



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

MAESTRIA EN ENERGÍAS RENOVABLES

III PROMOCIÓN

TESIS DE GRADO MAESTRIA EN ENERGÍAS RENOVABLES

III PROMOCIÓN

**TEMA: “ANÁLISIS, DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE AISLANTES
TÉRMICOS FABRICANDO BLOQUES DE HORMIGÓN AISLANTES CON
CASCARILLA DE CAFÉ PARA SU APLICACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN
DE EDIFICACIONES”**

AUTOR: LÓPEZ CAMPOS, JUAN FERNANDO

DIRECTOR: DR. VELASCO ROLDAN, LUÍS

SANGOLQUÍ

2015

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR

El suscrito Dr. Arq. Luís Velasco Roldan, con cédula 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, DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE AISLANTES TÉRMICOS FABRICANDO BLOQUES DE HORMIGÓN AISLANTES CON CASCARILLA DE CAFÉ PARA SU APLICACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES”**, realizado por el Ingeniero Juan Fernando López Campos, de nacionalidad ecuatoriana, con cédula de identidad No. 1720275096, 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, 2 de junio del 2015



DR. ARQ. LUÍS VELASCO ROLDÁN
DIRECTOR

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

JUAN FERNANDO LÓPEZ CAMPOS

DECLARA QUE:

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

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

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

Sangolquí, 2 de junio del 2015



ING. JUAN FERNANDO LÓPEZ CAMPOS

AUTOR

AUTORIZACIÓN

Yo,

JUAN FERNANDO LÓPEZ CAMPOS

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución, el trabajo titulado “**ANÁLISIS, DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE AISLANTES TÉRMICOS FABRICANDO BLOQUES DE HORMIGÓN AISLANTES CON CASCARILLA DE CAFÉ PARA SU APLICACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 2 de junio del 2015



ING. JUAN FERNANDO LÓPEZ CAMPOS

AUTOR

DEDICATORIA

El presente proyecto de grado lo dedico a las personas que han formado parte de mi vida, es especial a la persona que Dios puso en mi camino que es mi esposa Daniela; una dedicatoria a mis padres Juan José e Irma que gracias a Dios y a ellos me he formado como ser humano en todos los aspectos, a mis hermanos Mónica y José Luís que con su apoyo he podido superarme, a mi comunidad que junto a ellos vamos por un mismo objetivo en la vida.

A todas estas personas y a las que han sido parte de mi vida va esta tesis como dedicatoria.

Juan Fernando López Campos

Junio, 2015

AGRADECIMIENTO

En este momento especial de mi vida deseo expresar mi más sincero agradecimiento a DIOS por ser quien me ha bendecido con todo lo que soy y lo que tengo, a mi esposa, mi padre, mi madre, mi hermana y mi hermano quienes han sido un soporte y han sido de gran ayuda para la culminación de esta tesis, a mi tutor Dr. Luís Velasco Roldán que con sus conocimientos, experiencia y ayuda me ha sabido guiar hacia el desarrollo de éste proyecto; a el Dr. Leonardo Goyos quien también vino a formar parte del seminario y contribuyo con sus conocimientos y entrega.

A las Instituciones y de más personas que colaboraron con el desarrollo de esta investigación, les manifiesto mi profundo agradecimiento por haber dedicado recursos y apoyo técnico, ya que sin ello no podría haber avanzado con este proyecto.

Juan Fernando López Campos

Junio, 2015

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR	ii
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
RESUMEN	xv
INTRODUCCIÓN	¡Error! Marcador no definido.
CAPÍTULO 1.....	1
GENERALIDADES.....	1
2.1 ANTECEDENTES.....	1
2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	4
2.3 OBJETIVOS.....	5
2.3.1 GENERAL.....	5
2.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
2.4 ALCANCE DEL PROYECTO	6
2.5 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	6
CAPÍTULO 2.....	9
MARCO TEÓRICO	9
2.6 CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE	9
2.6.1 Eficiencia energética	9
2.6.1.1 Conceptos generales	9
2.6.1.2 Aislamiento térmico en edificios	10
2.6.2 Emisiones de CO2 en edificaciones.....	16
2.6.2.1 Cambio climático y emisiones de CO2.....	16
2.6.2.2 Mitigación del cambio climático en el sector edificios	17

2.6.2.3	La biomasa como alternativa de reducción de emisiones	18
2.6.2.4	Huella Ecológica, Huella de carbono	19
2.6.2.5	Huella de carbono en el sector de la construcción	21
2.6.3	Riegos en la salud humana por los materiales de construcción en las edificaciones.....	22
2.6.3.1	Parámetros de no toxicidad.....	23
2.6.3.2	Elementos tóxicos y peligrosos para la salud humana en la construcción de edificaciones	24
2.6.3.3	Materiales biológicos.....	27
2.6.4	Características de los materiales de construcción	28
2.6.4.1	Conductividad Térmica	28
2.6.4.2	Transferencia de calor	30
2.6.4.3	Permeabilidad al vapor de agua.....	31
2.6.4.4	Resistencia.....	32
2.6.4.4.1	Introducción.....	32
2.6.4.4.2	Resistencia Mecánica De Los Bloques Para La Construcción.....	33
2.6.4.4.3	Resistencia De Bloques Para La Construcción.....	34
2.6.4.5	Densidad (Peso) (D)	40
2.6.4.6	Durabilidad. Pérdida de prestaciones	41
2.6.5	Aislantes Térmicos.....	42
2.6.5.1	Aislantes térmicos convencionales	42
	CAPÍTULO 3.....	47
	ESTUDIO DEL ARTE	47
3.1	Cascarilla De Café	47
3.1.1	Descripción De La Biomasa	47
3.1.2	Localización y Cantidad	48
3.1.3	Características de Interés	52
3.2	Posibilidades De Aglomeración De La Biomasa	54
3.2.1	En Bloques o En Masa Con Aglomerante Cemento	54
3.3	Bloques de Cascarilla de Café	59
	CAPÍTULO 4.....	61

DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	61
4.1 Determinación de parámetros para el modelamiento del aislante térmico.....	61
4.1.1 Resistencia.....	61
4.1.2 Conductividad	62
4.2 Elaboración de probetas de aislante térmico	62
4.2.1 Moldes para los bloques	62
4.2.2 Modelos Experimentales	64
4.3 Medición de propiedades físicas, químicas y mecánicas.....	82
4.3.1 Protocolo de resistencia a la compresión.....	82
4.3.2 Protocolo de medición de conductividad térmica	86
4.4 Equipos y materiales:.....	88
CAPÍTULO 5.....	94
RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	94
5.1 Datos Obtenidos	94
5.2 Estadísticas y Análisis.....	103
CAPÍTULO 6.....	113
ANÁLISIS DE LOS COSTOS DE INVESTIGACIÓN.....	113
6.1 Estudio de campo	113
6.2 Estudio experimental.....	114
CAPÍTULO 7.....	118
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	118
7.1 Conclusiones.....	118
7.2 Recomendaciones	120
BIBLIOGRAFÍA.....	122

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de temperatura Media multianual – 1999, tomado de NEC-11.....	11
Figura 2. Cadena de construcción.	21
Figura 3. Principales componentes de la huella de carbono de un habitante de países desarrollados. Fuente CEPAL.....	22
Figura 4. Transferencia de calor por conducción.	30
Figura 5. Transferencia de calor por conducción.	36
Figura 6. Principales zonas cafeteras del Ecuador. FUENTE Y ELABORACIÓN: COFENAC, GTZ 2009	49
Figura 7. Materiales de desperdicio obtenidos en el beneficio de un kilogramo de café cereza. FUENTE: CALLE, Vélez Hernán, Subproductos del café, p. 3	50
Figura 8. Molde cilíndrico.	62
Figura 9. Molde rectangular.	63
Figura 10. Molde rectangular con tapa para compresión.	63
Figura 11. Moldes metálicos.	64
Figura 12. Mezcla del primer modelo.	65
Figura 13. Primera mezcla en molde.	65
Figura 14. Desencofrado después de proceso de curado en seco.	66
Figura 15. Mezcla inicial usada para segundo modelo, cemento y agua. ...	67
Figura 16. Mezcla final de segundo modelo.....	67
Figura 17. Mezcla en molde.....	68
Figura 18. Segundo modelo desencofrado.	68
Figura 19. Tercer modelo desencofrado y en proceso de curado.	69
Figura 20. Cuarto modelo desencofrado y en proceso de curado.....	70
Figura 21. Quinto modelo desencofrado.	71
Figura 22. Quinto modelo en proceso de curado vista lateral.	71
Figura 23. Quinto modelo en proceso de curado vista superior.	72
Figura 24. Sexto modelo desencofrado.	73
Figura 25. Sexto modelo en proceso de curado.....	73
Figura 26. Séptimo modelo.	74

Figura 27. Proceso de mineralización.....	75
Figura 28. Octavo modelo.....	76
Figura 29. Noveno modelo.....	77
Figura 30. Décimo modelo.....	78
Figura 31. Décimo primer modelo, elaboración.....	79
Figura 32. Décimo primer modelo, curado.....	79
Figura 33. Décimo segundo modelo.....	80
Figura 34. Muestras de mortero.....	82
Figura 35. Molde para probeta.....	83
Figura 36. Mezcla para probeta.....	83
Figura 37. Elaboración de la probeta.....	84
Figura 38. Máquina usada para pruebas de resistencia a la compresión. ...	85
Figura 39. Máquina usada para pruebas de resistencia a la compresión mortero.....	85
Figura 40. Biomasa pesada.....	86
Figura 41. Sistema de enfriamiento.....	87
Figura 42. Sistema de calentamiento, termómetro, amperímetro y voltímetro.....	87
Figura 43. Moldes de cascarilla de café y placa caliente.....	88
Figura 44. Balanza.....	89
Figura 45. Balanza electrónica.....	89
Figura 46. Recipiente de mezcla.....	90
Figura 47. Cemento.....	90
Figura 48. Arena.....	90
Figura 49. Polvo de piedra.....	90
Figura 50. Cascarilla de café.....	91
Figura 51. Termómetro.....	91
Figura 52. Medidor de temperatura ambiente y porcentaje de humedad....	92
Figura 53. Multímetro y Amperímetro.....	92
Figura 54. Equipo de medición de conductividad térmica.....	93
Figura 55. Equipo para pruebas de resistencia a la compresión.....	93

Figura 56. Gráfica comparativa de los resultados obtenidos de resistencia.....	103
Figura 57. Gráfica comparativa de los resultados obtenidos de resistencia morteros.....	105
Figura 58. Gráfica comparativa de las muestras según sus dosificaciones.	107
Figura 59. Gráfica de densidad vs resistencia de las muestras.	108
Figura 60. Gráfica de coeficiente de conductividad térmica y % de las biomasa.	109
Figura 61. Gráfica de la densidad vs el coeficiente de conductividad térmica de las biomasa.	110
Figura 62. Gráfica de comparación de λ de diferentes biomasa.	111

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Zonas climáticas	12
Tabla 2 Coeficientes de transferencia U máximos en función del tipo de cerramiento y la zona climática. Climas fríos.	13
Tabla 3 Coeficientes de transferencia U máximos en función del tipo de cerramiento y la zona climática. Climas cálidos que usen climatización activa.	14
Tabla 4 Coeficientes de transferencia U máximos en función del tipo de cerramiento y la zona climática. Climas cálidos que usen climatización pasiva.	15
Tabla 5 Materiales contaminantes en la construcción.	25
Tabla 6 Clasificación de los bloques y resistencia mínima a la compresión.	38
Tabla 7 Superficie cafetalera del Ecuador y Área en producción efectiva 2012.	51
Tabla 8 Composición química de fibras agrícolas.	52
Tabla 9 Dosificación del primer modelo.	64
Tabla 10 Dosificación del segundo modelo.	66
Tabla 11 Dosificación del tercer modelo.	69
Tabla 12 Dosificación del cuarto modelo.	70
Tabla 13 Dosificación del quinto modelo.	71
Tabla 14 Dosificación del sexto modelo.	72
Tabla 15 Dosificación del séptimo modelo.	74
Tabla 16 Dosificación del octavo modelo.	76
Tabla 17 Dosificación del noveno modelo.	77
Tabla 18 Dosificación del décimo modelo.	78
Tabla 19 Dosificación del décimo primer modelo.	78
Tabla 20 Dosificación del décimo segundo modelo.	80
Tabla 21 Dosificación del décimo tercer modelo.	81
Tabla 22 Dosificación B1.	94
Tabla 23 Dosificación B2.	95

Tabla 24 Dosificación B3.....	95
Tabla 25 Dosificación B4.....	96
Tabla 26 Dosificación del mortero.....	96
Tabla 27 Datos de B1, resistencia a la compresión.....	97
Tabla 28 Datos de B2, B3 y B4, resistencia a la compresión.....	97
Tabla 29 Datos de M1, M2 y M3, resistencia a la compresión de muestras de mortero.....	98
Tabla 30 Datos de conductividad de cascarilla con densidad de 0.122 gr/cm ³ (D1).....	100
Tabla 31 Datos de conductividad de cascarilla con densidad de 0.156 gr/cm ³ (D2).....	101
Tabla 32 Datos de conductividad de cascarilla mineralizada con densidad de 0.211 gr/cm ³ (D3).	102
Tabla 33 Tabla de resistencias obtenidas de las pruebas a los modelos y su % de biomasa.....	103
Tabla 34 Tabla de resistencias obtenidas de las pruebas a los modelos de mortero.....	104
Tabla 35 Tabla de interpolación de valores para la dosificación real.	106
Tabla 36 Tabla de dosificaciones de los modelos probados.	106
Tabla 37 Tabla de densidades y resistencias.....	107
Tabla 38 Tabla de coeficientes de conductividad térmica y % de biomasas obtenidos.	109
Tabla 39 Tabla de coeficientes de conductividad térmica y densidades biomasas.	110
Tabla 40 Tabla de comparación de λ de diferentes biomasas.	111
Tabla 41 Costos estudio de campo.	113
Tabla 42 Costos estudio experimental inicial.	114
Tabla 43 Costos materiales.....	115
Tabla 44 Costos equipos y pruebas.	115
Tabla 45 Costos de personal de investigación.	116
Tabla 46 Costos de materiales y equipos de oficina.	116
Tabla 47 Costos totales de la investigación.	117

RESUMEN

En el Ecuador se produce café en 20 de las 22 provincias del país, teniendo una gran importancia socioeconómica, el tratamiento de éste producto hasta la obtención del grano genera desperdicios, la cascarilla de café es un residuo en la obtención del grano, para el cual no hay un proceso industrializado para el uso del mismo, generando millones de toneladas de biomasa desperdiciada. Por lo que en la presente investigación se pretende aprovechar este residuo en la construcción sostenible, las viviendas típicas en el Ecuador usan bloques convencionales, el uso del residuo de cascarilla como un agregado dentro de la elaboración de los bloques busca servir como aislante térmico reduciendo el consumo de energía y disminuyendo la contaminación. Para lo cual se fabricarán prototipos de bloques con diferentes composiciones de biomasa, arena y cemento, a estos bloques se les efectúan pruebas de resistencia y conductividad térmica. Los resultados de esta investigación nos refleja que el uso de ésta biomasa para la construcción sostenible es viable.

PALABRAS CLAVE:

CASCARILLA DE CAFÉ

SOSTENIBLE

AISLANTE TÉRMICO

RESISTENCIA

CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

ABSTRACT

In Ecuador the coffee is produced in 20 of 22 provinces of the country, having a great socioeconomic importance, the treatment of this product up to the obtaining of the grain generates wastes, the husk of coffee is a residue in the obtaining of the grain, for which there isn't a industrialized process for the use of the same one, generating million tons of wasted biomass. By what in the present investigation this residue is tried to take advantage in the sustainable construction, the typical housings in Ecuador use conventional blocks, the use of the residue of husk like an attaché inside the production of the blocks seeks to serve like thermic insulator reducing the energy consumption and diminishing the pollution. For which prototypes of blocks will be fabricated with different compositions of biomass, sand and cement, to these blocks endurance tests and thermic conductivity are effected. The results of this investigation reflect us that the use of this biomass for the sustainable construction is viable.

KEYWORDS:

HUSK OF COFFEE

SUSTAINABLE

THERMIC INSULATOR

ENDURANCE

THERMIC CONDUCTIVITY

“ANÁLISIS, DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE AISLANTES
TÉRMICOS FABRICANDO BLOQUES DE HORMIGÓN AISLANTES CON
CASCARILLA DE CAFÉ PARA SU APLICACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN
DE EDIFICACIONES “

El presente proyecto de investigación sobre el análisis, desarrollo y evaluación de aislantes térmicos, fabricando bloques de hormigón y placas aislantes con cascarilla de café para su aplicación en la construcción de edificaciones, corresponde al área de energías renovables, para lo cual se analiza el impacto que tienen los residuos en la construcción .

El Ecuador es uno de los pocos países del mundo donde se cultivan las dos variedades de café más comercializadas: arábica y robusta; y de la producción anual del país alrededor del **10% se destina al consumo interno**, mientras que el otro 90% a la exportación, siendo Estados Unidos el mayor comprador de café ecuatoriano en grano; y, Alemania y Japón los principales destinos del café industrializado. (López Dominguez & Zurita Herrera, 2009).

Para usar el residuo del café, específicamente la cascarilla de café para la elaboración de bloques, es necesario encontrar la dosificación óptima, encontrar el mejor procedimiento para la fabricación, desde el mezclado hasta el curado, para tener modelos aptos para las pruebas de resistencia y de conductividad térmica.

Existe poca biografía y pocas investigaciones respecto al uso de la cascarilla de café como agregado en la construcción y menos todavía el uso de éste como material aislante térmico; por otra parte se establecen en las investigaciones dosificaciones que cumplen con la resistencia a compresión deseada, por lo que es un punto de partida para los experimentos.

La repercusión de ésta investigación se da en la parte social y económica, ya que es una fuente de empleo y a su vez es una manera de contaminar menos el ambiente, económicamente ahorra energía.

En cuanto al desarrollo de este estudio se puede indicar que en el capítulo 1 se describe toda la problemática actual relacionada al derroche de energía, a continuación, en el capítulo 2 se indican las variables físicas como

es la resistencia y la conductividad térmica, también se refiere a las pruebas que se van a realizar en el proyecto.

El capítulo 3 comprende el análisis del estado del arte de las construcciones con residuos, sobre todo con cascarilla de café, también se estudian los diferentes bloques y las características principales de la cascarilla de café.

Posteriormente en el capítulo 4, se realiza el desarrollo experimental donde se elaboran doce modelos de bloques con diferentes dosificaciones, y después son sometidas a pruebas de resistencia y conductividad térmica.

Con los datos obtenidos en la parte experimental en el capítulo 5 se realizan los análisis de resultados obtenidos y se concluye si el proyecto es viable. A continuación, en el capítulo 6 se realiza el respectivo estudio económico financiero de la presente investigación. Posteriormente en el capítulo 7, se exponen las conclusiones y recomendaciones del proyecto.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

2.1 ANTECEDENTES

A nivel mundial el tema de energías renovables se ha convertido en un tema central en los últimos años y en el país se han desarrollado ciertos cambios en las políticas energéticas de manera que beneficien a un desarrollo sostenible y sustentable, basándose en nuevas alternativas energéticas.

En la actualidad el tema de las energías renovables ha llegado a influir cada vez más en la construcción, involucrando el concepto de eficiencia y sostenibilidad energética como materia de investigación para nuevos sistemas constructivos y arquitecturas bioclimáticas.

Uno de los problemas básicos de carácter energético en la construcción actual de viviendas es el poder mantener una temperatura interna de bienestar, exigencia que viene acentuada por los estándares de confort cada día más exigentes en nuestra sociedad. Los sistemas de acondicionamiento pasivo pueden disminuir enormemente las necesidades energéticas. (Maldonado Ramos, Castilla Pascual, & Vela Cossío, 2001)

Uno de los factores que más influye en la arquitectura tradicional y, en consecuencia, en la arquitectura bioclimática es el aporte térmico solar, que, junto con la capacidad de acumulación de determinados elementos constructivos, permite disminuir enormemente los aportes externos de energía. Las ventajas de este recurso son indiscutibles. Sin embargo, los sistemas constructivos actuales tienden a la construcción ligera y a la

industrialización del proceso, favorecidos por las exigencias de ahorro económico y de espacio, lo que dificulta enormemente la utilización de elementos masivos en la construcción. Las últimas investigaciones tienden incluso al desarrollo de materiales que necesitan un gran aporte energético en el cambio de fase, por lo que el calor latente es muy grande, proporcionando inercias grandes a una temperatura fija, lo que permitiría crear edificios ligeros de gran inercia.” (Maldonado Ramos, Castilla Pascual, & Vela Cossío, 2001)

Adicionalmente estudios científicos indican que las actividades humanas como el uso de combustibles, la calefacción en viviendas, el aire acondicionado, etc., aumentan las concentraciones de CO₂ y otros “gases de invernadero” en la atmosfera. Según el World Watch Institute, la edificación consume el 25% de las extracciones de materias primas de la litosfera, Los edificios consumen entre el 20 y el 50% de los recursos físicos según su entorno. Dentro de las actividades industriales la actividad constructora es la mayor consumidora, junto con la industria asociada, de recursos naturales como pueden ser madera, minerales, agua y energía. Asimismo, los edificios, una vez construidos, continúan siendo una causa directa de contaminación por las emisiones que se producen en los mismos o el impacto sobre el territorio, y una fuente indirecta por el consumo de energía y agua necesarios para su funcionamiento. (Carranza , 2010)

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)

Actualmente existen diversos sistemas constructivos alrededor del mundo. En, nuestro país principalmente se emplean en la construcción los bloques huecos de hormigón, por ser ligeros, y varillas de acero para

soportar las estructuras, las cuales deben ser sismo resistentes, debido a las características de nuestra región andina, pero se conoce que en las zonas rurales, las viviendas campesinas tradicionales construidas en zonas del páramo utilizan adobe, cobertura de madera y pajonal. En las regiones del país más cálidas utilizan madera y cubiertas de materiales vegetales de la zona como palma o pambil.

