



**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN,  
INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA**

**DIRECCIÓN DE POSTGRADOS**

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

**TEMA: “ANÁLISIS Y DESARROLLO PARA LA FABRICACIÓN  
DE BLOQUES DE HORMIGÓN COMO AISLANTES TÉRMICOS  
BASADOS EN LA BIOMASA DE BAGAZO DE CAÑA APTO  
PARA LA CONSTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES”**

**AUTOR: CASCANTE VALLEJO, MÓNICA SOLEDAD**

**DIRECTOR: Dr. Arq. VELASCO ROLDÁN, LUIS**

**SANGOLQUÍ**

**2015**

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE  
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y  
TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA  
MAESTRÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES PROMOCIÓN III

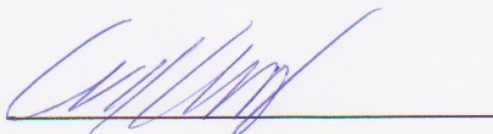
**CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR**

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

**CERTIFICA:**

Que el presente proyecto de investigación que lleva como título "ANÁLISIS Y DESARROLLO PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE HORMIGÓN COMO AISLANTES TÉRMICOS BASADOS EN LA BIOMASA DE BAGAZO DE CAÑA APTO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES", realizado por la alumna Ing. MÓNICA SOLEDAD CASCANTE VALLEJO, de nacionalidad ecuatoriana, con cédula de identidad No. 1713069522, como requisito para la obtención del título de Magister en Energías Renovables, III Promoción de la ESPE, fue desarrollado 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, Mayo del 2015.



Dr. Arq. Luis Velasco Roldán

DIRECTOR

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE  
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y  
TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA  
MAESTRÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES PROMOCIÓN III

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Mónica Soledad Cascante Vallejo

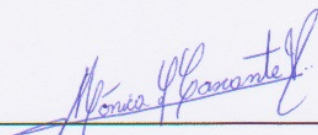
DECLARO QUE:

El proyecto de grado denominado "ANÁLISIS Y DESARROLLO PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE HORMIGÓN COMO AISLANTES TÉRMICOS BASADOS EN LA BIOMASA DE BAGAZO DE CAÑA APTO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES" ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes y 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, Mayo del 2015.

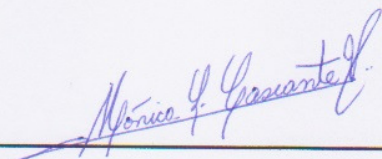
  
\_\_\_\_\_  
Ing. Mónica Soledad Cascante Vallejo

## AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Yo,

Mónica Soledad Cascante Vallejo

Autorizo a la UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE, la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución, el proyecto titulado: "ANÁLISIS Y DESARROLLO PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE HORMIGÓN COMO AISLANTES TÉRMICOS BASADOS EN LA BIOMASA DE BAGAZO DE CAÑA APTO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES", cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.



---

Ing. Mónica Soledad Cascante Vallejo

## **DEDICATORIA**

*A Dios por darme la fuerza para seguir adelante.*

*Mayo, 2015.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*A mi familia, por su compañía y apoyo.*

*A todos quienes incentivaron este proyecto y me motivaron para su  
culminación.*

*Mayo, 2015.*

## ÍNDICE GENERAL

<b>CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR.....</b>	<b>II</b>
<b>AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....</b>	<b>III</b>
<b>AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN.....</b>	<b>IV</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>V</b>
<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>VI</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>XV</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>XVI</b>
<b>CAPÍTULO 1.....</b>	<b>1</b>
<b>1. GENERALIDADES.....</b>	<b>1</b>
1.1 RESPONSABLES DEL PROYECTO.....	1
1.2 COLABORADORES CIENTÍFICOS Y PROFESIONALES.....	1
1.3 ÁREA DEL TEMA.....	1
1.4 INSTITUCIÓN BENEFICIARIA DEL PROYECTO.....	1
1.5 INSTITUCIÓN AUSPICIANTE DEL PROYECTO.....	2
1.6 BENEFICIARIOS POTENCIALES DEL PROYECTO.....	2
1.7 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA.....	3
1.8 DURACIÓN DEL PROYECTO.....	3
1.9 ÁREA DE INFLUENCIA.....	3
<b>CAPÍTULO 2.....</b>	<b>12</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>12</b>
2.1 CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE.....	12
2.2 EFICIENCIA ENERGÉTICA.....	13
2.2.1 <i>Conceptos generales</i> .....	13
2.2.2 <i>Aislamiento térmico en edificios</i> .....	16
2.3 HUELLA ECOLÓGICA.....	18
2.3.1 <i>Cambio climático y emisiones de CO<sub>2</sub></i> .....	18
2.3.2 <i>Emisiones de CO<sub>2</sub> en edificaciones</i> .....	19
2.3.3 <i>Mitigación del cambio climático en el sector edificatorio</i> .....	20
2.3.4 <i>La biomasa como alternativa de reducción de emisiones</i> .....	21
2.3.5 <i>Huella ecológica y huella de carbono</i> .....	21
2.3.6 <i>Huella de carbono en el sector de la construcción</i> .....	22
2.3.7 <i>Riesgos en la salud humana por los materiales de construcción</i> .....	24
2.3.8 <i>Parámetros de no toxicidad</i> .....	24
2.3.9 <i>Elementos tóxicos y peligrosos para la salud humana en la construcción de edificaciones</i> .....	25
2.3.10 <i>Materiales biológicos</i> .....	25
2.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.....	26
2.4.1 <i>Coefficiente de conductividad térmica</i> .....	26
2.4.1.1 <i>Método de la lámina caliente</i> .....	29
2.4.2 <i>Coefficiente de transferencia de cerramientos</i> .....	30

2.4.2.1 Coeficiente de transferencia .....	30
2.4.2.2 Conductividad térmica en bloques.....	32
2.4.2.3 Conductividad térmica en placas (muros y techos) .....	33
2.4.3 Resistencia.....	34
2.4.3.1 Resistencia en bloques .....	34
2.4.4 Durabilidad. Pérdida de prestaciones .....	36
2.5 AISLANTES TÉRMICOS .....	37
2.5.1 Aislantes térmicos convencionales .....	37
<b>CAPÍTULO 3.....</b>	<b>41</b>
<b>3. BIOMASA CAÑA DE AZÚCAR.....</b>	<b>41</b>
3.1 BIOMASA BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR.....	41
3.1.1 Descripción de la biomasa .....	41
3.1.2 Localización y cantidad .....	44
3.1.3 Características .....	45
3.1.3.1 Características de la mezcla de biomasa .....	45
3.1.3.2 Posibles agentes destructores .....	46
3.2 POSIBILIDADES DE AGLOMERACIÓN DE LA BIOMASA.....	47
3.2.1 En bloques o en masa .....	47
3.2.1.1 Con aglomerante cemento.....	47
3.2.2 En placas o tableros.....	49
3.2.2.1 Con aglomerante.....	49
3.2.2.2 Aditivos.....	51
3.3 PROPUESTA DE AGLOMERANTE.....	51
3.3.1 Ensayo de bloques de cemento a base de bagazo de caña de azúcar .....	52
3.3.1.1 Conclusiones de los ensayos de bagazo de caña B03 .....	55
3.3.2 En placas .....	55
3.3.2.1 Ensayo 1 para placas o tableros: P01 .....	57
3.3.2.2 Ensayo 2 para placas o tableros: P02 .....	59
3.3.2.3 Conclusiones de los ensayos P01 y P02.....	61
3.3.2.4 Ensayo 3 para placas o tableros: P05 .....	63
3.3.2.5 Ensayo 4 para placas o tableros: P06 .....	68
3.4 PROPUESTAS FINALES .....	69
<b>CAPÍTULO 4.....</b>	<b>71</b>
<b>4. DESARROLLO EXPERIMENTAL.....</b>	<b>71</b>
4.1 DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES Y PARÁMETROS DE CONTROL .....	71
4.1.1 Conductividad .....	72
4.1.2 Humedad.....	73
4.1.3 Resistencia.....	73
4.1.4 Forma.....	75
4.1.4.1 Aplicación en bloques .....	75
4.2 MATERIALES Y EQUIPO.....	76
4.2.1 Aparato de medición de conductividad .....	76
4.2.2 Moldes y sistemas de prensado .....	80
4.2.3 Prensa rompe cilindros de hormigón - Máquina de compresión .....	81
4.3 PROTOCOLO DE MEDICIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y MECÁNICAS.....	82
4.3.1 Planificación y protocolo de medición de conductividad.....	82
4.3.2 Planificación y protocolo de medición de humedad.....	90
4.3.3 Planificación y protocolo para pruebas de resistencia a la compresión .....	92



