcar.

3.2. Biomasa disponible en Ecuador de interés para el estudio

3.2.1. Cascarilla de cacao

Theobroma cacao L., es el nombre científico que recibe el árbol de cacao o cacaotero, es un pequeño árbol cuyos frutos crecen en el tronco y las ramas. Los frutos se derivan de la polinización de las flores agrupados en cojines florales. *Theobroma cacao* L., es una sola especie, pero tiene variedades, con frutos y semillas diferentes. En la región mesoamericana se reconoce la existencia de tres variedades autóctonas:

- El cacao criollo, que fue domesticado y ha sido cultivado en el sur de México, Centroamérica y norte de Suramérica desde hace más de 2000 años.
- El forastero silvestre, cultivado desde 1750 en la cuenca amazónica. El cacao nacional de Ecuador que se cultiva desde 1600,



Figura 8. Cáscara de cacao

Fuente: (CATIE, 2012).

3.2.2. Descripción de la biomasa

La cáscara de cacao es el desecho que queda luego de la cosecha del fruto, una vez que se extrae la mazorca, la cáscara es arrumada, quedando inutilizado y en ocasiones se lo utilizar como abono o alimento para ganado. Comúnmente la cáscara se descompone rápidamente en un ambiente húmedo, pero si a este se le realiza un proceso de secado toma características sólidas y cumple con las condiciones para utilizarlo con aglomerados para la fabricación de bloques de hormigón.

Se estima que una hectárea de cacao produce alrededor de 30 toneladas de fruto y de eso solo se aprovecha una tonelada de grano; las 29 toneladas restantes es la cáscara que se desecha.

La mazorca de cacao tiene una corteza rugosa alrededor de 1 a 2 cm de espesor. Esta rellena de una pulpa rosada viscosa, dulce pero incomedible, que encierra de 30 a 50 granos largos (blancos carnosos) acomodados en filas en el enrejado que forma la pulpa. Su sabor en bruto es muy amargo.

Para el año 2000 la producción de cacao en Ecuador se encontraba en 53.390 toneladas métricas y para el año 2007 su crecimiento con respecto al año 2000 es de 13.906 toneladas métricas.

3.2.3. Localización y cantidad de biomasa cacao

En Ecuador, la región Litoral cuenta con el mayor porcentaje de producción de cacao con el 90% del total, la región Sierra el 8% y la región Oriental el 2% de producción para el año 2000, mientras que para el 2007 es del 87%, 10% y 3% respectivamente.

Por ser un fruto que puede adaptar a vario climas, se encuentra disperso en la mayoría de las provincias, la Fig. 09 muestra el porcentaje de participación respecto a la superficie de cultivo.

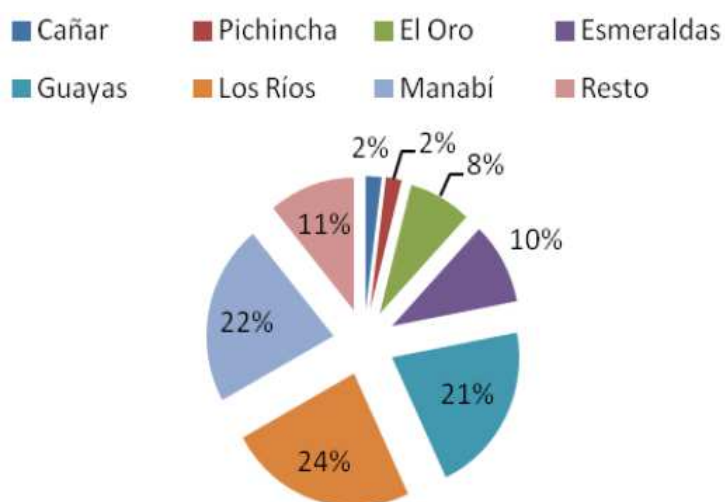


Figura 9. Porcentaje del área cultivada por provincia

Fuente: III Censo Nacional Agropecuario, 2000

3.2.4. Características de interés de biomasa cacao

En el Ecuador existe un tipo de cacao único en el mundo conocido con el nombre de “Nacional” (Ver Figura 9), se indica datos de producción respecto a esta variedad. El cacao nacional se caracteriza por tener una fermentación muy corta y dar un chocolate suave de buen sabor y aroma, por lo que es reconocido internacionalmente con la clasificación de “Cacao Fino de Aroma” (IICA, 2007).

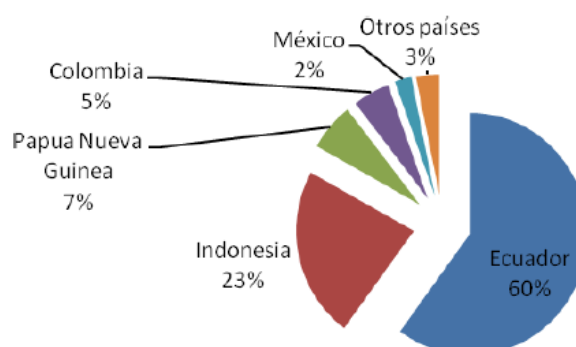


Figura 10. Porcentaje del área cultivada por provincia

Fuente: III Censo Nacional Agropecuario, 2000

3.2.5. Poder calorífico

En la tabla 4 se indica el poder calorífico de las cáscaras de cacao donde se representan los valores que se obtuvieron en el laboratorio y se lo representa como poder calorífico inferior a partir del poder calorífico superior y a partir del análisis elemental.

Tabla 4

Poder calorífico de cáscaras de cacao por tipo

Tipo de biomasa	PCS (MJ/Kg)	PCI*(MJ/kg)	PCI**(MJ/Kg)
Cáscara de cacao Nacional	15,29	12,9	14,41
Cáscara de cacao CCN-51	14	11,7	12,25

Fuente: Laboratorio Universidad de Cuenca (Fisicoquímico, 2012)

3.3. Posibilidades de aglomeración de la biomasa

3.3.1. Con aglomerante cemento

Para la fabricación de bloques a partir de la cáscara de cacao se puede optar por varias opciones de elaboración, desmenuzando a la cáscara seca en pequeñas fibras, las mismas que son colocadas al final del proceso de mezclado del concreto, evitando así que absorban mayor cantidad de humedad. Este proceso mejora la resistencia del bloque pero sus condiciones térmicas deberán ser evaluadas. (Reyes Uriel, 2008)

En Ecuador, para la elaboración de bloques se utiliza como referencia la norma INEN 638 que establece usos y dimensiones para los mismos:

Tabla 5

Tipo y uso de bloques de acuerdo a norma INEN 638.

TIPO	USO
A	Paredes exteriores de carga, sin revestimiento
B	Paredes exteriores de carga, con revestimiento. Paredes interiores de carga, con o sin revestimiento
C	Paredes divisorias exteriores, sin revestimiento
D	Paredes divisorias interiores, con o sin revestimiento. Paredes divisorias exteriores, con revestimiento.
E	Losas alivianadas de hormigón.

Fuente: (INEN 639, 2012)

Los resultados obtenidos indican que de acuerdo a las normas INEN con esta dosificación se obtienen bloques del tipo C y D utilizados para mampostería liviana. (Pozo García, 2011).

3.3.2. Aditivos

Como aditivos primarios se utilizan el cemento, como referencia para todas las combinaciones que se realizan y ensayan.

El cemento es el producto de la mezcla de clinker, yeso y otras adiciones. El clinker es el resultado de la calcinación de calizas y arcillas que son extraídas de las canteras y trituradas junto al hierro.

Asegurando el uso de cemento, el siguiente paso es conocer la forma con la que se combinará con la biomasa, es decir, en fracciones grandes, en fibras, etc. Para la obtención de esta combinación y para obtener las proporciones finales con las que se realizan los ensayos experimentales del siguiente capítulo, se realizaron varios ensayos preliminares que se describen en esta sección.

3.3.3. Ensayo de bloques de cemento con cascarilla de cacao

Para los primeros ensayos se procede a realizar bloques de cemento a base de cáscara de cacao, para este caso el bloque de cemento tiene las siguientes medidas: Alto 9.5 cm; Largo 29.5 cm y Ancho 14 cm, las medidas fueron determinadas por la máquina de compresión hidráulica marca Soiltest modelo CT-710 que permite la realización de pruebas destructivas con las medidas especificadas.

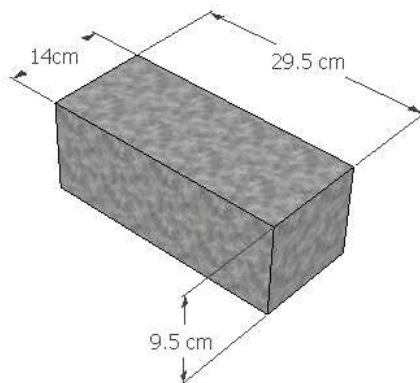


Figura 11. Medidas del bloque de cemento

Se procedió a triturar la cáscara de cacao seca en trozos de alrededor de 5 milímetros con el uso de una máquina industrial capaz de moler cáscaras de biomasa de gran tamaño y dureza, se determinó varios factores para escoger la máquina que sea más adecuada para nuestro trabajo:

- Granulometría
- Consumo de energía eléctrica
- Bajos costes de mantenimiento
- Aprovechamiento de toda la materia orgánica
- Ergonómica
- Segura

MAQUINA 1	MAQUINA 2	MAQUINA 3
		
<i>Equipo industrial con tornillo sin fin.</i>	<i>Equipo no industrial de funcionamiento centrifugo</i>	<i>Equipo industrial de funcionamiento centrifugo</i>
<i>Granulometría 5*5 mm</i>	<i>Granulometría fino 0.05*0.05 mm</i>	<i>Granulometría 0.5*0.5 mm</i>

Figura 12. Selección de máquina troceadora

Bajo estas circunstancias se seleccionó la Maquina 1, esta posee un motor bifásico de 1/2HP a 220VAC, tiene un menor ciclo de mantenimiento ya que posee un tornillo sin fin horizontal el cual no está acoplado directamente al eje del motor y es de fácil operación.

Una vez seleccionada la máquina se procede a cortar la cáscara de cacao en trozos pequeños como se describe en el Paso 1 de la Figura 13, una vez troceado la cáscara se procede a lavar y secar al ambiente alrededor de 5 a 7 días.



Figura 13. Pasos para el trocear la cáscara de cacao

El lavado de la biomasa troceada nos ayuda a eliminar el grado de gelatinización y pectina que posee la cáscara, ese producto gelatinoso impide que exista una buena compactación del bloque en el momento del fraguado.

3.3.4. Granulometría de la biomasa

Las medidas del producto troceado de la cáscara de cacao se muestran en la figura siguiente.

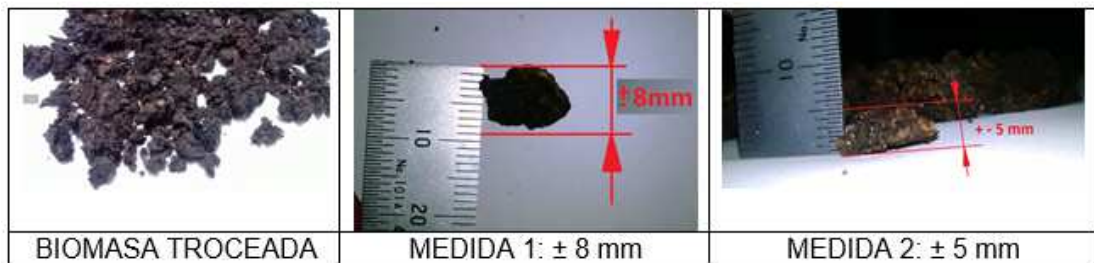


Figura 14. Medida de la cáscara troceada de cacao

En las fotografías siguientes se puede observar los elementos necesarios para realizarla mezcla para la elaboración del bloque:



Figura 15. Elementos para la fabricación del bloque

A continuación, se observa los pasos que se siguieron para la fabricación:



Figura 16. Pasos para la fabricación del bloque de cemento

Para los primeros bloques experimentales se procedió a realizar una mezcla en porcentajes en base a la totalidad de volumen del molde.

Las proporciones adicionadas para la fabricación del bloque de ensayo B1 son las siguientes:

Tabla 6

Proporciones de mezcla para fabricación bloque B1

BLOQUE ENSAYO B01		
MATERIALES	PESO EN GRAMOS	PORCENTAJE
CACAO	944	39,53%
CEMENTO	1096	45,89%
AGUA	348	14,57%
TOTAL	2388	100%

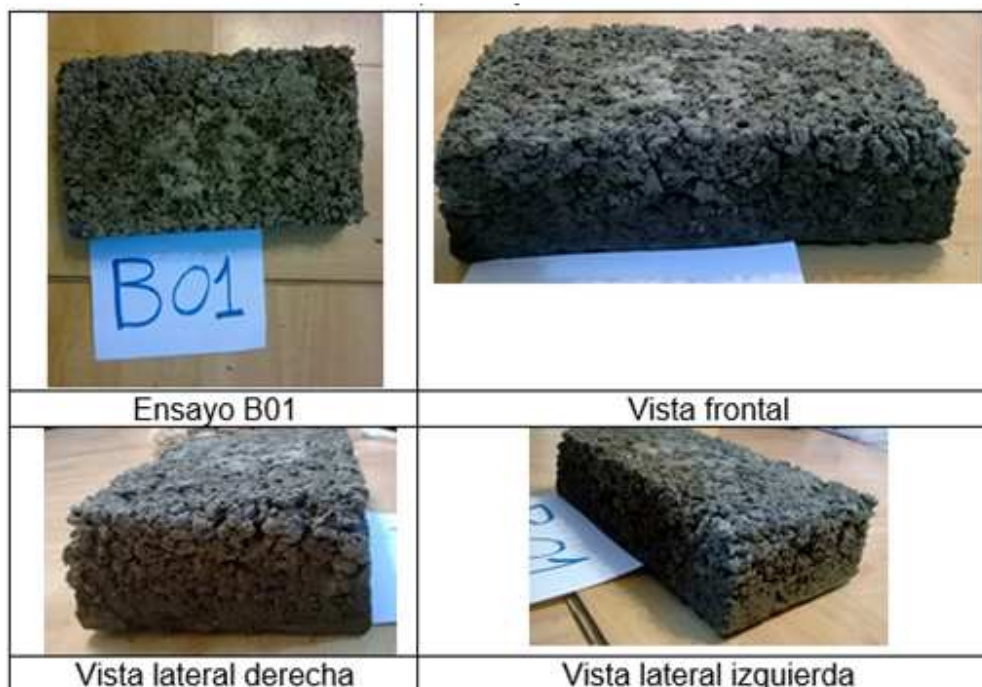


Figura 17. Fotografías finales del bloque aislante

Como modelo experimental se procedió a elaborar otro bloque B2 el cual servirá como referencia para comparación entre ambos bloques.