La vivienda rural actual construida con bloque de hormigón y cubierta de acero se ha implementado para los todas las regiones del país, pero presenta graves problemas en cuanto a habitabilidad y costo , pues se sabe que algunas de estas edificaciones se encuentran abandonadas, pues no se adaptan a los requerimientos climáticos de la zona.

El uso de materiales adecuados al sitio de construcción en lugar del uso de los tradicionales que, además de producir un efecto integrador de la construcción con su medio ambiente y abaratar los costos, puedan contribuir en la mejora del aislamiento térmico logrando un confort adecuado para los habitantes, ha sido objeto de estudio anteriormente, como es el caso de los residuos de cosechas y de procesos agroindustriales que se han venido utilizando en la elaboración de hormigones ligeros como agregados orgánicos: entre los estudiados hasta el momento se pueden enumerar la cascarilla de arroz, las virutas y aserrín de madera, el fique, la paja llanera, la cascarilla o cisco de café y la palma africana, entre otras.

Hoy en día la bioconstrucción es un campo amplio en el que se debe trabajar de forma constante para obtener nuevos logros. Esta tecnología es muy ambiciosa por su eficiencia energética y económica. Este es un concepto que se propone para el desarrollo de ese trabajo de materiales utilizando residuos de la producción agrícola, esperando conseguir como resultado un material de construcción sostenible con gran potencial, que elimine la emisión de CO₂ al atmósfera y que tenga capacidades de cubrir las necesidades actuales y futuras de la sociedad.

Este tipo de trabajos pretende crear un nuevo concepto de autoconstrucción para las regiones más pobres pueblos que además de tener su propio cultivo para la alimentación básica, aprovecharían los restos

de las cosecha, para elaborar materiales de construcción más ecológicos para crear sus propias viviendas.

El precio final que puede alcanzar ese tipo de materiales se pretende, aunque sería necesario realizar un estudio de viabilidad económica previo, que sea relativamente bajo debido principalmente el uso de residuos y el mínimo gasto energético. Además, el coste medio ambiental se minimiza y se consolida mercado más sostenible ecológico. (Cabo Laguna, 2011)

2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Un importante porcentaje de los residentes urbanos hoy día viven en condiciones de pobreza, sin acceso a infraestructura o vivienda adecuadas. Asentamientos espontáneos constituyen la forma de crecimiento más importante de las urbes en la región, de condiciones económicas precarias y en zonas inadecuadas que dificultan la provisión de servicios básicos. El espacio urbano está en manos de numerosos agentes, y por lo tanto es difícil buscar culpables. Actor relevante es el gobierno local, que provee servicios o deja de proveerlos, en ambos casos genera desequilibrios de acuerdo a "como" lo hace. (Lavell, 1996). La problemática de la pobreza social y de los asentamientos que se enfrenta en este gobierno, ha visto proyectos para combatir este fenómeno, uno de ellos son los proyectos del MIDUVI y proyectos que se da con el BIESS.

Otro problema que se tiene en las construcciones es la cantidad de contaminación que no se analiza muchas veces a pequeña, mediana o gran escala tanto en el aire, suelos, agua residuos solidos, ruido; para esto un análisis de ciclo de vida indicaría la realidad de este sector y donde atacar con mayor fuerza.

La biodiversidad que posee el Ecuador es alta, ya que al poseer cuatro regiones naturales tiene una flora de las más grandes del mundo, y mucha de la biomasa residual como es la cascarilla de café, no es aprovechado de forma eficiente; la tendencia de construir con materiales naturales tiene varias características que dependiendo de su ubicación geográfica puede

tener ventaja o desventaja con respecto a las construcciones tradicionales; pero el analizar estos materiales naturales como agregados a materiales convencionales es una alternativa que no está aún muy estudiada.

El pensar en bioconstrucciones con material residual que son las biomásas de segunda y tercera generación, plantea inquietudes sobre su funcionamiento, durabilidad, resistencia y a su vez, ¿es factible económicamente y ambientalmente el emplear este tipo de productos para las construcciones? ¿Y mejorará el consumo energético logrando una mayor eficiencia este tipo de construcciones?

2.3 OBJETIVOS

2.3.1 GENERAL

Fabricar y estudiar bloques de hormigón como aislantes térmicos agregando biomasa de cascarilla de café para su aplicación en la construcción de edificaciones sustentables.

2.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar sobre los prototipos los ensayos de conductividad térmica.
- Realizar sobre los prototipos los ensayos de resistencia mecánica.
- Estimación de las emisiones de CO₂ asociadas a los materiales construidos.
- Establecer las proporciones óptimas entre cemento, material pétreo y biomasa de cascarilla de café con las cuales se obtenga un producto técnicamente viable, mediante un modelo estadístico.

2.4 ALCANCE DEL PROYECTO

Desarrollo de un aislante térmico mediante bloques de hormigón a partir de biomasa de cascarilla de café, a través de la caracterización de la conductividad térmica y resistencia mecánica de los prototipos según los ensayos normalizados, obteniendo un equilibrio entre resistencia y conductividad térmica, minimizando esta última para que puedan ser utilizados en la construcción de edificaciones. Para éste proyecto se usará la información recabada en el seminario de Aislantes Térmicos de la ESPE.

2.5 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Con la nueva conciencia y tendencia que se esta generando acerca del uso adecuado de la energía en todos sus ámbitos, y de la contaminación provocada por los diferentes procesos, se ha visto la necesidad de emplear herramientas, tecnología y diferentes recursos para conseguir eficiencia energética.

Actualmente en el Ecuador como en otras partes del mundo se esta dando apertura a las energías renovables; y a su vez se esta trabajando en planes de aprovechamiento de las energías como se puede ver el caso de las construcciones, donde se están empleando criterios de construcción eficiente y se están usando materiales con mejores propiedades físicas.

Muchos de los edificios de nueva construcción están diseñados bajo la conciencia del cambio climático, con sistemas de ahorro de energía y por lo tanto bajas emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera. Esta situación comienza a ser indispensable en cualquier modelo productivo. En los países económicamente más desfavorecidos esta problemática pasa a un segundo plano por la carencia de recursos. (Cabo Laguna, 2011). Este tipo de tendencia también se esta dando en el Ecuador y por eso es que se están dando reglamentos y leyes, que están orientadas a generar un cambio climático.

El trabajar con residuos de biomasa suponen millones de toneladas al año en todo el mundo, lo que implicaría la reducción de un gran impacto ambiental ya que, al no tener ninguna salida comercial hasta el momento, se almacenan en vertederos. (Cabo Laguna, 2011). El dar el correcto uso a toda la biomasa que se tiene reduciría considerablemente el impacto ambiental no solo en nuestro país sino a nivel mundial.

La creación de los ladrillos ecológicos sin duda es una excelente opción de construcción sostenible, no sólo a nivel regional sino a nivel mundial. El ecoladrillo es un material alternativo que permite una construcción más respetuosa con el medio ambiente y posiblemente más económica que otros sistemas constructivos tradicionales. (Cabo Laguna, 2011). Una construcción con materiales naturales y que sean para las cuatro regiones de nuestro país, sería un proyecto innovador de gran relevancia a nivel ambiental, económico y social.

Los ladrillos no cocidos tendría un menor impacto en generación de CO₂ y también tendrá un costo mas accesible para las personas de escaso recurso.

La idea de que los edificios de bajo consumo energético son respetuosos con el medio ambiente y de que, a través de la construcción de más edificios de este tipo, cumpliremos las promesas hechas en la Cumbre de Río de reducir las emisiones de CO₂ [...], es naturalmente, una contradicción. Un nuevo edificio nunca ahorra energía, sino que genera nuevas necesidades energéticas, y la calificación de nuevo suelo para urbanizar es fundamentalmente antiecológica. Básicamente, sólo existen tres procesos que pueden conducir razonablemente a reducir las necesidades energéticas o la carga sobre el medio ambiente: la rehabilitación de edificios existentes; la sustitución de antiguos edificios ecológicamente despilfarradores por nuevas formas de bajo consumo y el cierre de intersticios entre edificios. (Vázquez, 2012)

El presente proyecto pretende demostrar la factibilidad del uso de materiales residuales como es la cascarilla de café, como material para la construcción, el uso del mismo puede tener varias ventajas en diferentes

aspectos que serán tratados y analizados demostrando que esta biomasa es un material de propiedades físicas adecuadas para las edificaciones, consiguiendo mayor eficiencia energética en la construcción y a menor precio, beneficiando a los diferentes sectores dentro y fuera del país.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.6 CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE

Es aquella que su principio se basa en el uso de materiales no perjudiciales para el ambiente y para la salud, implica un uso eficiente de los recursos naturales y de los materiales (Ramírez, 2014).

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

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

2.6.1 Eficiencia energética

2.6.1.1 Conceptos generales

La Agencia Internacional de la Energía (IEA) define a la eficiencia energética como un medio para administrar y limitar el crecimiento en el consumo energético. El uso de la energía es eficiente si ofrece más servicios

por el mismo aporte de energía, o los mismos servicios por menos consumo de energía.

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

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

2.6.1.2 Aislamiento térmico en edificios

Los aislamientos térmicos sirven para una gestión energética y están relacionados con el confort térmico, ya que protege a la vivienda de cambios de temperatura, la transferencia de calor que se produce del exterior al interior o del interior al exterior, se da por conducción; el aislante térmico limita esta conducción y no permite que esta transferencia sea muy grande dependiendo de su material.

Existe una gran cantidad de aislantes térmicos, la gran mayoría de aislamientos para la construcción son fabricados con aglomerados a base de petróleo, como son: las espumas de poliuretano, elastómeros, polietileno, lana mineral, yeso laminado entre otras; y existen aislantes vegetales como

son: Palma africana, fibras de coco, bagazo de caña, cascarilla de cacao, cascarilla de arroz, cascara da banano, fibras de madera de balsa, etc.

Los aislantes térmicos tienen varias ventajas como:

- Ahorro de energía.
- Evita condensaciones en los muros.
- Disminuyen gastos.

Los materiales aislantes naturales pueden ser reutilizados y reciclados, y son biodegradables

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

Considerando la relación existente entre zonas climáticas y eficiencia energética. El INAHMI, ha establecido doce zonas climáticas de acuerdo a su temperatura media anual como indica la figura No. 1.

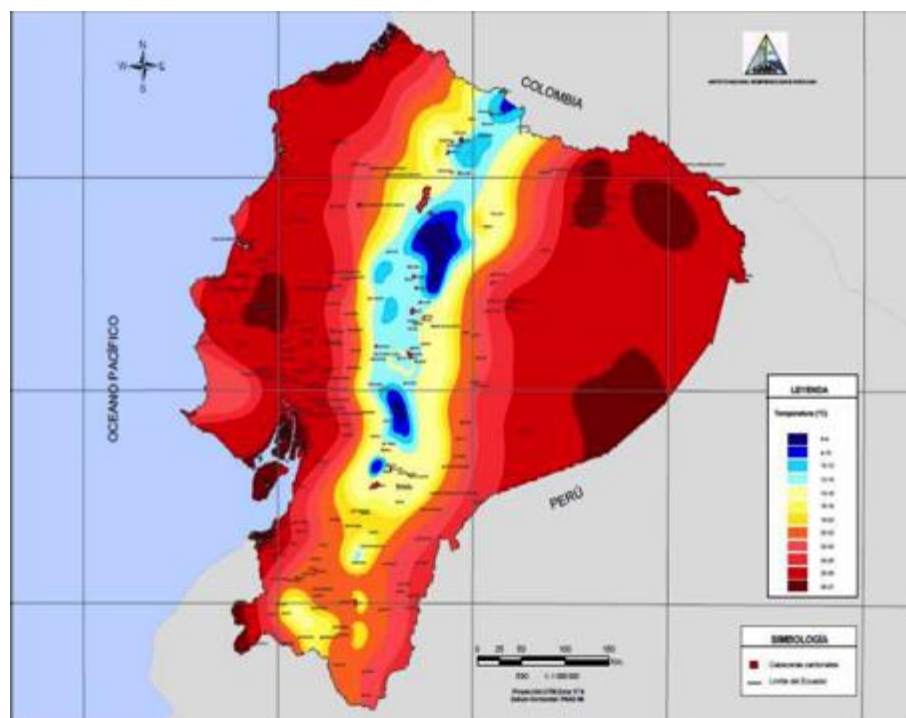


Figura 1. Mapa de temperatura Media multianual – 1999, tomado de NEC-

En base al mapa anterior, se ha agrupado al país en seis zonas térmicas, como indica la tabla No. 1

Tabla 1

Zonas climáticas

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

Fuente: (NEC, 2011)

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

En la transmitancia y aislamiento térmico específicamente, lo cual tiene que ver directamente con el tema de esta tesis, se presenta en la tabla No. 2 los coeficientes de transferencia máximos para climas fríos, en la tabla No. 3 los coeficientes de transferencia máximos para climas cálidos que usen climatización activa y la tabla No. 4 los coeficientes de transferencia máximos para climas cálidos con climatización pasiva.

Tabla 2

Coeficientes de transferencia U máximos en función del tipo de cerramiento y la zona climática. Climas fríos.

Coeficiente global U en función del tipo de cerramiento y la zona climática W/m ² K							
Zona climática	Tm (°C)	Fachadas en contacto con el aire	Cerramientos en contacto con el terreno	Cubiertas en contacto con el aire	Cerramientos en contacto con espacios no habitados no ventilados y medianeras	Cerramientos en contacto con espacios no habitados ventilados	Ventanas y lucernarios
ZT1	6,0 – 10,0	1,00	1,00	0,75	1,40	1,15	5,7
ZT2	10,0 . 14,0	1,25	1,25	1,00	1,80	1,50	5,70
ZT3	14,0 – 18,0	1,80	1,80	1,50	2,50	2,50	5,70

Fuente: (NEC, 2011)

Tabla 3

Coeficientes de transferencia U máximos en función del tipo de cerramiento y la zona climática. Climas cálidos que usen climatización activa.

Coeficientes de transferencia U máximos en función del tipo de cerramiento y la zona climática. Climas cálidos que usen climatización activa.							
Zona climática	Tm (°C)	Fachadas en contacto con el aire	Cerramientos en contacto con el terreno	Cubiertas en contacto con el aire	Cerramientos en contacto con espacios no habitados no ventilados y medianeras	Cerramientos en contacto con espacios no habitados ventilados	Ventanas y lucernarios
ZT4	18,0 – 22,0	2,50	2,50	1,50	3,00	2,50	5,70
ZT5	22,0 – 25,0	2,00	2,00	1,00	2,50	2,00	5,70
ZT6	25,0 – 27,0	1,50	1,50	0,75	2,00	1,50	5,70

Fuente: (NEC, 2011)

Tabla 4

Coeficientes de transferencia U máximos en función del tipo de cerramiento y la zona climática. Climas cálidos que usen climatización pasiva.

Coeficientes de transferencia U máximos en función del tipo de cerramiento y la zona climática. Climas cálidos que usen climatización pasiva.							
Zona climática	Tm (°C)	Fachadas en contacto con el aire	Cerramientos en contacto con el terreno	Cubiertas en contacto con el aire	Cerramientos en contacto con espacios no habitados no ventilados y medianeras	Cerramientos en contacto con espacios no habitados ventilados	Ventanas y lucernarios
ZT4	18,0 – 22,0	2,50	2,50	1,50	3,00	2,50	5,70
ZT5	22,0 – 25,0	3,00	3,00	1,00	3,00	3,00	5,70
ZT6	25,0 – 27,0	3,00	3,00	0,75	3,00	3,00	5,70

Fuente: (NEC, 2011)

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 (Comite ejecutivo de la norma ecuatoriana de la construccion, 2011)

2.6.2 Emisiones de CO2 en edificaciones

2.6.2.1 Cambio climático y emisiones de CO2

El cambio climático es producido por los gases de efecto invernadero (GEI), siendo el CO2 el principal GEI. Según el informe 2007 del IPCC, las emisiones mundiales de GEI por efecto de actividades humanas han aumentado, desde la era preindustrial, en un 70% entre 1970 y 2004.

El mismo informe indica que en el año 2004, las emisiones directas de GEI del sector de edificios (se excluyen las emisiones del uso de la electricidad) fueron de 5 GtCO₂-eq/año. (IPCC, 2007)

En el Ecuador la Segunda Comunicación Nacional para el Cambio Climático, publicó el Inventario Nacional de GEI en el cual se cuantifica las emisiones sectoriales del sector de edificios basándose en su consumo energético, es así que las emisiones del sector energía para el año 2006 fueron de 26,895.41 GtCO₂-eq/año.

Las tendencias actuales en el suministro de energía y el uso son insostenibles desde el punto de vista económico, ambiental y social. Sin la implementación de medidas, las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) se incrementarán al doble para el 2050. (International Energy Agency, 2014)

Las emisiones de gases de efecto invernadero en el Ecuador son inferiores al 0.1 % de las emisiones mundial, sin embargo al ser un país en

vías de desarrollo su tendencia es a producir una mayor cantidad de estos gases, por lo que encontrar métodos para minimizar ésta producción es la prioridad.

2.6.2.2 Mitigación del cambio climático en el sector edificios

La reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, expresadas en toneladas de dióxido de carbono es lo que se busca con la mitigación del cambio climático. En el sector de los edificios esta mitigación está estrechamente relacionada con las acciones que se pueden implementar para lograr un ahorro energético, consiguiendo eficiencia energética.

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

Los cambios de hábitos de consumo y los patrones de comportamiento también contribuyen a la reducción de emisiones de GEI. Los cambios en el estilo de vida y patrones de consumo que enfatizan la conservación de recursos pueden contribuir al desarrollo de una economía con bajo contenido de carbono que es equitativa y sostenible. Los edificios que usan eficientemente la energía, a la vez que limitan el incremento de las emisiones de CO₂, pueden mejorar también la calidad del aire en espacios cerrados y al aire libre, mejorar el bienestar social e incrementar la seguridad de la energía (IPCC, 2007).

El aislamiento térmico que es una de las prácticas mencionadas para la optimización del recurso energético, es poco explotado en las construcciones actuales, el uso de un recurso renovable y natural como son los productos terciarios de las biomásas para usarlos como aislante térmico,

tiende a mitigar la generación de gases de efecto invernadero en la construcción.

2.6.2.3 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 que ésta biomasa vuelva a ser restituida se puede mantener el ciclo.

Sovacool (2008), presenta las estimaciones de emisiones de gases de efecto invernadero por unidad de electricidad producida (en gCO₂e/kWh) para la biomasa entre 14 y 41. (Cerde, 2012). Sin embargo la reducción de emisiones dependerá del tipo de materia prima, variaciones en el stock de carbono debido a cambio de uso de la tierra, transporte, procesamiento de las materias primas y tecnologías de conversión para producir calor y electricidad.

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. (IDAE, 2007).

Existen varios procesos de conversión de la biomasa para su uso como son procesos biológicos, físicos, químicos y termoquímicos, con cualquiera de estos métodos obtenemos diferentes productos los cuales son alternativas para la reducción de gases de efecto invernadero.

2.6.2.4 Huella Ecológica, Huella de carbono

En los noventa, William Rees y Mathis Wackernagel de la Universidad de British Columbia, conciben el concepto de huella ecológica como una herramienta contable que permite estimar los requerimientos en términos de recursos relacionados con la tierra y el agua, y la asimilación de los residuos para satisfacer las necesidades de una determinada población, entidad, región o país, expresadas en áreas productivas globales (Wackernagel & Rees, 1996) (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% (CEPAL, 2010).

Comúnmente la huella de carbono se define como la cantidad de emisión de gases relevantes al cambio climático asociada a las actividades de producción o consumo de los seres humanos, aunque el espectro de definiciones varía desde un mirada simplista que contempla sólo las emisiones directas de 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).

La cuantificación de emisiones de CO₂ en una actividad específica se denomina Cálculo de la Huella de Carbono. El concepto de Huella de Carbono, introducido por Wackernagel en 1996, ha tomado mucha fuerza en la actualidad para determinar las emisiones de CO₂ asociadas a una actividad específica. Actualmente más organizaciones están recurriendo al cálculo de su Huella de Carbono para desarrollar opciones para reducir los impactos de sus operaciones, al mismo tiempo que descubren los beneficios que presenta la eficiencia en cuanto al ahorro en costos, o destacando la competitividad en materia de recursos en relación con los productos de la competencia. (The Carbon Trust, 2014)

La huella de carbono es la medida del impacto de todos los gases de efecto invernadero producidos por nuestras actividades (individuales, colectivas, eventuales y de los productos) en el medio ambiente. (CEPAL, 2010). La huella de carbono se expresa comúnmente en toneladas de tCO₂-eq, por lo cual su uso se ha extendido como herramienta en el debate de las causas e impactos del cambio climático.