4.3.3.1 Pruebas con probetas cilíndricas .....	93
4.3.3.2 Pruebas con bloques .....	96
4.4 MODELO DE EVALUACIÓN DE RESULTADOS .....	97
<b>CAPÍTULO 5 .....</b>	<b>101</b>
<b>5. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIONES .....</b>	<b>101</b>
5.1 DATOS OBTENIDOS. ESTADÍSTICAS Y ANÁLISIS .....	101
5.1.1 <i>En bloques y en tableros</i> .....	101
5.1.1.1 Conductividad .....	101
5.1.1.2 Humedad.....	108
5.1.2 <i>Resistencia a la compresión</i> .....	108
5.1.2.1 Pruebas con probetas cilíndricas .....	108
5.1.2.2 Pruebas con bloques .....	112
5.2 PARÁMETROS AMBIENTALES Y COSTE PARA BLOQUES DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR....	113
5.2.1 <i>Huella de carbono</i> .....	113
5.2.2 <i>Coste de elaboración de un bloque de bagazo de caña</i> .....	114
5.2.3 <i>Precio Unitario para la elaboración de bloque de hormigón con biomasa bagazo de caña de azúcar</i> .....	115
5.2.4 <i>Ciclo de vida para bloque de bagazo de caña</i> .....	116
5.3 PARÁMETROS AMBIENTALES Y COSTE PARA TABLEROS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR ..	118
5.3.1 <i>Huella de carbono</i> .....	118
5.3.2 <i>Coste de elaboración de un tablero de bagazo de caña</i> .....	119
5.3.3 <i>Ciclo de vida para tablero de bagazo de caña</i> .....	121
<b>CAPÍTULO 6 .....</b>	<b>123</b>
<b>6. ANÁLISIS DEL COSTO DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>123</b>
6.1 COSTE DE LA INVESTIGACIÓN .....	123
6.1.1 <i>Análisis de costos de estudio de campo</i> .....	124
6.1.1.1 Costos directos .....	126
6.1.1.2 Costos indirectos.....	127
6.1.2 <i>Análisis de costos de estudio experimental</i> .....	127
6.1.2.1 Costos directos .....	128
6.1.2.2 Costos indirectos.....	128
6.1.3 <i>Costo total de la investigación</i> .....	129
<b>CAPÍTULO 7 .....</b>	<b>131</b>
<b>7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>131</b>
7.1 CONCLUSIONES .....	131
7.2 RECOMENDACIONES .....	134
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>136</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>141</b>
<b>ANEXO 1.....</b>	<b>141</b>
<b>ANEXO 2.....</b>	<b>149</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. COMPARATIVA DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA PARA DIFERENTES MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.....	33
TABLA 2. PESO Y PORCENTAJES DE LA MEZCLA PARA ENSAYO B03 .....	54
TABLA 3. RESULTADO DE EVAPORACIÓN DE HUMEDAD DEL BLOQUE B03 .....	55
TABLA 4. PESO Y PORCENTAJES DE LA MEZCLA PARA ENSAYO P01 .....	58
TABLA 5. PESO Y PORCENTAJE DE ELEMENTOS .....	59
TABLA 6. RESULTADO DE EVAPORACIÓN DE HUMEDAD DEL BLOQUE P01 Y P02 .....	61
TABLA 7. PESO Y VOLUMEN DE COMPONENTES PARA ENSAYO P05.....	65
TABLA 8. PESO Y VOLUMEN DE MATERIALES DE ELABORACIÓN DE PANEL PARA ENSAYO P06 .....	69
TABLA 9. RESULTADOS DE PRUEBAS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	74
TABLA 10. RESULTADOS DE PRUEBAS DE RESISTENCIA A LA TENSIÓN.....	74
TABLA 11. RESULTADOS DE PRUEBAS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	75
TABLA 12. NORMA INEN 638 PARA DIMENSIONES DE BLOQUES .....	76
TABLA 13. NORMA INEN 643 DE RESISTENCIA MÍNIMA DE COMPRESIÓN.....	98
TABLA 14. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE MEDICIÓN DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA .....	102
TABLA 15. RESULTADOS DE DENSIDAD Y COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA.....	105
TABLA 16. DIMENSIONES DEL BLOQUE DE BAGAZO DE CAÑA B1 .....	112
TABLA 17. VALORES DE EVALUACIÓN DE COSTO DE ELABORACIÓN DE UN BLOQUE DE BAGAZO DE CAÑA .....	116
TABLA 18. VALORES DE EVALUACIÓN DE COSTO DE ELABORACIÓN DE UN TABLERO DE BAGAZO DE CAÑA .....	120
TABLA 19. COSTOS DIRECTOS DEL ESTUDIO DE CAMPO .....	126
TABLA 20. COSTE DE PRODUCCIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE MUESTRAS DE PRUEBA .....	127
TABLA 21. COSTO INDIRECTO DEL ESTUDIO DE CAMPO .....	127
TABLA 22. COSTOS DIRECTOS DEL ESTUDIO EXPERIMENTAL .....	128
TABLA 23. COSTO INDIRECTO DEL ESTUDIO EXPERIMENTAL .....	128
TABLA 24. COSTO POR MISCELÁNEOS.....	129
TABLA 25. COSTO TOTAL DE LA INVESTIGACIÓN.....	129

## ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1. TIPO Y USO DE BLOQUES DE ACUERDO A NORMA INEN 638 .....	47
CUADRO 2. IMPACTO DURANTE EL CICLO DE VIDA DE LA ELABORACIÓN DE UN BLOQUE DE BIOMASA .....	117
CUADRO 3. MATRIZ DE MATERIAL DE MAYOR RIESGO PARA ELABORACIÓN DE BLOQUE DE BAGAZO DE CAÑA .....	118
CUADRO 4. IMPACTO DURANTE EL CICLO DE VIDA DE LA ELABORACIÓN DE UN TABLERO DE BIOMASA .....	121
CUADRO 5. MATRIZ DE MATERIAL DE MAYOR RIESGO PARA ELABORACIÓN DE UN TABLERO DE BAGAZO DE CAÑA.....	122

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. MAPA DE ÁREA DE INFLUENCIA PARA EL PROYECTO CON BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR...	4
FIGURA 2. ÉTAPAS DEL CICLO DE VIDA DE UNA EDIFICACIÓN.....	13
FIGURA 3. RELACIÓN DE PÉRDIDAS ENERGÉTICAS TOTALES Y EVITABLES.....	14
FIGURA 4. ACCIONES DE PROMOCIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA .....	15
FIGURA 5. AGENCIAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA .....	15
FIGURA 6. ABASTECIMIENTO ENERGÉTICO EN AMÉRICA LATINA.....	16
FIGURA 7. EJEMPLO DE CADENA DE SUMINISTRO PARA LA CONSTRUCCIÓN .....	19
FIGURA 8. POTENCIAL DE REDUCCIÓN DE CO <sub>2</sub> EN SECTORES PRODUCTIVOS.....	20
FIGURA 9. PERCEPCIÓN DE RENTABILIDAD DE INICIATIVAS PARA REDUCCIÓN DE EMISIONES.....	23
FIGURA 10. GRÁFICO DE TRANSFERENCIA DE CALOR.....	31
FIGURA 11. PLANTA DE CAÑA DE AZÚCAR .....	42
FIGURA 12. COSECHA DE CAÑA.....	42
FIGURA 13. COSECHA Y DESECHOS DE COSECHA DE CAÑA DE AZÚCAR.....	43
FIGURA 14. MEDIDAS DEL BLOQUE DE CEMENTO .....	52
FIGURA 15. MEDIDAS DE LA FIBRA DE BAGAZO SELECCIONADA.....	53
FIGURA 16. TRATAMIENTO DE LAS FIBRAS DE BAGAZO .....	53
FIGURA 17. ELEMENTOS QUE CONFORMAN EL BLOQUE DE CEMENTO.....	53
FIGURA 18. FOTOGRAFÍAS FINALES DEL BLOQUE DE CEMENTO.....	54
FIGURA 19. BLOQUE DE BAGAZO B03.....	55
FIGURA 20. MEDIDA DE LOS PANELES AISLANTES .....	55
FIGURA 21. ELABORACIÓN DE MOLDE PARA LA FABRICACIÓN DE LOS PANELES AISLANTES .....	56
FIGURA 22. VISTA DEL MOLDE PARA LA FABRICACIÓN DE LOS PANELES AISLANTES .....	56
FIGURA 23. MEDIDAS DEL BAGAZO DE CAÑA PARA ENSAYO P01 .....	57
FIGURA 24. MEDIDAS DEL PESO DE LOS ELEMENTOS PARA ENSAYO P01 .....	58
FIGURA 25. PROCESO DE FABRICACIÓN DEL PANEL AISLANTE PARA ENSAYO P01.....	59
FIGURA 26. PESO Y PORCENTAJE DE AGLOMERADOS PARA ENSAYO P02.....	60
FIGURA 27. MEDIDA DE LOS ELEMENTOS PARA ENSAYO P02.....	60
FIGURA 28. DATO FINAL DE PESO EN ENSAYO P01 .....	62
FIGURA 29. RESULTADOS OBTENIDOS CON EL ENSAYO P01.....	62
FIGURA 30. RESULTADOS OBTENIDOS CON EL ENSAYO P02.....	63
FIGURA 31. DATO FINAL DE PESO EN ENSAYO P02 .....	63
FIGURA 32. DIMENSIONES DE MOLDE METÁLICO PARA ELABORACIÓN DE PANELES PARA ENSAYO P05 .....	64
FIGURA 33. DIMENSIONES DE BAGAZO PARA ENSAYO P05 .....	64
FIGURA 34. CONFIGURACIÓN DE LAS FIBRAS PARA TABLERO DE BAGAZO PARA ENSAYO P05 .....	65
FIGURA 35. SISTEMA DE COMPACTACIÓN PARA TABLERO.....	66
FIGURA 36. MOLDE DE METAL Y PRODUCTO FINAL DE ENSAYO P05 .....	66
FIGURA 37. PROCESO DE SECADO CON MOLDE METÁLICO.....	67
FIGURA 38. RESULTADO DE PANEL DE ENSAYO P05.....	67
FIGURA 39. ELABORACIÓN DE PANEL P06.....	68
FIGURA 40. RESULTADO DE PANEL PARA ENSAYO P06 .....	68
FIGURA 41. PLACA CALIENTE .....	77
FIGURA 42. SISTEMA DE ENFRIAMIENTO.....	78
FIGURA 43. TARJETA DE CONTROL DE SISTEMA DE PLACA CALIENTE.....	78
FIGURA 44. MÁQUINA DE MEDICIÓN DE COEFICIENTE TÉRMICO.....	79
FIGURA 45. MOLDE DE MADERA FARA FABRICACIÓN DE BLOQUES.....	80