Las proporciones adicionadas para la fabricación del bloque B2 son las siguientes:

Tabla 7

Proporciones de mezcla para fabricación bloque B2

BLOQUE ENSAYO B02		
MATERIALES	PESO EN GRAMOS	PORCENTAJE
CACAO	869	25,11%
CEMENTO	2110	60,98%
AGUA	481	13,90%
TOTAL	3460	100%



Figura 18. Fotografías finales del bloque aislante B2

Una vez terminado el trabajo de compactación de los elementos se procede al tiempo de secado.

Tabla 8

Resultado de evaporación de humedad del bloque B01 y B02

Muestra	Peso inicial (gr)	Edad 20 días (gr)	% evaporación
B01	2388	1520	36,3
B02	3460	2700	21,9

B02 ocupa una cantidad considerable de cemento y su evaporación es menor.

Ninguna de las dos pruebas a los 16 días de edad evidencia presencia de moho u hongos en su estructura. Para un estudio más riguroso se procedió a elaborar otros bloques de hormigón con diferentes mezclas las cuales serán sometidas a

pruebas de laboratorio para determinar cual posee las mejores características físicas de laboratorio.

Tabla 9

B10, Peso seco 4210 gr.

MATERIALES	VOLUMEN	PESO EN GRAMOS	PORCENTAJE
Cascara de cacao molido	x	700	11,27%
Arena	x	2360	38%
Agua	2000ml	2690	43,32%
Cemento	x	460	7,41%
Total	x	6210	100%

Tabla 10

B12, Peso seco 3050 gr.

MATERIALES	VOLUMEN	PESO EN GRAMOS	PORCENTAJE
Cascara de cacao molido	x	700	11,0%
piedra pómez	x	650	10,3%
Arena	x	2690	42,4%
Agua	2000ml	800	12,6%
Cemento	x	1500	23,7%
Total	x	6340	100,0%

Tabla 11

B13, Peso seco 3420 gr.

MATERIALES	VOLUMEN	PESO EN GRAMOS	PORCENTAJE
Cascara de cacao molido	x	900	14,7%
Ripio	x	1150	18,7%
Agua	2000ml	2690	43,8%
Cemento	x	1400	22,8%
Total	x	6140	100,0%

Tabla 12

B14, Peso seco 2840 gr.

MATERIALES	VOLUMEN	PESO EN GRAMOS	PORCENTAJE
Cascara de cacao molido	x	1800	30,56%
Piedra pómez	x	400	6,79%
Agua	2000ml	2690	45,67%
Cemento	x	1000	16,98%
Total	x	5890	100,0%

3.4. Panel aislante a base de cascarilla de cacao

3.4.1. Procedimiento para la elaboración

La biomasa utilizada para la elaboración del panel aislante es el mismo que se utilizó para el bloque de hormigón, la biomasa seca se mezcla con pega blanca y se coloca en un molde para compactarlo y secarlo al ambiente.

Para los primeros ensayos se procede a realizar un panel con medidas de 30cm x 30cm x 5cm

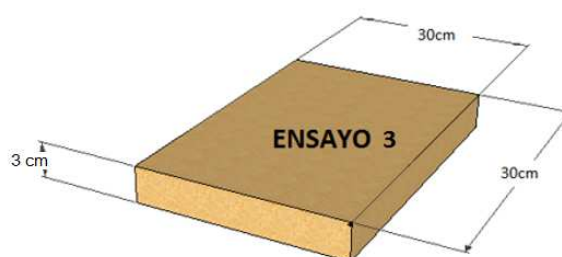


Figura 19. Medida de los paneles aislantes

Se fabrica un molde de tal manera que se despliegue, de esta forma se agiliza la apertura y retiro del panel una vez seco.

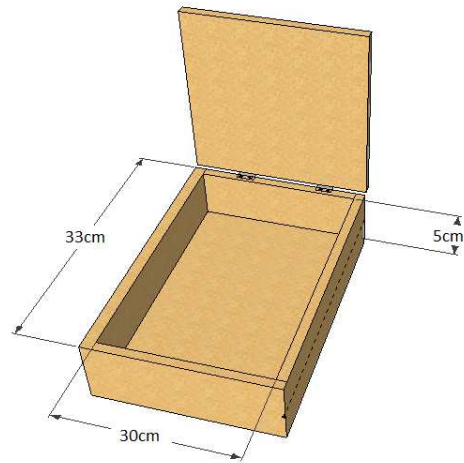


Figura 20. Medida de los paneles aislantes

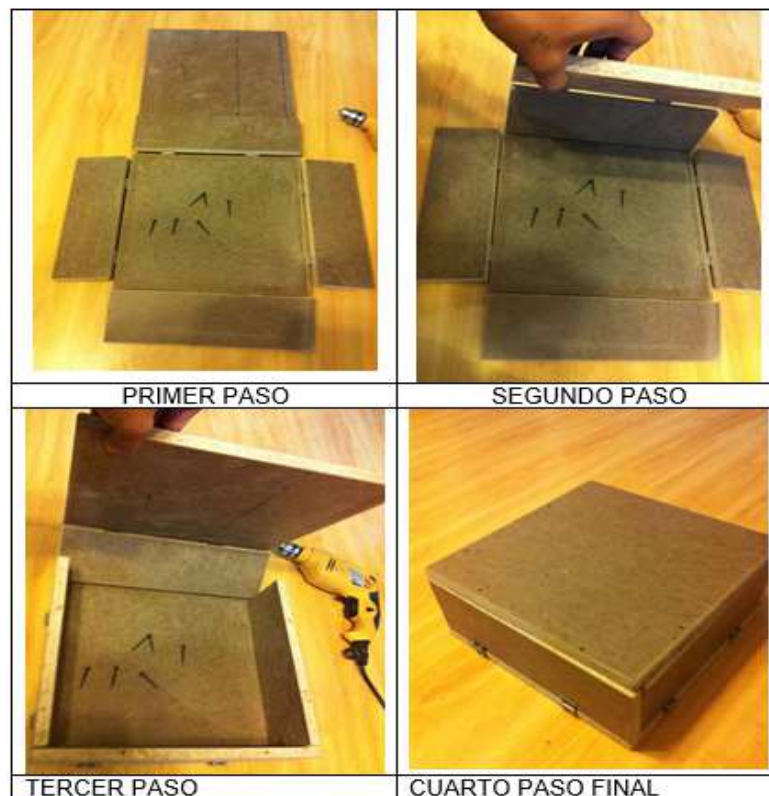


Figura 21. Vistas de molde para la fabricación de los paneles aislantes.

El aglutinante utilizado para estos ensayos es el Acetato de Polivinilo o cola blanca (PVA). Este aglutinante posee las mejores características ya que produce una excelente adhesión con una alta resistencia.



Figura 22. Cola blanca Industrial

A pesar de que en su forma líquida su color es blanco, al secarse se vuelve casi transparente por lo que adquieren un aspecto discreto.

3.4.2. Panel Aislante (P3)

Para el primer tablero aislante P3 a base de cacao se tomó el porcentaje y peso como se describe en la Tabla N° 13

Tabla 13

Porcentaje de mezcla Panel P3

MATERIALES	PESO EN GRAMOS	PORCENTAJE
Cascara de cacao	950	74,21%
PVA	330	25,78%
Total	1280	100%

Con los datos de la tabla se procede a la mezcla física de los materiales, se debe garantizar que la mezcla quede homogénea, en la Figura 23, se describe

tres pasos a seguir para compactar la mezcla y luego colocar en el molde de madera.



Figura 23. Mezcla de materiales y aglomerados panel P3

Una vez compactado en el molde de madera se procede al tiempo de secado por tres días, luego de eso se debe desmontar del molde para secarse al ambiente hasta que esté completamente seco.

3.4.3. Panel aislante (P04)

Para este tipo de ensayo se procedió a cambiar las proporciones de biomasa, se aumentó la cáscara de cacao para ver las características del comportamiento del panel, así mismo se disminuyó la cantidad de cola blanca.

Para este panel aislante a base de cacao se tomó una mezcla en porcentaje y peso se describe en la **Tabla N° 14**

Tabla 14***Porcentaje de mezcla Panel P4***

MATERIALES	PESO EN GRAMOS	PORCENTAJE
Cascara de cacao	1340	73,26%
PVA	489	26,73%
Total	1829	100%

A continuación se indica el resultado de evaporación de humedad del bloque P03 y P04:

Tabla 15***Porcentaje de evaporación***

Muestra	Peso inicial (gr)	Edad 20 días (gr)	% evaporación
P01	1280	800	37,5
P02	1829	1220	33,2

3.5. Conclusiones de los ensayos P03 y P04 con cáscara de cacao.**3.5.1. Resultados del panel P03**

El panel logro ser muy compacto y liviano, la desventaja de este ensayo es que es muy susceptible a fracturas y rupturas, no es y resistente a la flexión por lo que se desestima su uso para aplicaciones constructivas.



Figura 24. Mezcla de materiales y aglomerados panel P3

3.5.2. Resultados del panel P04

No se obtuvo buenos resultados de resistencia, al disminuir el aglutinante perdió la característica de resistencia siendo mucho más flexible y susceptible a rupturas por lo que también se desestima su uso para aplicaciones constructivas.

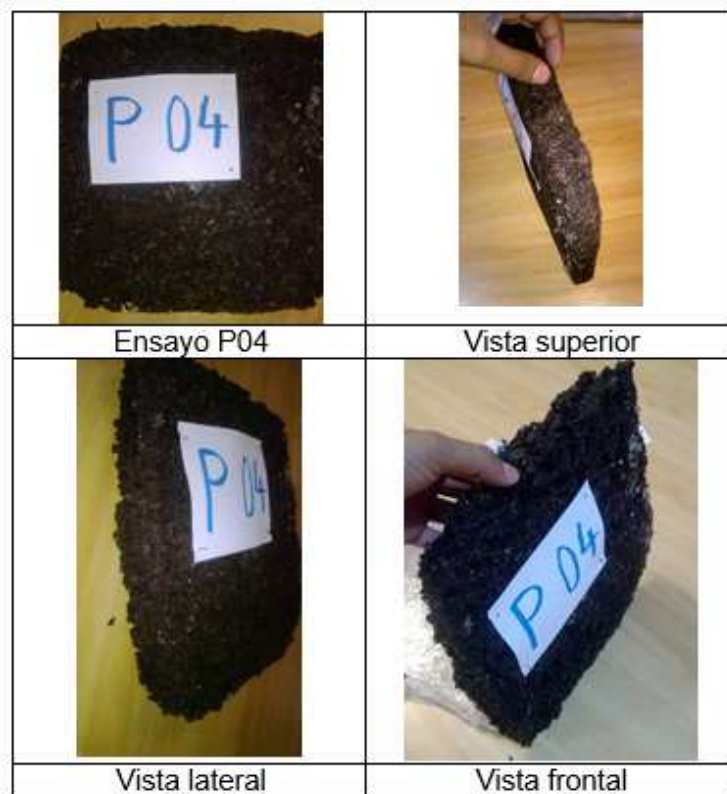


Figura 25. Mezcla de materiales y aglomerados panel P4

El consumo de pegamento disminuyo considerablemente con respecto al Ensayo 3.

Se concluyó que entre más desmenuzado o pequeña sea la biomasa del cacao disminuye su resistencia y también aumenta el consumo de cola blanca.

CAPÍTULO 4

DESARROLLO EXPERIMENTAL

4.1. Determinación de las variables y parámetros de control

La presente sección indica los parámetros básicos referenciales en los que se basa la parte experimental, y se analizan resultados de trabajos anteriores

El desarrollo de los experimentos descritos se basa en la propuesta final indicada en el capítulo anterior, donde se realizarán mezclas de cemento, arena y biomasa para la elaboración de bloques de hormigón.

Para el caso de los bloques se consideran las pruebas de resistencia, conductividad térmica y humedad. En cada una de estas variables se incluirán datos de ensayos referenciales que serán utilizados para analizar las pruebas y aceptar los bloques como aptos para su fabricación y uso dentro de viviendas.

En el caso del panel aislante a base de la cáscara de cacao no se prosigue con las pruebas ya que no cumplió con las características físicas para someterle a pruebas de laboratorio, los paneles P03 y P04 se desintegraron por lo cual se desiste de seguir experimentándolos.