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

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

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

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

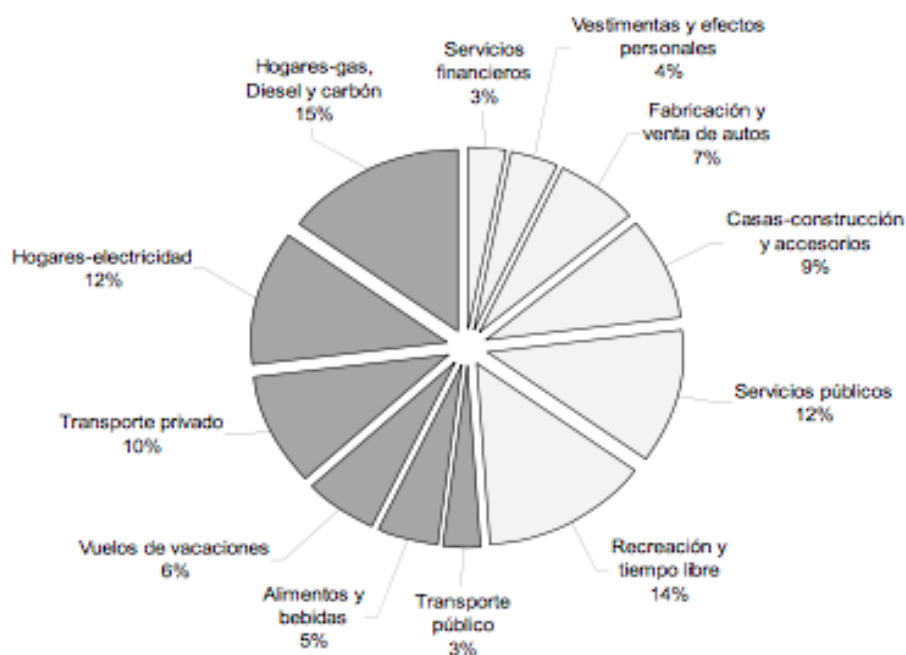


Figura 3. Principales componentes de la huella de carbono de un habitante de países desarrollados. Fuente (CEPAL, 2010)

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).

La reducción de la huella de carbono en el sector de la construcción será mayor al emplear materiales naturales como las biomásas como elementos dentro de la construcción.

2.6.3 Riegos en la salud humana por los materiales de construcción en las edificaciones

Los materiales y los componentes con los que se construye el edificio pueden ser una fuente de materiales problemáticos, como pueden ser los tratamientos químicos aplicados a diferentes materiales, que se evaporan en

la atmósfera del edificio. Los sistemas de control ambiental y otros servicios incrementan la comodidad y salubridad de los ambientes en los edificios. (Groak, 1996)

En sectores rurales donde las construcciones son sencillas, no considera los riesgos que se pueden tener en la salud al usar los materiales de construcción.

2.6.3.1 Parámetros de no toxicidad

En los procesos industriales se utilizan sustancias peligrosas o tóxicas para las personas y/o ecosistemas. La toxicidad de una sustancia varía según la vía de administración (por ejemplo si es aplicada en la piel, ingerida, inhalada, inyectada), el tiempo de exposición, el número de exposiciones (sólo una dosis o múltiples dosis a lo largo del tiempo), la forma física de la toxina (sólida, líquida o gaseosa), la salud total de un individuo y muchos otros factores. Se distinguen dos tipos de exposición a la toxicidad, aguda y crónica. La primera es emitida en concentraciones muy bajas y puede causar daño biológico severo o incluso la muerte y su duración raramente supera un día. La segunda se caracteriza por una exposición continua a una toxina durante un período de tiempo prolongado, a menudo durante meses o años y su efecto se nota a largo plazo. (Bellart Crevillen & Mesa Marcos, 2009) (Ruiz Frutos, 2012)

Para definir si una sustancia es o no tóxica se necesitan utilizar ciertos criterios o parámetros de toxicidad que den una indicación de la peligrosidad de dichos tóxicos sobre los humanos o cualquier otro organismo. Así, se puede distinguir tres tipos de parámetros o criterios de toxicidad: índices de toxicidad, límites tolerables de exposición y concentraciones máximas permisibles. Los índices de toxicidad se determinan en el proceso de "evaluación toxicológica" y a partir de ellos se deriva el resto de parámetros de toxicidad. Estos índices son una medida cuantitativa de la toxicidad de

una sustancia determinada. (Pla Martínez, Hernandez Jérez, & Gil Hernández, 2012)

Analizando los parámetros de toxicidad, se puede saber si los materiales empleados para la construcción tienen algún efecto nocivo para la integridad de las personas.

2.6.3.2 Elementos tóxicos y peligrosos para la salud humana en la construcción de edificaciones

Existen materiales de construcción que son nocivos para la salud ya que pueden ser radiactivos y se encuentra radón en casi todos los tipos de suelos y algunas rocas pudiendo causar problemas pulmonares. La mayoría de pinturas, barnices y materiales sintéticos producen gases tóxicos (fenoles, formaldehídos, benceno, tricloroetileno y otros) los cuales no son procesados fácilmente por los ecosistemas, a continuación se presenta una tabla de materiales contaminantes, los problemas y recomendaciones. (Hess, 2014)

Tabla 5

Materiales contaminantes en la construcción.

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

CONTINÚA



Pisos vinílicos o plastificados	Producen emanaciones tóxicas del material y de los adhesivos.	Se puede sustituir por linóleo o corcho. El hidrolaqueado es menos tóxico que el plastificado. La cerámica es completamente no-tóxica.
Sistemas de acondicionamiento de aire	Los filtros mal mantenidos desarrollan hongos, las parrillas de condensación albergan gérmenes aeropatógenos, el sistema distribuye contaminantes	Es mejor acondicionar el edificio que acondicionar el aire. Sistemas de calefacción y refrigeración solar pasiva son más sanos.

Fuente: (Hess, 2014).

De hecho, todos los productos químicos podrían ser considerados como tóxicos en la medida en que modifican poco o mucho la calidad del equilibrio biológico. (Roos, 1973)

El mortero y el hormigón, debido a su contenido de cemento, puede causar dermatitis de contacto. La dermatitis de contacto es una enfermedad causada por la presencia de cromo hexavalente (Cr VI). Al contacto con la piel, especialmente si está húmedo puede causar picor, enrojecimiento, descamación y grietas. Tras una primera reacción el cuerpo queda sensibilizado y cualquier nuevo contacto provocará los mismos síntomas.

Se deben considerar medidas preventivas no sólo porque el cromo no ha sido suprimido totalmente, sino también porque el cemento contiene otros elementos alergizantes (cobalto, aditivos). Por tanto, proteger la piel, utilizando guantes y ropa adecuada, lavarse las manos con jabones apropiados, ducharse después de trabajar, etc., sigue siendo necesario para los trabajadores expuestos al cemento (Bellart Crevillen & Mesa Marcos, 2009).

2.6.3.3 Materiales biológicos

El sector de la construcción civil y la industria auxiliar, son los que tienen la mayor capacidad de ser el sumidero de residuos y subproductos, ya que se maneja un gran volumen de materiales y resulta relativamente fácil incorporar una pequeña porción de algún residuo. Se consideran que los residuos sean transformados en materiales útiles para el consumo por medio de un proceso respetuoso con el medio ambiente. (Castells, 2000)

En el Ecuador existen diversos recursos naturales que pueden ser usados en los diferentes procesos de construcción; se listan varios de los más importantes usados para aislamiento térmico:

- Cascarilla de café
- Palma africana
- Bagazo de caña
- Cascarilla de arroz

- Fibras de madera de balsa
- Bambú
- Totorá
- Pajonal

2.6.4 Características de los materiales de construcción

2.6.4.1 Conductividad Térmica

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

El coeficiente de conductividad térmica, entonces, es el parámetro que indica el calor cedido en una superficie. Se representa por el símbolo λ (lambda) siendo sus unidades $[W/m \cdot ^\circ K]$. 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 C177-85.

Para usar el método de la placa caliente se emplea el siguiente método:

“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 3 mm. 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 termopares 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, Aeberhard, Aeberhard, & Corace, 2003)

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

2.6.4.2 Transferencia de calor

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

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

El estudio de éste trabajo se va a basar en la transferencia de calor por conducción, ya que se va a analizar la conductividad térmica de materiales naturales para la fabricación de bloques para las construcciones.

El modelo matemático usado para la transferencia de calor por conducción es el siguiente:

$$q = k_c A \frac{T_1 - T_2}{L}$$

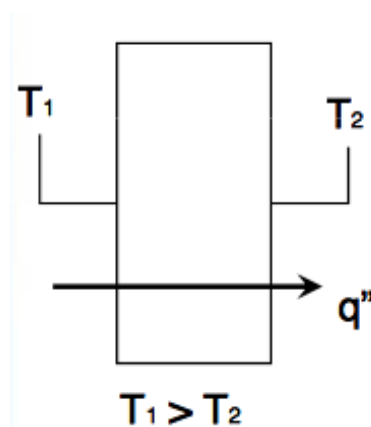


Figura 4. Transferencia de calor por conducción.

Es el intercambio de energía que ocurre de la región de mayor a menor temperatura por el movimiento cinético o el impacto directo de las moléculas como en los fluidos en reposo, o por el arrastre de electrones como en los metales.

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 $[W/m^2 \cdot ^\circ C \text{ o } ^\circ K]$.

2.6.4.3 Permeabilidad al vapor de agua

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

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

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

2.6.4.4 Resistencia

2.6.4.4.1 Introducción

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

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

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

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

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

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

2.6.4.4.2 Resistencia Mecánica De Los Bloques Para La Construcción.

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

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

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

Bloques de Tierra comprimida. Se usan varios métodos para la fabricación de los bloques de tierra comprimida, donde se usan componentes estabilizantes como es el cemento, y así aumentar la resistencia y compactación de los mismos.

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 nuestra investigación vamos a fabricar un bloque sólido con biomasa (cascarilla de café) como agrado de tal forma que forme porosidades para introducir aire en el producto final, esperando que tenga propiedades similares al del bloque de hormigón celular, pero será un bloque más ecológico sin la presencia de químicos (polvo de aluminio o peróxido de hidrogeno) que pueden resultar tóxicos en un futuro.

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

2.6.4.4.3 Resistencia De Bloques Para La Construcción

La resistencia es la capacidad de una estructura, de sus partes y elementos de contrarrestar una carga determinada sin descomponerse. (Pisarenko, Yákovlev, & Matvéev, 1979). Dentro de los materiales, está definido en gran medida por la fuerza de los enlaces en el material. (Ross & Chilver, 1999)

De acuerdo a la investigación realizada para determinar la resistencia de los bloques, se encontró que existen tres diferentes acciones a las cuales se puede someter a los bloques macizos, estas son: tracción, flexión y compresión.

Resistencia a la Tracción.- La fuerza de tracción es la que intenta estirar un objeto (aplicable generalmente para cables de acero, puentes colgantes, etc).

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

Resistencia de Flexión.- Definición: Técnicamente la resistencia a la flexión (RF) se define como el cociente del momento flexionante (M), producida por la fuerza máxima (FM) aplicada, y el momento de resistencia del material (W). (Navarro, 2005)

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

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

En el Ecuador la determinación de la resistencia a la flexión se encuentra normada solo para ladrillos cerámicos, mediante la INEN 295, al tratarse de un estudio del comportamiento de bloques de hormigón sólidos con agrados de biomasa (cascarilla de café y residuos de palma africana), se hará referencia a esta norma para realizar el ensayo, el cual nos permite obtener valores de resistencia a la flexión, para comparar con otros materiales similares de construcción.

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. En general, cuando se somete un material a un conjunto de fuerzas se produce tanto flexión como cizallamiento o torsión, todos estos esfuerzos conllevan la aparición de tensiones tanto de tracción como de compresión. En un prisma el esfuerzo de compresión puede caracterizarse más simplemente como la fuerza que actúa sobre el material de dicho prisma, a través de una sección transversal al eje Bari céntrico, lo que tiene el efecto de acortar la pieza en la dirección de ese eje. (Magdaleno, Silva S. , & Montes Bernabé , 2010)



Figura 5. Transferencia de calor por conducción.

Máquina de compresión

Es una máquina provista de un plato con rótula de seguimiento esférico, sirve para comprimir una muestra hasta que llegue su máxima resistencia. Su capacidad máxima es de 200 toneladas (Figura 5)

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.

Parámetros de Resistencia a la Compresión, para los bloques en la construcción.

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

El sistema constructivo del Ecuador utiliza los bloques huecos de hormigón para el cerramiento de las viviendas (paredes), incluso según el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) define a los bloques de hormigón como elementos paralelepípedos que, dependiendo de sus dimensiones, tendrán uno ó mas 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 para los bloques huecos de hormigón que se usan para paredes esta entre 2,5 MPa y 6 MPa.

1 MPa (Mega-Pascal) = 0,102 Kg/mm²

Resistencia en bloques de cascarilla de café

De una investigación previa sobre la Dosificación de hormigones ligeros con cascarilla de café, se obtiene que la resistencia a la compresión puede llegar hasta 3,26 MPa, utilizando la cascarilla de café en estado natural. (Salazar C., Garcia O., & Olava, 1988)

En el misma investigación se obtuvo que, al mineralizar la cascarilla de café con cemento, la resistencia a la compresión puede llegar hasta 5,5 MPa, en una relación cemento / cascarilla de 1:4. (Salazar C., Garcia O., & Olava, 1988)

Para referencia de valores de resistencia a la compresión simple mínima, podemos mencionar que el valor mínimo de la resistencia a compresión simple del bloque de tierra comprimida (adobe) según diversos autores y reglamentaciones se estima en 1,2 MPa (12 kgf/cm²). (SERVICIO NACIONAL DE CAPACITACIÓN PARA LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN , 2000)

Estos datos referenciales se tomaran como punto de comparación al momento de realizar los ensayos de resistencia a la compresión de los bloques a fabricar durante la investigación. Pero se debe tomar en cuenta que la resistencia mínima depende de la aplicación real en la cual se va a

utilizar el bloque, ya que se puede construir viviendas de una sola planta con paredes exteriores fabricadas de bloques con resistencia a la compresión más bajas que la mínima requerida por la normativa Ecuatoriana.

Determinación de la resistencia a la compresión.

Para determinar la resistencia a la compresión de los bloques solidos con Biomasa como agregado, se utilizara el procedimiento de la norma INEN 1485 que aplica para adoquines o bloques macizos, pero para el análisis de resultados se utilizara los parámetros de resistencia a la compresión dados en la norma INEN 639 para los bloques huecos de hormigón que son los usados para la cerramientos (paredes) de viviendas. (INEN, 1993)

Tabla 6

Clasificación de los bloques y resistencia mínima a la compresión.

Tipo	Uso	Resistencia mínima a la compresión (MPa*) a los 28 días
A	Paredes exteriores de carga, sin revestimiento	6
B	Paredes exteriores de carga, con revestimiento. Paredes interiores de carga, con o sin revestimiento	4
C	Paredes divisorias exteriores, sin revestimiento	3
D	Paredes divisorias exteriores, con revestimiento Paredes divisorias interiores, con o sin revestimiento	2,5
E	Losas alivianadas de hormigón armado	2

Fuente: (INEN, 1993)

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

Este ensayo permite determinar la resistencia de un bloque a compresión mediante la utilización de una maquina de compresión equipada con dos placas de acero de dureza mínima ROCKWELL C55. La placa

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

(véase Figura 5)

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

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

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

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

$$C = \frac{P}{A_s}$$

Donde:

C= Resistencia a la compresión, en MPa.

P= Carga máxima, en Newtones.

A_s = Área Total de la cara en contacto del Bloque, en milímetros cuadrados. (INEN, 1995)

2.6.4.5 Densidad (Peso) (D)

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

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

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

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

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

Una definición de la densidad de muros, dice que es la relación del área horizontal de muros con respecto al área total de entrepiso. Los muros de

concreto se transforman a mampostería multiplicando por la relación de módulos de elasticidad E_c/E_m . Producto de la densidad de muros por la resistencia de diseño a compresión diagonal, proporciona un parámetro de la resistencia a cortante por cm^2 de entrepiso, lo que ayuda a concluir sobre la eficiencia del sistema. (Perrilliat & Farah, 2000)

2.6.4.6 Durabilidad. Pérdida de prestaciones

Un material que es considerado durable, es aquel que es capaz de resistir a las condiciones que agreden física, mecánica, o química, que vienen del exterior o de su interior. Todo material el proclive a sufrir alguna alteración, por lo que conocer las limitaciones del material es fundamental para la elección de los mismos y su empleo en las construcciones. (Guigou Fernández, 1996)

Las pérdidas de prestaciones en los materiales, se da cuando la estructura molecular de estos ha variado, ya sea con la variación de sus propiedades física o químicas.

También se tienen pérdidas en las prestaciones de un edificio evidenciándolo en los fallos ya que estos son la manifestación de estas pérdidas, en general se refiere a una pérdida parcial, ya que cuando es total se utiliza el término colapso. Se puede, y se debe, cuantificar mediante el valor de una o más características de la parte afectada (por ejemplo el exceso de flecha de una viga, o el pandeo de un pilar). (Lasheras Merino, 2006)

- De accesibilidad; entre estos son los de mantenimiento y maniobrabilidad.
- De estabilidad; está tiene que ver con la pérdida en la rigidez o de seguridad.
- De estanquidad; dentro de está la acústica, la hídrica, la eólica y la térmica.

2.6.5 Aislantes Térmicos

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

2.6.5.1 Aislantes térmicos convencionales

En los mercados actuales se cuenta con diferentes productos que presentan un excelente aislamiento térmico, los cuales logran un buen ahorro energético, a su vez estos materiales pueden llegar a ser costosos en su uso, por lo que se plantea un material aislante diferente a los convencionales; dentro de los materiales aislantes convencionales según su composición se cuenta con los siguientes:

- Materiales sintéticos inorgánicos:
 - Lana de vidrio.
 - Lana de roca.
 - Vidrio celular.
 - Etc.
- Materiales naturales inorgánicos:
 - Arcilla expandida.
 - Etc.
- Materiales sintéticos orgánicos.
 - Poli estireno expandido (EPS).
 - Poli estireno extruido (XPS).
 - Espuma rígida de Poliuretano.
 - Etc.

➤ **Materiales naturales orgánicos**

- Corcho.
- Lana de oveja.
- Lino, cáñamo.
- Fibras y lana de madera.
- Fibra de celulosa.
- Etc.

Materiales sintéticos Inorgánicos.

Lana de vidrio y lana de roca

La lana de vidrio es un material compuesto de la fusión de sílice a 1450 °C en forma de arena natural, vidrio reciclado, fundentes, estabilizantes, bórax y una mezcla de calcio finamente molido. El vidrio así obtenido es convertido en fibras. Para ello se recurre a un método de alta velocidad como es la centrifugación, enfriándose al entrar en contacto con el aire. Se la produce en forma de fieltros cuyo valor de conductividad térmica está entre de 0,041 y 0,048 W/m.°C también se puede obtener paneles rígidos y semirrígidos cuyos valores de conductividad térmica están entre 0,036 y 0,040 W/m. °C, además dicho material puede soportar temperaturas de hasta 500 °C.

La lana de roca tiene un proceso de producción muy similar a la lana de vidrio con la diferencia que se utiliza como materia prima escoria provenientes de erupciones volcánicas basalto las cuales son llevadas a una temperatura de fusión de 1600 °C. En cuanto a las características térmicas su coeficiente de conductividad térmica en paneles y fieltro está entre 0,043 y 0,037 W/m. °C. (Bedoya & Neila F., 1997)

Vidrio celular

Es un aislante fabricado con vidrio reciclado, que mediante procesos térmicos se esponja apareciendo una red de burbujas de aire en su interior. El material se presenta en forma de bloques resistentes y ligeros con estructura celular, formando el conjunto de un cuerpo aislante rígido. Siendo este aislante un verdadero cristal, tiene por tanto las siguientes

propiedades: es incombustible, inalterable y resiste a los ácidos y vapores y posee un coeficiente de conductividad: 0,049 W/m. °C.

Materiales naturales Inorgánicos.

Arcilla expandida

La arcilla expandida es un agregado inerte y ligero, que se produce industrialmente con arcillas naturales seleccionadas y adecuadamente tratadas. La ventaja de este material es que no contiene sustancias químicamente activas orgánicas o inorgánicas. Los coeficientes de conductividad térmica se encuentran entre 0,095 y 0,148 W/m. °C.

Materiales sintéticos orgánicos.

Poli estireno 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. Posee una conductividad térmica entre 0,032 y 0.036 W/m °C. y puede resistir temperaturas comprendidas entre -50 a 70 °C

Poli estireno expandido (EPS)

Es un aislante de altas prestaciones, y de alta resistencia a los agentes meteorológicos y al envejecimiento. En cuanto a sus propiedades térmicas presenta un coeficiente de conductividad térmica entre 0,047 a 0,033 W/m. °C. y puede resistir temperaturas de hasta 70 °C.

Espuma de poliuretano.