FIGURA 46. MOLDE DE METAL PARA TABLEROS O PANELES .....	80
FIGURA 47. SISTEMA DE PENSADO DEL MOLDE DE METAL .....	81
FIGURA 48. MÁQUINA DE COMPRESIÓN.....	81
FIGURA 49. ENCENDIDO DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO.....	83
FIGURA 50. COMPROBACIÓN DE TEMPERATURAS EN PLACA CALIENTE .....	84
FIGURA 51. INSTALACIÓN DEL MATERIAL DE PRUEBA EN EL EQUIPO .....	84
FIGURA 52. ESTABILIZACIÓN DE TEMPERATURAS ENTRE PLACA FRÍA Y PLACAS CALIENTES.....	85
FIGURA 53. REPARTICIÓN DE FLUJO DE CALOR ENTRE MUESTRAS .....	87
FIGURA 54. ENVOLTURA PLÁSTICA PARA EVITAR PÉRDIDAS.....	88
FIGURA 55. PRUEBAS DE BIOMASA EN TROZOS.....	89
FIGURA 56. PRUEBA DE HUMEDAD.....	90
FIGURA 57. PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA .....	90
FIGURA 58. PRUEBAS DE HUMECTACIÓN/SECADO.....	91
FIGURA 59. PESO DE INGREDIENTES PARA PROBETA DE BIOMASA .....	93
FIGURA 60. CORTE DE TROZOS DE BIOMASA .....	94
FIGURA 61. ELABORACIÓN DE MASA DE PROBETAS.....	94
FIGURA 62. COMPACTACIÓN DE PROBETAS.....	95
FIGURA 63. DESMOLDE DE PROBETAS .....	95
FIGURA 64. ENSAYO DE COMPRESIÓN .....	96
FIGURA 65. PRUEBAS EN BLOQUES .....	97
FIGURA 66. GRÁFICO DE EVALUACIÓN DE RESULTADOS CON RESPECTO A LA REFERENCIA PARA COEFICIENTE TÉRMICO.....	99
FIGURA 67. GRÁFICO DE EVALUACIÓN DE RESULTADOS CON RESPECTO A LA REFERENCIA PARA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN .....	99
FIGURA 68. RESULTADOS DE COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA .....	103
FIGURA 69. PARÁMETROS DE PRUEBA PARA ENSAYOS DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA.....	104
FIGURA 70. DIFERENCIA DE TEMPERATURA EN ENSAYOS DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA .....	104
FIGURA 71. RELACIÓN DE DENSIDAD Y CONDUCTIVIDAD EN TODAS LAS PRUEBAS .....	106
FIGURA 72. RELACIÓN DE DENSIDAD Y CONDUCTIVIDAD EN PRUEBAS DE TABLERO Y BLOQUE .....	106
FIGURA 73. RELACIÓN DE DENSIDAD Y CONDUCTIVIDAD EN PRUEBAS DE BAGAZO AL GRANEL .....	107
FIGURA 74. RELACIÓN DE DENSIDAD Y CONDUCTIVIDAD EN PRUEBAS DE BAGAZO AL GRANEL Y TABLERO.....	107
FIGURA 75. RESULTADOS DE PRUEBAS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN PROBETAS.....	110
FIGURA 76. RELACIÓN DE COMPRESIÓN POR CANTIDAD DE BIOMASA BAGAZO .....	111
FIGURA 77. RELACIÓN DE COMPRESIÓN POR CANTIDAD DE CEMENTO.....	111
FIGURA 78. RELACIÓN DE VARIABLES EN LAS MUESTRAS PROBADAS .....	112
FIGURA 79. GRÁFICA DE HUELLA DE CARBONO PARA LA ELABORACIÓN DE BLOQUE DE BAGAZO DE CAÑA .....	114
FIGURA 80. PROCESO DE FABRICACIÓN DE BLOQUES DE BAGAZO DE CAÑA.....	115
FIGURA 81. GRÁFICA DE HUELLA DE CARBONO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLERO DE BAGAZO DE CAÑA .....	119
FIGURA 82. PROCESO DE FABRICACIÓN DE TABLERO DE BAGAZO DE CAÑA .....	120
FIGURA 83. DIAGRAMA DE GANTT DE EJECUCIÓN DE PROYECTO .....	123
FIGURA 84. PROCESO DE INVESTIGACIÓN PARA BLOQUES DE BAGAZO DE CAÑA .....	125
FIGURA 85. PROCESO DE INVESTIGACIÓN PARA TABLEROS DE BAGAZO DE CAÑA.....	125

## INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. PRUEBAS DE MEDICIÓN DE COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA.....	141
ANEXO 2. PRUEBAS DE MEDICIÓN DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	149

## RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo desarrollar un material de construcción a base de la biomasa bagazo de caña de azúcar, para lo cual, se ha elaborado bloques y tableros con las suficientes características para ser aptos para la construcción. En el Capítulo I se indican las generalidades del proyecto como son los objetivos, alcance, justificación y localización geográfica. En el Capítulo II se detalla el marco teórico que es utilizado durante todo el desarrollo del proyecto tales como las características térmicas y aspectos físicos de materiales para la construcción. El Capítulo III realiza la descripción de la biomasa bagazo a partir del procesamiento de la caña de azúcar. Se describe también los primeros ensayos para sugerir la propuesta para bloques y tableros. El Capítulo IV, es el desarrollo experimental, en el mismo se indican los protocolos de pruebas realizados para identificar las características físicas como la resistencia a la compresión, absorción de humedad y pruebas de humectación/secado y las pruebas para encontrar el valor del coeficiente de conductividad térmica de la biomasa. El Capítulo V, indica los resultados obtenidos de las pruebas propuestas señalando las relaciones obtenidas de cada una de las variables implicadas en los procesos. El Capítulo VI muestra el resumen de los costos involucrados en la investigación. Finalmente el Capítulo VII presenta las conclusiones encontradas en la investigación y sugiere recomendaciones para futuras investigaciones para el potencial desarrollo de la biomasa bagazo de caña como aislante térmico en su forma de bloques y tableros.

### **PALABRAS CLAVES:**

- **BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR**
- **CONDUCTIVIDAD TÉRMICA**
- **BIOMASA**
- **BLOQUE**
- **TABLERO**

## **ABSTRACT**

This research has a principal objective, develop a building material of biomass; final product of an Ecuadorian natural resource after its processing; for use in small scale and analyze their adaptability to the environment in which it will be installed. Its development has been conducted in order to obtain a material based on biomass "bagazo de caña de azúcar" sugarcane bagasse with a low-cost, that it be environment friendly and test its benefits and thermal insulation characteristics. The Chapter I shows the generalities of the project, the objectives, scope, justification and geographical location. In Chapter II describes the theoretical framework that is used throughout the project such as the thermal characteristics and physical aspects of building materials. The Chapter III makes the description of the sugarcane bagasse biomass from the process of sugar cane and the first tests. Chapter IV, is the experimental development, it describes tests protocols to identify physical characteristics such as compressive strength, moisture absorption and moisture / drying and testing to find the coefficient of thermal conductivity. The Chapter V indicates the results of relationship from each of the variables involved in processes such as compressive strength and quantity of bagasse biomass. Chapter VI shows the summary of the costs involved in the investigation. Finally, Chapter VII presents the conclusions from the research and recommendations for future research of the potential of sugarcane bagasse as thermal insulation in the form of blocks and boards or panels.

### **KEYWORDS:**

- **SUGARCANE BAGASSE**
- **THERMAL CONDUCTIVITY**
- **BIOMASS**
- **BLOCK**
- **BOARD**



## **CAPÍTULO 1**

### **1. GENERALIDADES**

#### **1.1 Responsables del proyecto**

La ejecutora responsable del proyecto es:

Ing. Mónica Soledad Cascante Vallejo

#### **1.2 Colaboradores científicos y profesionales**

El colaborador científico del proyecto es:

Dr. Arq. Luis Velasco Roldán

#### **1.3 Área del tema**

El área del tema del proyecto es:

Energía y Mecánica

#### **1.4 Institución beneficiaria del proyecto**

Las instituciones beneficiarias del proyecto son:

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

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

### **1.5 Institución auspiciante del proyecto**

La institución auspiciante del proyecto es:

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

### **1.6 Beneficiarios potenciales del proyecto**

Los beneficiarios potenciales del desarrollo del proyecto son:

El proyecto está desarrollado para favorecer a los habitantes de zonas geográficas donde la producción de bagazo de caña de azúcar les permita desarrollar edificaciones completas o estructuras de edificaciones de acuerdo al planteamiento de este trabajo.

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

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

### **1.7 Localización geográfica**

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

### **1.8 Duración del proyecto**

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

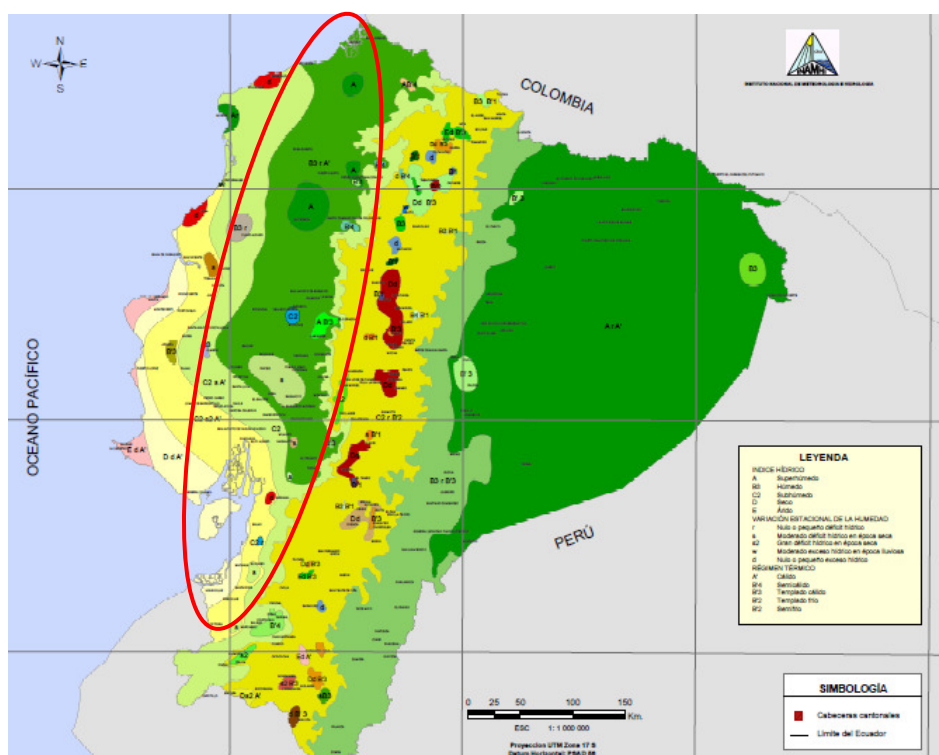
### **1.9 Área de Influencia**

Para analizar el área de influencia del proyecto es necesario pensar en los lugares geográficos donde se produce la biomasa seleccionada: bagazo de caña de azúcar haciéndolo extensivo más allá de las fronteras de Ecuador.