4.1.1. Aplicación en bloques

De acuerdo a la Norma INEN 638 aplicada para bloques huecos es muy clara en la determinación de dimensiones, especificando: "El espesor de las paredes de los bloques no debe ser menor de 25 mm, en los bloques tipo A y B, y de 20 mm, en los bloques tipo C, D y E". Los bloques A y B son con carga y los bloques C, D y E son aplicados para divisiones.

Tabla 16

Norma INEN 638 para dimensiones de bloques

TIPO	DIMENSIONES NORMATIVAS			DIMENSIONES REALES		
	LARGO	ANCHO	ALTO	LARGO	ANCHO	ALTO
A,B	40	20,15,10	20	39	19,14,09	19
A,D	40	10,15,20	20	39	09,14,19	19
E	40	10,12,20,20	20	39	09,14,19,24	20

Sin embargo, la norma es muy flexible en el caso de la forma del bloque estableciendo que si existe convenios entre comprador y vendedor las dimensiones pueden ser diferentes a la tabla anterior, siempre y cuando bloques de un mismo tipo no sobrepasen una variación mayor de 5mm.

La base de este trabajo es realizar una producción sectorizada en pequeñas cantidades como demanda local en los lugares donde se produce la biomasa por lo que las dimensiones de acuerdo a la norma no se vuelven rigurosas.

4.1.2. Conductividad

En el artículo técnico de García-Ten, (Garcia, 2010) se rescatan conclusiones importantes que pueden ser utilizadas para evaluar los valores de conductividad térmica de los materiales de construcción con biomasa. Aquí se ensaya en prototipos en base de mezcla arcillas (A) y una serie de aditivos que fueron seleccionados en función de su coste, distribución geográfica y compatibilidad con el material cerámico. Los aditivos aligerantes ensayados en el presente trabajo fueron los siguientes: Residuos agrícolas: Orujillo (OR), Residuos de la industria papelera (PPL), Serrín (SRN), Coque (CK).

Para la preparación de las composiciones se mezclaron vía seca las distintas materias primas en los porcentajes adecuados. Los ensayos definen mezclas que en lo posible alcancen valores de la conductividad térmica del material cerámico inferiores a **0.43W/m°K**. El procedimiento resumido indica

que el material se amasó, y se dejó reposar durante 24 horas con el objeto de homogeneizar la humedad. Con estas masas se conformaron probetas por extrusión, de 75 mm de longitud, 100 mm de anchura y 10 mm de espesor. Los valores obtenidos de conductividad se realizan basados en la norma ISO 8894-2 Refractory material - Determination of thermal conductivity. Part 2: Hot-wire method (parallel) "método del hilo caliente"

Para obtener una visión general de las biomásas añadidas a la mezcla para lograr este valor de conductividad térmica se obtiene: 11% para el Serrín, 13.5% para el Orujillo, 22.5% para el Coque y más del 30% para el Papel.

4.1.3. Humedad

En esta sección se realiza énfasis en los trabajos realizados sobre las biomásas de cascarilla de cacao.

Humedad para bloques con cascarilla de cacao.

En el caso de probetas y bloques, de acuerdo a trabajos realizados (García, 2010) se obtienen porcentajes de absorción entre 6% y 11% de acuerdo a dosificaciones de biomasa entre 1:3 y 1:2 en relación volumétrica cemento y biomasa con una referencia de muestra de control del 7% sin biomasa.

La absorción de agua en los bloques se determinará de acuerdo con la Norma INEN 642 y no podrá ser mayor del 15%.

4.1.4. Resistencia

Las características mecánicas: la velocidad de fraguado y la resistencia mecánica de los productos a base de cemento dependen de varios factores: composición química y finura del cemento, proporción de la mezcla, tipo y porcentaje de los aditivos (aceleradores o retardadores), temperatura ambiente, tamaño de la pieza, tipo del curado, etc. Se puede afirmar, en el caso del

hormigón tradicional, que la resistencia mecánica es proporcional a la dosificación en el cemento. Se considera también que a partir de los 90 días después de la fabricación cesa el crecimiento de la resistencia mecánica, ocasionado por la falta de condiciones favorables a la hidratación del cemento. (Cabo, 2011).

4.2. Materiales y equipo

4.2.1. Aparato de medición de conductividad

Para la medición de la conductividad se utiliza el aparato de medición de conductividad propuesto por la norma ASTM C177-13, que establece la metodología para medir el flujo de calor en estado "estacionario", para lo cual utiliza placas planas paralelas cuyo monitoreo de temperatura constante se lo realiza mediante el sistema de placa caliente.

La placa caliente es la parte del equipo encargada de transmitir el calor a través de la muestra hacia la placa fría. Ésta última, asegura la disipación de la energía transmitida y asegura un flujo de calor constante. (Velasco Luis; Goyos Leonardo; Nicolás Páez; Carlos Naranjo, 2014)

La placa caliente tiene placas de aluminio, recomendación propuesta por la norma ASTM C177-13, tanto para la placa central como para el anillo de guarda. La placa central está formada por dos placas de aluminio de 150x150mm con un espesor de 2mm, en medio de las cuales se coloca una resistencia. En la placa central tiene una resistencia niquelina compuesta de una aleación de níquel y cromo distribuida uniformemente, encargada de proveer calor al sistema, que depende de la cantidad de corriente inducida al elemento. Para evitar la fuga de calor a los costados del anillo de guarda se usó una cinta de aluminio distribuida a lo largo de todo el anillo.

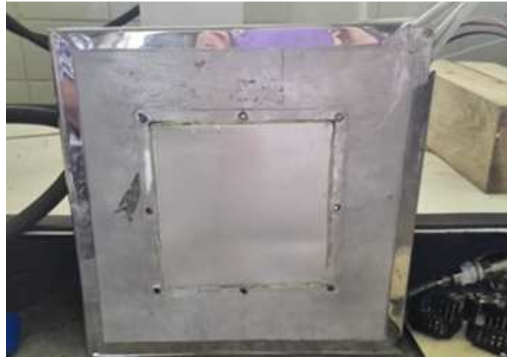


Figura 26. Placa caliente

La máquina consta también de un sistema de refrigeración (chiller) el cual almacena agua fría y hace recircular por medio de una bomba eléctrica el agua a los intercambiadores de calor que se encuentran en las placas frías garantizando un flujo y caudal constante.



Figura 27. Equipo de refrigeración

La regulación de temperatura de la placa caliente se lo hace a través de un circuito de control automático PID que regula la temperatura de la placa central y a través de un controlador programable hace que la temperatura de la periferia le siga minimizando la diferencia de temperatura, haciéndola homogénea.

La variación de temperatura es directamente proporcional al voltaje, por lo que los transistores se encargan de entregar un voltaje variable a las resistencias de la placa caliente, el voltaje es controlado por un potenciómetro el cual se setea la temperatura requerida, el controlador se encarga de automatizar el proceso e igualar las temperaturas de la placa interna y externa, las temperaturas así como los parámetros eléctricos de la placa caliente son monitoreadas por el display del controlador, también para asegurar un medición más precisa se dispone de multímetros externos los cuales miden el voltaje y corrientes suministrados a las resistencias de la placa.



Figura 28. Tarjeta de control de sistema de placa caliente

La utilización de una prensa mecánica permite evitar todo contacto entre el material de la muestra y cualquier otro elemento que no sean las placas fría y caliente. (Velasco Roldan, Luis (PhD); Goyos Pérez, Leonardo , 2015)



Figura 29. Máquina de medición de coeficiente térmico

Las temperaturas registradas en la placa fría y caliente determinan un gradiente que puede ser ajustado mediante la variación de la potencia eléctrica producto del cálculo entre el voltaje y la corriente que indican los multímetros descritos en el párrafo anterior.

Es posible realizar de manera sencilla el dato de la conductividad térmica del material con los datos proporcionados por el equipos que son: potencia (con el cálculo entre voltaje y amperaje), temperatura interna, temperatura externa, delta de temperatura y espesores.

Las probetas de biomasa utilizadas deben tener un área de 30cm x 30cm y un espesor de 5 cm. Excepto en el caso del yeso empapelado que se utilizó para validar el equipo cuyo espesor es de 1,5 cm.

4.2.2. Moldes y sistemas de prensado

Las pruebas se realizan con la elaboración de bloques y paneles, no se especifican las probetas de prueba de acuerdo a normativa que se indican más adelante para cada caso.

Los bloques se realizan en moldes de madera que estructurarán bloques de cemento con las siguientes medidas: Alto 9.5 cm; Largo 29.5 cm y Ancho 14 cm:

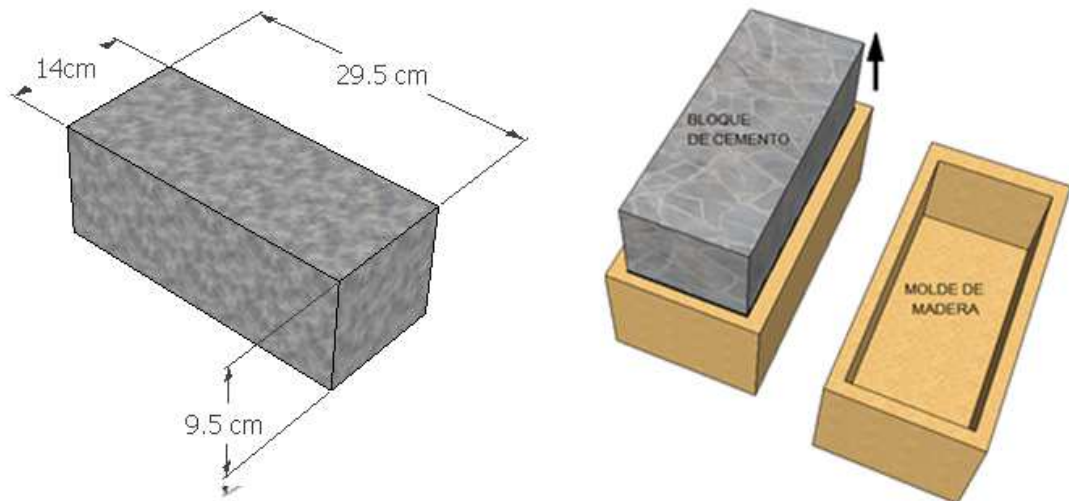


Figura 30. Molde de madera para fabricación de bloques

En el caso de paneles o tableros, se construye un molde que aproveche la radiación solar, es decir en base a láminas de acero negro de 3mm de espesor.

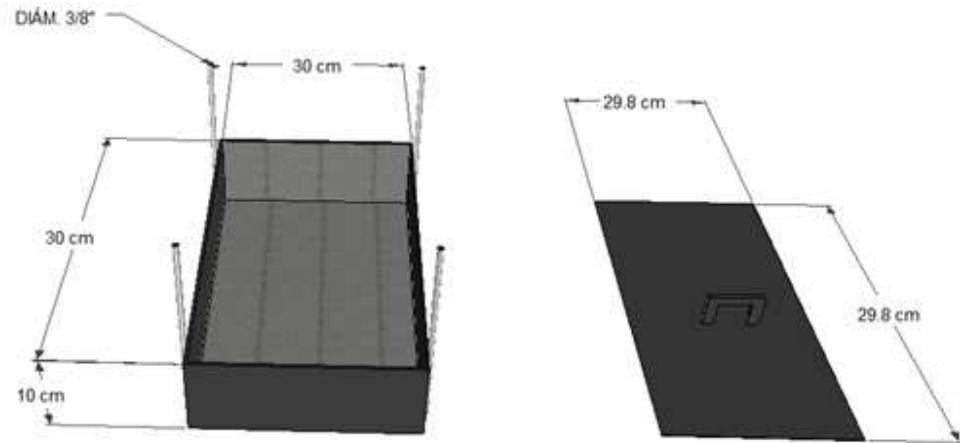


Figura 31. Molde de metal para tableros o paneles

Todas las uniones fueron soldadas herméticamente para impedir la fuga de pegamento cuando lleguen a comprimirse.

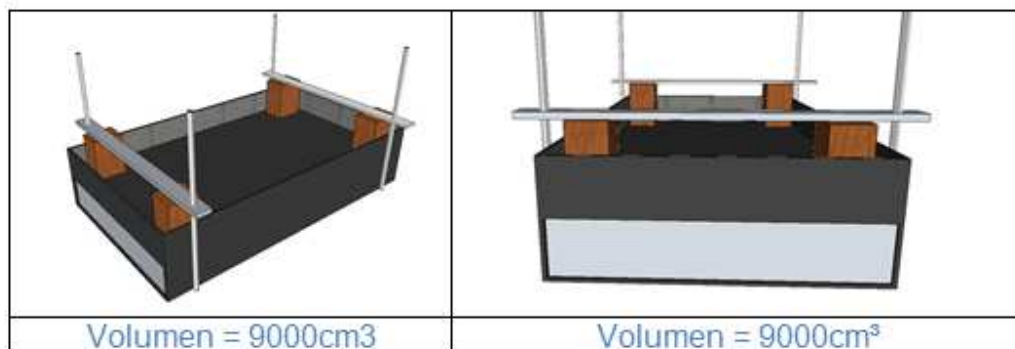


Figura 32. Sistema de prensado del molde de metal

4.2.3. Prensa rompe cilindros de hormigón - Máquina de compresión

Es una máquina de compresión hidráulica marca Soiltest modelo CT-710 que permite la realización de pruebas destructivas con probetas cilíndricas cuyas dimensiones en centímetros pueden ser de 15x30, 10x20 o 25x50. El ensayo proporciona resultados de resistencia a la compresión y tiene una capacidad de 2000 kN.