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

Materiales naturales orgánicos

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

El corcho

El corcho es un producto natural, renovable y abundante, procedente de la corteza del alcornoque, constituye un buen aislante térmico debido a su bajo coeficiente de conductividad, gracias al volumen de aire que contiene su estructura celular. El coeficiente de conductividad térmica del corcho expandido es de $0,042 \text{ W/m}\cdot\text{°C}$ a 20 °C .

La lana de oveja

Es un material renovable, sano y natural con un gran poder aislante térmico, tanto del calor como del frío, además presenta la capacidad de ser ignífuga.

La conductividad de la lana de oveja como aislante térmico se encuentra en el rango de $0,035$ a $0,050 \text{ W/m}\cdot\text{°C}$. (Zach, Korjenic, Petránek, Hroudová, & Bednar, 2012)

El cáñamo

Se produce aislantes térmicos en forma de mantas y en paneles en donde el coeficiente de conductividad térmica varía entre $0,040$ y $0,048 \text{ W/m}\cdot\text{°C}$.

La paja

La paja es un material aislante puro que al ser comprimido puede convertirse en un material con una considerable capacidad portante. Su conductividad térmica está en $0,067 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. (Goodhew & Griffiths, 2005)

Fibra de madera

A partir de fibras de madera se pueden elaborar paneles y mantas como materiales aislantes. Como materia prima se pueden aprovechar los residuos de madera de los aserraderos, tales como astillas o virutas. Según las especificaciones de la norma EN 13171 sobre los productos

manufacturados con fibra de madera esta presenta una densidad entre 30-60 kg/m³ (soplado), 130-250 kg/m³ (en manta) con un Coeficiente de conductividad térmica: 0,03-0,06 W/(m.K), lo que le provee un gran aislamiento térmico.

CAPÍTULO 3

ESTUDIO DEL ARTE

3.1 Cascarilla De Café

3.1.1 Descripción De La Biomasa

Siendo el Ecuador un país con privilegiada producción de biomásas debido a su ubicación geográfica, a las diferentes regiones y ecosistemas, dentro de esta gran cantidad de biomásas generadas posee una gran capacidad de producción de café, se va a estudiar un beneficio de un subproducto como es la **cascarilla de café**, y así contribuir en la racionalización de desperdicios.

Como una alternativa para la construcción sostenible se plantea el uso de un material aislante térmico como lo es **la cascarilla de café como agregado para la construcción**, para lo cual se analizará varios factores que pueden disminuir la producción de la biomasa del café y a su vez del producto a usarse que es un subproducto de esta biomasa.

El café constituye un importante producto básico de la economía mundial; en el Ecuador, se presentan varios factores que afectan la producción nacional, como caídas de precios en el mercado mundial, fenómenos naturales como “El Niño”, reducción del área cultivada y edad avanzada de los cafetales. Este sector tiene relevante importancia en los órdenes económico, social y ecológico.

La tendencia actual es impulsar la reactivación del sector cafetalero. (COFENAC, 2012). El gobierno a través de su organismo encargado es el que está generando proyectos para la reactivación de este sector.

Hay proyectos por parte del ministerio de agricultura para la reactivación del café he incrementar la producción del mismo en el Ecuador, la idea es reactivar 105000 hectáreas de café a nivel nacional. (Villacis, 2013).

Al ser el café un producto de gran importancia, se tiene un gran potencial de esta biomasa y a su vez una **gran potencial de cascarilla de café**; por lo que se contará con esta materia prima si se lo emplea como agregado en la construcción, siendo edificaciones más amigables al encontrarse en el triángulo de la **sostenibilidad** llegando a un equilibrio económico, social y ambiental.

3.1.2 Localización y Cantidad

El Ecuador es uno de los pocos países del mundo donde se cultivan las dos variedades de café más comercializadas: arábica y robusta; y de la producción anual del país alrededor del **10% se destina al consumo interno**, mientras que el otro 90% a la exportación, siendo Estados Unidos el mayor comprador de café ecuatoriano en grano; y, Alemania y Japón los principales destinos del café industrializado. (López Dominguez & Zurita Herrera, 2009). Este dato es relevante para dimensionar la cantidad de materia prima con la que se cuenta en el país al querer usar la cascarilla de café como material aislante.

En el Ecuador se produce café en **20 de las 22 provincias del país** lo cual tiene una gran importancia socioeconómica. En el 2002 se estimaba que en la región costa se tenía una siembra de 112,000 hectáreas (ha), en la sierra 62,000 ha, en la región amazónica 55.000 ha y en Galápagos 1.000 ha de cafetales. (Delgado, Larco, García, Alcívar, Chilán, & Patiño, 2002). El Ecuador cuenta con una importante distribución de su producción en sus

diferentes regiones, como se puede observar en la figura 1; para el análisis del producto a usarse el sector de enfoque es la región de la sierra.

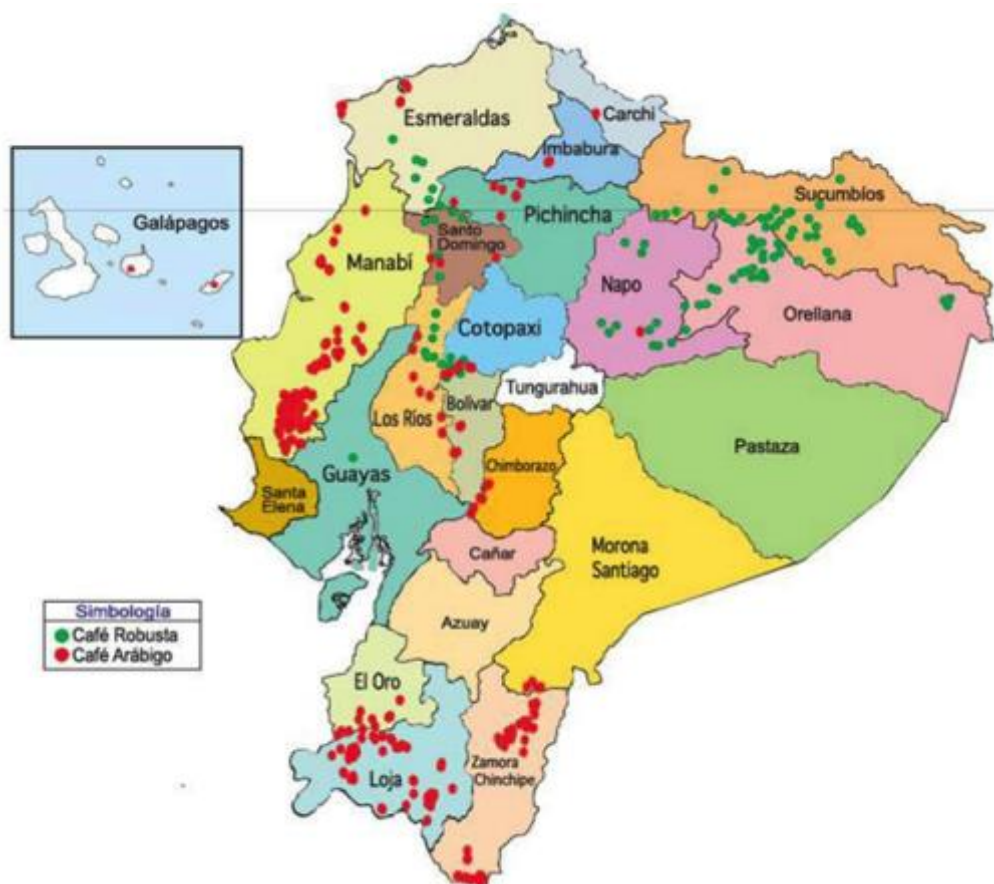


Figura 6. Principales zonas cafeteras del Ecuador. FUENTE Y ELABORACIÓN: COFENAC, GTZ 2009

La producción de café depende de la región, y su producción es de Marzo a Octubre el café arábica y de Junio hasta Octubre el café robusta, por lo que no se cuenta con una producción continua durante todo el año.

Según un estudio realizado por el Consejo Cafetalero Nacional, se describe en los siguientes datos:

- Superficie Total: 199,215 hectáreas.
- Área de café arábigo: 136,385 hectáreas.
- Área de café robusta: 62,830 hectáreas.
- **Área cosechada: 149,411 hectáreas.**
- Unidades de producción cafetalera: 105,000 UPA's.

- Producción nacional: 650.000 sacos de 60 kilos.
- Producción de café arábigo (%): 62%
- Producción de café robusta (%): 38%
- Consumo interno: 150.000 sacos de 60 kilos
- Producción exportable: 400.000 sacos de 60 kilos
- Capacidad instalada de la industria: 1'200,000 sacos de 60 kilos
- Capacidad instalada de exportadores de grano: 800,000 sacos de 60 kilos.

(COFENAC, 2012)

Estos datos indican que en su mayoría este producto es exportado, esto se debe tomar en cuenta para saber cuál es la cantidad de producto con el que se contaría para usarlo como agregado en los bloques.

De la producción total de café **se va a usar la cascarilla de café**, es un material compuesto en su mayor parte del pergamino (contiene también la película plateada) y fragmentos de granos. Constituye **cerca del 6% del café seco** de trilla y tiene un 12% de humedad. La figura 2 muestra pérdidas durante el proceso del café y se observa de qué proceso se adquiere la cascarilla de café, siendo así que se obtiene 35 gramos de cisco o cascarilla de 1 kilogramo de café cereza. (Salazar, García, & Olaya)

Proceso	Pérdida (grs.)	Materiales
Despulpado	394	Pulpa fresca
Fermentación	216	Mucilago
Trilla	35	Cascarilla
Secado	171	Agua
Torrefacción	22	Cafeína y sustancias volátiles
Preparación de la bebida	<u>104</u>	Borra
Pérdida total	<u>942</u>	

Figura 7. Materiales de desperdicio obtenidos en el beneficio de un kilogramo de café cereza. FUENTE: CALLE, Vélez Hernán, Subproductos del café, p. 3

Tomando como base la producción nacional de café de 650.000 sacos de 60 kg obteniendo un total de producción de 39000000 kg de café, y como **material disponible en total de cascarilla de café 2340000 kg.**

Tabla 7

Superficie cafetalera del Ecuador y Área en producción efectiva 2012.

PROVINCIAS	CAFÉ ARÁBIGO		CAFÉ ROBUSTA		ÁREA CAFETALERA NACIONAL	
	SUPERFICIE TOTAL	ÁREA EN PRODUCCIÓN	SUPERFICIE TOTAL	ÁREA EN PRODUCCIÓN	SUPERFICIE TOTAL	ÁREA EN PRODUCCIÓN
Datos en hectáreas						
Esmeraldas	900	675	6.345	4.759	7.245	5.434
Manabí	70.050	52.538	0	0	70.050	52.538
Santa Elena	1.800	1.350	0	0	1.800	1.350
Guayas	6.355	4.766	425	319	6.780	5.085
Los Rios	3.520	2.640	6.610	4.958	10.130	7.598
El Oro	9.730	7.298	0	0	9.730	7.298
Carchi	195	146	0	0	195	146
Imbabura	300	225	0	0	300	225
Pichincha	850	638	1.300	975	2.150	1.613
Santo Domingo	0	0	2.650	1.988	2.650	1.988
Cotopaxi	1.000	750	800	600	1.800	1.350
Bolívar	3.410	2.558	2.580	1.935	5.990	4.493
Chimborazo	650	488	0	0	650	488
Cañar	270	203	0	0	270	203
Azuay	230	173	0	0	230	173
Loja	29.345	22.009	0	0	29.345	22.009
Sucumbios	0	0	17.320	12.990	17.320	12.990
Orellana	0	0	20.000	15.000	20.000	15.000
Napo	0	0	4.800	3.600	4.800	3.600
Pastaza	40	30	0	0	40	30
Morona Santiago	290	218	120	90	410	308
Zamora Chinchipe	6.350	4.763	0	0	6.350	4.763
Galápagos	1.100	825	0	0	1.100	825
Total	136.385	102.289	62.830	47.123	199.215	149.411

Fuente: (COFENAC, 2012), ELABORACIÓN: Dirección de Inteligencia Comercial e Inversiones, PRO ECUADOR

Con los datos expuestos en la tabla 1, el área en producción en la región de la sierra es de 32688 hectáreas (**1961 hectáreas de cascarilla de café**), el resto está distribuido en las otras regiones del país.

3.1.3 Características de Interés

A nivel mundial la producción estimada de café es de 8 millones de toneladas. (Ministerio de Comercio Exterior). Es una cantidad importante de producto en todo el mundo, donde se puede pensar en ser usado sus residuos como material de construcción.

La actividad agroindustrial de estos productos genera una gran cantidad de residuos, de aproximadamente 90 % del peso total del producto cosechado. **En el caso del café y cacao sólo se aprovecha económicamente el grano que corresponde alrededor de un 10 % del peso del fruto fresco** (Abarca, Martínez, Muñoz, Torres, & Vargas, 2010). Por lo que como material disponible para usar el cual es la cascarilla y el residuo de café, representa una cantidad importante en el país y en general a nivel mundial.

La cascarilla de café constituye una excelente fuente de celulosa, lignina y cenizas, la composición química de este producto se lo muestra en la siguiente tabla:

Tabla 8

Composición química de fibras agrícolas.

Compuesto	Cascarilla de Café
Celulosa	19-26
Hemicelulosa	24-45
Lignina	18-30
Cenizas	6-7

FUENTE: (Bekalo & Reinhardt, 2010)

La calidad física del café está relacionada con las características físicas del grano como la forma, el tamaño, el color, la uniformidad, la humedad, la densidad y los defectos físicos. Para esto se cuenta con normas y estándares del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), donde se establecen los requisitos, métodos de evaluación y otros criterios. (Duicela,

Corral, & Farfán). Las **características físicas** que son importantes para la calidad del producto, también lo son para su residuo, ya que de estos factores depende que tan eficiente sería su funcionamiento **como material aislante**, tomando en cuenta **la conductividad térmica, la absorción y su resistencia**; y así también analizar la viabilidad de usar esta biomasa como material de construcción; los factores más relevantes son su porcentaje de absorción, su densidad y su resistencia; **para usar la cascarilla de café como agregado de la construcción se debe usar dosificaciones que cumplan con los parámetros mínimos de resistencia y conductividad térmica.**

Hay factores que pueden afectar la producción del café y a su vez de tener la cascarilla de esta biomasa, se mencionan ciertas plagas que pueden afectar esta producción:

Las plagas que afectan a la caficultura son las siguientes: broca del fruto (*Hypothenemus hampei*), taladrador de la ramilla (*Xylosandrus morigerus*), minador de las hojas (*Perileucoptera coffeella*), nematodos (*Meloidogyne* spp.), cochinillas de las raíces (*Planococcus* sp.) y escamas de los brotes (*Coccus viridis*). Entre las principales enfermedades del cafetose encuentran: roya anaranjada (*Hemileia vastratrix*), mal de hilachas (*Corticium koleroga*), ojo de gallo (*Mycena citricolor*) mancha de hierro (*Cercospora coffeicola*), mal de machete (*Ceratocystis fimbriata*), viruela del cafeto (*Colletotrichum gloeosporioides*) y Fumagina (*Capnodium* spp). Para estos problemas es recomendable el manejo integrado de problemas fitosanitarios, con el propósito de favorecer el desarrollo vegetativo de los cafetos, incrementar la presencia de enemigos naturales, crear condiciones adversas para las plagas y patógenos mediante una modificación controlada del micro ambiente (podas, regulación de sombra, deshierbas y abonaduras) y el uso de insumos apropiados. (COFENAC, 2012).

La cascarilla de café puede ser usado como agregado para la construcción, ya que se tiene mucha materia prima y sus características son prometedoras para el estudio de aislante en la construcción.

3.2 Posibilidades De Aglomeración De La Biomasa

3.2.1 En Bloques o En Masa Con Aglomerante Cemento

El propósito de usar el cemento como aglomerante con biomasa, es obtener un material que soporte las exigencias impuestas por el diseñador o calculista; requiere de un minucioso control y verificación de las propiedades físicas y mecánicas, así como de la mezcla en todas sus fases: diseño, elaboración, transporte, colocación, consolidación, protección y curado, además de un cuidadoso seguimiento en el proceso de fraguado y endurecimiento.

Los cementos hidráulicos deben cumplir con los requisitos contemplados en las siguientes normas: a) Cemento Portland de los tipos I a V, incluyendo los subtipos IA, IIA y IIIA, que cumplan con los requisitos contemplados en la norma NTE INEN 152 (ASTM C 150); b) Cemento compuesto tipo IP cumplirá con los requisitos de la norma NTE INEN 490 (ASTM C 595); c) Cementos clasificados de acuerdo a requisitos de desempeño, según los requerimientos establecidos en la norma NTE INEN 2380 (ASTM C 1157); d) Cementos para mampostería de acuerdo a los requerimientos establecidos en la norma NTE INEN 1806 (ASTM C 91). (COMITE EJECUTIVO DE LA NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN, 2013)

Para los ensayos y verificación de cumplimiento de especificaciones, se deben realizar por laboratorios acreditados por el Organismo de Acreditación Ecuatoriano OAE. Las normas que contienen los procedimientos de ensayos a utilizar son:

- **NTE INEN 153 (ASTM C 183):** Cemento hidráulico. Muestreo y ensayos.
- **NTE INEN 156 (ASTM C 188):** Cemento hidráulico. Determinación de la densidad.

- **NTE INEN 157 (ASTM C 187):** Cemento hidráulico. Determinación de la consistencia normal. Método de Vicat.
- **NTE INEN 158 (ASTM C 191):** Cemento hidráulico. Determinación del tiempo de fraguado. Método de Vicat.
- **NTE INEN 488 (ASTM C 109):** Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50 mm de arista.
- **NTE INEN 957 (ASTM C 430):** μm (No. 325) Determinación de la finura mediante el tamiz de 45 μm (micrómetros) (No. 325).
- **NTE INEN 202 (ASTM C 452).** Cemento hidráulico. Determinación de la expansión potencial de morteros de cemento Portland expuestos a la acción de sulfatos.
- **NTE INEN 2503 (ASTM C 1012):** Cemento hidráulico. Determinación del cambio de longitud en morteros expuestos a una solución de sulfato.
- **NTE INEN 2529 (ASTM C 1038):** Cemento hidráulico. Expansión de barras de mortero de cemento hidráulico almacenadas en agua.

El agua desempeña uno de los papeles vitales, es el componente que se combina químicamente con el cemento para producir la pasta que aglutina las partículas del árido, las mantiene unidas y colabora en gran medida con la resistencia y todas las propiedades mecánicas de los bloques.

El agua empleada en la mezcla debe estar libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, álcalis, sales, materiales orgánicos u otras sustancias que puedan ser nocivas al hormigón o al acero de refuerzo; el agua empleada en el mezclado de hormigón, debe cumplir con las disposiciones de la norma ASTM C 1602. (COMITE EJECUTIVO DE LA NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN, 2013)

El café tiene varias especies que provocan diferencias en la composición del fruto y de la cascarilla, que pueden alterar la afinidad con el cemento.

Existen varias maneras de usar la biomasa como material para la construcción, hay varios estudios en sus diferentes aplicaciones, algunas de las alternativas se las nombra en los siguientes párrafos.

Residuos que se emplean como materias primas de sustitución

Entre los residuos que pueden utilizarse como materias primas alternativas están las cenizas de fondo y cenizas volantes producidas en la combustión de biomasa. (Hidalgo López, 2012)

Residuos que se usan como adiciones al cemento

Muchas toneladas de residuos no encuentran una salida comercial por lo que, dada su elevada disponibilidad, resulta interesante plantearse un estudio de viabilidad de valorización de este tipo de residuos como adiciones minerales al cemento. (Hidalgo López, 2012)

Residuos que se utilizan como material de relleno en morteros y hormigones

Otra posibilidad es la utilización de adiciones minerales tal como la **cascarilla de café**, la cual es un buen sustituto de la grava como agregado, y contribuye a mejorar las características del hormigón, que dependiendo de la biomasa disminuye la permeabilidad del mismo e incrementa sus propiedades mecánicas. Además, el uso de la **cascarilla de café**, como material de relleno de morteros y hormigones, contribuye a la capacidad de aislamiento térmico de dichos materiales.

Si se fomenta el uso de mezclas con desechos o subproductos agrícolas, se contribuirá a la preservación del medio ambiente a través del reciclaje de este tipo de materiales. (Hidalgo López, 2012)

Los principales beneficios de la valorización energética de los residuos de biomasa en la fabricación de cemento son:

- Contribución a la sostenibilidad de la cadena agroindustrial.
- Al ser usado los residuos del café, se esta aprovechando prácticamente en su mayoría todo el producto, aportando a la sostenibilidad.

- Mitigación de emisiones de CO₂ por la sustitución de energías no renovables por renovables.
- Se da la mitigación porque al emplear la cascarilla de café, se deja de usar energías convencionales, en este caso para calefacción, y esto aporta a reducir las emisiones de CO₂.
- Reducción de otros gases de efecto invernadero como NO_x y SO_x.
- Con el menor uso de energías no renovables, se está mitigando en gran parte con la generación de gases de efecto invernadero.

Fabricación del compuesto biomasa vegetal-cemento

Al igual que diversos productos a base de cemento, el CBC puede ser fabricado de dos maneras clásicas: moldeo (deposición de la mezcla en moldes sin presión) y compactación (combinada o no con la extrusión).