Para Ecuador, se referencia al mapa de biomásas. Como tema ulterior, se tratarán la biomasa bagazo de caña con más detalle, sin embargo, se han establecido los sectores indicados a continuación:

Para la caña de azúcar, de acuerdo al CINCAE (Centro de Investigación de la Caña de Azúcar en el Ecuador), el clima donde se desarrolla mejor

esta biomasa es desde templado a tropical húmedo, con lluvias de 1.200 a 1.500 mm anuales, de 6 a 10 horas de luz y temperaturas entre los 21 a 32 centígrados. Es así que no solo se produce en la Costa Ecuatoriana, su cultivo alcanza zonas de la Región Sierra con condiciones adecuadas para su cultivo como son las provincias de Tungurahua, Loja, Imbabura y Santo Domingo. En la Provincia de Pichincha la caña de azúcar es utilizada mayoritariamente para la producción de panela y aguardiente. Delimitando por zonas climáticas el área de crecimiento de la caña de azúcar se indica en la siguiente gráfica:



**Figura 1. Mapa de área de influencia para el proyecto con bagazo de caña de azúcar**

A pesar de que la región amazónica se diría que presenta condiciones adecuadas para la siembra de caña, la diferencia radica en el suelo que no cumple con las condiciones nutritivas que exige un cultivo de este tipo. Se

pretende que esta investigación sea extendida a nivel mundial en los lugares donde se produce caña de azúcar.

## **1.9 Antecedentes**

En un contexto global, la utilización de biomásas para su empleo en materiales de construcción son históricamente conocidos, en Ecuador, el uso de biomasa se ha estructurado en todas las regiones del País: Costa, Sierra, Oriente e Insular. Cada clima con su propia biodiversidad ha permitido que los habitantes con el conocimiento empírico de los recursos existentes puedan adaptarlos a su entorno. El bahareque es ejemplo de ello, utiliza carrizo para fortalecer la estructura del barro. Su utilización es más difundida en la región sierra, así como las viviendas con techo de paja. En la costa, en zonas como Esmeraldas, se utiliza la palma de pambil para estructurar casi completamente una vivienda rural, su uso es generalizado y ha sido heredado hasta el día de hoy. En las regiones urbanas de la costa, donde se centran niveles de pobreza elevados, las construcciones se realizan con caña guadúa, vegetación endémica del lugar. (Yépez, 2012) De esta biomasa, por su utilización ampliamente difundida se han desarrollado trabajos de arquitectura como el enunciado por la empresa constructora DouglasDreher, cuya vivienda se basa en paneles de caña guadúa (Dreher, 2014).

En lo referente a bagazo caña de azúcar son innumerables las investigaciones realizadas sobre su uso para aprovechamiento energético, priorizando su utilización en obtención de energía eléctrica a través de cogeneración, también se enfatiza en el aprovechamiento de la caña para biocombustibles. En el área de la construcción se analiza la ceniza del bagazo de caña para reforzamiento de cementos como material puzolánico

donde se lo compara con otras biomásas como cascarilla de arroz y hojas de maíz (Águila, 2008); o se estudia la mezcla idónea para ensayos de resistencia para sustitución de cemento (Oliveira de Paula, Ferreira, Rodríguez, & Osorio, 2009); trabajos que enfatizan la caracterización química y física del bagazo (Carmona Durán, 2011) (Hernández, et al., 2001) (Ríos González, 2011), inclusive se han desarrollado empresas dedicadas a la fabricación de bloques con esta combinación como es el caso de la colombiana ECOMAT S.A.

Existen otros trabajos que analizan la fabricación de materiales de construcción: bloques y tableros con el uso del bagazo sin pasar por procesos de calcinación. Se encuentra mayor cantidad de investigaciones en la fabricación de bloques, con el uso de fibra de bagazo para recuperar resistencia mecánica (Reyes Bañuelos, 2008) como con la mezcla de fibra con agregados pétreos (Pozo, 2011). Los trabajos realizados para tableros enfatizan las características mecánicas de los mismos y sus cualidades físicas y estéticas (Reyes, 2012), también se realizan comparaciones con otros tipos de biomásas como el aserrín y el papel-cartón (Rojas, 2010). En Ecuador, la creación de tableros a partir de bagazo se ha desarrollado en los últimos años (Casias, 2013) con la implementación de técnicas establecidas en la fabricación de aglomerados industrializados.

Es imprescindible evidenciar en este segmento del presente trabajo que el proceso de la investigación nació como un trabajo en conjunto donde se realizó el desarrollo de la fundamentación teórica en conjunto con la biomasa cascarilla de cacao (Carrera, 2015), por lo que; varios de los segmentos descritos adquieren una semejanza en el desarrollo experimental utilizado e igualdad en la sustentación teórica descrita; pero con resultados diferentes, en concordancia con las distintas combinaciones de biomasa cacao y bagazo de caña. La separación del presente trabajo en dos biomásas

independientes nace de la facilidad que presenta una sola biomasa para referenciar trabajos posteriores, sin que se asocie las dos excepto para fines comparativos y se mejore la interpretación de resultados obtenidos en forma individual por cada biomasa.

### **1.10 Definición del problema**

El proyecto nace de dos problemáticas presentes en dos sectores productivos del Ecuador. El primero, es la condición esencialmente agrícola del País cuyos procesos conllevan a la generación de residuos agrícolas que exigen grandes cantidades de energía para su procesamiento. Para el caso de bagazo de caña de azúcar, en Ecuador el desarrollo de procesos energéticos adicionales se encuentra muy avanzado, aplicándose mayoritariamente en desarrollo de generación eléctrica en los ingenios principales del País.

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

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

una estructura fría para los climas de la sierra y extremadamente calurosa para los climas de la costa y amazonía.

La unión de estas dos problemáticas confluye en la necesidad del desarrollo de productos de construcción que combinen la utilización de biomásas con sus características de aislación térmica con criterios eficientes de reducción de procesos que impliquen un gasto energético elevado durante su elaboración y así, generar ambientes confortables con aplicaciones sostenibles y respetuosas al ambiente para sus procesos de elaboración.

Se desarrolla entonces una investigación acerca de las características físicas y la capacidad aislante de bloques y tableros o paneles de bagazo de caña de azúcar. Productos que se evalúan económicamente para minimizar costos de fabricación y optimización de recursos.

### **1.11 Justificación e importancia**

El Ecuador está comprometido con la generación de proyectos que ayuden a fomentar las posibilidades de modificar la matriz energética desarrollando alternativas sustentables y sostenibles que permitan a los agentes involucrados percibir las ventajas de la utilización eficiente de recursos. De acuerdo al balance energético nacional publicado en el año 2013 por el Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos se estableció una demanda de energía de 94 millones de BEP de los cuales el 13% corresponde al consumo residencial y el 1% al sector de la construcción, del año 2011 al año 2012 el sector de la construcción ha crecido en un 7.6% y el sector residencial 5.4% en consumo de energía. Disgregando un poco más, se tiene que, en referencia al uso de GLP y electricidad en el sector



residencial estos representan un 92% y 29% respectivamente del consumo. Mayoritariamente en las zonas de Costa y Oriente, la mayor demanda de energía eléctrica corresponde al acondicionamiento de ambientes, esto, puede deberse en parte, al uso de edificaciones convencionales sin el respectivo análisis energético en su desarrollo arquitectónico.

Referente al sector de la construcción, el crecimiento de la industria ha sido del 10% en los últimos 12 años; sin embargo, el desarrollo de nuevos modelos constructivos ha sido incentivado únicamente en los últimos años y sus resultados beneficiosos aún no han podido ser evidenciados de manera global dentro del consumo energético del País. El ejemplo más visible de uso de construcción convencional para desarrollo de viviendas en las diferentes regiones del País es el Proyecto MIDUVI, que no presentó resultados de satisfacción por presentar condiciones de escaso confort por el frío o calor en su interior debido a las condiciones específicas de cada zona geográfica haciéndolas poco prácticas para sus habitantes. Se enfatiza entonces, el desarrollo de nuevos proyectos en este sentido, utilizar materiales alternativos que generen confort en las viviendas, que sean amigables con el ambiente y viables económicamente. En Latinoamérica ya se encuentran trabajos que cuestionan el costo ambiental de los materiales de construcción versus el consumo energético desarrollado en todo su ciclo de vida (Jacobo, 2007).

Combinando estas dos situaciones en la industria de la construcción y el consumo residencial, se viabiliza el desarrollo de la siguiente investigación, que valida la fabricación zonal de materiales de construcción en base a desechos agrícolas, en este caso bagazo de caña, con procesos de elaboración y combinación de biomasa y elementos comunes para lograr identificar la conductividad térmica de los mismos como es el cemento para el caso de bloques y el pegamento blanco (goma o cola polivinílica) para el caso de tableros. Encierra entonces, una factible solución a los conflictos descritos anteriormente; el uso de la biomasa de desecho permitirá reducir la

huella de carbono que causa su eliminación y permitirá utilizar materiales que intrínsecamente al ser naturales serán amigables con el ambiente, el coste de los mismos consecuentemente disminuirá, reduciendo el costo final de la edificación y volviéndola accesible a los sectores menos favorecidos con proyección a usos más específicos; las características térmicas de los productos de construcción permitirán generar condiciones climáticas confortables dentro de una vivienda, reduciendo, el consumo de energía eléctrica utilizado para este fin.

## **1.12 Objetivos**

### **1.12.1 Objetivos generales**

Investigar y desarrollar boques de hormigón y tableros como aislantes térmicos basados en la biomasa utilizando los desperdicios naturales de bagazo de caña de azúcar para su aplicación en la construcción de edificaciones.

### **1.12.2 Objetivos específicos**

Analizar las características físicas y térmicas de los materiales para la construcción con la combinación de cemento con bagazo de caña de azúcar.

Elaborar modelos constructivos para el proceso de fabricación de bloques o placas con la combinación de los aglomerados de estudio.

Explicar la huella ecológica que interviene en la construcción sostenible de los modelos combinados de desechos vegetales.