Figura 33. Máquina de compresión

4.3. Protocolo de medición de las propiedades físicas y mecánicas.

4.3.1. Planificación y protocolo de medición de conductividad

Como se indica en la sección anterior, el aparato de medición de coeficiente térmico requiere de la elaboración de dos placas de 30x30x5 centímetros.

Con los resultados obtenidos de las pruebas de resistencia, las placas para esta prueba deben cumplir con las siguientes condiciones para un resultado exitoso de la prueba:

- Deben ser construidas a la par, es decir dos placas lo más semejante posible, con los procesos de mezcla, secado y curado bajo condiciones ambientales semejantes y con ingredientes semejantes (el mismo tipo de agregado - arena), es decir, se necesita la fabricación en serie de las dos placas.
- Deben emular las condiciones de las pruebas de resistencia, es decir tener la misma mezcla C, A, B (cemento, arena y biomasa) y los

diferentes criterios tomados, bagazo en fragmentos no desmenuzados, cacao mineralizado o sin desmineralizar, etc.

A continuación se describen los pasos a seguir para realizar el ensayo de conductividad térmica:

1. Encender el sistema de enfriamiento y colocar el setting del regulador de temperatura a un nivel inferior a 12°C (este valor es referencial varía y se encuentra escrito en la hoja de cálculo para lograr la mayor diferencia térmica entre las placas fría y caliente). El valor a utilizar para el cálculo es el indicado por el termómetro directamente en las placas frías.



Figura 34. Encendido del sistema de enfriamiento

2. Calentar la placa caliente de manera que tenga un valor semejante entre la placa caliente parte interna y la placa caliente periferia, se realizan pruebas y

aproximadamente se llega a un valor máximo de 30 °C por limitación del equipo. El diferencial debe ser lo mínimo posible menor a un centígrado.

La diferencia entre el display y el termómetro instalado se debe a que la programación en el sistema de control del equipo se encuentra corrigiendo el error, la medida directa a utilizar es la indicada en el termómetro.



Figura 35. Comprobación de temperaturas en placa caliente

3. Antes de colocar el material es importante tomar los siguientes datos iniciales indicados en la tabla de experimentación: temperaturas de las placas fría y calientes, voltaje y corriente de la placa caliente interna, porcentaje de humedad relativa, temperatura ambiente, peso de la placa 1 y 2, dimensiones de las placas 1 y 2 (largo, ancho y espesor), hora de inicio de las pruebas.

4. Cuando se encuentran estables estas temperaturas se colocan las placas de material a probar, como primera prueba se realiza con yeso empapelado para validar el valor teórico de bibliografía con el valor práctico y verificar que el equipo funcione adecuadamente.



Figura 36. Instalación del material de prueba en el equipo

4. Después de instalar las dos placas para experimentación, la temperatura de la placa caliente y las frías varían, se debe tener en cuenta que la diferencia entre las placa caliente interna y externa no sea iguales, preferentemente menor a un centígrado, de igual manera la diferencia entre ambas placas frías.



Figura 37. Estabilización de temperaturas entre placa fría y placas calientes

6. En este punto se tiene que esperar el tiempo necesario para que las temperaturas se estabilicen y tomar la primera medida, esto depende del material utilizado. Una vez estable tomar todas las medidas indicadas en el ítem 3.

7. Tomar medidas adicionales con intervalo de tiempo entre media hora a una hora entre cada una.

8. Pesar las placas de material 1 y 2 al final de la prueba y registrar en la tabla.

9. Realizar el cálculo correspondiente de coeficiente teniendo en cuenta el análisis dimensional $[W/^{\circ}K.m]$, como referencia en muchas tablas se encuentra el coeficiente de conductividad térmica en $[kcal.m/^{\circ}C.h.m^2]$.

A continuación se indica un ejemplo del cálculo realizado teniendo en cuenta los resultados obtenidos de la prueba de calibración con yeso empapelado.

De acuerdo a la normativa ASTM C1045 se tiene en cuenta la siguiente fórmula para el cálculo de coeficiente térmico:

$$\lambda = \frac{Q \times L}{A \times (T_c - T_f)}$$

Siendo:

λ : coeficiente de conductividad térmica [W/°K.m]

A: el área normal a la dirección del flujo [m²]

L: espesor de la placa [m]

Q: Flujo de calor a través del área medida [W]

T_c: Temperatura de la placa caliente [°K]

T_f: Temperatura de la placa fría [°K]

Se debe tener en cuenta para el cambio de unidades que: Joule (kgm²/s²) = W.s = 0.2389 cal

Se realizan pruebas con el equipo de medición de coeficiente térmico de las siguientes muestras:

1. Muestras de mezcla de biomasa de cacao con cemento de acuerdo al mejor resultado de mezcla para la fabricación de bloque.

2. Trozos de ±2,5 cm con densidad 1.

El procedimiento realizado para cada prueba se repite de acuerdo al indicado en esta sección, sin embargo es importante enumerar las consideraciones que se tomaron para las pruebas 2, 3, 4 y 5.

- Previo a colocar las muestras se realiza una envoltura de plástico para evitar pérdida por fugas, igualmente al colocar las probetas y la placa, se

realiza una envoltura plástica en todo el grupo igualmente para evitar pérdidas por acción del aire.



Figura 38. Envoltura plástica para evitar pérdidas

- Al realizar las pruebas 4 y 5 las densidades de ambas cantidades deben ser iguales, para lo cual se calcula los volúmenes de ambos moldes contenedores de biomasa, se corta la biomasa con las mismas dimensiones a las que fueron utilizadas para la elaboración del bloque con el mejor resultado y se pesan en cantidades iguales.



Figura 39. Muestras de cacao desmenuzado

4.3.2. Planificación y protocolo de medición de humedad

Para realizar el protocolo de medición de humedad se referencia la norma INEN 642 que indica: "El método descrito en esta norma consiste en someter los bloques a la inmersión en agua hasta su saturación y luego al secado, para registrar las variaciones en masa de los mismos durante este proceso".

Como procedimiento se indica:

1. Pesar la muestra totalmente seca y luego proceder a sumergirla en agua en su totalidad. Dejar en esta condición durante 24 horas.

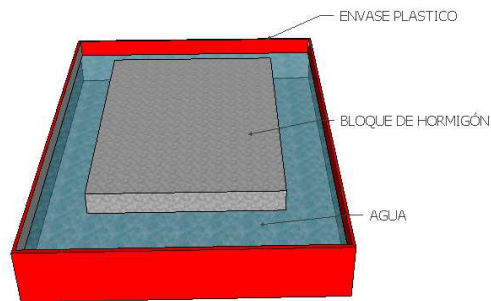


Figura 40. Prueba de humedad

2. Retirar del agua, secar el agua en exceso y volver a pesar la muestra.



Figura 41. Peso de la muestra húmeda

3. Realizar el cálculo correspondiente de acuerdo a lo establecido a la normativa INEN 642:

$$\text{Absorción}(\%) = \frac{A - B}{B} \times 100$$

Siendo:

A: Masa en húmedo del espécimen [kg]

B: Masa en seco del espécimen [kg]

Adicional al ensayo de humedad se realiza el protocolo de **humectación/secado** para evidenciar degradación del bloque por estos procesos.

La normativa utilizada es la UNE 41410 y el procedimiento realizado se describe a continuación:

1. La muestra totalmente seca se sumerge 10 mm en agua y se mantiene sumergida 30 segundos. Se deja secar al aire libre y cuando se iguala el color se observan anomalías y se registran. Se repite este ciclo 6 veces y luego se seca la muestra completamente.

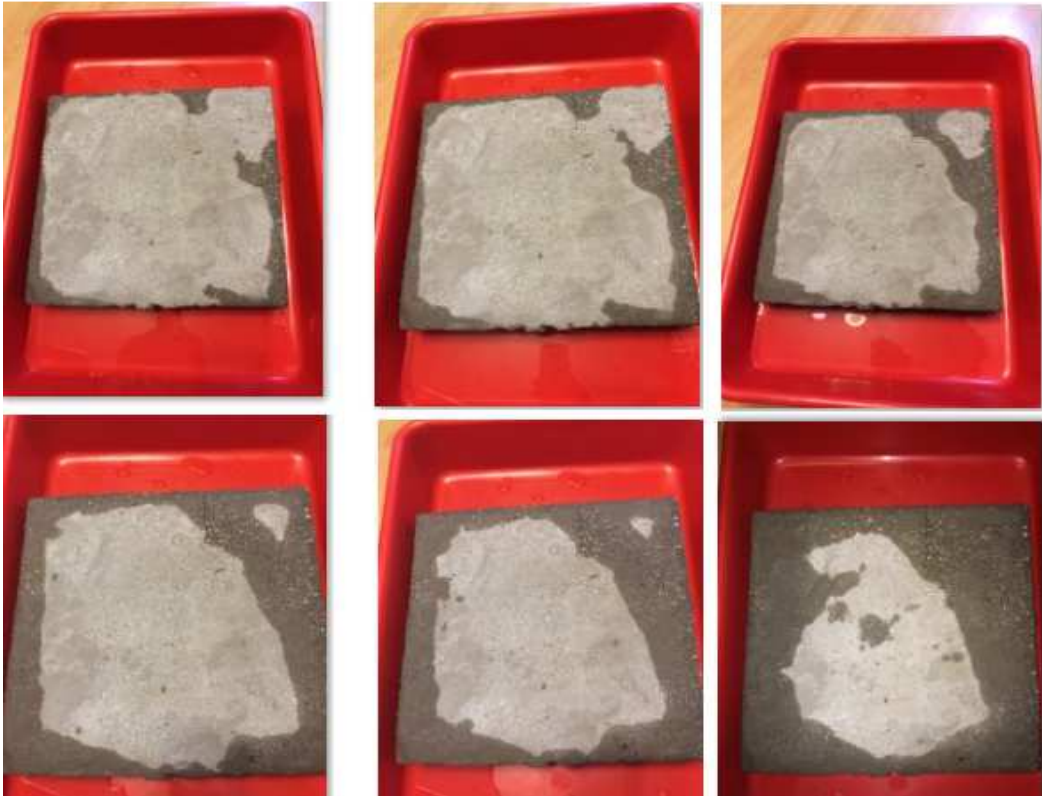


Figura 42. Pruebas de humectación/secado

Una muestra no presenta resultados satisfactorios si presenta:

- Grietas aleatorias.
- Grietas en estrella.
- Hinchamiento local.
- Picado local en al menos 5 zonas
- Pérdida general o local de capas
- Penetración de agua en más de 70% del ancho de la muestra
- Pérdida de fragmentos mayores a 50 mm, excepto que provengan de la parte comprendida entre los bordes y 50 mm hacia adentro.

4.3.3. Planificación y protocolo para pruebas de resistencia a la compresión

En esta sección se especifica la mezcla utilizada para la realización de las diferentes pruebas, como base común, la mezcla de la biomasa se elabora con cemento Portland y áridos finos, en este caso arena.

Tanto para cacao como caña de azúcar el proceso de elaboración de bloques tiene dos partes bien definidas:

1. Pruebas con probetas o cilindros
2. Pruebas con bloques

Las pruebas con bloques se realizan con el mejor resultado de la prueba de probetas o cilindros.

A continuación se describen las dos formas.

4.3.4. Pruebas con probetas cilíndricas

Para la elaboración de los cilindros se toma en cuenta la normativa ASTM C31 que indica las proporciones y la ejecución de la prueba.

El procedimiento realizado se indica a continuación:

1. Se realizan los cálculos de porcentaje de la mezcla en peso de acuerdo a la normativa indicada en la sección anterior para pruebas con probetas cilíndricas, se utilizan dos tamaños de probetas 15x30 y 10x20 centímetros. Las pruebas para el cacao se realizaron únicamente con un solo tipo de probeta 10x20 centímetros para todas las mezclas.

Se realizaron pruebas con cacao mineralizado y cacao desmineralizado. Se entiende por mineralización la mezcla previa de los segmentos de biomasa con cemento en una mezcla húmeda

2. Se pesan los ingredientes de acuerdo a la fracción que tienen en la mezcla (C cemento, A arena, B cacao) Se realizaron pruebas con diferentes tamaños de fragmentos 5mm triturado y sin triturar (fragmentos de aproximadamente ± 2.5 cm) y la cantidad de agua a anexar a la mezcla:



Figura 43. Peso de ingredientes para probeta de biomasa

3. Una vez pesados los ingredientes se procede a mezclarlos, anexando el agua pausadamente hasta obtener una pasta homogénea:



Figura 44. Elaboración de masa de probetas

4. El siguiente paso es ingresar la mezcla en la probeta y compactarla con la ayuda de un martillo de goma y una varilla de compactación, finalmente se nivela su superficie con una regla o con la varilla de compactación:



Figura 45. Compactación de probetas

5. Se dejan reposar las probetas por un lapso mínimo de 7 días antes de realizar las pruebas.



Figura 46. Desmolde de probetas

6. Se procede a la realización de las pruebas de compresión con la máquina de rotura de probetas, antes se pesan las probetas secas; se anotan los resultados correspondientes:



Figura 47. Ensayo de compresión

En el caso de cacao las pruebas entregaron los valores finales sin mayores discrepancias únicamente en una de las pruebas por lo que se repitió una sola vez sin necesidad de realizar tantos ensayos.

5.1.1. Pruebas con bloques

Luego de los ensayos obtenidos con las pruebas de probetas, se procede a la elaboración de los bloques de cemento con la mejor disposición porcentual de biomasa.