Al usar presión en la fabricación de los mismos, se logra una mayor compactación y a su vez una mayor resistencia.

La eficiencia de los procesos está fuertemente correlacionada con las características propias de las partículas vegetales (distribución de tamaño y morfología de las partículas) y, evidentemente, de las proporciones entre sus constituyentes (sobre todo la razón agua/materiales secos). (Beraldo, 2011)

El proceso de curado también es importante, ya que las diferentes biomásas reaccionan con el agua, absorbiendo y en otros casos cediendo agua repetidamente en este proceso. En el caso de la cascarilla de café absorbe agua.

Ventajas del compuesto biomasa vegetal-cemento

El compuesto biomasa vegetal-cemento tiene varias ventajas en comparación con los materiales convencionales a base de cemento, entre las cuales se puede nombrar a la disponibilidad de materia prima, la masa específica limitada, la resistencia a los agentes biológicos, la estabilidad dimensional, 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, la cantidad de agua, 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 con el agua. 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. Todavía, para el compuesto biomasa vegetal-cemento, la cinética de evolución de su resistencia mecánica no es plenamente conocida. Se trata de un material mucho más poroso comparado con el hormigón tradicional y, de esa manera, presenta condiciones mucho más favorables para la penetración del gas carbónico. Su carbonatación ocurre con más intensidad porque las partículas vegetales funcionan como reservas de humedad. La resistencia mecánica en compresión del compuesto biomasa vegetal-cemento (del orden de 0,5 a 4,0 MPa) es sensiblemente inferior a aquella de los otros hormigones ligeros. Evidentemente esta característica, a ejemplo de lo que ocurre en los hormigones tradicionales, está estrechamente ligada a la masa específica y a la dosificación en el cemento. Las propiedades específicas de los agregados (su resistencia mecánica y distribución del tamaño de sus partículas), la proporción entre sus constituyentes y la forma de efectuar la compactación de la mezcla también son factores que interfieren en el comportamiento del compuesto biomasa vegetal-cemento.

De forma resumida, el compuesto biomasa vegetal-cemento presenta grandes posibilidades de utilización en la construcción principalmente por su versatilidad y bajo costo (cuando los desechos son aprovechados cerca del sitio de su generación). Incluso se puede afirmar que la utilización del compuesto biomasa vegetal-cemento es limitada solamente por la imaginación del usuario. (Beraldo, 2011)

Desventajas del compuesto biomasa vegetal-cemento

Sin embargo, el CBC presenta desventajas considerables, destacándose: la compatibilidad química con el cemento que depende de la naturaleza de la biomasa vegetal, para lo cual se emplean procesos de mineralización para estabilizar el componente; el tiempo necesario para el fraguado del cemento es relativamente mayor; la durabilidad puede ser muy limitada cuando no se utilizan cuidados especiales; hay susceptibilidad a la formación de eflorescencias. (Beraldo, 2011)

3.3 Bloques de Cascarilla de Café

Dentro del estudio del arte se han encontrado estudios donde se usa la cascarilla de café como agregado en la elaboración de bloques, de estas investigaciones a continuación se mencionan dos de las más importantes.

Se realizó una investigación donde la cascarilla de café en su estado natural o molida se comportó muy similar al árido fino, ya que la retención en las mallas fue muy similar en comparación en la arena. Los bloques con cascarilla de café entera son menos costosos que los hechos con cascarilla de café molida, esto es debido a que cuando las partículas son pequeñas requieren de mayor cantidad de cemento para ser cubiertas.

Se utilizaron diferentes proporciones para la fabricación del bioconcreto; la proporción 1:4:2 indica que se utilizó una parte de cemento, cuatro partes de arena y dos partes de material cero, para la proporción 1:3:3 significa que se empleó una parte de cemento, tres partes de arena y tres partes de material cero. Estas muestras fueron bloques y se realizó la prueba de resistencia a la compresión obteniendo que en la dosificación 1:4:2, los mejores resultados fueron con un 10% de cascarilla de Café, donde la resistencia a los 28 días fue de 24.63 kg/cm² y para la proporción 1:3:3 el mejor resultado que se obtuvo fue de 42.40 kg/cm², con un porcentaje de cascarilla del 10%, también a los 28 días. (Sierra, Roque, & Medrano, 2013)

En otro estudio se mineralizó el café, en una solución de agua cemento al 5% en peso; se realizaron diferentes mezclas agua cemento 0,5 y 0,6 en

peso y cemento cascarilla 1:3, 1:4, 1:5 y 1:6 en volumen, usando cascarilla en estado natural.

De estas proporciones se terminó escogiendo la combinación de 0,5 agua cemento y 1:4 cemento cascarilla, por la baja conductividad térmica $K = 0.144 \text{ Kcal/h.m}^\circ\text{C}$. una buena manejabilidad con un asentamiento de 3,5 cm y una resistencia a la compresión de 19 Kg/cm². Se obtuvo que al tener mayor cantidad de cascarilla se pierde resistencia, y se mineraliza la cascarilla de café para eliminar los contenidos de azúcares asemejando la cascarilla a un agregado mineral liviano. (Salazar, García, & Olaya)

CAPÍTULO 4

DESARROLLO EXPERIMENTAL

4.1 Determinación de parámetros para el modelamiento del aislante térmico

La determinación de los parámetros para el modelamiento del aislante térmico, considera que el bloque construido debe someterse a las pruebas de resistencia y conductividad térmica; de las cuales se obtendrán datos que serán usados para concluir si son aptos para su fabricación y uso en la construcción.

Para lo cual se toma en cuenta la dosificación; que es la proporción de los materiales para llegar a una adecuada compactación, con un mínimo de cemento ahorrando dinero; se toma en cuenta la relación agua cemento, la absorción, el porcentaje de hidratación, etc. Otro factor es el proceso de mezclado, el proceso de desencofrado y el proceso de curado.

4.1.1 Resistencia

Se medirá el esfuerzo máximo que soportará el material bajo un carga; depende de la mezcla, temperatura ambiente, tamaño de la pieza, tipo del curado, etc. 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.

El valor a tomarse como referencia es la resistencia del BTC, que es de 1.2 MPA.

4.1.2 Conductividad

Se evalúan los valores de conductividad térmica de los materiales de construcción con biomásas. Dependerá del material que se va a medir, y con la relación de la dosificación de los bloques, se puede obtener el valor de conductividad; estos valores de la conductividad térmica deben ser bajos, se tomará como referencia el del material cerámico inferiores a $0.43\text{W/m}^\circ\text{K}$.

4.2 Elaboración de probetas de aislante térmico

En base a la información investigada en cuanto a aglomerantes y agregado, se comienza a realizar los primeros ensayos para determinar tanto los materiales a utilizarse como las dosificaciones adecuadas para realizar los prototipos para las pruebas de resistencia a la compresión, conductividad térmica; y así determinar las características de dicho modelo y su nivel de aplicabilidad en la construcción.

4.2.1 Moldes para los bloques

Se realizó el primer modelo en un molde cilíndrico de diámetro de 10cm y una altura de 15cm.



Figura 8. Molde cilíndrico.

Los siguientes modelos se realizaron en un molde rectangular de 30cm largo, 15cm de ancho y 15cm de alto; con una tapa para comprimir de ser necesario.



Figura 9. Molde rectangular.



Figura 10. Molde rectangular con tapa para compresión.

Se utilizaron dos modelos de moldes que son metálicos, que mantiene una forma rectangular de 30 cm largo, 15 cm de ancho y 15 cm de alto; y uno de 20 cm de largo, 10 cm de ancho y 10 cm de alto.



Figura 11. Moldes metálicos.

4.2.2 Modelos Experimentales

Se realizaron varios modelos hasta obtener una dosificación apropiada para las pruebas de resistencia a la compresión.

Primer modelo:

Para el primer modelo se usó una relación de agua – cemento de 1:1 en peso, y una relación de cemento – cascarilla de café 1:4 en volumen.

Tabla 9

Dosificación del primer modelo.

DOSIFICACIÓN	
CEMENTO	CASCARILLA
1	4

Se observó en esta mezcla que no fraguaba como se esperaba, ya que al tener una porción bastante significativa de cascarilla se tenía que batir bastante para que todo el cemento se mezcle con el agua y la biomasa, al inicio la relación agua – cemento era de 0,6; pero ya que la biomasa absorbió gran cantidad de agua, se tuvo que aumentar la misma alcanzando la relación agua – cemento 1:1.

También se observó que el bloque que se realizó se podía descascarar solo con la mano, y después de sacarlo del molde y sin usar un proceso de curado en agua, ya que no se consiguió una mezcla buena, se obtuvo solo una pequeña porción de la muestra ya que el resto se descascó.



Figura 12. Mezcla del primer modelo.



Figura 13. Primera mezcla en molde.



Figura 14. Desencofrado después de proceso de curado en seco.

Ésta dosificación a los 14 días de curado en seco, es resistente sin embargo, su consistencia permite que se desintegre algunas partes con la mano, por lo que no puede realizarse la prueba de resistencia a la compresión.

Segundo modelo:

Para el segundo modelo se usó una relación de agua – cemento de 0,9:1 en peso, y una relación de cemento – cascarilla de café 1:3 en volumen.

Tabla 10

Dosificación del segundo modelo.

DOSIFICACIÓN	
CEMENTO	CASCARILLA
1	3

En esta mezcla primero se hizo fraguar el cemento con el agua y de ahí se colocó el agregado, al inicio la relación agua – cemento era de 0,6; pero

después de incluir en la mezcla el agregado se tuvo que subir la porción de agua a 0,9 ya que la mezcla con la biomasa se tornó muy seca.

Este modelo se lo realizo con compresión, y se expandió deformando un poco el molde; una vez que se desencofró el modelo era frágil, se le colocó en agua para el proceso de curado, pero al día siguiente se deshizo.



Figura 15. Mezcla inicial usada para segundo modelo, cemento y agua.



Figura 16. Mezcla final de segundo modelo.



Figura 17. Mezcla en molde.



Figura 18. Segundo modelo desencofrado.

Ésta dosificación no fue lo que se esperaba y se desintegro, por lo que en el proceso de curado de las demás muestras ya no se las sumergió en agua, sino se las hidrata constantemente, y tampoco se está usando el proceso de compresión, sino se las está tacando para comprimir al realizar el molde y así permitir que se expanda un poco.

Tercer modelo:

Para el tercer modelo se usó una dosificación de 1 de cemento, 1 de arena y 2 de cascarilla de café en volumen.

Tabla 11

Dosificación del tercer modelo.

DOSIFICACIÓN		
CEMENTO	ARENA	CASCARILLA
1	1	2

En esta mezcla se usó la experiencia de los primeros modelos y se tuvo menos inconvenientes, al momento de desencofrar se deshacía menos que sus modelos predecesores, y se lo curó mojándolo constantemente.



Figura 19. Tercer modelo desencofrado y en proceso de curado.

Ésta dosificación al pasar el tiempo fue más resistente que los modelos anteriores, sin embargo perdió resistencia y terminó siendo frágil y no apta para las pruebas de resistencia.

Cuarto modelo:

Para el cuarto modelo se usó una dosificación de 1 de cemento, 2 de arena y 1 de cascarilla de café en volumen.

Tabla 12

Dosificación del cuarto modelo.

DOSIFICACIÓN		
CEMENTO	ARENA	CASCARILLA
1	2	1

Con la experiencia obtenida de los anteriores modelos se lograron mejores procesos de mezclado, al momento de desencofrar no se tuvo inconvenientes ya que se presentó más rígida la muestra, y se lo curó mojándolo constantemente.



Figura 20. Cuarto modelo desencofrado y en proceso de curado.

Esta dosificación es más resistente que los modelos anteriores, sin embargo uso menos cascarilla, y su peso es superior a los modelos anteriores ya que usa mucho cemento y arena; tampoco se usó esta muestra para las pruebas de resistencia ya que se emplea muy poca biomasa.

Quinto modelo:

Para el quinto modelo se usó una dosificación de 1 de cemento, 2 de cascarilla de café en volumen.

Tabla 13

Dosificación del quinto modelo.

DOSIFICACIÓN	
CEMENTO	CASCARILLA
1	2

Con la experiencia obtenida en los modelos anteriores se realizó la mezcla buscando hacerla más homogénea, al momento de desencofrar se observó que era una muestra estable, que no se descascaraba tan fácilmente como los otros modelos de cemento y cascarilla, después se lo dejó en el proceso de curado mojándolo constantemente.

**Figura 21.** Quinto modelo desencofrado.**Figura 22.** Quinto modelo en proceso de curado vista lateral.



Figura 23. Quinto modelo en proceso de curado vista superior.

Después del paso del tiempo se empezó a descascarar la parte superior, no se usó esta dosificación por la fragilidad de la muestra y por la descomposición que tuvo.

Sexto modelo:

Para el sexto modelo se usó una dosificación de 1 de cemento, 2 de arena y 2 de cascarilla de café molida en volumen.

Tabla 14

Dosificación del sexto modelo.

DOSIFICACIÓN		
CEMENTO	ARENA	CASCARILLA MOLIDA
1	2	2

Para su mezcla se logró una mayor homogeneidad al ser más pequeñas las partículas del café, al momento de desencofrar se observó que era una muestra estable, al ser con cascarilla de café molida se tiene como agregado más fino y el bloque es más uniforme, no se descascaraba tan fácilmente, después se lo dejó en el proceso de curado mojándolo constantemente.



Figura 24. Sexto modelo desencofrado.



Figura 25. Sexto modelo en proceso de curado.

Ésta dosificación fue resistente, sin embargo en el proceso de curado se observó que se empezó a descascarar la parte lateral, tampoco se usó éste modelo para pruebas de resistencia ya que al usar cascarilla molida como agregado fino no se consigue un buen aislamiento, también al pasar el tiempo se fue desintegrando.

Séptimo modelo:

Para el séptimo modelo se usó una dosificación de 1.5 de cemento, 2.5 de arena, 4.5 de agua y 5 de cascarilla de café en volumen.

Tabla 15

Dosificación del séptimo modelo.

DOSIFICACIÓN		
CEMENTO	ARENA	CASCARILLA
1.5	2.5	5

En esta mezcla se usó la experiencia de los modelos anteriores y se tuvo menos inconvenientes, se lo dejó sobresaturado en agua, se lo dejó en el molde y ahí se dio el proceso de curado.



Figura 26. Séptimo modelo.

Ésta dosificación después del proceso de curado se fue desintegrando, por lo que tampoco pudo ser usada para las pruebas de resistencia a la compresión.

Proceso de mineralización de la Biomasa

Para el proceso de mineralización de la cascarilla de café, se empleó una relación de 1 de cemento, 12 de agua y 6 de cascarilla de café; se batió durante media hora y se dejó reposar 24 horas, después de esto se dejó secar para poder usarlo en los nuevos modelos.



Figura 27. Proceso de mineralización.

Octavo modelo:

Para el octavo modelo se usó una dosificación de 1 de cemento, 1 de arena y 5 de cascarilla de café mineralizada.

Tabla 16

Dosificación del octavo modelo.

DOSIFICACIÓN		
CEMENTO	ARENA	CASCARILLA MINERALIZADA
1	1	5

El proceso de mezclado se lo realizó con la experiencia obtenida logrando una mezcla homogénea, después se lo curo y se desencofró.



Figura 28. Octavo modelo.

Ésta dosificación en el día séptimo tenía una buena apariencia, por lo que fue apta para realizarle la prueba de resistencia a la compresión.

Noveno modelo:

Para el noveno modelo se usó una dosificación de 2 de cemento y 6 de cascarilla de café mineralizada.

Tabla 17

Dosificación del noveno modelo.

DOSIFICACIÓN	
CEMENTO	CASCARILLA MINERALIZADA
2	6

El proceso de mezclado, de moldeado y de curado, fue en base a la experiencia de los modelos anteriores.

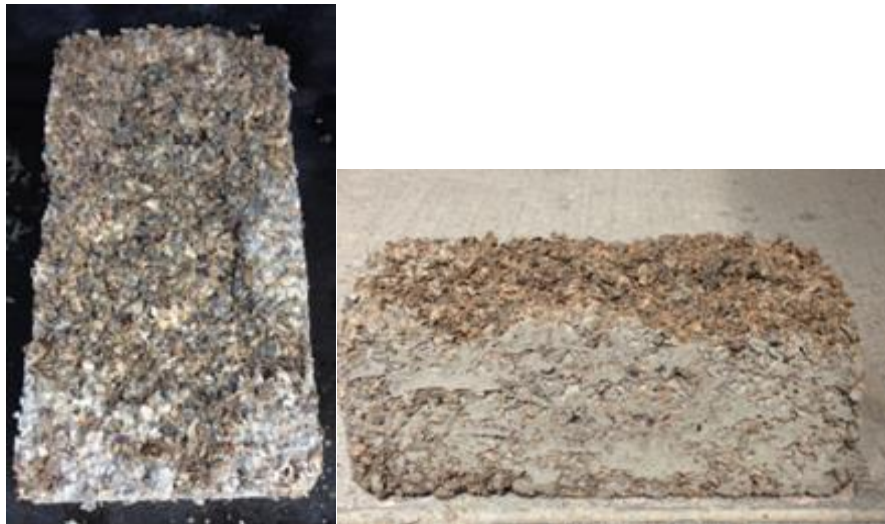


Figura 29. Noveno modelo.

Ésta dosificación tuvo un buen aspecto después del curado, pero su parte superior era frágil, por lo que no era apta para las pruebas de resistencia a la compresión.

Décimo modelo:

En esta mezcla se usó una dosificación de 2 de cemento y 5 de cascarilla mineralizada.

Tabla 18

Dosificación del décimo modelo.

DOSIFICACIÓN	
CEMENTO	CASCARILLA MINERALIZADA
2	5

No se tuvo inconvenientes con la mezcla, el desencofrado y el curado.

**Figura 30.** Décimo modelo.

Ésta dosificación tuvo un buen aspecto después del curado, por lo que era apta para las pruebas de resistencia a la compresión.

Décimo primer modelo:

Para éste modelo se realizó un bloque relleno, donde en el interior tenía una dosificación de 1 de cemento con 10 de cascarilla; y en su exterior se tenía 10 de cemento, 10 de polvo de piedra y 10 de cascarilla mineralizada; para esto primero se hizo el bloque interno y después se elaboró el bloque compuesto.

Tabla 19

Dosificación del décimo primer modelo.

BLOQUE	DOSIFICACIÓN			
	CEMENTO	CASCARILLA	POLVO DE PIEDRA	CASCARILLA MINERALIZADA
INTERIOR	1	10	0	0
EXTERIOR	10	0	10	10

Para la mezcla, primero se hizo el bloque interior y después de un día de curado se lo colocó en el centro del molde más grande, se mezclaron los materiales para el bloque exterior y fue colocado alrededor del bloque interior, creando el bloque compuesto, el cual fue curado en el mismo molde, sin colocarle agua.

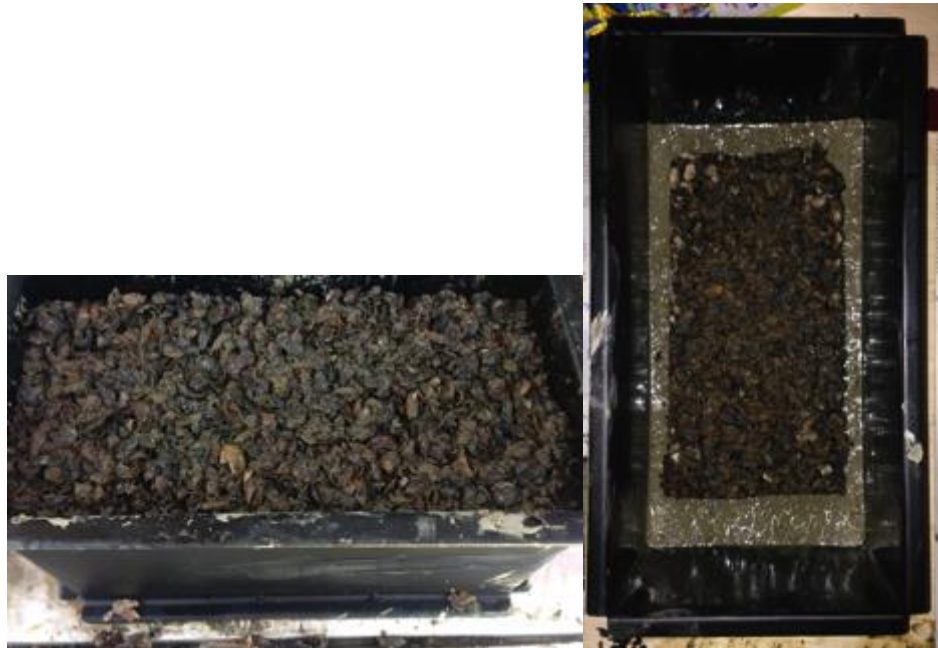


Figura 31. Décimo primer modelo, elaboración.



Figura 32. Décimo primer modelo, curado.

Éste modelo después del tiempo de curado resulto ser rígido y se pudo realizar pruebas de resistencia al mismo.

Décimo segundo modelo:

Para éste modelo se realizó un bloque relleno, donde en el interior tenía una dosificación de 1 de cemento con 15 de cascarilla; y en su exterior se tenía 5 de cemento, 10 de arena y 20 de cascarilla mineralizada; su elaboración y curado es similar al anterior modelo.