Analizar la investigación, como propuesta para establecer costos constructivos para nuevas edificaciones en el Ecuador, que garanticen mejor aislamiento, bajo coste, mejora en eficiencia energética y aplicabilidad pública generalizada.

### **1.13 Alcance del proyecto**

A través de un programa de diseño experimental se pretende obtener bloques y tableros a partir de los desechos de bagazo de caña de azúcar, medir la conductividad térmica, resistividad, observar su durabilidad con el objeto de que puedan ser empleados para la construcción de nuevas edificaciones.

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

Al final del desarrollo del trabajo se obtendrán los resultados experimentales y se emitirán criterios para trabajos posteriores en esta área. Se elaborará un artículo técnico que permita compendiar las principales observaciones encontradas en la investigación.

## CAPÍTULO 2

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Construcción sostenible

Entendiendo que "superar la cultura de la emergencia para entrar en la de la sostenibilidad, entendida en sentido positivo, como una actuación oportuna en el tiempo a fin de facilitar medidas capaces para prevenir los problemas" (Ezio Mancini - Jordi Bigues, 2000) se puede definir la construcción sostenible como el desarrollo del diseño arquitectónico de tal forma que pueda aprovechar los recursos naturales, reducir el impacto ambiental en las edificaciones y sus habitantes. (Contreras, 2010) Implica aspectos tales como diseño y administración de edificaciones, construcción y rendimiento de materiales y uso de recursos. (PNUMA, 2009) No limitándose a ésto; sino con proyección a desarrollar un urbanismo sostenible.

En el año 1996, nacen los 15 puntos de la "Redacción de Berlín" y el mismo año en Copenhague la "Conferencia Europea de Ministros sobre Política de Vivienda Sostenible" expresa que las mejoras y reducción de impacto ambiental en el área de la edificación necesitan de (Pere, 1997):

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

- ✓ Utilización de nuevos materiales constructivos bajo el concepto de sostenibilidad.
- ✓ Libertad de circulación de los materiales.

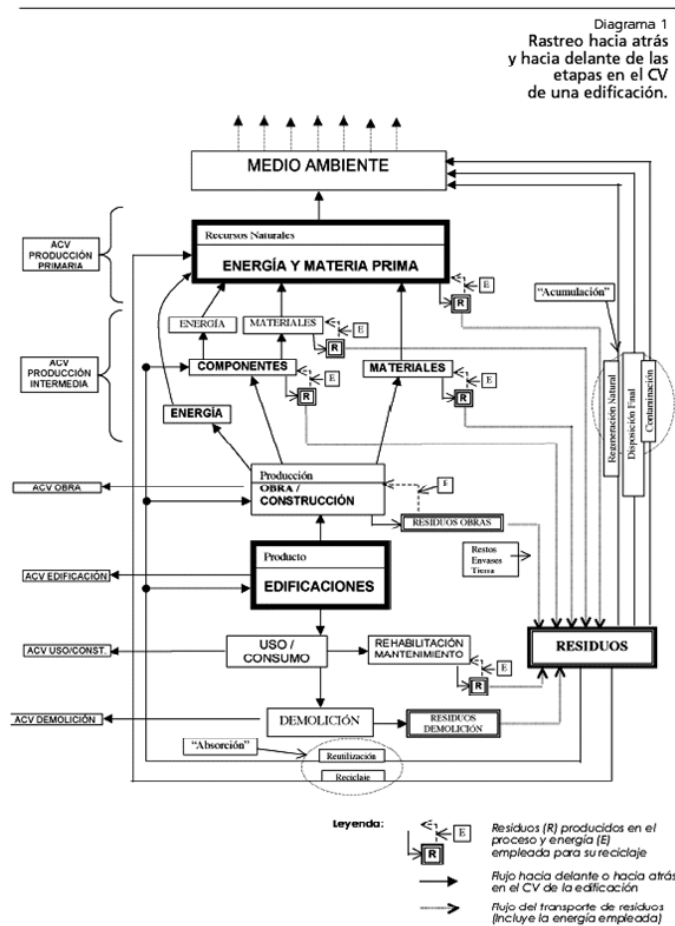


Figura 2. Etapas del ciclo de vida de una edificación

Fuente: (Acosta, 2011)

## 2.2 Eficiencia energética

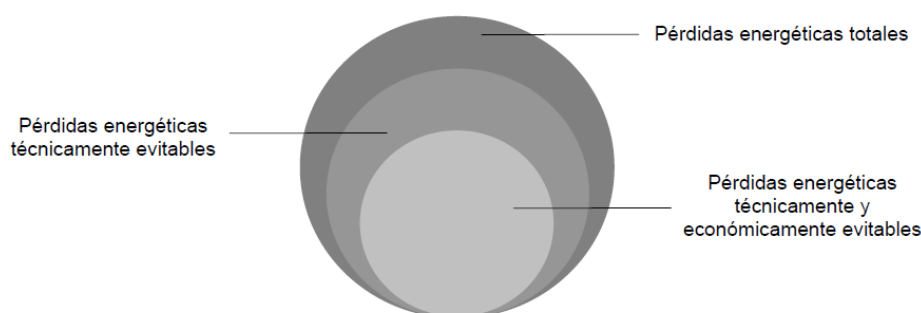
### 2.2.1 Conceptos generales

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

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

**Eficacia o efectividad:** ambas palabras representan el mismo concepto, más genérico y menos consolidado asociado a la realización de metas y objetivos." (Horta, 2010) Con esto, se puede decir que eficiencia energética es mejorar el desempeño de los sistemas energéticos (Horta, 2010).

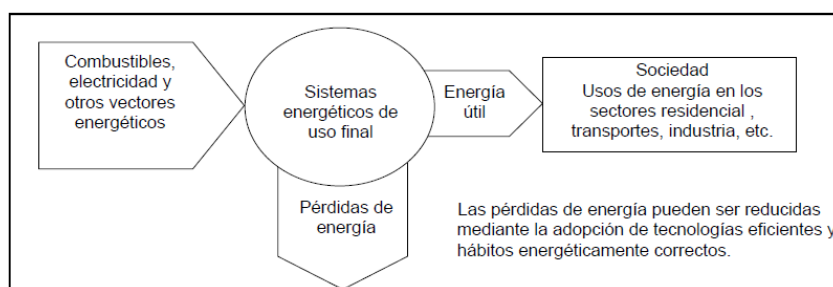
Todo proceso que implique la conversión de una fuente primaria de energía, implica uso de grandes cantidades de energía y niveles de pérdidas. Definiendo de manera resumida como pérdida de energía a la diferencia entre los flujos energéticos consumidos y producidos (Horta, 2010). Lo logrado se puede resumir en la siguiente figura:



**Figura 3. Relación de pérdidas energéticas totales y evitables**

**Fuente: (Horta, 2010)**

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

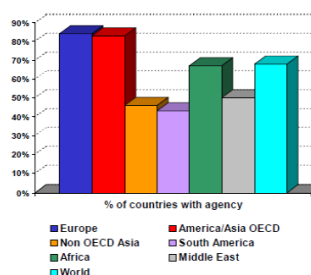


**Figura 4. Acciones de promoción de eficiencia energética**

**Fuente: (Horta, 2010).**

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

Figure 5.1 Results of WEC survey of energy efficiency agencies

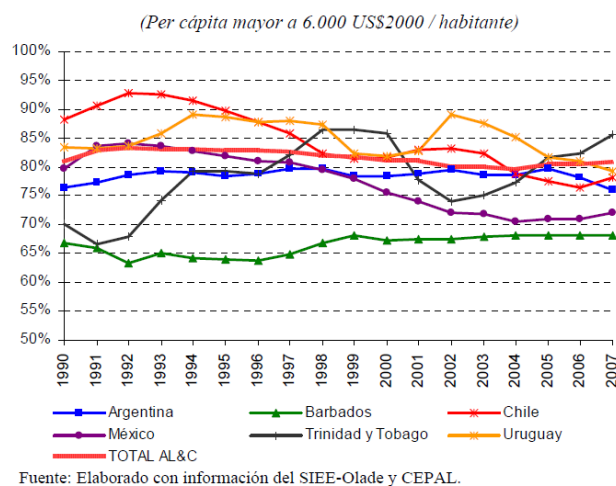


Source: WEC, 2008.

**Figura 5. Agencias de eficiencia energética**

**Fuente: (IEA International Energy Agency, 2010)**

Un dato interesante que presenta OLADE acerca de la eficiencia del abastecimiento energético en América Latina se indica en la siguiente figura, y su tendencia es deficiente por una cuestión esencial, incremento de demanda de energía con incremento de centrales de generación térmica:



**Figura 6. Abastecimiento energético en América Latina**

**Fuente: (IEA International Energy Agency, 2010)**

IEA en el año 2008 establece recomendaciones de eficiencia energética en los principales sectores productivos, estableciendo para la construcción: incentivar la construcción de casas de energía pasiva o edificios de energía cero, establecer estándares de eficiencia en construcción obligatorios, monitorear los edificios existentes e incentivar paquetes de modificaciones eficientes, esquemas de certificación de edificios y políticas de implementación de eficiencia de energía en áreas de vidrios y ventanas.