Se elabora el bloque con el molde de bloquera indicado en el Capítulo III. Previo a la prueba se realiza la homogeneización y acabado de las superficies de los bloques de manera que sean lo más lisos posibles.



Figura 50. Pruebas en bloques

5.2. Modelo de evaluación de resultados

Para evaluar el resultado que se acerque a las condiciones permitidas de un elemento constructivo de biomasa se utiliza una metodología sencilla de comparación.

Este método consiste en la simple comparación de un parámetro teórico con el resultado de las pruebas obtenidas. El parámetro teórico o base puede indicarse de acuerdo a una normativa aplicada o con un modelo base en el cual se realizan pruebas, por ejemplo, en el caso de bloques, se realizan pruebas en un bloque poroso en base a cemento y agregados y sirve como referencia.

Se tienen entonces las siguientes consideraciones:

- Para el caso de coeficiente térmico se indica como referencia los valores promedio encontrados para los diferentes aislantes descritos en el capítulo II que se encuentran entre 0,01 y 0,05 W/m.°K. (IVE, 1998)
- Para el caso de resistencia de bloques se utiliza un único valor dado por la normativa INEN 643 para bloques indicando también el valor de 2MPa o superior:

Tabla 17

Norma INEN 643 de resistencia mínima de compresión

TIPO DE BLOQUE	Resistencia mínima a la compresión en Mpa a los 28 días (Norma INEN 640)
A	6
B	4
C	3
D	2,5
E	2

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1. Datos obtenidos.

5.2. Estadísticas y análisis en bloques de hormigón con cáscara de cacao

5.2.1. Conductividad

En el Anexo 1 de este trabajo se encuentran las tablas de resultados de coeficiente de conductividad térmica para las distintas muestras realizadas.

Tabla 18

Resultados de las pruebas de medición de conductividad térmica

UNIDAD	BLOQUE	GRANEL
Q (W)	0,143	0,0906
ΔT (°K)	10	11,8
A (m ²)	0,0225	0,0225
L (m)	0,05	0,052
λ (W/°K*m)	0,0317	0,0177

Como resumen, de los datos recopilados en laboratorio de las diferentes muestras, en la Tabla 18 se detalla los valores de conductividad térmica, el bloque de hormigón alcanzo una estabilización luego de 3 horas sometido a la prueba en la máquina de conductividad alanzando un 0.0317 λ (W/°K*m), mientras que el cacao en granel se estabilizo a las a la segunda hora sometido a la prueba alcanzando un valor de 0.0177.

A continuación en la gráfica de la figura 48 se muestra el valor del coeficiente de conductividad y la comparativa con diferentes materiales comerciales utilizados para la construcción de edificaciones.

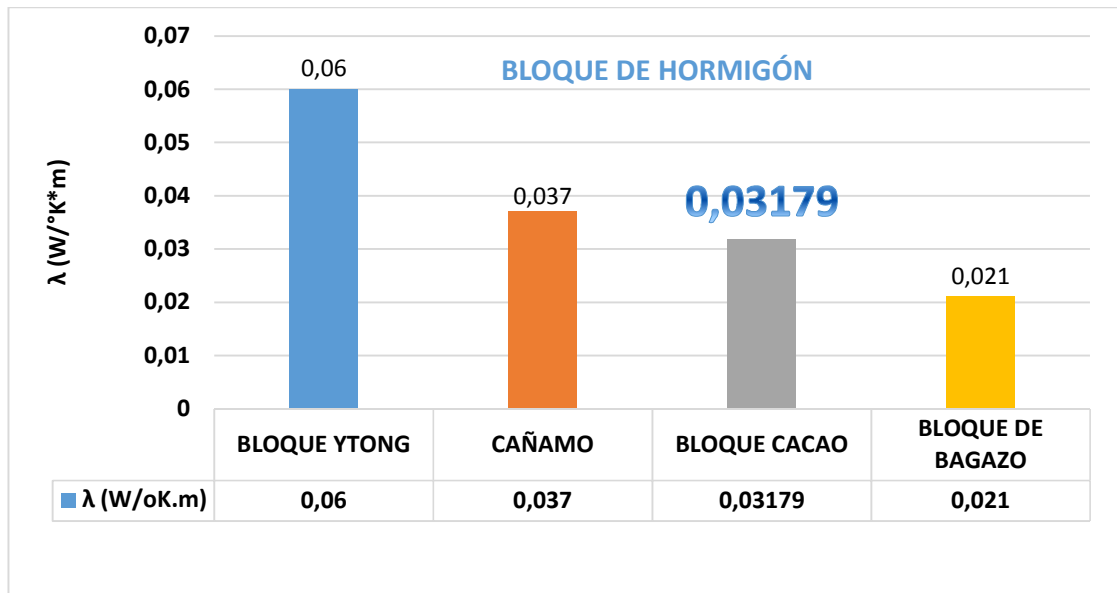


Figura 48. Resultados de coeficiente de conductividad térmica en bloques para construcción.

De los resultados obtenidos, la biomasa de la cáscara de cacao posee buenas propiedades de aislamiento térmico, el bloque posee una conductividad de $0.031(W/^\circ K \cdot m)$, comparando con las demás opciones comerciales, el cacao es un buen aislante.

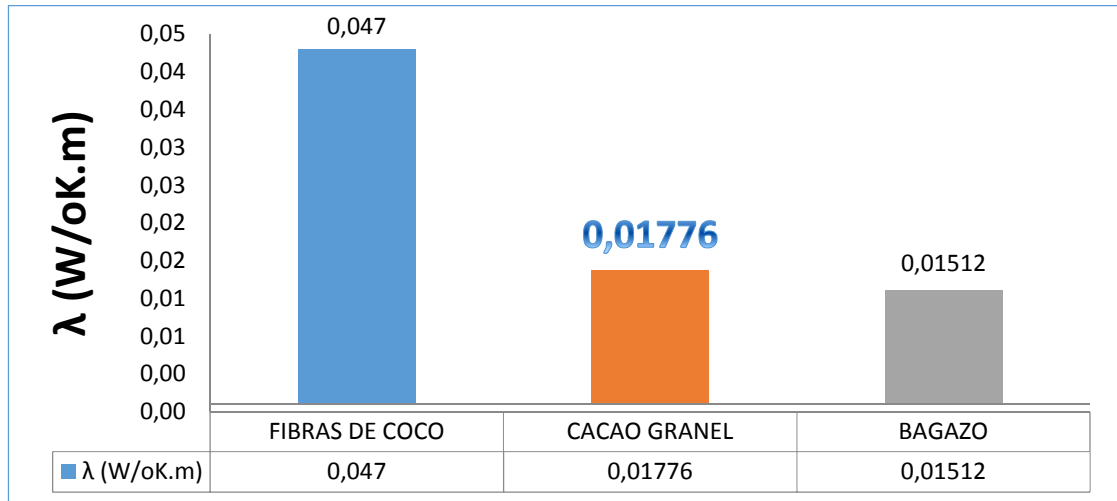


Figura 49. Resultados de coeficiente de conductividad térmica con diferentes biomazas en granel.

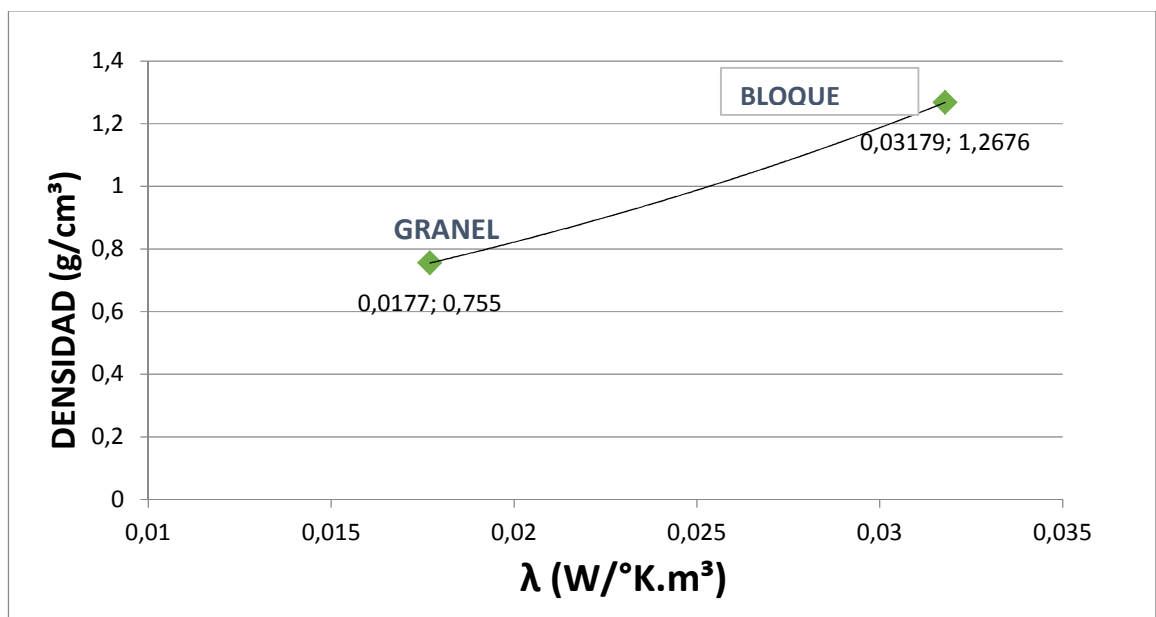


Figura 50. Resultados de coeficiente de conductividad térmica respecto a la densidad del bloque y granel.

En los ensayos realizados, el aislamiento térmico correlaciona fundamentalmente con la densidad del bloque, de tal modo que a mayor densidad, mayor es el valor de conductividad térmica λ (W/°K.m).

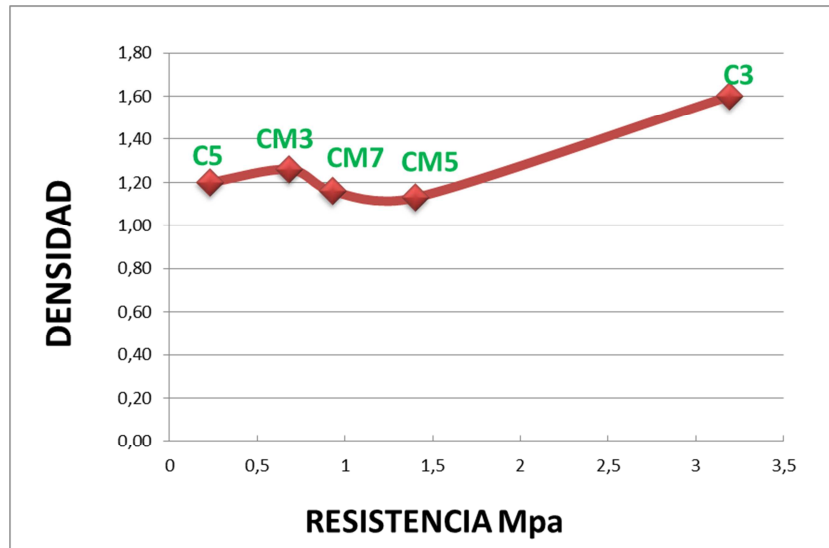


Figura 51. Resultado de dispersión Densidad Vs. Resistencia

Los valores de resistencia son de suma importancia ya que el objetivo principal de esta investigación es utilizar los bloques con fines estructurales.

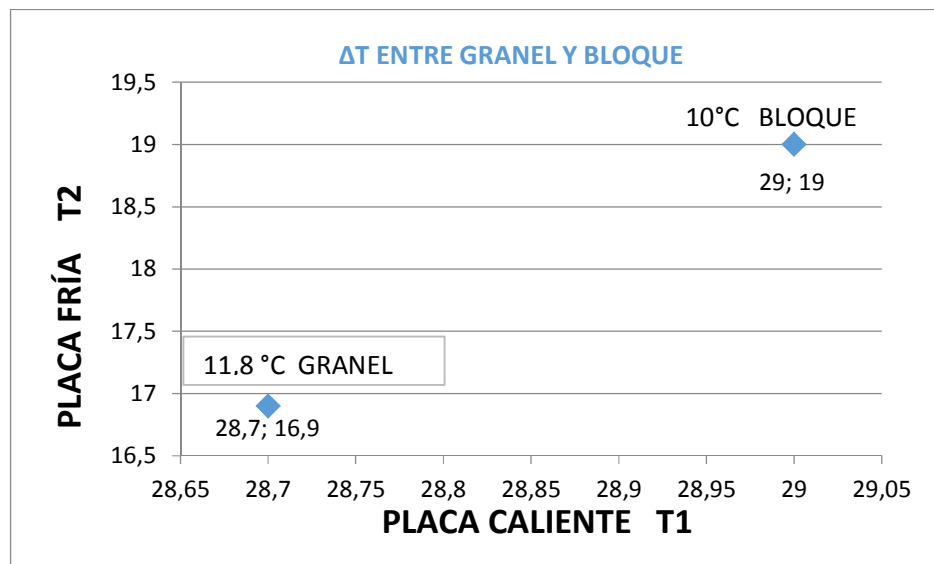


Figura 52. Diferencia de temperatura

En la gráfica de la Figura 52 se muestra que el bloque de hormigón es mucho más conductor que el cacao en granel, el granel presenta un rango de

temperatura más distante entre la placa fría con la caliente de 28.7°C a 16.9°C, lo que demuestra que al ser más distante el valor de la variación de temperatura (ΔT), es mejor aislante.