Tabla 20

Dosificación del décimo segundo modelo.

BLOQUE	DOSIFICACIÓN			
	CEMENTO	CASCARILLA	ARENA	CASCARILLA MINERALIZADA
INTERIOR	1	15	0	0
EXTERIOR	5	0	10	20

Para la mezcla, su moldeado y su proceso de curado, se lo hizo similar al modelo anterior.



Figura 33. Décimo segundo modelo.

Éste modelo tenía una buena apariencia después del tiempo de curado, se pudo realizar pruebas de resistencia al mismo.

Décimo Tercer modelo:

Se elaboraron cuatro últimos modelos, haciendo muestras de mortero, con las siguientes dosificaciones en volumen: 1 de cemento, 2 de arena y 3 de cascarilla mineralizada (3 muestras); 1 de cemento, 2 de arena y 4 de cascarilla mineralizada (3 muestras); 1 de cemento, 2 de arena y 4 de cascarilla sin mineralizar (1 muestra); 1 de cemento, 2 de arena y 5 de cascarilla mineralizada (2 muestras).

Tabla 21

Dosificación del décimo tercer modelo.

MODELO	DOSIFICACIÓN				# PROBETAS
	CEMENTO	ARENA	CASCARILLA MINERALIZADA	CASCARILLA	
M1	1	2	3	0	3
M2	1	2	4	0	3
M3	1	2		4	1
M4	1	2	5	0	2

En su proceso de mezcla no se tuvo ningún inconveniente, se lo desencofró y curó usando la experiencia obtenida.



Figura 34. Muestras de mortero.

A todas estas muestras después del tiempo de curado se pudo realizar la prueba de resistencia a la compresión por su contextura física.

4.3 Medición de propiedades físicas, químicas y mecánicas

4.3.1 Protocolo de resistencia a la compresión

Esta prueba se la realizó a probetas y a bloques, los pasos se detallan a continuación:

- Para la elaboración de la probetas cilíndricas se toma en cuenta la normativa ASTM C31 que indica las proporciones y la ejecución de la prueba. Las pruebas se realizaron con una probeta de 10x20 centímetros para todas las mezclas.



Figura 35. Molde para probeta.

- Se pesan los ingredientes de acuerdo a las proporciones con las que se van a hacer la mezcla, y se realiza la mezcla de los materiales tratando de homogenizar la misma, por lo que previamente se mezclan los materiales sin el agua y después se añade la misma.



Figura 36. Mezcla para probeta.

- A continuación se agrega la mezcla en el molde y se compacta con la ayuda de un martillo de goma y una varilla de compactación, esto por niveles para que la compactación se de en toda la probeta, finalmente se nivela la parte superior; después de esto se le deja 24 horas en el molde y se desencofra.



Figura 37. Elaboración de la probeta.

- Después de desencofrar se deja para que se cure mínimo de 7 días para poder realizar las pruebas.

Para las pruebas en los bloques rectangulares, el procedimiento es similar al de la probeta cilíndrica, cambia básicamente el molde.

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 maquina de compresión equipada con dos placas de acero. Se limpia las placas de la maquina de compresión con un paño y se quita cualquier residuo o arenilla de la cara del bloque.



Figura 38. Máquina usada para pruebas de resistencia a la compresión.

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

Para la prueba de resistencia a la compresión de probetas de mortero, se uso otra máquina que es específicamente para esas probetas, la elaboración de estas probetas es similar a la realizada para los bloques.



Figura 39. Máquina usada para pruebas de resistencia a la compresión mortero.

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

$$C = \frac{P}{A_s}$$

Donde:

C= Resistencia a la compresión, en MPa.

P= Carga máxima, en Newtones.

A_s= Área Total de la cara en contacto del Bloque, en milímetros cuadrados.

4.3.2 Protocolo de medición de conductividad térmica

La medición de conductividad se la realizó a la cascarilla de café y a la cascarilla de café mineralizada.

El procedimiento usado para la medición de la conductividad térmica es el siguiente:

- a) Se llenaron los moldes de 30x30x5 centímetros con la cascarilla de café y se peso la biomasa, para que en ambos lados se tenga el mismo valor.



Figura 40. Biomasa pesada.

- b) Se enciende el sistema de enfriamiento, el valor colocado fue de 10 °C, esto para lograr una mayor diferencia entre la placa caliente y fría; éste sistema mantiene a las placas frías en una temperatura estable.



Figura 41. Sistema de enfriamiento.

- c) Se enciende el sistema de la placa caliente, entre la parte interior y la parte exterior se va a tener un pequeño diferencial de temperatura, el valor colocado es aproximadamente los 28 °C ya que el sistema esta limitado a un máximo de 30 °C; una vez estabilizado se procede a tomar las medidas iniciales, las variables de las cuales se toman los datos son: temperatura de placa caliente interna y externa, temperatura de las dos placas frías, voltaje y corriente, temperatura ambiente y porcentaje de humedad.



Figura 42. Sistema de calentamiento, termómetro, amperímetro y voltímetro.

- d) Después se coloca los moldes y la placa caliente en el centro, y se va tomando medidas cada cierto tiempo; hasta un punto donde la variación se mantiene constante.



Figura 43. Moldes de cascarilla de café y placa caliente.

- e) Con las mediciones realizadas se calcula el coeficiente de conductividad térmica de acuerdo a la ASTM C1045 usando la ecuación:

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

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]

4.4 Equipos y materiales:

Se usa como equipos y materiales lo siguiente:

- Balanza.



Figura 44. Balanza.

- Balanza electrónica.



Figura 45. Balanza electrónica.

- Envase para mezcla.



Figura 46. Recipiente de mezcla.

- Cemento.



Figura 47. Cemento.

- Arena.



Figura 48. Arena.

- Polvo de piedra.



Figura 49. Polvo de piedra.

- Cascarilla de café.



Figura 50. Cascarilla de café.

- Termómetro.



Figura 51. Termómetro.

- Medidor de temperatura ambiente y humedad.



Figura 52. Medidor de temperatura ambiente y porcentaje de humedad.

- Multímetro y Amperímetro.



Figura 53. Multímetro y Amperímetro.

- Equipo 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.

Consta de una placa caliente que es la parte del equipo encargada de transmitir el calor a través de la muestra hacia la placa fría, asegura la

disipación de la energía transmitida y asegura un flujo de calor constante.
(Velasco Roldán, Goyos Pérez, Páez Flor, & Naranjo Guatemala, 2014)



Figura 54. Equipo de medición de conductividad térmica.

➤ Equipo para medición de resistencia a la compresión.



Figura 55. Equipo para pruebas de resistencia a la compresión.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Datos Obtenidos

De todos los modelos fabricados, los que estuvieron aptos para las pruebas de resistencia a la compresión y de los cuales se tienen datos son los listados a continuación:

- **Octavo modelo (B1):** dosificación 1 de cemento, 1 de arena y 5 de cascarilla mineralizada; modelo cilíndrico.

Tabla 22

Dosificación B1.

DOSIFICACIÓN		
CEMENTO	ARENA	CASCARILLA MINERALIZADA
1	1	5

Los datos obtenidos de sus características y de la prueba de resistencia a la compresión se los muestra en la tabla 27.

- **Décimo modelo (B2):** dosificación 2 de cemento y 5 de cascarilla mineralizada; modelo rectangular.

Tabla 23

Dosificación B2.

DOSIFICACIÓN		
CEMENTO	ARENA	CASCARILLA MINERALIZADA
2	0	5

Los datos obtenidos de sus características y de la prueba de resistencia a la compresión se los muestra en la tabla 28.

- **Décimo primer modelo (B3):** la parte interior tiene una dosificación de 1 de cemento con 10 de cascarilla; la parte exterior tiene una dosificación de 10 de cemento, 10 de polvo de piedra y 10 de cascarilla mineralizada; modelo relleno rectangular.

Tabla 24

Dosificación B3.

DOSIFICACIÓN INTERIOR		DOSIFICACIÓN EXTERIOR		
CEMENTO	CASCARILLA	CEMENTO	POLVO DE PIEDRA	CASCARILLA MINERALIZADA
1	10	10	10	10

Los datos obtenidos de sus características y de la prueba de resistencia a la compresión se los muestra en la tabla 28.

- **Décimo segundo modelo (B4):** la parte interior tiene una dosificación de 1 de cemento con 15 de cascarilla; la parte exterior tiene una dosificación de 5 de cemento, 10 de arena y 20 de cascarilla mineralizada; modelo relleno rectangular.

Tabla 25

Dosificación B4.

DOSIFICACIÓN INTERIOR		DOSIFICACIÓN EXTERIOR		
CEMENTO	CASCARILLA	CEMENTO	ARENA	CASCARILLA MINERALIZADA
1	15	5	10	20

Los datos obtenidos de sus características y de la prueba de resistencia a la compresión se los muestra en la tabla 28.

- **Décimo tercer modelo:** se usaron varias dosificaciones, tres modelos que tienen 1 de cemento, 2 de arena y 3 de cascarilla mineralizada; tres modelos que tienen 1 de cemento, 2 de arena y 4 de cascarilla mineralizada; un modelo de 1 de cemento, 2 de arena y 4 de cascarilla; dos modelos que tienen 1 de cemento, 2 de arena y 5 de cascarilla mineralizada; modelo mortero cuadrado.

Tabla 26

Dosificación del mortero.

MODELO	DOSIFICACIÓN				# PROBETAS
	CEMENTO	ARENA	CASCARILLA MINERALIZADA	CASCARILLA	
M1	1	2	3	0	3
M2	1	2	4	0	3
M3	1	2	0	4	1
M4	1	2	5	0	2

Los datos obtenidos de sus características y de la prueba de resistencia a la compresión se los muestra en la tabla 29.

Tabla 27

Datos de B1, resistencia a la compresión.

Octavo modelo (1 cemento - 1 arena - 5 cascarilla mineralizada)									
Muestra	Peso de la probeta	Dimensiones		Area de probeta	Volumen de probeta	Peso volumétrico	Carga	Resistencia a la compresión	Edad
		Altura	Diámetro						
No.	(g)	(cm)	(cm)	(cm ²)	(cm ³)	(g/cm ³)	(Kg)	(Kg/cm ²)	(Días)
1	1775	20,0	10,2	81,7	1634,3	1,086	286,0	3,5	7

Tabla 28

Datos de B2, B3 y B4, resistencia a la compresión.

DATOS DE MUESTRAS										
Muestra	Peso de la probeta	Dimensiones			Area de probeta	Volumen de probeta	Peso volumétrico	Carga	Resistencia a la compresión	Edad
		Largo	Altura	Ancho						
No.	(g)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ²)	(cm ³)	(g/cm ³)	(Kg)	(Kg/cm ²)	(Días)
B2	5160,0	30	15,0	15,0	450,0	6750,0	0,764	12510,0	27,8	40
B3	7890,0	30	15,0	15,0	450,0	6750,0	1,169	2780,0	6,2	40
B4	5010,0	30	15,0	15,0	450,0	6750,0	0,742	14200,0	31,6	40

Tabla 29

Datos de M1, M2 y M3, resistencia a la compresión de muestras de mortero.

Décimo tercer modelo										
Muestra	Peso de la probeta	Dimensiones			Área de probeta	Volumen de probeta	Peso volumétrico	Carga	Resistencia a la compresión	Edad
		Largo	Altura	Ancho						
No.	(g)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ²)	(cm ³)	(g/cm ³)	(Kg)	(Kg/cm ²)	(Días)
M1.1	186.7	5	5	5	25.0	125.0	1.494	397.7	15.9	7
M1.2	194.5	5	5	5	25.0	125.0	1.556	363.0	14.5	7
M1.3	192.6	5	5	5	25.0	125.0	1.541	328.3	13.1	7
M2.1	172.3	5	5	5	25.0	125.0	1.378	254.8	10.2	7
M2.2	173.6	5	5	5	25.0	125.0	1.389	315.1	12.6	7
M2.3	179.4	5	5	5	25.0	125.0	1.435	156.0	6.2	7
M3	135.9	5	5	5	25.0	125.0	1.087	72.4	2.9	7
M4.1	163.4	5	5	5	25.0	125.0	1.307	209.0	8.4	7
M4.2	173.3	5	5	5	25.0	125.0	1.386	215.2	8.6	7

Se realizaron pruebas de conductividad térmica de la cascarilla pura, éstas pruebas fueron a dos diferentes densidades, la primera prueba se hizo a una densidad de 0.122 gr/cm^3 (D1) y la segunda prueba a una densidad de 0.156 gr/cm^3 (D2), los datos obtenidos se encuentran en la tabla 17 y 18.

Adicionalmente se hizo una tercera prueba de la cascarilla mineralizada la cual tenía una densidad de 0.211 gr/cm^3 (D3), los datos obtenidos de esta prueba se encuentran en la tabla 19.

Los parámetros que se midieron son los siguientes:

- T1: Temperatura de placa caliente interna.
- T2: Temperatura de placa caliente externa.
- T3: Temperatura de placa fría 1.
- T4: Temperatura de placa fría 2.
- Ti: Temperatura de placa caliente interna en display del circuito de control.
- Te: Temperatura de placa caliente externa en display del circuito de control.
- 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.
- T. ambiente: Temperatura ambiente en grados centígrados.
- Peso: Peso de la muestra 1 en gramos (igual a la muestra 2 por ser materia suelta).
- Peso: Peso de la muestra 2 en gramos (igual a la muestra 1 por ser materia suelta).
- Td: Diferencia de temperatura entre temperatura placa caliente interior Ti y placa caliente exterior Td.

Los parámetros medidos son:

Q: Potencia en watts.

ΔT : Diferencia entre temperatura de placa caliente y placa fría T1-T3.

A: El área de la placa caliente en metros cuadrados.

L: La longitud de la placa caliente interna en metros cuadrados.

λ : Coeficiente de conductividad térmica $\text{W/}^\circ\text{K.m}$.

Tabla 30

Datos de conductividad de cascarilla con densidad de 0.122 gr/cm^3 (D1).

Hora		10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	2:00
T1	°C	25,6	27,7	27,8	28,1	27,7	27,5	27,4	27,4
T2	°C	24,9	26,6	27,5	27,8	27,5	27,3	27,2	27,2
T3	°C	16,8	16,4	16,7	16,8	16,7	16,9	16,7	16,5
T4	°C	16,7	16,2	16,5	16,5	16,4	16,5	16,4	16,4
Ti	°C	25,94	27,91	27,87	28,12	27,69	27,47	27,34	27,34
Te	°C	24,3	25,9	26,8	27,1	26,7	26,4	26,3	26,3
V	V	6,25	6,25	4,44	4,11	3,3	3,28	3,28	3,3
I	A	0,06	0,06	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
%H	%	49,1	49,6	51,6	49,8	49,3	48,3	48,3	49,9
T. ambiente	°C	20	20,3	20,2	20,6	20,6	20,5	20,6	20,6
Peso	gr	550	550	550	550	550	550	550	550
Peso	gr	550	550	550	550	550	550	550	550
Td	°C	1,02	2,00	1,02	1,02	0,98	0,98	0,98	0,97
Q	W	0,1875	0,1875	0,0888	0,0617	0,0495	0,0492	0,0492	0,0495
ΔT	°K	8,8000	11,3000	11,1000	11,3000	11,0000	10,6000	10,7000	10,9000
A	m ²	0,0225	0,0225	0,0225	0,0225	0,0225	0,0225	0,0225	0,0225
L	m	0,0520	0,0520	0,0520	0,0520	0,0520	0,0520	0,0520	0,0520
λ	W/°K.m	0,0492	0,0383	0,0185	0,0126	0,0104	0,0107	0,0106	0,0105

Tabla 31

Datos de conductividad de cascarilla con densidad de 0.156 gr/cm^3 (D2).

Hora		2:30	3:00	3:20	3:30	3:40	3:50
T1	°C	25,5	27,9	27,4	27,3	27,3	27,3
T2	°C	25,7	27,4	27,1	27	27	26,9
T3	°C	17,1	16,9	16,9	16,9	16,9	16,8
T4	°C	16,8	16,6	16,7	16,7	16,6	16,7
Ti	°C	25,41	27,62	27,22	27,16	27,16	27,16
Te	°C	24,6	26,6	26,2	26,1	26,1	26,1
V	V	3,3	3,3	3,309	3,24	3,28	3,309
I	A	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03
%H	%	51,7	53,3	54,2	54,7	54,8	54,7
T. ambiente	°C	20,1	20,2	20,1	20,1	20	20,1
Peso	gr	700	700	700	700	700	700
Peso	gr	700	700	700	700	700	700
Td	°C	0,86	0,98	0,98	0,98	0,98	1
P	W	0,0495	0,0495	0,0496	0,0324	0,0328	0,0496
ΔT	°K	8,4000	11,0000	10,5000	10,4000	10,4000	10,5000
A	m ²	0,0225	0,0225	0,0225	0,0225	0,0225	0,0225
L	m	0,0520	0,0520	0,0520	0,0520	0,0520	0,0520
λ	W/°K.m	0,0136	0,0104	0,0109	0,0072	0,0073	0,0109

Tabla 32

Datos de conductividad de cascarilla mineralizada con densidad de 0.211 gr/cm^3 (D3).

Hora		10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30
T1	°C	23,4	25,4	26,5	27,5	27,8	27,6	27,4	27,4
T2	°C	24	25	26,2	27,2	27,5	27,3	27,2	27,2
T3	°C	17,2	16,7	17	17	17	16,9	16,9	16,9
T4	°C	16,8	16,4	16,8	16,8	16,7	16,7	16,6	16,6
Ti	°C	24,66	26,25	27,47	28,41	28,69	28,34	28,16	28,09
Te	°C	24,2	25,2	26,4	27,3	27,6	27,3	27,1	27
V	V	4,36	4,36	4,36	4,36	3,86	3,25	3,25	3,22
I	A	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02
%H	%	56,6	55,3	54,8	53,6	52,1	50,3	48,4	46,2
T. ambiente	°C	19,3	19,9	19,9	20,1	20,2	20,3	20,7	20,9
Peso	gr	950	950	950	950	950	950	950	950
Peso	gr	950	950	950	950	950	950	950	950
Td	°C	0,61	1,02	1,06	1,05	1	1	1	1,02
P	W	0,0872	0,0872	0,0872	0,0872	0,0579	0,0325	0,0325	0,0322
ΔT	°K	6,2000	8,7000	9,5000	10,5000	10,8000	10,7000	10,5000	10,5000
A	m ²	0,0225	0,0225	0,0225	0,0225	0,0225	0,0225	0,0225	0,0225
L	m	0,0520	0,0520	0,0520	0,0520	0,0520	0,0520	0,0520	0,0520
λ	W/°K.m	0,0325	0,0232	0,0212	0,0192	0,0124	0,0070	0,0072	0,0071

5.2 Estadísticas y Análisis

Análisis de la resistencia a la compresión

De los datos obtenidos de las pruebas de resistencia a la compresión, se presenta la siguiente tabla con su gráfica donde se muestra cual es el bloque que ha tenido mayor resistencia:

Tabla 33

Tabla de resistencias obtenidas de las pruebas a los modelos y su % de biomasa.

MODELOS BLOQUES		RESISTENCIA MPA	% BIOMASA
OCTAVO	B1 (CILINDRICO)	0.34	2.67
DECIMO	B2	2.73	1.71
DECIMO PRIMERO	B3	0.61	1.56
DECIMO SEGUNDO	B4	3.10	3.72

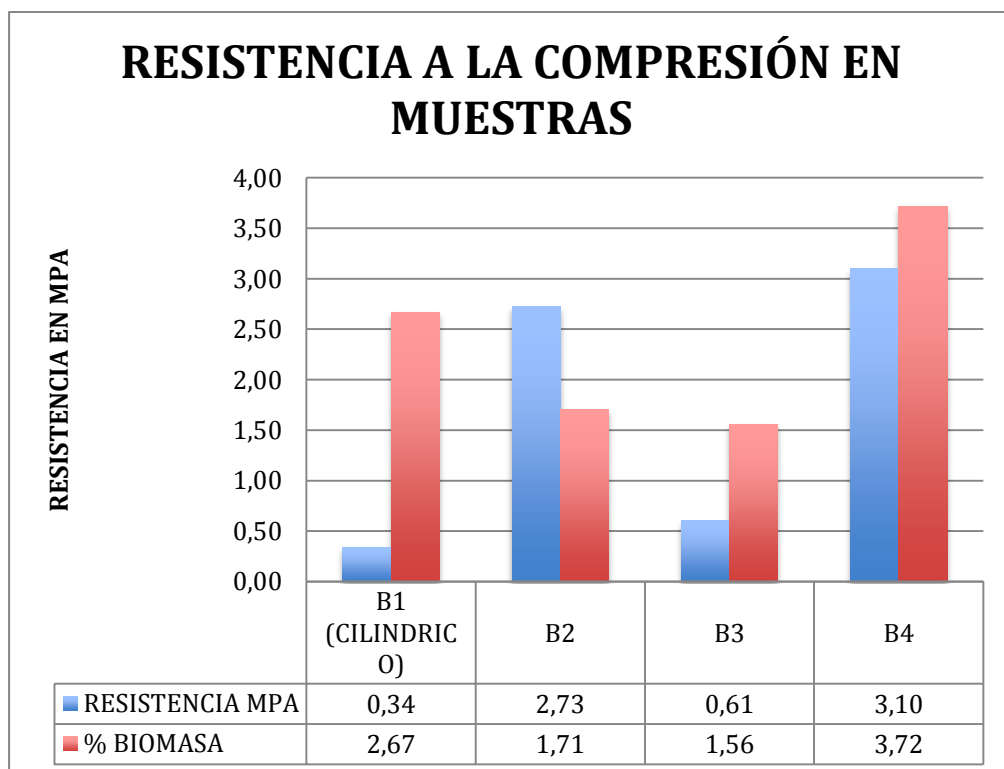


Figura 56. Gráfica comparativa de los resultados obtenidos de resistencia.