## 2.2.2 Aislamiento térmico en edificios

El confort térmico depende de la temperatura de confort, que a su vez depende de 4 factores definidos: temperatura del aire, temperatura de



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

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

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

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

En Ecuador, existe la norma de la construcción NEC-11 que en su capítulo 13 de Eficiencia energética en la Construcción tiene por objetivo fomentar el diseño y construcción de edificaciones considerando la sostenibilidad, eficiencia y buen manejo de los recursos. Los parámetros a considerar en una edificación según la NEC-11, son los siguientes: Uso y

consumo de la energía activa y pasiva, uso del agua, tipos de agua, uso del suelo, consumo de materiales escasos, impactos ambientales e integración social, económica y cultural. En cuanto a los materiales de construcción, la normativa exige que al menos el 20% cumpla con las siguientes características que se mencionan a continuación: Uso de materiales reciclados, locales que se encuentre dentro de un radio no mayor a 100 km, desmontables o modulares, materiales procesados con el fin de obtener mejores características técnicas, de baja toxicidad y que sean naturales y renovables. (Comité ejecutivo de la norma ecuatoriana de la construcción, 2011)

## **2.3 Huella ecológica**

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

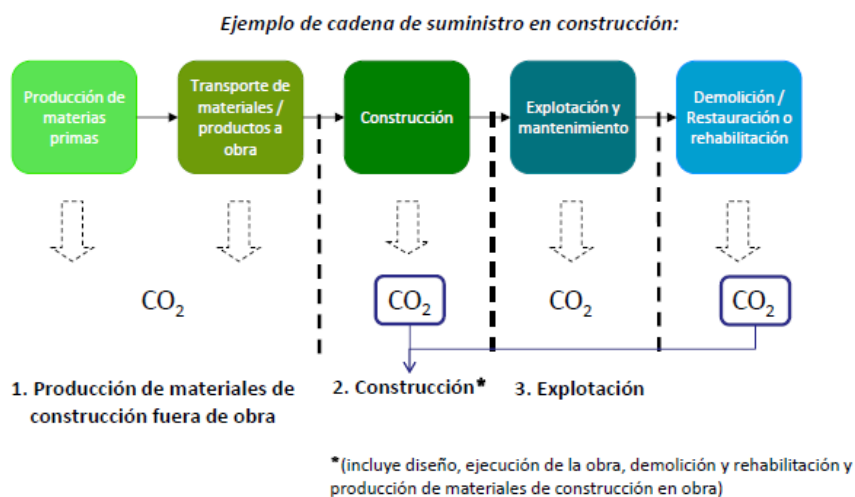
La mitigación del cambio climático se refiere a la reducción de emisiones de GEI, expresadas en toneladas de Dióxido de Carbono Equivalente (tCO<sub>2</sub>-eq).

La huella de carbono (HC) es un indicador de la cantidad de gases de efecto invernadero (GEI) generados y emitidos por una empresa o durante el ciclo de vida de un producto a lo largo de la cadena de producción, a veces incluyendo también su consumo, recuperación al final del ciclo y su eliminación. La HC considera los seis GEI identificados en el Protocolo de Kioto: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>).

### 2.3.2 Emisiones de CO<sub>2</sub> en edificaciones

El cálculo de la huella de carbono de todo el ciclo de vida de la vivienda o edificación, incluye la sumatoria del aporte que se genera en la fase de producción, el cual se contabiliza con el aporte del CO<sub>2</sub> equivalente de la fase de construcción, el aporte de la fase de operación y el aporte de la fase de fin de servicio. Se debe contabilizar también, en caso de existir reservorios de CO<sub>2</sub> como proyectos de reforestación o similares en el área a intervenir con la edificación; de forma tal que en tales casos, la huella de CO<sub>2</sub> se disminuye. (Carmona Durán, 2011)

El sector de la construcción contempla tres ámbitos de operación para la cuantificación de emisiones. (Hernández, et al., 2001)



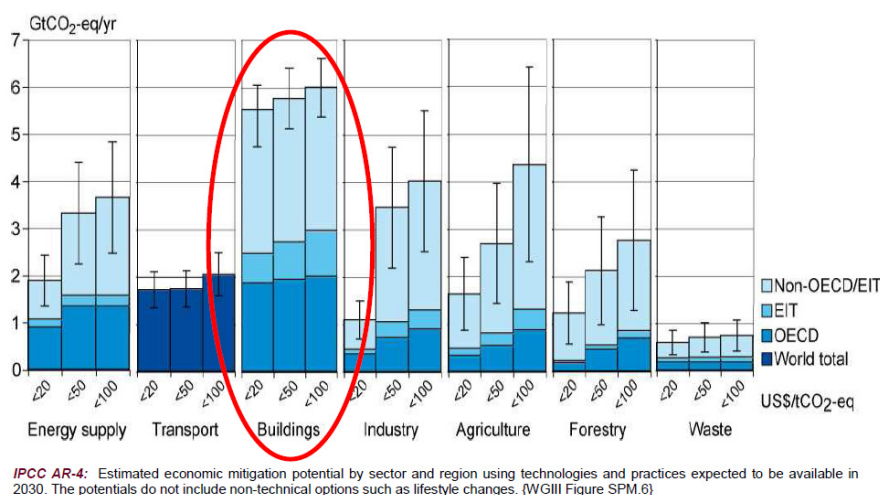
**Figura 7. Ejemplo de cadena de suministro para la construcción**

**Fuente: (Hernández, et al., 2001)**

### 2.3.3 Mitigación del cambio climático en el sector edificatorio

De acuerdo a PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) el sector de la construcción es responsable del más de la tercera parte del uso de energía en la mayoría de ciudades, 30% a 40% de toda la energía primaria; esta energía es consumida mayoritariamente durante la vida útil de la edificación para calentamiento, ventilación, luces, etc. Se considera que solo un 10 a 20% de energía consumida pertenecen a la manufactura de materiales, construcción y demolición (PNUMA, 2009).

Las edificaciones son las que mayor potencial de reducción de CO<sub>2</sub> y emisiones de GEI presentan únicamente con la utilización de buenas prácticas y mejores tecnologías. (IPCC , 2009)



**Figura 8. Potencial de reducción de CO<sub>2</sub> en sectores productivos**

**Fuente: (IPCC , 2009)**

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

La biomasa es considerada como una fuente de energía renovable que puede ser usada en sustitución de los combustibles fósiles. La obtención de energía a partir de biomasa es un proceso considerado carbono neutro pues las emisiones del proceso son equilibradas con el CO<sub>2</sub> absorbido previamente por las plantas. (CER Certificado de Emisiones Reducidas, 2014.) Siempre y cuando se vuelva a restituir la especie que fue utilizada.

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

### **2.3.5 Huella ecológica y huella de carbono**

La huella ecológica es una herramienta contable que permite estimar los requerimientos en términos de recursos relacionados con la tierra y el agua, y la asimilación de los residuos para satisfacer las necesidades de una determinada población, entidad, región o país, expresadas en áreas productivas globales (Wackernagel y Rees, 1995). La huella ecológica, tiene subcomponentes, siendo la más significativa en función de su impacto directo en el cambio climático, la huella de carbono cuya participación en la huella ecológica alcanza casi el 50% (WWF, 2008). En Ecuador el Ministerio del Ambiente, a través de la Dirección de Información, Seguimiento y Evaluación, ejecuta, el proyecto Identificación, Cálculo y Mitigación de la Huella Ecológica del Sector Público y Productivo del Ecuador; mismo que se

encuentra priorizado por SENPLADES (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo) y que tiene como objetivo impulsar el consumo sustentable de recursos en el Ecuador a través de la identificación, cálculo y mitigación de la Huella Ecológica.

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

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

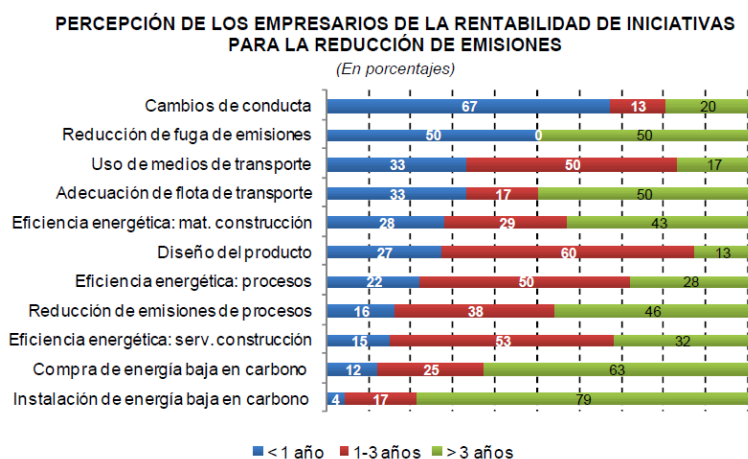
Podría decirse que son porcentajes bajos en relación a unidades presentadas por electricidad y transporte, sin embargo, en el sector de la construcción, existe sinergia con el área de la obtención de materiales, es decir el sector industrial al cual se hará referencia dejando por esta ocasión de lado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

El 5% de toda la producción mundial de CO<sub>2</sub> se debe a la fabricación del cemento, y este es un porcentaje que en años sucesivos no solo se mantendrá sino que se incrementará conforme se activen las economías emergentes. "Para cuantificar de una manera sencilla la aportación de cemento a la producción de CO<sub>2</sub> basta con echar un vistazo a los siguientes ratios: Cada tonelada de cemento producida por el sistema convencional produce una tonelada de CO<sub>2</sub>; es decir si en vez de cemento convencional, se produce cementos especiales se puede llegar a reducir la cifra de

emisiones de CO2 a 0,4 toneladas por tonelada producida". (Domoterra, 2013)

De acuerdo al "ranking" ambiental los mejores materiales para la construcción serían los compuestos de madera, el corcho o el ladrillo de arcilla aligerada. (Álvarez Clemente, 2010) Otra conclusión importante en madera que marca gran diferencia es el carbono secuestrado con ayuda de los árboles, lo que presenta una gran ventaja con relación a los productos competidores.

De acuerdo a una encuesta realizada por la CDP (Carbon Disclosure Project), en relación a rentabilidad de inversiones para reducción del cambio climático, como se observa en la siguiente figura, la construcción presenta mejores perspectivas a mediano plazo de 1 a 3 años, pero es significativamente menor en tiempos menores a 1 año.



Fuente: CDP, Supply Chain Report 2013.

**Figura 9. Percepción de rentabilidad de iniciativas para reducción de emisiones**

**Fuente: (CDP Carbon Disclosure Project, 2013)**

### **2.3.7 Riesgos en la salud humana por los materiales de construcción**

Los materiales y los componentes con los que se construye el edificio pueden ser una fuente de materiales problemáticos, como pueden ser los tratamientos químicos aplicados a diferentes materiales, que se evaporan en la atmósfera del edificio. Los sistemas de control ambiental y otros servicios incrementan la comodidad y salubridad de los ambientes en los edificios. Se incluye aquí otro aspecto importante, que es la utilización de productos químicos dañinos a la capa de ozono como son los clorofluorocarbonados (CFC), hidroclorofluorocarbonados (HCFC) y halones utilizados principalmente en refrigeración, que se son factores indirectos para merma de la salud humana y deterioro del ambiente. (Pere, 1997)

### **2.3.8 Parámetros de no toxicidad**

Es importante definir primero el concepto de toxicidad. De acuerdo a la OMS, en 1981 estableció que una sustancia es tóxica cuando puede causar algún tipo de lesión a un organismo viviente y de ahí se puede separar en definiciones de muy tóxica cuando hace daño con cantidades muy pequeñas y baja toxicidad cuando produce daño con cantidades muy grandes. 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.