5.2.2. Resistencia a la compresión

5.2.2.1. Pruebas con probetas cilíndricas

Para la cáscara de cacao y debido a las distintas formas en las que puede ser usado, se realizaron varias pruebas que se definen a continuación, primero con probetas cilíndricas y con los resultados finales con bloque.

1. Para el cacao se realizaron primero pruebas con cacao mineralizado:

- Cacao mineralizado; C0, A1, B3 con el cilindro de 10x20 centímetros.
- Cacao mineralizado; C0, A1, B5 con el cilindro de 10x20 centímetros.
- Cacao mineralizado; C0, A1, B7 con el cilindro de 10x20 centímetros.

2. Se realizan pruebas con cacao sin mineralizar con porciones de cemento:

- Cacao sin mineralizar; C1, A2, B3 con el cilindro de 10x20 centímetros.
- Cacao sin mineralizar; C1, A2, B5 con el cilindro de 10x20 centímetros.

En el Anexo 2 de este trabajo, se indica la tabla de las proporciones y cálculos de volumen de todas las pruebas descritas y la nomenclatura con la que aparecerán los resultados finales. Todos los ensayos fueron realizados con fragmentos de cáscara de cacao de 2,5 cm.

Como el resultado la combinación C3 expresa un valor estimado de 3.2MPa por encima de los 2MPa establecidos por lo que se escoge como la propuesta final para la elaboración de todos los proyectos y ensayos.

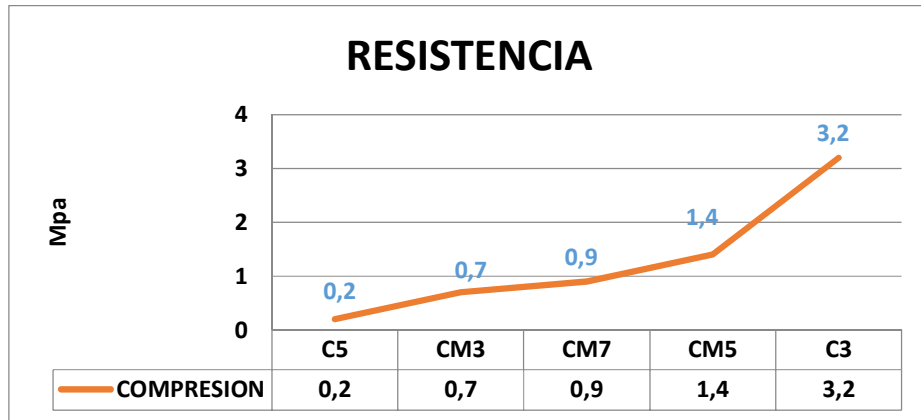


Figura 53. Resultados de pruebas de resistencia a la compresión en probetas

Evidentemente, la mayor cantidad de cemento lo contiene C3 y también una menor proporción de biomasa, sin embargo es la que mejores valores otorgó a las pruebas de resistencia a la compresión.

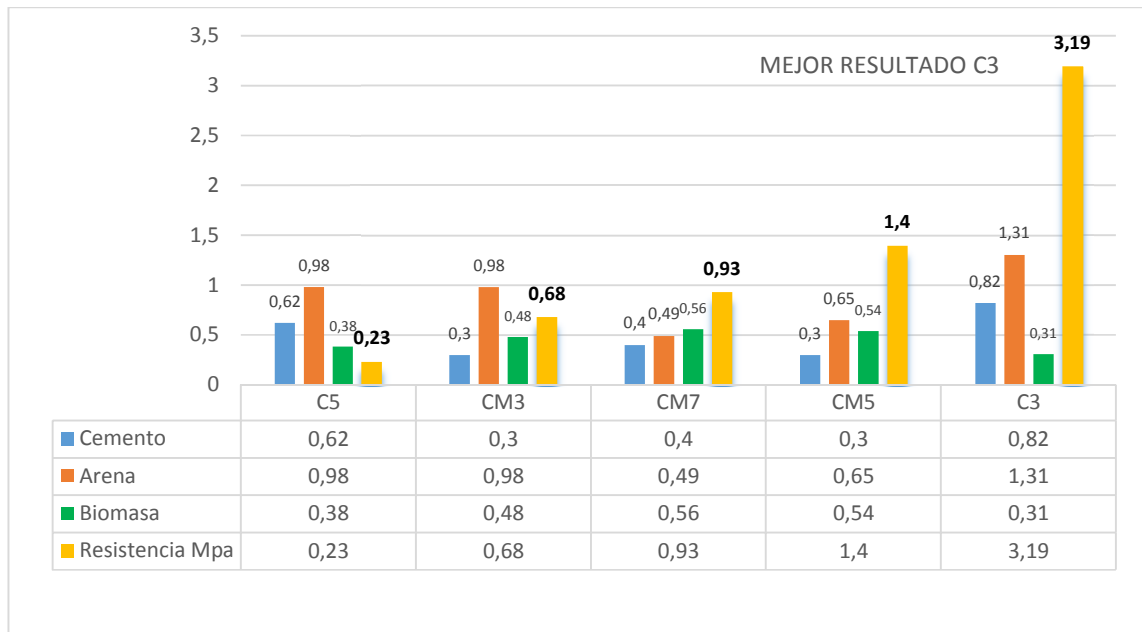
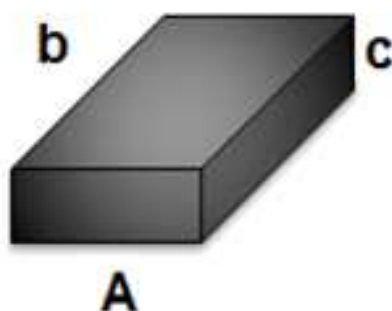


Figura 54. Componentes de cemento, arena y biomasa de los ensayos de resistencia

5.2.2.2. Pruebas con bloques

Solo como medida de prueba de los resultados obtenidos con probetas, con el mejor resultado encontrado, se realiza la construcción del bloque de cacao. Las dimensiones del bloque se indican a continuación:



Dimensiones (cm)						
A	b	c	Área cm ²	Carga (Kg)	Resistencia (Kg/cm ²)	Resistencia (MPa)
14	29,5	9,5	413	9990	24,19	2,37



Figura 55. Dimensiones del bloque de cacao C3 y resultados de pruebas de resistencia.

El bloque elaborado sigue conservado características apropiadas de resistencia con un valor mayor a 2MPa. La diferencia con relación a la probeta encontrada puede deberse a la condiciones de emulación de la prueba y la densidad de la arena utilizada.

- 0.39 kg/dm³ peso específico /densidad del cacao
- Peso específico de la arena /densidad especifica fue determinada en laboratorio 2.5 kg/dm³
- Densidad cemento 3.14 kg/dm³

5.2.3. Humedad

El resultado después de mantener la muestra sumergida durante 24 horas incrementó el peso de la muestra de 6080 g a 7350 g, es decir 1270 g; lo que nos indica un porcentaje de absorción de 20.8%.

En las pruebas de humectación y secado no se evidenciaron modificaciones anormales en las seis pruebas realizadas a la muestra, los procesos de secado al ambiente mostraron un tiempo aproximado de 3 a 4 horas con sol hasta que la muestra retome su color original.

5.2.4. Huella de carbono

Como ya se indicó en capítulos anteriores, 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 CO₂, 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)

Este análisis se lo puede realizar con dos metodologías: 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 y 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.

De acuerdo a esto se ha generado la gráfica de evaluación de elaboración de un bloque en base a biomasa, es importante la realización del diagrama de límites del mismo que definen la energía, su uso y las emisiones para poder posteriormente desarrollar el análisis del ciclo de vida:

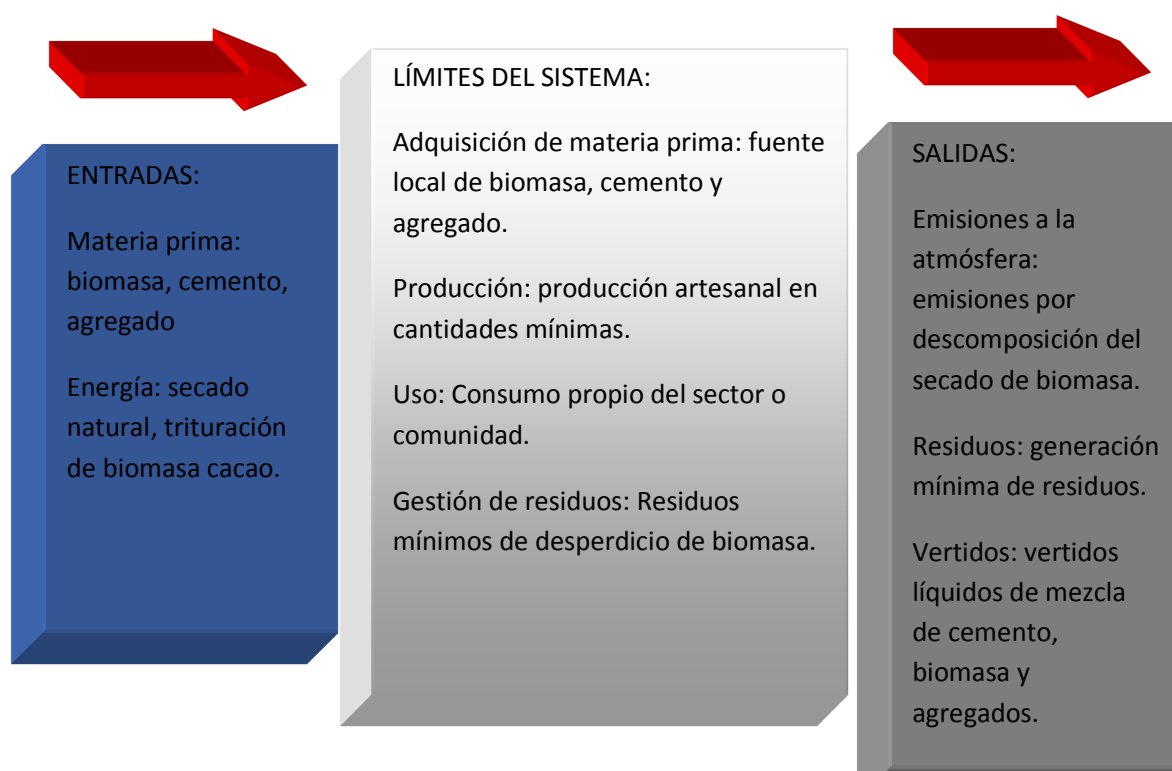


Figura 56. Gráfica de huella de carbono para la elaboración de bloque de cacao.

Es importante tener en cuenta que este diagrama se basa únicamente en la producción del bloque, no se incluyen las variables correspondientes a la fabricación del cemento, transporte de centros de abasto, etc. Se considera que la fabricación se realizará de manera local.

5.2.5. Coste de elaborar un bloque de hormigón con cáscara de cacao.

Para el cálculo de coste se han considerado los siguientes criterios:

- La cantidad estimada unitaria (u) que se indica en la elaboración de una unidad y en el caso de trituradora, indica el tiempo total de alquiler utilizado para triturar la biomasa necesaria.
- Los tiempos indicados se encuentran establecidos en base a la elaboración manual realizada de cada prototipo.
- No se estima el costo de transporte aunque si se especifica en el diagrama debido a que se pretende generar demanda local minimizando este recurso.

Con esto el primer paso para poder realizar el análisis de costos es generar el diagrama de proceso de fabricación de bloques que se indica:



Figura 57. Proceso de fabricación de bloques de cáscara cacao

5.2.6. Precio Unitario para la elaboración de bloque de hormigón con biomasa de la cáscara de cacao

El costo está determinado según la proporciones, en el caso del cacao la mezcla idónea la cual cumplió con las mejores resultados de laboratorio corresponde a la relación C1:A2:B3.

Tabla 19

Precio Unitario para la elaboración de bloque de hormigón con biomasa de la cáscara de cacao

REALCION DE PROPORCIONES CACAO						
1	2	3				
CEMENTO	ARENA	BIO-MASA				
VOLUMEN DEL CILINDRO= 4500 cm ³						
Calculo en volumen			Peso		Costo	
Cemento	0,9	dm3 o lt	0,92	kg	0,1384	
Arena	1,8	dm3 o lt	3,06	kg	0,093	
Bio-masa	3,5	dm3 o lt	3,91	kg	0	
Agua	2	lt			\$ 0,001	
TOTAL					\$ 0,229	

La estimación económica para la elaboración del bloque a partir de la cáscara de cacao es aproximadamente USD. 0.229 dólares.

5.2.7. Ciclo de vida del bloque de cáscara de cacao.

Con el panorama del proceso se elabora la matriz del ciclo de vida por cada uno de los elementos involucrados en la creación del material de construcción y en cada etapa se describen los impactos generados.

Tabla 20

Impacto durante el ciclo de vida de la elaboración de un bloque de biomasa.

Impacto	Durante la construcción	Durante la utilización	Etapa de abandono
Local	Consumo de energía por trituración.	Desperdicios generados por eliminación del bloque.	Desperdicios generales no tóxicos.
	Desperdicios no utilizados en la elaboración de bloques.	Impacto en la comunidad por aceptación de nuevo material y uso adecuado del mismo.	
	Emisión de vertidos de mezcla de cemento y áridos durante la fabricación.		
	Impacto visual hacia la comunidad por construcción y áreas de secado de biomasa.		
	Proliferación de plagas, mosquitos en el área de secado.		
	Energía para la elaboración.		
	Alto consumo de agua.		