De los datos obtenidos y analizando la gráfica se puede observar que en el modelo cilíndrico se tiene una baja resistencia al tener un porcentaje alto de biomasa, pero en los modelos rectangulares se observa que se tiene resistencia altas al tener un mayor porcentaje de biomasa, lo cual no es el comportamiento esperado, ya que con mayor biomasa debería ser menor su resistencia; éste comportamiento puede deberse a que esta mejor distribuido el cemento con la biomasa, y que está mejor hidratada la biomasa, así como que tuvo un mejor proceso de fabricación y curado, ya que al mezclar el cemento con la biomasa tiende a hacerse arenoso el cemento, por lo que es necesario un estudio ulterior de compatibilidad de estos dos elementos.

Tabla 34

Tabla de resistencias obtenidas de las pruebas a los modelos de mortero.

MODELOS MORTEROS	RESISTENCIA 1 MPA	RESISTENCIA 2 MPA	RESISTENCIA 3 MPA	%BIOMASA	
DECIMO TERCERO	M1	1.56	1.42	1.29	2.88
	M2	1.00	1.24	0.61	3.84
	M3	0.28	0.00	0.00	4.00
	M4	0.82	0.84	0.00	4.80

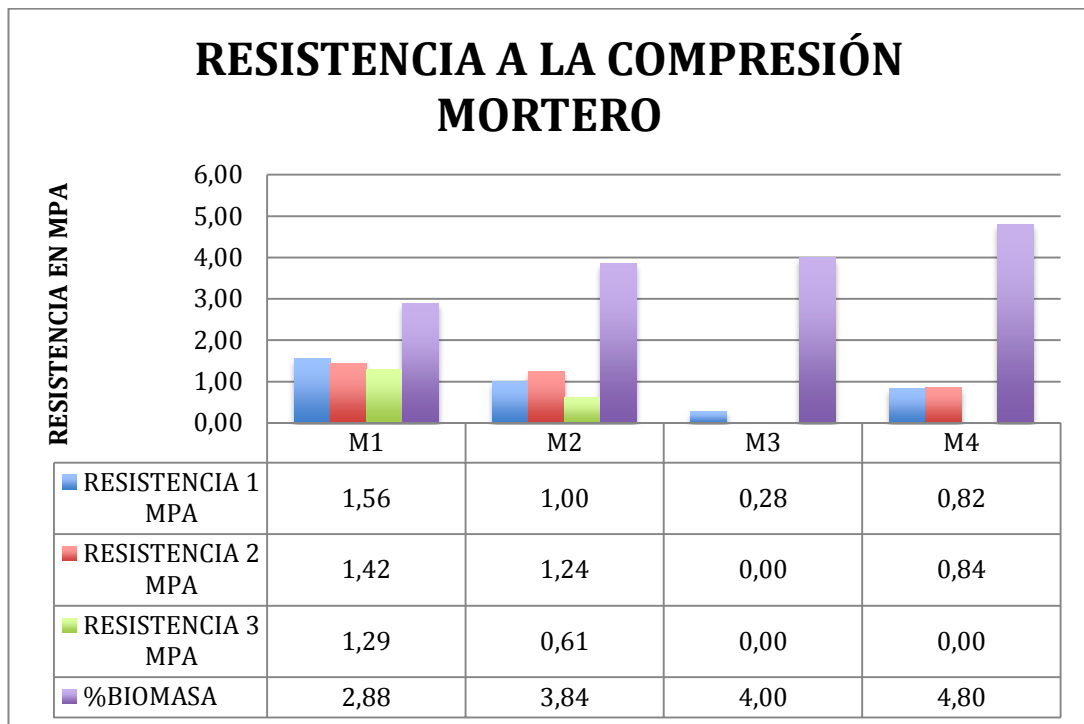


Figura 57. Gráfica comparativa de los resultados obtenidos de resistencia morteros.

De los datos obtenidos del mortero y de la gráfica obtenida, se observa que tiene el comportamiento esperado ya que al tener mayor biomasa en las muestras, tiende a disminuir su resistencia.

Para hacer un análisis del material usado de los bloques que fueron aptos para las pruebas, se realiza la interpolación de valores para obtener el valor real de cemento y biomasa usada al mineralizar; ya que la mineralización de la cascarilla de café es realizada con 1 porción de cemento por cada 6 de biomasa.

Tabla 35

Tabla de interpolación de valores para la dosificación real.

INTERPOLACIÓN		
CEMENTO	BIOMASA	MINERALIZADA
0,5	3	3,125
0,8	4,8	5
1	6	6,25
1,6	9,6	10
2	12	12,5
3,2	19,2	20
4	24	25

Tabla 36

Tabla de dosificaciones de los modelos probados.

MODELOS		CEMENTO	ARENA	BIOMASA	POLVO DE PIEDRA
OCTAVO	B1	1	0,56	2,67	0
DECIMO	B2	1	0	1,71	0
DECIMO PRIMERO	B3	1	0	1,56	0,79
DECIMO SEGUNDO	B4	1	1,08	3,72	0

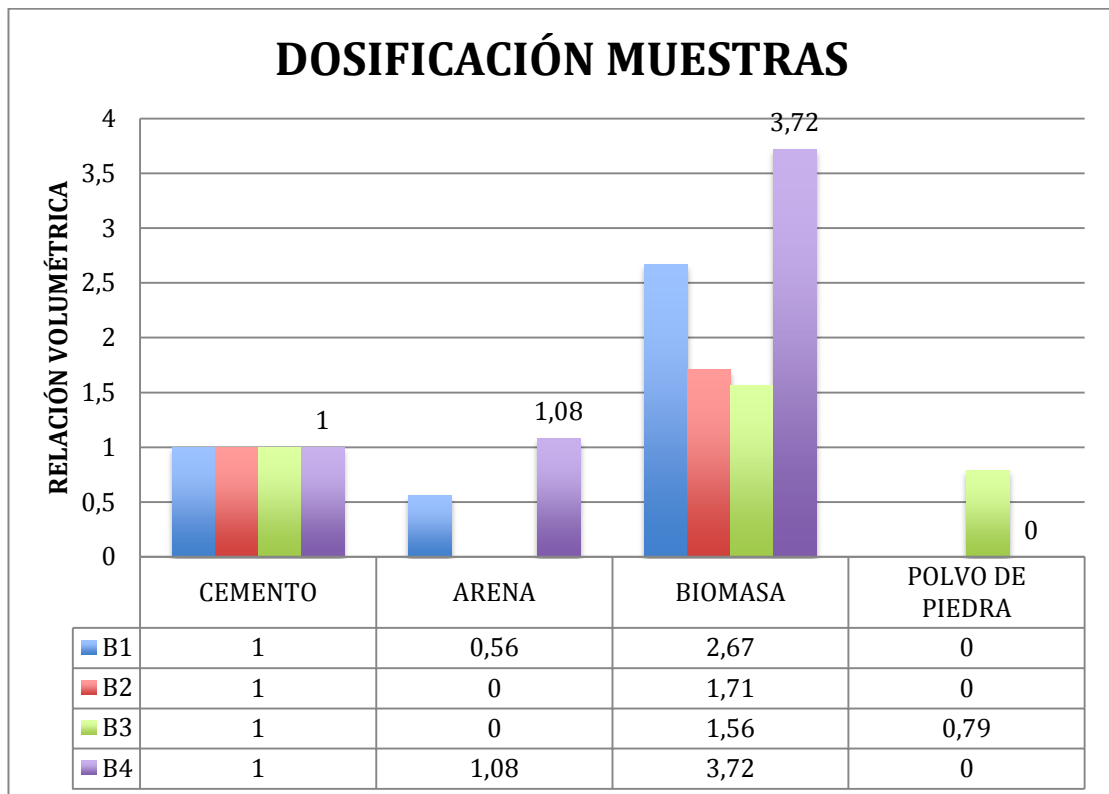


Figura 58. Gráfica comparativa de las muestras según sus dosificaciones.

El modelo B4 es el que tiene una mayor resistencia a la compresión 3,10 MPA; y a su vez en el análisis de dosificaciones es el que mejores características presenta, usa más biomasa que los otros modelos.

Se analiza también la relación entre la densidad y la resistencia para los modelos de bloques rectangulares de igual volumen, en la gráfica mostrada a continuación se puede observar dicha relación.

Tabla 37

Tabla de densidades y resistencias.

MODELOS BLOQUES	MOLDE	DESIDAD	RESISTENCIA
DECIMO SEGUNDO	B4	0,74	3,10
DECIMO	B2	0,76	2,73
DECIMO PRIMERO	B3	1,17	0,61

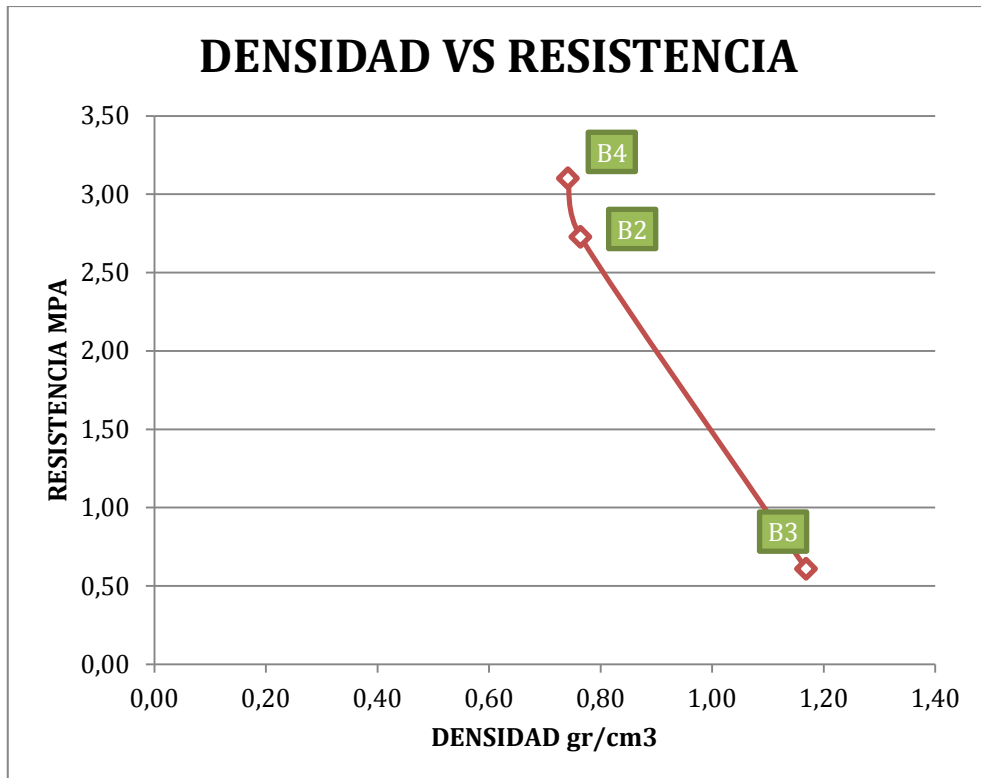


Figura 59. Gráfica de densidad vs resistencia de las muestras.

De la gráfica de la densidad vs la resistencia se observa que mientras menor es la densidad, mayor tiende a ser la resistencia a la compresión; de igual manera éste comportamiento no es el esperado ya que al ser menos denso tiene mayor cantidad de biomasa y debería ser menos resistente, sin embargo se requiere un estudio ulterior de las relaciones entre el cemento y la cascarilla.

Análisis de conductividad térmica

De los datos obtenidos con respecto a la conductividad térmica, se puede observar que tiene un valor del coeficiente de conductividad pequeño lo cual es bueno para el propósito del proyecto.

Tabla 38

Tabla de coeficientes de conductividad térmica y % de biomasa obtenidos.

EXPERIMENTOS	λ (W/°K.m)	%BIOMASA
CASCARILLA D1	0.0105	0.0100
CASCARILLA D2	0.0109	0.0127
MINERALIZADA	0.0071	0.0166

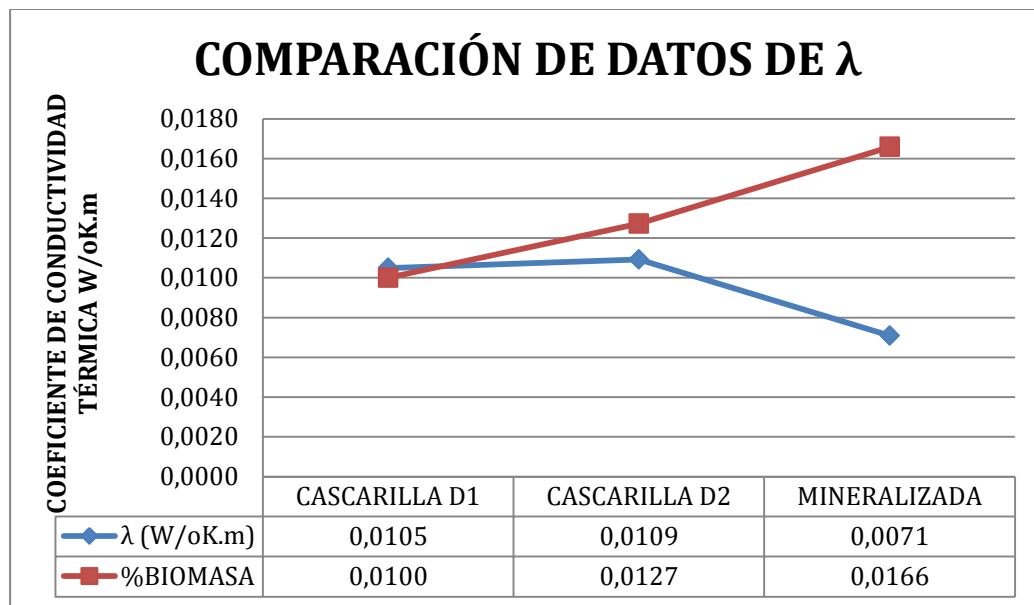


Figura 60. Gráfica de coeficiente de conductividad térmica y % de las biomasa.

De los datos obtenidos para el análisis de la conductividad térmica, se puede observar que a mayor porcentaje de biomasa se tiene un menor coeficiente de conductividad térmica y a su vez un mayor aislamiento térmico, este resultado es el esperado, aunque entre la cascarilla D1 y cascarilla D2, subió en una pequeña porción su coeficiente de conductividad, se debe a que se tenía mayores espacios de aire lo cual ayudaba para que se registre estos valores.

Se va a analizar la resistencia de la cascarilla de café en base a su densidad y coeficiente de conductividad térmica, en la gráfica siguiente se puede observar la relación:

Tabla 39

Tabla de coeficientes de conductividad térmica y densidades biomosas.

EXPERIMENTOS	DENSIDAD (gr/cm ³)	λ (W/°K.m)
CASCARILLA D1	0.1222	0.0105
CASCARILLA D2	0.1556	0.0109
MINERALIZADA	0.2027	0.0071

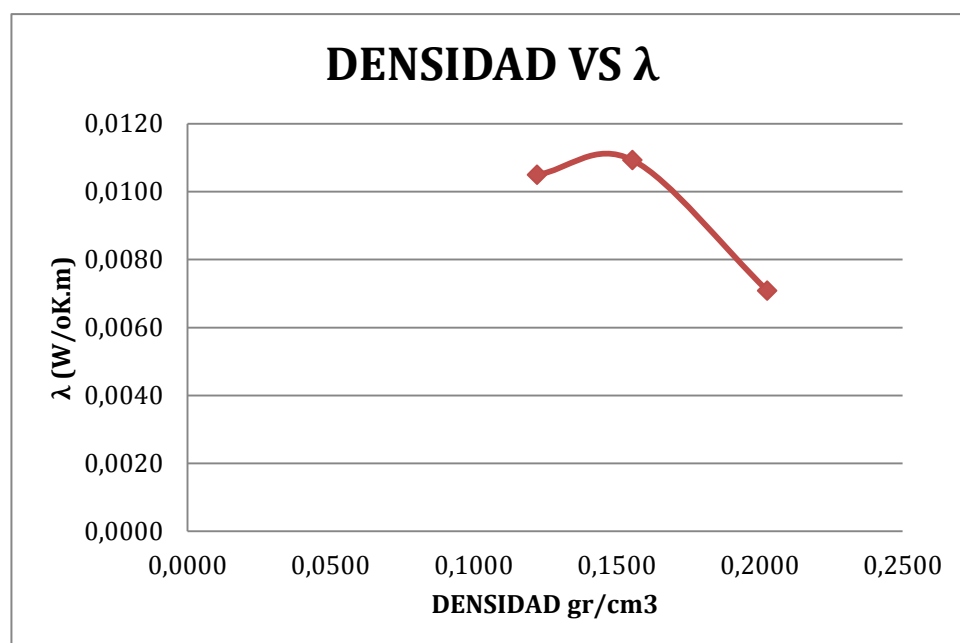


Figura 61. Gráfica de la densidad vs el coeficiente de conductividad térmica de las biomosas.

Analizando la gráfica la densidad es inversamente proporcional al coeficiente de conductividad térmica, al tener mayor densidad en la muestra de cascarilla, su conductividad térmica disminuye.

Se hace una comparación con otras biomásas de las cuales se muestran sus datos en la siguiente tabla:

Tabla 40

Tabla de comparación de λ de diferentes biomásas.

OTRAS BIOMASAS	λ (W/oK.m)
FIBRA DE COCO	0.0470
CACAO GRANEL	0.0178
BAGAZO DE CAÑA	0.0151
CASCARILLA DE CAFÉ	0.0071

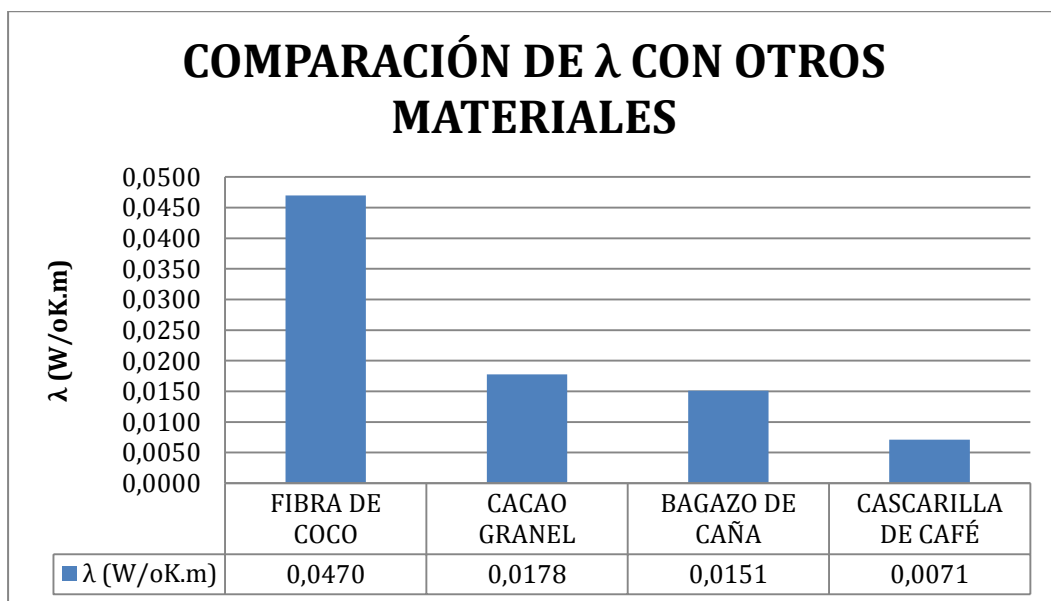


Figura 62. Gráfica de comparación de λ de diferentes biomásas.

De lo observado en la gráfica se puede observar que entre las cuatro biomásas presentadas la que tiene menor valor en el coeficiente de conductividad es la cascarilla de café, por lo que resultaría ser mayor aislante térmico; sin embargo, las densidades de los materiales influyen inversamente en estos resultados, por lo que se debería hacer una

comparación ulterior de estos coeficientes pero con una misma densidad en todas las biomosas.

El mortero de cemento y arena tienen un coeficiente de conductividad térmica entre 0,35 – 1,4 ($W/^{\circ}K.m$) y los bloques de hormigón 0,35 – 0,79 ($W/^{\circ}K.m$); por lo que usar la cascarilla de café como material aislante tiene una gran ventaja ya que el coeficiente de conductividad es bastante bajo inclusive mayor que los aislantes térmicos convencionales. Con los resultados obtenidos, se considera que se deben hacer otras pruebas ya que los resultados son demasiado bajos inclusive llegando a tener un coeficiente de conductividad térmica menor que el del aire, lo cual sobrepasa a lo esperado, hay que considerar que la máquina de pruebas puede calibrarse tomando otro patrón y así probar si da los mismos resultados.