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

Desde la creación de un proyecto se puede prever los desechos y contaminantes que su construcción generará por lo que se puede identificar los desechos tóxicos que deben ser cuantificados para su no utilización como el asbesto, PVC, plomo, etc. En la construcción se pueden definir los productos tóxicos bajo dos perspectivas: residuos generados y etapas de construcción. A continuación se indican dos cuadros donde claramente se especifica los residuos generados durante el ciclo de vida de una construcción. Y las sustancias tóxicas utilizadas en todas las etapas de construcción de una edificación.

De ahí la idea de utilizar materiales alternativos para la construcción así como desarrollar tecnología que mejoren los procesos de fabricación de los mismos elementos y de nuevos con mejores resultados de sostenibilidad y respeto al ambiente.

### **2.3.10 Materiales biológicos**

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

- ✓ Palma africana

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

## **2.4 Características de los materiales de construcción**

### **2.4.1 Coeficiente de conductividad térmica**

El coeficiente de conductividad térmica, es el parámetro que indica el calor cedido en una superficie. Se representa por el símbolo  $\lambda$  (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 C177-13 (ASTM International, 2013).

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

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

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

Se sigue que, para un gradiente de temperatura establecido  $\frac{\partial T}{\partial x}$ , el flujo de calor por conducción  $q_x^n$  aumenta con el incremento de la conductividad térmica  $k$ .

La conductividad térmica de un sólido es mayor que la de un líquido, que a su vez es mayor que la de un gas. La conductividad térmica de un sólido puede ser más de cuatro órdenes de magnitud más grande que la de un gas. (Incropera & De Witt, 1996) Esta propiedad depende de la estructura física de la materia, atómica y molecular, que se relaciona con el estado de la materia.

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

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

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

#### **2.4.1.1 Método de la lámina caliente**

“Las normas indican que para calcular el coeficiente de conductibilidad térmica se debe fabricar un aparato llamado de placa caliente, que como su nombre lo indica consiste esencialmente en una fuente caliente constituida por una placa calefactora que comprende una parte central y un anillo de guarda separados por un espacio no mayor de 3mm. Esta fuente caliente está colocada en el centro del equipo. La fuente caliente se alimenta por medio de 4 conductores eléctricos (2 que van a la parte central y 2 que van al anillo de guarda). Estos conductores van conectados a 2 variadores de tensión que permiten una alimentación progresiva de la corriente eléctrica que irá calentando paulatinamente la placa caliente. De este circuito eléctrico se medirán permanentemente la tensión y la corriente. A ambos lados de la placa caliente se colocan 2 placas de material conductor (preferentemente cobre, pudiendo utilizarse aluminio u otros) con el objeto de formar una superficie homogénea de transmisión del calor. Luego, saliendo hacia fuera se colocan sendas probetas del material a experimentar, y luego de las probetas, hacia fuera, se colocan planchas que hacen de fuente fría. Estas fuentes frías tienen serpentines por donde circula el agua de la red a efectos de mantener constante la temperatura. En ambas caras de la probeta a ensayar deben colocarse termocuplas en número suficiente para registrar permanentemente las temperaturas de la cara fría y de la cara caliente. Todo en conjunto va rodeado de un material aislante para que no se produzcan fugas de calor al exterior. Se forma así una especie de emparedado horizontal formado por varias capas, donde el calor se produce eléctricamente en el centro y se va transmitiendo hacia ambos lados externos por conducción" (Martina, Aeberhard, Aeberhard, & Corace, 2011).

## **2.4.2 Coeficiente de transferencia de cerramientos**

### **2.4.2.1 Coeficiente de transferencia**

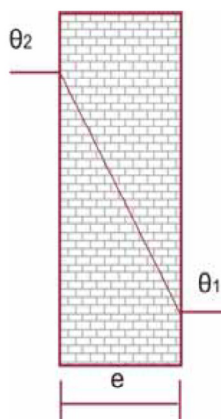
“Transferencia de calor es la energía en tránsito debido a una diferencia de temperaturas”. Siempre que exista una diferencia de temperaturas en un cuerpo o entre cuerpos, debe ocurrir una transferencia de calor.

Cuando existe un gradiente de temperatura en un medio estacionario que puede ser un sólido o un fluido utilizamos el término conducción para referirnos a la transferencia de calor que se producirá a través del medio. En cambio, el término convección se refiere a la transferencia de calor que ocurrirá entre una superficie y un fluido en movimiento cuando están a diferentes temperaturas.

El tercer modo de transferencia de calor se denomina radiación térmica. Todas las superficies con temperatura finita emiten energía en forma de ondas electromagnéticas. Por tanto, en ausencia de un medio, existe una transferencia neta de calor por radiación entre dos superficies a diferentes temperaturas (Incropera & De Witt, 1996).

El coeficiente de transferencia de calor, es una aproximación que “representa” las condiciones reales de flujo, sus propiedades y la geometría del sistema. Siempre que un objeto esté a una temperatura distinta que su ambiente, habrá transferencia de calor por convección.

$$q = (\theta_2 - \theta_1) \cdot \frac{\lambda}{e}$$



siendo:

$q$ : flujo de calor por conducción, por unidad de superficie y de tiempo. [ $\text{w/m}^2$ ]

$\lambda$ : coeficiente de conductividad. [ $\text{w/mK}$ ]

$e$ : espesor del elemento (m)

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

**Figura 10. Gráfico de transferencia de calor**

**Fuente: (Incropera & De Witt, 1996)**

Una de las características de un cerramiento que define eficiencia energética se le otorga a la temperatura de bienestar interna, el garantizar una estancia confortable en este sentido disminuye significativamente las necesidades energéticas aplicadas tanto para calefacción como para enfriamiento. Para comprobar el resultado térmico de un material de cerramiento, es importante conocer cuál es su coeficiente de transferencia térmica (K). Entonces es importante conocer tanto la capacidad de aislamiento de un material sí como su capacidad de acumulación.

El coeficiente de transferencia térmica K al combinarlo con el concepto de coeficiente de conductividad térmica nos dice que K es la cantidad de calor que pasa por un metro cuadrado de cerramiento cuando las temperaturas a ambos lados difieren un grado de temperatura, siendo sus unidades

[W/m<sup>2</sup>°C ó°K]. Es decir, cuando mayor es el valor de K, más rápido se transfiere el calor a través de un cerramiento. Para el cálculo de K es importante definir el tipo de cerramiento de acuerdo a la aplicación, tenemos entonces: cerramientos simples, compuestos, con cámara de aire ventilada y no ventilada, de espesor variable y la combinación de todos estos.

El cálculo de K se lo realiza mediante la relación de resistencias térmicas de los materiales que están dadas por el inverso de la conductividad de dichos materiales, más el inverso de los coeficientes superficiales de transmisión.

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

#### **2.4.2.2 Conductividad térmica en bloques**

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

En el siguiente cuadro muestra la comparativa de la conductividad de distintos materiales.



Tabla 1.

**Comparativa de conductividad térmica para diferentes materiales de construcción**

TABLA DE CONDUCTIVIDADES TERMICAS DE VARIOS MATERIALES CONSTRUCTIVOS	
MATERIAL	CONDUCTIVIDAD TERMICA (W/M·°C)
Aislante térmico típico	0,023...0,057
Bloque termoarcilla	0,20...0,25
Fábrica de ladrillo hueco	0,49
Fábrica de ladrillo perforado	0,76
Fábrica de ladrillo macizo	0,87
Mortero de cemento	1,40
Hormigón armado	1,63
Roca compacta	3,50

**Fuente: (Neila & Bedoya, 1997)**

### 2.4.2.3 Conductividad térmica en placas (muros y techos)

En la investigación realizada en Kyoto por Widyorini y Umemura, en el año 2005 se determinaron las propiedades del bagazo de caña y desarrollaron un tablero de aislamiento térmico sin aglomerantes utilizando un sistema de prensado en caliente a temperatura de 180°C. Las densidades de los tableros elaborados sin aglomerante fueron relativamente altas, alrededor de 1,34 a 1,36 g /cm<sup>3</sup>. Los resultados mostraron que la médula del bagazo proporciona alta resistencia a la flexión en comparación con el bagazo desmenuzado.

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

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

### **2.4.3 Resistencia**

#### **2.4.3.1 Resistencia en bloques**

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

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

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

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

**Bloque de Hormigón celular.** El hormigón celular conocido también como hormigón espumoso o aireado, se trata de un hormigón muy liviano, constituido por una matriz solida de cemento que contiene en su interior un

conjunto de pequeñas burbujas de aire distribuidas uniformemente en la mezcla y formadas por la adición de un agente en base de aluminio.

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

De acuerdo a la investigación realizada para determinar la resistencia de los bloques, se encontró que existen tres diferentes fuerzas o resistencias principales a las cuales se puede someter a los bloques macizos, estas son: resistencia a la tracción, resistencia a la flexión y resistencia a la compresión. En el presente trabajo referimos únicamente la resistencia a la compresión.

**Resistencia a la Compresión.-** Capacidad del material para resistir a las fuerzas que intentan comprimirlo o apretarlo. El esfuerzo de compresión es la resultante de las tensiones o presiones que existe dentro de un sólido deformable o medio continuo, caracterizada porque tiende a una reducción de volumen o un acortamiento en determinada dirección. El ensayo para determinar la resistencia a la compresión en los bloques para la construcción, es el más importante, por ser este el esfuerzo con el que normalmente trabajan los bloques, y esta normado en la mayoría de los países como es el caso del Ecuador.

El sistema constructivo del Ecuador utiliza los bloques huecos de hormigón para el cerramiento de las viviendas (paredes), incluso según el INEN define a los bloques de hormigón como elementos paralelepípedos que, dependiendo de sus dimensiones, tendrán uno ó más huecos

transversales interiores. Mientras que a los bloques macizos o sólidos, llamados adoquines, los utiliza para la construcción de pasos peatonales, estacionamientos y calles.