Con ayuda de las matrices de impacto, se evalúa el material que implica mayor riesgo para cada proceso y la recomendación para su mitigación.

Tabla 21

Matriz de material de mayor riesgo para elaboración de bloque de cáscara de cacao.

Producto	Material	Proceso	Recomendación
Bloque de cacao	Cemento	Las gravas graníticas empleadas como áridos suelen ser radioactivas.	Usar la alternativa de biohormigón, fácil elaboración, disminuyendo la proporción de cemento

CAPÍTULO 6

ANÁLISIS DEL COSTO DE LA INVESTIGACIÓN

6.1. Análisis de costos de la investigación.

Para iniciar con el análisis de costos es importante primero describir el diagrama de ejecución que se ha realizado, todas las actividades se presentan como ruta crítica, ninguna puede continuar si la siguiente no es finalizada, es decir, no existen tiempos de holgura para cada actividad:

Tabla 22

Matriz de ejecución del proyecto.

ID	Task Name	Predecessors	O	M	P	Duration	ES	EF	LS	LF	Stack
10	Inicio, determinación de objetivos y alcance		7	7	7	7	0	7	0	7	0
20	Estudio del arte y definición del alcance final	10	90	90	90	90	7	97	7	97	0
30	Desarrollo de prototipos en bloques y tableros	20	60	60	60	60	97	157	97	157	0
40	Pruebas de laboratorio física y mecánica	30	15	15	15	15	157	157	157	157	0
50	Pruebas de laboratorio térmica	30	15	15	15	15	157	172	157	172	0
60	Evaluación de resultados	40 50	30	30	30	30	172	202	172	202	0
70	Elaboración de escrito final	70 20 30 40 50 60	15	15	15	15	202	217	202	217	0
90	Revisión y presentación	70	7	7	7	7	217	224	217	224	0

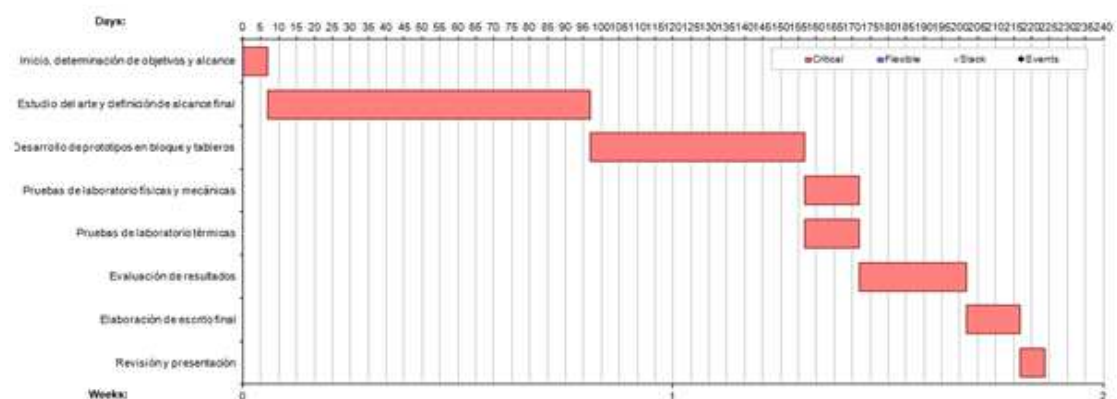


Figura 58. Diagrama de Gantt de ejecución de proyecto

De acuerdo al cronograma desarrollado el trabajo total culminado tiene una duración de 224 días para su finalización, es decir 7,5 meses aproximadamente. Es importante recalcar que este cronograma se desarrolla con el tiempo real que implicó la elaboración del presente trabajo. Como se indica, las dos actividades principales y que mayor tiempo generaron corresponden a: estudio del arte y elaboración de prototipos entendiéndose su conjunto como el estudio de campo, desarrollado en un tiempo aproximado de 5 meses.

El paso siguiente es elaborar el diagrama de proceso que implicó el desarrollo de campo discriminando elaboración de bloque y elaboración de tablero:

De acuerdo al diagrama de ejecución presentado en la sección 6.1, el desarrollo experimental en laboratorio tiene una duración únicamente de 30 días.

6.2. Análisis de costos de estudio de campo

Como se indicó anteriormente el estudio de campo lo constituyen los ensayos realizados para evidenciar la mejor opción para la elaboración de bloque de cacao.

Para evidenciar las diferencias entre la investigación en referencia a la realización de bloques se generan las siguientes gráficas:

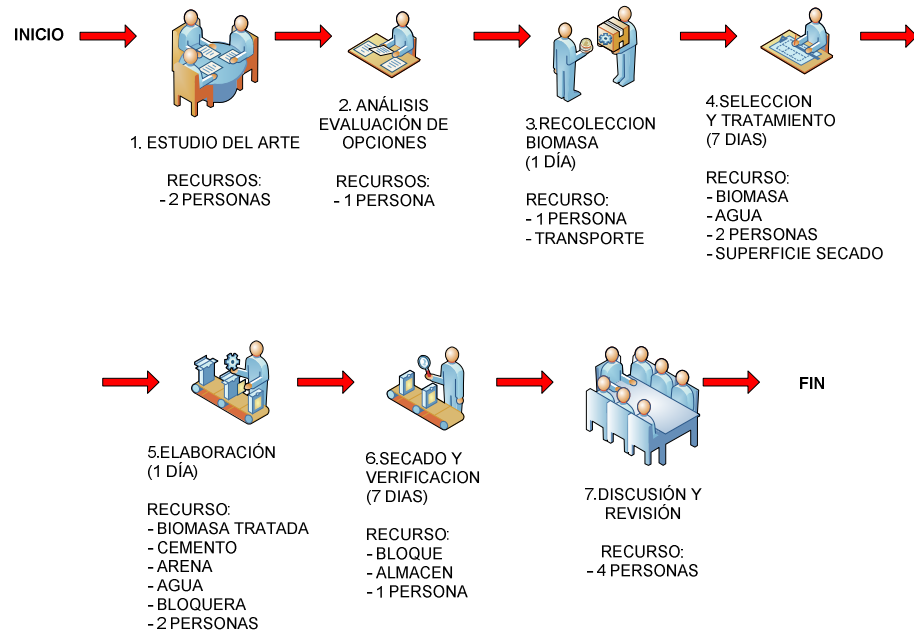


Figura 59. Proceso de investigación para bloques de cáscara de cacao

Ambos procesos comparten el estudio del arte, la recolección de biomasa, la elección y tratamiento de la misma y los procesos de revisión y discusión. Durante todo el proceso se establecen los costos unitarios del tiempo de trabajo del investigador y las tutorías respectivas.

Se establecen entonces los costos directos y los indirectos.

6.3. Costos directos

Se asume la duración del proyecto en 5 meses que implican 20 semanas de trabajo, con un promedio de tiempo de trabajo de 2 horas diarias. Se asume aquí el salario básico ecuatoriano.

Tabla 23

Costos directos del estudio de campo

PERSONAL EJECUTOR				
NOMBRE	CARGO	TIEMPO (HORAS)	VALOR (HORAS)	TOTAL
Alvaro Isaac Carrera Hidalgo	Ejecutor	200	2,8	\$560
			TOTAL	\$560

Los otros costos directos corresponden a los procesos de elaboración de las diferentes muestras.

Tabla 24

Coste de producción para la elaboración de muestras de prueba

GASTOS TOTAL				
MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
AGUA	m ³	2	\$0,4	\$ 0,9
CEMENTO	Kg	2	\$7,5	\$15
ARENA	Kg	2	\$2	\$4
ALQUILER DE MAQUINA	UNIDAD	2	\$25	\$50
TRASPORTE	UNIDAD	2	\$50	\$100
MOLDE DE MADERA PARA BLOQUE	UNIDAD	2	\$5	\$10
MOLDE METÁLICO	UNIDAD	1	\$98	\$98
ACCESORIOS	UNIDAD	1	\$50	\$50
				\$327,9

6.4. Costos indirectos

Dentro de los costos indirectos se indican los costos generados por tutoriales y se indican en la siguiente tabla.

Tabla 25

Costo indirecto del estudio de campo

PERSONAL ASESOR				
NOMBRE	CARGO	TIEMPO (HORAS)	VALOR (HORAS)	TOTAL
Arq. Luis Velasco Roldán PHD.	Tutor	50	30	\$1500
			TOTAL	\$1500

6.5. Análisis de costos del estudio experimental.

El estudio experimental lo constituye la segunda fase del proyecto, aquí también se consideran costos directos e indirectos.

Al igual que en el caso anterior los costos directos corresponden al costo por prueba realizado en laboratorio y los indirectos a los tutoriales.

6.5.1. Costos directos

Tabla 26

Costos directos del estudio experimental

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Pruebas de laboratorio	9	\$ 5	\$ 45
		TOTAL	\$ 45

PERSONAL EJECUTOR

NOMBRE	CARGO	TIEMPO (HORAS)	VALOR (HORAS)	TOTAL
Ing. Alvaro Isaac Carrera Hidalgo	Ejecutor	40	2,8	\$112
			TOTAL	\$112

6.5.2. Costos indirectos

Dentro de los costos indirectos se indican los costos generados por tutoriales y se indican en la siguiente tabla:

Tabla 27

Costo indirecto del estudio experimental

PERSONAL ASESOR				
NOMBRE	CARGO	TIEMPO (HORAS)	VALOR (HORAS)	TOTAL
Arq. Luis Velasco Roldán PHD.	Tutor	50	30	\$1500
			TOTAL	\$1500

6.6. Costo total de la investigación

A los costos totales se le debe anexar los misceláneos propios de la ejecución del proyecto.

Tabla 28

Costo por misceláneos

DESCRIPCIÓN	CANT	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Útiles de oficina	1	\$80	\$80
Transporte	1	\$100	\$100
Servicios básicos	1	\$50	\$50
Impresiones	5	\$10	\$50
Copiados de textos	5	\$10	\$50
TOTAL			\$ 330

Con estos valores el desglose de costos totales se indica a continuación.

Tabla 229

Costo total de la investigación

DESCRIPCIÓN	COSTO
Costos directos	
Ejecutor	\$ 560,00
Materiales y servicios	\$ 327,90
Costos indirectos	
Tutoriales	\$ 1.500,00
COSTOS DEL ESTUDIO EXPERIMENTAL	
Costos directos	
Ejecutor	\$ 112,00
Pruebas de laboratorio	\$ 45,00
Costos indirectos	
Tutoriales	\$ 1.500,00
OTROS	
Misceláneos	\$ 330,00
TOTAL SIN IMPREVISTOS	\$ 4.374,90
IMPREVISTOS 3%(CD+ CI)	
TOTAL	\$ 4.506,15

De los cuales los costos generados por el ejecutor son \$672 (dólares americanos), los costos por tutoriales \$3.000 (dólares americanos) y los costos netos de los procesos de campo y experimentación \$834.15 (dólares americanos).

Es así que el costo total de la investigación considerando un 3% de imprevistos tiene un monto total de \$4506.15 (dólares americanos)

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

El conclusión el valor encontrado que dio la máquina de conductividad térmica referente al bloque de hormigón a base de cascara de cacao es de 0.0317 (W/°K.m), y comparado con un bloque comercial como el YTONG que tiene 0.06 (W/°K.m), lo convierte en una buena alternativa para impulsar la fabricación de estos bloques y utilízalo en el parque edificario del país.

Para validar los resultados se debería hacer un mayor número de pruebas y ensayos que certifiquen su validez y sea motivo para un nuevo estudio y así incentivar el uso de los desperdicio agrícola generados en el país.

El bloque de hormigón con cascara de cacao obtuvo una resistencia mayor a la requerida por la Norma INEN 643, por lo que aparte de ser buen aislante es muy resistente para ser utilizado en la construcción de la vivienda con un bloque tipo C,D, y E para paredes internas y externas.

Económicamente el fabricar un bloque de hormigón con la cáscara de cacao es más viable ya que se reduce el uso de cemento y arena, en nuestro caso el costo estimado por bloque es de \$0.229 centavos de dólar, el precio comercial promedio de un bloque tradicional y de venta en Ecuador es de 0.35 centavos de dólar, lo que representa un ahorro de aproximadamente de 0.12 centavos, esto llamara mucho la atención a empresas constructoras para que fomenten el uso de este recurso y aumente su rentabilidad mejorando eficientemente el confort de la edificación.

En los ensayos realizados, el Aislamiento térmico correlaciona con la densidad del bloque, de tal modo que a mayor densidad, mayor es el valor de conductividad térmica λ (W/°K.m).

Basados en esta investigación para desarrollar boques de hormigón con biomasa de cascarilla de cacao para su aplicación en la construcción de edificaciones es viable siempre y cuando se realiza a nivel sectorial donde se encuentre la mayor demanda de producción de cacao en el Ecuador, con esto se reduce los costos innecesarios para su procesamiento y logística.

De todos los ensayos y pruebas de laboratorio que se realizaron para concluir la mejor mezcla se hizo con la cáscara sin mineralizar, al mineralizar la cáscara perdió sus dimensiones físicas ocasionando mayor uso de arena y cemento. De las pruebas de resistencia y conductividad se tuvo mejor resultado solo con la cáscara seca.

Si esta investigación se aplicable a gran escala y con esto remplazar el uso de materiales convencionales para la elaboración de edificaciones se tendría buenos resultados para minimizar efectos contaminantes al ambiente, energéticamente esta investigación presenta un modelo de construcción más eficiente y sostenible de los modelos combinados.