El bloque que tuvo mayor valor de resistencia a la compresión, tiene la mayor cantidad de biomasa, por lo que es el que mayor aislamiento presenta, tiene cascarilla en su interior y en su exterior cascarilla mineralizada, dando como resultado un bloque resistente y aislante, ideal para las construcciones.

Con los valores obtenidos, además de que puede ser una alternativa para la construcción, el modelo del bloque relleno, serviría para la industria ya que sus resultados son prometedores, por lo que se puede emplear para la construcción de los bloques huecos y hacerlos rellenos como otra aplicación.

Se genera una fuente de trabajo para personas de escasos recursos, en diferentes etapas como en la recolección de la materia prima y a su vez se está ayudando a evitar la contaminación ya que se está dando uso a un material que es considerado desecho.

CAPÍTULO 6

ANÁLISIS DE LOS COSTOS DE INVESTIGACIÓN

6.1 Estudio de campo

Para determinar los costos de la investigación realizada se elabora la siguiente tabla, la misma que incluye los más importantes rubros relacionados con: personal, alojamiento, transporte, alimentación, materiales y servicios básicos.

Tabla 41

Costos estudio de campo.

Orden	Descripción de rubros	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
1	Investigador	horas	80	5	400
2	Transporte	viajes	5	25	125
3	Alojamiento	días	10	20	200
4	Alimentación	refrigerios	20	3	60
5	Impresiones	hojas	20	0.05	1
6	Útiles de oficina	uni	1	40	40
7	Copiado de textos	hojas	100	0.05	5
8	Servicios básicos	uni	1	120	120
9	Trasporte de cascarilla	flete	1	100	100
10	Cascarilla	saco	1	2	2
SUBTOTAL COSTOS DE INVESTIGACIÓN DE CAMPO:					1053

El costo total en la etapa de estudio fue de 1053 dólares

6.2 Estudio experimental

Para realizar la estimación de costos realizados con la ejecución del estudio experimental, es necesario considerar los siguientes rubros:

- Estudio experimental inicial
- Materiales
- Equipos y pruebas
- Personal de investigación
- Materiales y equipos de oficina

A continuación, desde la tabla 6.2 hasta la tabla 6.6 se pueden observar los valores relacionados con los costos involucrados en el proyecto.

Tabla 42

Costos estudio experimental inicial.

Orden	Descripción de rubros	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
1	Investigador	horas	120	5	600
3	Transporte	viajes	10	25	250
4	Alojamiento	días	0	0	0
5	Alimentación	refrigerios	30	3	90
9	Servicios básicos	uni	1	120	120
SUBTOTAL COSTOS DE INVESTIGACIÓN DE CAMPO:					1060

Tabla 43

Costos materiales.

MATERIALES					
Orden	Descripción de rubros	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
1	Cemento	uni	1	10	10
2	Arena	uni	4	5	20
3	Polvo de Piedra	uni	2	5	10
4	Cascarilla de café	uni	5	1	5
5	Moldes de madera	uni	4	25	100
6	Moldes de metal	uni	2	40	80
7	Agua	uni	1	20	20
8	Consumibles	uni	1	50	50
9	Trasporte de cascarilla	flete	1	100	100
SUBTOTAL COSTOS DE INVESTIGACIÓN DE CAMPO:					395

Tabla 44

Costos equipos y pruebas.

EQUIPOS Y PRUEBAS					
Orden	Descripción de rubros	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
1	Balanza	uni	1	10	10
2	Termómetro	uni	1	100	100
3	Medidor de humedad	uni	1	100	100
4	Pruebas de resistencia	uni	10	5	50
5	Pruebas de conductividad	uni	4	5	20
SUBTOTAL COSTOS DE INVESTIGACIÓN DE CAMPO:					280

Tabla 45

Costos de personal de investigación.

PERSONAL DE INVESTIGACIÓN					
Orden	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
1	Investigador	horas	0	0	0
2	Ayudante de investigación	horas	10	5	50
3	Asistente Técnico	horas	80	6	480
4	Personal para pruebas	horas	20	5	100
5	Asesor	horas	20	30	600
6	Director	horas	40	30	1200
SUBTOTAL PERSONAL DE INVESTIGACIÓN:					2430

Tabla 46

Costos de materiales y equipos de oficina.

MATERIALES Y EQUIPOS DE OFICINA					
Orden	Descripción de rubros	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor Total
1	Computador	horas	720	1	720
2	Impresora	horas	300	0.5	150
3	Proyector	horas	20	15	300
4	Internet	horas	240	1	240
5	Resmas de papel bon 75 gramos	resma	3	4	12
6	Reproducción de textos	hoja	2000	0.05	100
7	Espiralados	unidad	10	2	20
8	Impresiones a color	hoja	150	0.5	75
9	Empastados	texto	5	15	75
SUBTOTAL COSTOS DE OFICINA Y EQUIPAMIENTO:					1692

Con los costos individuales y por etapas se calcula el costo total y real del proyecto.

Tabla 47

Costos totales de la investigación.

Orden	Rubros	Subtotal
1	Investigación de campo	1053
2	Etapas experimentales iniciales	1060
3	Materiales	395
4	Equipos y Pruebas	280
5	Costos de oficina y uso de equipo informático	1692
6	Personal de investigación	2430
	COSTO TOTAL DE INVESTIGACIÓN:	6910

El costo total de investigación para el desarrollo del proyecto asciende a la suma de USD 6910 (seis mil novecientos diez dólares).

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

- Dentro del estado del arte se han realizado investigaciones relacionado al tema de construcción de bloques con cascarilla de café, de las cuales no había un enfoque hacia el aislamiento térmico, solo se orientan a la resistencia a la compresión; las dosificaciones descritas en el estado del arte no cumplieron con lo esperado al realizar los experimentos.
- El residuo del café con el cual se realizó ésta investigación es un agregado que resulta muy útil en la fabricación de bloques debido a que proporciona una resistencia adecuada y ganando aislamiento térmico en gran proporción y a bajo costo.
- Con las pruebas de resistencia a la compresión de las diferentes muestras se tuvo un valor de 3.10 MPA, que sobrepasa a la resistencia del BTC de 1.2 MPA y que según la norma para bloques huecos INEN 639 sirve para paredes interiores y exteriores, con y sin revestimiento cuyo mínimo valor llega a 3 MPA.
- Con las pruebas de conductividad térmica se tuvo valores del coeficiente de conductividad térmica bajos, y se observó que a medida que la densidad es mayor este coeficiente es menor tratándose del mismo material, es así que la cascarilla D1 tuvo un valor de 0.0105 W/°K.m y la cascarilla D2 0.0109 W/°K.m; con

respecto a la cascarilla mineraliza fue la que presento el menor valor $0.0071 \text{ W/}^\circ\text{K.m}$.

- Los resultados obtenidos de las pruebas de resistencia a la compresión y conductividad térmica arrojaron como resultado que la dosificación óptima a usarse es la del bloque compuesto que en su interior tiene 1 de cemento, 15 de cascarilla y en su exterior tiene 5 de cemento, 10 de arena y 20 de cascarilla mineralizada.
- La mezcla entre la cascarilla de café y el cemento es un proceso que requiere de un mayor estudio, ya que depende de la especie del café, de que si la biomasa se encuentra hidratada y de la forma de lavado de la misma.
- El proceso de curado para los mejores experimentos de éste proyecto, requirió que no se lo desencofre y que no se lo hidrate, después de 7 días se lo podía sacar ya del molde y dejarlo curarse con el ambiente.
- Los resultados obtenidos en las pruebas de resistencia a la compresión arrojaron valores no esperados, y esto es debido a varios factores dentro del proceso de fabricación hasta las pruebas, pero siendo el de más peso la compatibilidad del cemento con la cascarilla.
- Con un mayor porcentaje de cascarilla a los presentados en ésta investigación, las muestras de los bloques tienden a deshacerse, y con un menor porcentaje de cascarilla, los bloques consumen más cemento, haciéndose también más pesados y menos resistentes porque con la mezcla de la biomasa se tiende a hacer arenoso el cemento.
- Los bloques desarrollados con cascarilla de café son una alternativa viable para las construcciones rurales, son más ecológicos, más livianos, mejores aislantes que los bloques convencionales de cemento y arena que se utilizan tradicionalmente en nuestro País.

7.2 Recomendaciones

- Para realizar las pruebas tanto de resistencia como de conductividad térmica, es necesario que los equipos estén debidamente calibrados con respecto a un patrón de referencia y así tener resultados confiables.
- Es recomendable el uso del equipo de seguridad industrial adecuado para la protección de las manos, oídos, ojos, nariz, debido a que se presentan riesgos físicos y químicos.
- Con los datos obtenidos y analizados en el presente proyecto, se espera que sirvan de base para futuras investigaciones sobre el uso de la cascarilla de café en temas relacionados con la construcción sostenible y la eficiencia energética. Así como también el impacto que puede tener para la construcción.
- Para obtener bloques de buena calidad hay que seguir rigurosamente una serie de pasos durante el proceso de fabricación de los mismos, los cuales son: selección de las materias primas cuidadosamente (cemento-arena-agua-cascarilla), determinación de una adecuada dosificación, correcto mezclado, mineralizado, moldeado, compactación y curado.
- La mezcla debe tener una buena consistencia, ser homogénea, adhesiva, con buena esbeltez, para que se pueda concluir si las dosificaciones son correctas y no fue un mal proceso de fabricación.
- La caracterización de los materiales como la cascarilla es de gran importancia al momento de elaborar los bloques puesto que no todas estas biomásas son iguales y con mismas dosificaciones se pueden tener diferentes resultados, porque se comportan diferente para las mezclas.

- Para realizar la mezcla se debe seguir una serie de pasos tales como: Mezclar el mortero seco en conjunto con el agregado hasta obtener un color uniforme de esas materias primas y finalmente se adiciona el agua hasta lograr una buena consistencia, la biomasa debe ser lavada ya que absorbe agua, y para que no afecte la mezcla es mejor hacerlo antes de unirlo con la mezcla de cemento, arena y agua.
- Es necesario tener en cuenta la dosificación óptima ya que si nos pasamos en agregar biomasa tiende a desmoronarse al cumplir el tiempo de secado y se deteriora significativamente siendo menos resistentes, incluso no siendo aptos para las pruebas mecánicas de resistencia a la compresión.
- Para obtener bloques con una buena resistencia, es importante el proceso de curado, en los bloques convencionales se mojan, en estos bloques no se los moja se los mantiene secos y si es posible mantenerlo en el molde más de las 24 horas.
- Los equipos empleados para evaluar la resistencia a la compresión de los bloques debe hacer una carga uniforme en todo el bloque para que este pueda arrojar resultados coherentes y confiables.
- Para tener resultados confiables en las pruebas de resistencia y conductividad es necesario seguir los procedimientos descritos en éste documento.

BIBLIOGRAFÍA

- Cabo Laguna, M. (2011). *LADRILLO ECOLÓGICO COMO MATERIAL SOSTENIBLE PARA LA CONSTRUCCIÓN*.
- Maldonado Ramos, L., Castilla Pascual, F., & Vela Cossío, F. (2001). Rendimiento Y Coste Energético En La Construcción De Cerramientos De Fábrica De Adobe Y Bloque De Tierra Comprimida. *Informes de la Construcción* , 53 (473), 27-37.
- Vázquez, M. (2012). Construcción e impacto sobre el ambiente: el caso de la tierra y otros materiales. *Tecnología y Construcción* , 21 (3).
- Lavell, A. (1996). Degradación ambiental, riesgo y desastre urbano. Problemas y conceptos: hacia la definición de una agenda de investigación. In M. A. Fernández, *Ciudades en Riesgo. Degradación ambiental, riesgo y desastre urbano*. La Red.
- Campos, I., Méndez, H., & Salas, M. (2013 йил Abril). *Instituto Costarricense del Acero y el Cemento*. Retrieved 2014 йил 02-abril from <http://boletin-icccyc.com/files/files/ARTICULO%20ABRIL%20Calculador%20Huella%20de%20Carbono%20para%20Edificaciones.pdf>
- Carranza , M. (2010). *¿Existen técnicas adecuadas de construcción con tierra para países sísmicos?* Universitat Politècnica de Catalunya , Fundación Politècnica de Catalunya . Barcelona: ETSAB Universidad UPC .
- López Dominguez, L., & Zurita Herrera, G. (5 de Marzo de 2009). ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA PRODUCCIÓN DE CAFÉ EN EL ECUADOR.
- Ramírez, A. (05 de mayo de 2014). *Observatorio Medioambiental de Aragón* (OMA). From http://omaaragon.es/riesgos/app/webroot/ficheros/_3330.pdf

- Kibert, C. (1994). First International Conference on Sustainable Construction. Florida.
- CCCS. (12 de Mayo de 2014). *Construcción Sostenible*. From <http://www.cccs.org.co/construccion-sostenible>
- Noticias Jurídicas. (16 de Agosto de 2006). *Noticias Jurídicas*. Retrieved 13 de abril de 2014 from http://noticias.juridicas.com/base_datos/CCAA/ca-d21-2006.html
- Comité ejecutivo de la norma ecuatoriana de la construcción. (2011). Eficiencia energética en la construcción. In *Norma Ecuatoriana de la Construcción* (pp. 0 - 51). Quito.
- MINVU. (2006). Manual de aplicación reglamentación térmica. In *Ordenanza general de Urbanismo y construcción*. Santiago.
- IPCC. (2007). *Cambio Climático 2007: Informe de Síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Ginebra, Suiza.
- International Energy Agency. (22 de junio de 2014). Retrieved 22 de junio de 2014 from <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TechnologyRoadmapEnergyEfficientBuildingEnvelopes.pdf>
- IPCC. (2007). *Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. New York, USA.
- CER. (2014). *Centro de Energías Renovables*. Gobierno de Chile, Santiago de Chile.
- Cerda, E. (2012). Energía obtenida a partir de la biomasa. *Dialnet* , 117-140.
- IDAE. (2007). *Biomasa Edificios*. Instituto para la diversificación y ahorro de energía, Madrid, España.

- Wackernagel, M., & Rees, W. (1996). *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*. Grabiola Island, Canada: New Society Publishers.
- Rees, W. (1996). Revisiting carrying capacity: Area-based indicators of sustainability. (K. A.-H. Press, Ed.) *Population and environment* , 17 (3), 195-215.
- CEPAL. (2010). *La huella del carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios*. Santiago de Chile: Naciones Unidas.
- The Carbon Trust. (2014). *www.carbontrust.com*. Retrieved 20 de abril de 2014 from <http://www.carbontrust.com/media/483493/ctc828-oportunidades-en-un-mundo-de-recursos-limitados.pdf>
- FCC Construcción. (2011 йил Febrero). *www.anavam.com*. Retrieved 2014 йил 05-abril from <http://www.anavam.com/docs/foroXI-ponencia-mesadebate-Sectores%20difusos-Construccion.pdf>
- Groak, S. (13 de mayo de 1996). *The analysis of building*. From <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/936/1018>
- Bellart Crevillen, M., & Mesa Marcos, S. (2009). Impacto ambiental y ciclo de vida de los materiales de construcción. *Treballs academics UPC* .
- Ruiz Frutos, A. (17 de 10 de 2012). Análisis del ciclo de vida de materiales de construcción: Estudio y comparación de los principales materiales de edificación. *Crai UPCT* .
- Pla Martínez, A., Hernandez Jérez, A., & Gil Hernández, F. (2012). *Evaluación de la toxicidad de aditivos y contaminantes presentes en los alimentos: Toxicología alimentaria*. (E. D. Santos, Ed.) Madrid.
- Hess, A. A. (22 de junio de 2014). *Impacto Ambiental de componentes y materiales de construcción*. Retrieved 22 de junio de 2014 from Instituto de Estabilidad – Facultad de Ingeniería – UNNE: <http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/com2005/7-Tecnologia/T-032.pdf>

- Roos, G. (1973). Criterios analíticos de la polución biodegradabilidad-toxicidad. *Revistes i congressos UPC* (56).
- Castells, E. (2000). *Reciclaje de residuos industriales: aplicación a la fabricación de materiales para la construcción*. (E. D. Santos, Ed.)
- Martina, P., Aeberhard, A., Aeberhard, M., & Corace, J. (2003). Fabricación de un equipo de placa caliente para determinación de la conductividad térmica de materiales. Uso en investigación y docencia. *Universidad Nacional del Nordeste, Comunicaciones científicas y tecnológicas* .
- Borbón, A. C., Cabanillas, R. E., & Pérez, J. B. (2010). Modelación y Simulación de la Transferencia de Calor en Muros de Bloque de Concreto Hueco . *Información Tecnológica* , 21 (3), 27-38.
- Pisarenko, G. S., Yákovlev, A. P., & Matvéev, V. V. (1979). *Manual de resistencia de materiales*. Rusia: Mir Moscú.
- Ross, C. T., & Chilver, A. (1999). *Strength of materials and structures* (Cuarta ed.). Butterworth-Heinemann.
- Navarro, A. (2005). Elaboración y evaluación de tableros aglomerados a base de plástico de alta densidad y fibra de estopa de coco. *M. en C. Tesis, Universidad de Colima*.
- Magdaleno, C. C., Silva S. , L., & Montes Bernabé , J. L. (2010). *Resistencia Mecánica del Adobe Compactado Incrementada por Bagazo de Agave*. Instituto Politecnico Nacional., Centro interdisciplinario de Investigacion para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca, Oaxaca.
- Salazar C., J., Garcia O., C., & Olava, J. (1988). Dosificación de hormigones ligeros con cascarilla de café. *Ingeniería Agrícola* , 51 - 56.
- SERVICIO NACIONAL DE CAPACITACIÓN PARA LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN . (2000). Norma técnica de edificación NTE 080. Lima.

- Fernández Martínez, V. J., & Varela Cáceres, E. A. (2012). Diseño y Contrucción de un Muro confinado de Bloques aligerados de suelo-cemento. *Doctoral dissertation* .
- Perrilliat, R. J., & Farah, J. C. (2000). RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA. *In Primer Simposio Nacional de Estructuras de Mampostería para la Vivienda*.
- Guigou Fernández, C. (1996). *La durabilidad de los materiales constructivos*.
- Lasheras Merino, F. (2006). Algunos conceptos básicos en patología de la edificación. *ReCoPaR* , 1 (1), 19-27.
- Bedoya, C., & Neila F., J. (1997). Técnicas arquitectónicas y constructivas de Acondicionamiento ambiental.
- Zach, J., Korjenic, A., Petránek, V., Hroudová, J., & Bednar, T. (2012). Performance evaluation and research of alternative thermal insulations based on sheep wool. *Energy and Buildings* , 49, 246-253.
- Goodhew, S., & Griffiths, R. (2005). Sustainable earth walls to meet the building regulations. *Energy and Buildings* , 37 (5), 451-459.
- COFENAC. (2012). *El Sector Cafetelero Ecuatoriano, Diagnóstico*. Consejo Cafetelero Nacional, Portoviejo.
- Villacis, J. (03 de 09 de 2013). La industria del café soluble requiere mayor producción. (D. HOY, Interviewer)
- Delgado, P., Larco, A., García, C., Alcívar, R., Chilán, W., & Patiño, M. (2002). *CAFÉ EN ECUADOR: Manejo de la Broca del Fruto* . Asociación Nacional de exportadores de café (ANECAFÉ). Manta: FERIVA.
- Salazar, J., García, C. D., & Olaya, J. M. (n.d.). Dosificación de hormigones ligeros con cascarilla de café.
- Ministerio de Comercio Exterior. (n.d.). *PRO ECUADOR*. From INSTITUTO DE PROMOCIÓN DE EXPORTACIONES E INVERSIONES:
<http://www.proecuador.gob.ec/exportadores/sectores/cafe/>

- Abarca, D., Martínez, R., Muñoz, J., Torres, M., & Vargas, G. (2010). Residuos de Café, Cacao y Cladodio de Tuna: Fuentes Promisorias de Fibra Dietaria. *Revista Tecnológica ESPOL – RTE*, 23 (2), 63-69.
- Duicela, L., Corral, R., & Farfán, D. (n.d.). DEFECTOS FÍSICOS DEL CAFÉ; Clasificación, Descripción y Prevención.
- COMITE EJECUTIVO DE LA NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN. (2013). *NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN, CARGAS Y MATERIALES*. NEC.
- Hidalgo López, A. (2012). *Valorización de residuos de biomasa en la industria de la construcción*. From Energía sostenible para todos: www.energia2012.es
- Beraldo, A. L. (2011). Compuestos de biomasa vegetal y cemento. (V. A. Borrás, H. J. Savastano, S. D. Arjona, & A. M. Ramírez, Eds.) *APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS AGRO-INDUSTRIALES COMO FUENTE SOSTENIBLE DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN*, 1, 301-326.
- Sierra, J., Roque, H., & Medrano, J. (2013). Aprovechamiento de la cascarilla de café en la elaboración de materiales de construcción. *Revista El Higo*, 3 (1), 7-9.
- Velasco Roldán, L., Goyos Pérez, L., Páez Flor, N., & Naranjo Guatemala, C. (2014). 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 AMÉRICA LATINA.
- SEMINARIO PARA ELABORACIÓN DE TESIS.