El mejor resultado de la mezcla C3 se realizó con biomasa seca desmenuzada en trozos ± 2.5 cm, al trocearle en contenidos más pequeños no se tuvo buenos resultados aumentando así más el uso de cemento y arena.

7.2. Recomendaciones

Con los resultados obtenidos se demostró que el uso de la cáscara de cacao con fines estructurales cumple con todas las pruebas de laboratorio y se sustenta para que pueda ser utilizado por todo el mundo.

Se debe tener presente la densidad de los materiales que componen el bloque de hormigón, si se utiliza materiales como arena o cemento de diferentes procedencias puede cambiar las características mecánicas, físicas y térmicas del bloque.

Para lograr mejores resultados en la fabricación de bloques se recomienda secar la biomasa en un ambiente seco, para este estudio se estimó un promedio de 5 a 7 días para lograr una cáscara completamente seca.

La cáscara de cacao presenta una concentración alta de humedad y residuos gelatinosos, los cuales afectan a la mezcla y reduce la resistencia de la misma, para ello se debe lavar la biomasa varias veces y secar al ambiente, esto se debe repetir hasta observar que el agua de lavado este totalmente cristalina y sin colorante natural que emana la cascar de cacao.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Pozo García, C. (2011). *APROVECHAMIENTO DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR EN LA FABRICACIÓN DE BLOQUES ECOLÓGICOS PARA MAMPOSTERÍA LIVIANA*. ESPOCH.
- Águila Arboláez, I. (2005). *Evaluación de la hoja del maíz como posible fuente de material puzolánico*. Venezuela: UCV Facultad de Arquitectura IDEC.
- Cabo, L. (2011). *LADRILLO ECOLÓGICO COMO MATERIAL SOSTENIBLE PARA LA CONSTRUCCION (K)*. España: Departamento de Proyectos e Ingeniería.Ed. Rura Ekaina, Universidad Publica de Navarra.
- CARMONA DURÁN, P. (2011). *EVALUACIÓN MECÁNICA DE PASTAS DE CEMENTO MODIFICADAS CON ESCORIA DE HORNO DE ARCO ELÉCTRICO Y CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR*. Venezuela: UNIVERSIDAD VERACRUZANA.
- CASIAS, A. (2013). *EXPERIMENTACIÓN CON RESIDUOS DE LA INDUSTRIALIZACIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR Y SU APLICACIÓN EN VIVIENDAS EMERGENTES PARA CLIMAS CÁLIDOS*. Loja: UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA.
- CEPAL. (2013). *BASES DE RECURSOS MUNDIALES* . Whashington. DC: Climate Analysis Indicators Tool (CAIT) .
- Construcción, C. C. (2008). *AISLACIÓN TÉRMICA EXTERIOR, MANUAL DE DISEÑO PARA SOLUCIONES EN EDIFICACIONES*. Santiago de Chile: Corporacion de Desarrollo Tecnológico.
- Domoterra. (12 de 01 de 2015). *CASAS DE TIERRAS DOMOS VIVOS*. Obtenido de www.domoterra.es: <http://www.domoterra.es/contacto.html>
- Garcia, T. J. (2010). *MAGNA UTILIZACIÓN DE MATERIALES ALIGERANTES EN LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE TERMOARCILLA Y SU INFLUENCIA SOBRE LA CONDUSTIVIDAD TÉRMICA Y EL COMPORTAMINETO EN EL PROCESO*. España: Lorente Instituto de Tecnología Cerámica, Campus Universitario Riu Sec, .
- ICIDCA, I. (2015). *ESTUDIO DE DERIBADOS DE LA CAÑA DE AZUCAR*. Cuba: Revista ICIDCA .

- Incropera, D. (1996). *FUNDAMENTOS DE TRASFERENCIA DE CALOR*. México: Capítulo 2, Cuarta Edición, Prentice Hall, Pag. 46 en adelante.
- INEN 639, I. (2012). *BLOQUES HUECOS DE HORMIGÓN. MUESTREO Y ENSAYOS*. Quito: SEGUNDA REVISIÓN.
- Llavona, M. (2011). *DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE MATERIALES*. España: Universidad de Oviedo.
- MARCOS, O. (2009). *CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR COMO MATERIAL DE SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL CEMENTO PORTLAND, SISTEMA DE INFORMACIÓN CIENTÍFICA REDALYC*. Colombia: Universidad Nacional.
- Martina, P. E. (2011). *FABRICACIÓN DE UN EQUIPO DE PLACA CALIENTE PARA DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE MATERIALES*. Argentina: Universidad Nacional del Noreste, Comunicación científica y tecnológicas, Grupo de Investigacion de Energias Renovables.
- Olivares del Valle, J. (2013). *PATENTE, OBTENCIÓN DE MATERIALES AISLANTES A PARTIR DE RESIDUOS DE PROCESOS TÉRMICOS QUE UTILIZAN BIOMASA*. España: Universidad de Sevilla.
- Pisarenko G., Y. (1979). *MANUAL DE RESISTENCIA DE MATERIALES*. Moscú: Rusia Mir.
- Reyes Bañuelos, U. I. (2008). *Concreto Reforzado con Fibra de Bagazo de Caña*. UNIVERSIDAD VERACRUZANA.
- Reyes, S. (2012). *PANEL DE FIBRA VEGETAL PARA LA DIVISION DE ESPACIOS INTERIORES*. Loja: Universidad Tecnica Particular de Loja.
- Rojas, M. D. (2013). *DISEÑO DE UN PROCESO TECNOLOGICO PARA LA FABRICACION DE TABLEROS QUE SE UTILIZAN COMO MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN*. Venezuela: Universidad de Oriente .
- Sánchez, J. P. (2013). *TESIS PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE MAGISTER EN PLANIFICACIONY GESTION ENERGETICAS, EVALUACIÓN ENERGÉTICA DE CASCARA DE CACAO NACIONAL Y CCN-51*. Cuenca: Universidad de Cuenca, Facultada de CIENCIAS qUÍMICAS.
- Velasco Roldan, Luis (PhD); Goyos Pérez, Leonardo . (2015). *INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE AISLANTES TÉRMICOS NATURALES BASADOS EN RESIDUOS DE BIOMASA PARA SU APLICACIÓN EN LA MEJORA DE LA*

EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LAS EDIFICACIONES EN AMERICA LATINA.
Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE). Departamento de
Energía y Mecánica.

Yépez Tambaco, D. (2012). *Análisis de la arquitectura vernácula del Ecuador:
Propuestas de una arquitectura contemporánea sustentable.* España:
Universidad Politécnica de Cataluña / 2012.

ANEXOS

ANEXO 1

Pruebas de medición de coeficiente de conductividad térmica.

Nomenclatura

T1: Temperatura interna de la placa caliente

T2: Temperatura de la periferie de la placa caliente

T3: Temperatura de la placa fría 1

T4: Temperatura de la placa fría 2

Ti: Temperatura de la placa caliente (interna) indicada en el display del circuito de control.

Te: Temperatura de la placa caliente (periferia) indicada en el display del circuito de control.

Td: Diferencia de temperatura entre temperatura placa caliente y placa fría.

V: Voltaje entregado a la placa caliente en voltios.

I: Corriente entregada a la placa caliente en amperios.

H: Porcentaje de humedad relativa del ambiente.

Ta: Temperatura ambiente en centígrados.

P1: Peso de la muestra 1 en gramos.

P2: Peso de la muestra 2 en gramos.

T se: Temperatura del sistema enfriamiento. (referencial)

hh:mm: Hora de la toma de medida de la prueba..

λ : Coeficiente de conductividad térmica W/oK.m

Tabla 30

Ensayo de conductividad térmica para yeso empapelado

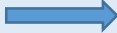
P1	g	1010
P2	g	1025
Tse	°C	12
A	m²	0,0225
L	m	0,015

Hora	hh:mm	11:30	12:10	13:00	14:22
T1	°C	30,9000	24,5000	23,7000	23,2000
T2	°C	30,7000	23,6000	22,8000	22,3000
T3	°C	17,6000	18,7000	17,5000	17,5000
T4	°C	17,3000	18,2000	16,9000	16,9000
Ti	°C	30,5300	25,1200	24,2800	23,7800
Te	°C	29,7000	23,7000	23,0000	22,4000
Ti-Te	°C	0,7700	1,3700	1,2800	1,3000
V	V	6,5600	6,6900	6,5900	6,7800
I	A	0,0600	0,0600	0,0600	0,0600
%H	%	43,9000	46,4000	46,0000	45,6000
Td	°C	22,8000	22,6000	22,9000	23,2000
Q	W	0,1968	0,2007	0,1977	0,2034
ΔT	°K	13,3000	5,8000	6,2000	5,7000
λ	W/°K.m	0,0099	0,0231	0,0213	0,0238

Tabla 31

Ensayo de conductividad térmica para el bloque de cáscara de cacao.

Hora		9:30	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30
T1	°C	29,2	27,4	28,1	28,4	28,8	29
T2	°C	29	27,1	27,7	27,9	28,3	28,5

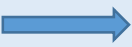
CONTINÚA 

T3	°C	18,4	18,9	19	19	19,1	19
T4	°C	18,2	18,7	18,8	18,07	18,8	18,8
Ti	°C	30,94	28,06	28,75	29,12	29,47	29,72
Te	°C	30	27	27,7	28	28,4	28,7
Td	°C	0,86	1,03	1,02	1	1,03	1
V	V	5,7	5,583	5,76	5,73	5,572	5,723
I	A	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
%H	%	48,1	47,8	47,4	48,3	49,6	49
t	°C	20,5	20,7	20,5	20,7	20,9	21
P1	gr	5925	5925	5925	5925	5925	5950
P2	gr	5800	5800	5800	5800	5800	5800
t sistema enf.	°C	12	12	12	12	12	12
Q	W	0,1425	0,139575	0,144	0,14325	0,1393	0,143075
ΔT	°K	10,8	8,5	9,1	9,4	9,7	10
A	m ²	0,0225	0,0225	0,0225	0,0225	0,0225	0,0225
L	m	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
λ	W/°K. m	0,02932099	0,0364902	0,03516484	0,03386525	0,03191294	0,03179444

Tabla 32

Ensayo de conductividad térmica para granel de cacao.

Hora		15:40	16:00	16:30	17:00
T1	°C	25,5	27,6	28,7	28,7
T2	°C	24,8	26,6	27,6	28
T3	°C	17,7	16,9	16,9	16,9
T4	°C	17,5	16,7	16,6	16,6
Ti	°C	26,03	27,84	28,56	28,97
Te	°C	24,9	26,4	27,5	27,9
Td	°C	1,03	1,36	1,05	1

CONTINÚA 

V	V	5,114	5,114	4,534	4,534
I	A	0,045	0,045	0,04	0,04
%H	%	54,4	54,4	54,5	54,7
t	°C	20,2	20,1	20,2	20,1
P1	gr	350	350	350	350
P2	gr	355	355	355	355
t sistema enf.	°C	12	12	12	12
Q	W	0,115065	0,115065	0,09068	0,09068
ΔT	°K	7,8	10,7	11,8	11,8
A	m ²	0,0225	0,0225	0,0225	0,0225
L	m	0,052	0,052	0,052	0,052
λ	W/°K.m	0,03409333	0,02485308	0,0177603	0,0177603

ANEXO 2

Pruebas de medición de resistencia a la compresión

Pruebas en probetas

Tabla 33

Datos de cálculo de laboratorio

Muestra	Fecha vaciado	Fecha rotura	probeta (g)	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Probeta (cm ²)	Probeta (cm ³)	volumétrico (g/cm ³)	Caraga (Kg)	Compresión (Kg/cm ²)	Compresión (Mpa)	Edad (Días)
CM3	13/08/2014	22/08/2014	2007	20,2	10	78,5	1586,5	1,265	546,6	7	0,7	9
CM5	13/08/2014	22/08/2014	1800	20,2	10	78,5	1586,5	1,134	1123,1	14,3	1,4	9
CM7	13/08/2014	22/08/2014	1919	20,2	10,2	81,7	1650,6	1,162	777,9	9,5	0,9	9
C5	21/08/2014	28/08/2014	2020	20,2	10,3	83,3	1683,1	1,2	198,3	2,4	0,2	7
C3	16/12/2014	23/12/2014	2516	20	10	78,5	1570,8	1,602	2560	32,6	3,2	7

Tabla 34

Resultado de pruebas de laboratorio

Nomenclatura	Volumen de probeta (dm ³)	Cantidad cilindros construidos	Proporciones			Cálculo de volumen dm ³ ó l			Peso kg				Observaciones
			Cemento	Areña	Biomasa	Cemento	Areña	Biomasa	Cemento	Areña	Biomasa	Agua	
CM3	1,57	1	0	1	3	0,1	0,39	1,18	0,3	0,98	0,48	0,7	mineralizado
CM5	1,57	1	0	1	5	0,1	0,26	1,31	0,3	0,65	0,54	0,65	mineralizado
CM7	1,57	1	0	1	7	0,13	0,2	1,37	0,4	0,49	0,56	0,7	mineralizado
C5	1,57	1	1	2	3	0,2	0,39	0,98	0,62	0,98	0,38	1,1	sin mineralizar
C3	1,57	1	1	2	3	0,26	0,52	0,79	0,82	1,31	0,31	1,2	sin mineral

Tabla 35

Prueba en bloque

Bloque de cáscara de cacao						
Dimensiones (cm)						
a	b	c	Área cm ²	Carga(kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia (MPa)
14	29,5	9,5	413	9990	24,19	2,37

...