Por esta razón la normativa Ecuatoriana tiene parámetros de resistencia mínima a la compresión bastante altos para los bloques macizos entre 20 MPa y 40 MPa, mientras que la resistencia mínima para los bloques huecos de hormigón que se usan para paredes son de máximo 6 MPa con un mínimo de 2 MPa para mampostería liviana.

Para el análisis de resultados se utilizan los parámetros de resistencia a la compresión dados en la norma INEN 643 para los bloques huecos de hormigón que son los usados para la cerramientos (paredes) de viviendas (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1993). El objetivo del ensayo es aplicar una carga progresiva de compresión a un bloque macizo hasta que este no soporte más carga y falle. Este ensayo permite determinar la resistencia de un bloque a compresión mediante la utilización de una máquina de compresión.

#### **2.4.4 Durabilidad. Pérdida de prestaciones**

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

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

## 2.5 Aislantes térmicos

### 2.5.1 Aislantes térmicos convencionales

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Productos naturales:** son ecológicos porque precisan de leves procedimientos de manufactura, pero necesitan ser tratados contra insectos y hongos y ha de tenerse la precaución de que no se saturen de agua porque pierden sus propiedades aislantes: Corcho, Celulosa, Lana de oveja, Lino o cáñamo, Serrín y Paja

Tabla 1.

## Aislantes térmicos comunes

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

Continúa →

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

Fuente: (IVE Instituto Valenciano de la Electrificación, 2011)



## CAPÍTULO 3

### 3. BIOMASA CAÑA DE AZÚCAR

#### 3.1 Biomasa bagazo de caña de azúcar

##### 3.1.1 Descripción de la biomasa

En 2005, la superficie total sembrada de caña de azúcar fue de 135.000 hectáreas que se distribuían en tres derivados principales: 75.000 hectáreas para azúcar, 50.000 hectáreas para aguardiente y 10.000 hectáreas para etanol.

Para el Ecuador, en los últimos 30 años se observa la dependencia a una sola variedad "ragnar" de origen australiano. Esta variedad al 2008 ocupaba el 80% de la superficie cultivada, sin embargo la preocupación por las enfermedades y plagas a las que era susceptible, hizo que se cambie por una nueva variedad "nova caña" de origen colombiano que es superior en rendimiento a la "brasilia" o a la "puerto rico" dado que tiene más volumen en el tallo y jarabe (Figueroa, 2008).

La planta pertenece a la familia de las gramíneas (pastos). La caña es una planta con alta eficiencia fotosintética (la cuota oscila entre 150 y 200% sobre la media de otras plantas). Es un cultivo duradero y muy autocompatible. Según variedad y condiciones locales, la planta forma entre 4 y 12 tallos que pueden crecer hasta 3 a 5 metros de altura. El contenido de azúcar oscila entre 11 y 16%. Cuando se habla de cultivos pequeños, la caña ecológica es mayormente cultivada por pequeños agricultores en superficies de 0,1 a 3 hectáreas. Todos los trabajos se hacen a mano o con la ayuda de bestias de labor. Para la zafra se selecciona y corta sólo la caña

madura. Tanto hojas residuales como plantas inmaduras se quedan en el cañaveral. De esta forma la chacra nunca queda vacía, el suelo siempre permanece cubierto con una densa capa de rastrojo. Este sistema permite el cultivo sostenible de caña también en pendientes relativamente empinadas (Naturland, 2000).



**Figura 11. Planta de caña de azúcar**

**Fuente: (Bastidas, 2011)**



**Figura 12. Cosecha de caña**

**Fuente: (Agronoticias, 2012)**



**Figura 13. Cosecha y desechos de cosecha de caña de azúcar**

**Fuente: (Andes, 2015)**

Según el lugar de ubicación, una parcela ecológica de caña puede rendir a nivel óptimo 45 a 120 toneladas de masa verde. Al hacer el balance de nutrientes se debe tomar en cuenta que quedan grandes cantidades de residuos de la cosecha en la parcela. Cuando la caña se transforma en raspadura o en panela, quedan aproximadamente un 25% de biomasa sobre el campo, ya que una parte relativamente larga de la punta de la caña no se utiliza. En el procesamiento de azúcar bruto de caña el volumen de biomasa que queda en el campo representa aproximadamente un 20% del cultivo total (Naturland, 2000).

Ecuador produce 510.000 toneladas de azúcar que representan 1% del total producido en América. El rendimiento promedio es de 6.54 toneladas de azúcar por hectárea, más elevado que el promedio americano. El 63% de la producción de caña para la producción de azúcar está mecanizada. El resto, para la producción de panela y aguardiente no utiliza equipos y se lo hace de forma manual en pequeñas cantidades. El rendimiento en toneladas por hectárea de la caña de azúcar producida en Ecuador es de 78 toneladas por hectárea, menor a Colombia, Perú, Nicaragua y Guatemala (Figuerola, 2008).

El contenido de humedad del bagazo de caña varía según la velocidad y eficiencia de la molienda; por ejemplo en Colombia se encuentra entre el 50% al 52%, en el ingenio Valdez se estableció un contenido de humedad oscilante entre 49.36% al 53.26%. En las pilas de almacenamiento, debido a la evaporación esta humedad se encuentra alrededor del 50.96%. El contenido de fibra de la caña se encuentra entre el 12% y 14% para el ingenio Valdez. La cantidad de bagazo en una tonelada de caña es de aproximadamente 250 Kg. este porcentaje varía entre 24% al 28% del peso de la caña, es decir aproximadamente 1/4 de caña es bagazo. Para el ingenio Valdez este porcentaje se ha establecido en un 30%, es decir 1/3 es bagazo (Díaz, 2008).

### **3.1.2 Localización y cantidad**

El cultivo de caña de azúcar se da en tres regiones: Litoral, Sierra y Amazónica. La distribución por provincia del área cultivada con caña de azúcar, ordenada por tamaño, indica que el 90% de la superficie sembrada se concentra en 9 provincias siendo la del Guayas, en el Litoral, la de mayor extensión sembrada en el País. En Ecuador se tiene 6 ingenios azucareros principales:

**Ingenio La Troncal:** con 20.400 Has., con una producción de 3.131.200 sacos de 50kg, un promedio de rendimiento de 61 ton/Has. y un rendimiento sacos/toneladas de 1.94.

**Ingenio Valdez:** con 16.340 Has., con una producción de 2.472.000 sacos de 50kg, un promedio de rendimiento de 66 ton/Has. y un rendimiento sacos/toneladas de 2.28.

**Ingenio San Carlos:** con 20.400 Has., con una producción de 3.131.200 sacos de 50kg, un promedio de rendimiento de 61 ton/Has. y un rendimiento sacos/toneladas de 1.94.

**Ingenio IANCEM:** con 3.672 Has., con una producción de 420.000 sacos de 50kg, un promedio de rendimiento de 61 ton/Has. y un rendimiento sacos/toneladas de 1.86.

**Ingenio Monterrey:** con 1.653 Has., con una producción de 340.000 sacos de 50kg, un promedio de rendimiento de 101 ton/Has. y un rendimiento sacos/toneladas de 2.04.

**Ingenio Isabel María:** con 1.500 Has., con una producción de 250.000 sacos de 50kg, un promedio de rendimiento de 70 ton/Has. y un rendimiento sacos/toneladas de 1.76. (Figuerola, 2008)

### **3.1.3 Características**

#### **3.1.3.1 Características de la mezcla de biomasa**

De acuerdo a un estudio elaborado por el programa CYTED (Beraldo, 2011) el término CBC se designa al compuesto formado por biomasa vegetal y cemento. En este trabajo se indican importantes consideraciones para la creación de prototipos con mezcla cemento y biomasa vegetal tal como está concebida la presente investigación. En relación a la mezcla indica que debido a las características de cada biomasa, como su forma, su constitución, su capacidad física, depende el uso en conjunto con el cemento y la forma de elaborarlo ya sea a través de molde o compactación.

Indica también que un prototipo con biomasa vegetal y cemento lleva mayor tiempo en secado, pero su compactación muchas veces se ve aventajada por la cantidad acumulada de humedad de algunas biombras,

entendiendo en este sentido que muchas veces el compuesto es más susceptible cuando tiene menor cantidad de agua que cuando la tiene en exceso.

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

### **3.1.3.2 Posibles agentes destructores**

Para la fabricación de bloques con bagazo de caña es importante considerar que los residuos tienen una duración de siete días antes que comience a producirse bacterias del moho disminuyendo las características y durabilidad del bagazo. Para poder dar un mayor tiempo de estabilidad se recomienda hervirlo en agua, comprobando con este proceso una duración de 15 días antes del crecimiento del moho. Luego se procede al secado y almacenamiento en un lugar seco lejos de la humedad (Laguna, 2011).

Otro de los problemas que presenta la utilización de bagazo es la proliferación de plagas debido al alto contenido de azúcar, para lo cual se puede optar por dos opciones consideradas las más prácticas, el uso de cal viva o el lavado del bagazo (Pozo, 2011).

## 3.2 Posibilidades de aglomeración de la biomasa

### 3.2.1 En bloques o en masa

#### 3.2.1.1 Con aglomerante cemento

Para la fabricación de bloques con bagazo se puede optar por varias opciones de elaboración de bloques. Desmenuzando al bagazo en pequeñas fibras, las mismas que son colocadas al final del proceso de mezclado del concreto, evitando así que absorban mayor cantidad de humedad (Reyes Bañuelos, 2008). Este proceso mejora la resistencia del bloque pero no se analiza su influencia sobre las características térmicas.

En Ecuador, para la elaboración de bloques se utiliza como referencia la norma INEN 638 que establece usos y dimensiones para los mismos (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1993).

#### Cuadro 1.

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

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

Fuente: (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1993)

En ensayos realizados en Ecuador con bagazo se ha optado por la elaboración de bloques de alto 20 cm, ancho 15 cm y largo 40 cm con trozos de bagazo obtenidos con una picadora vegetal (Pozo, 2011). En dicho trabajo recomienda a parte de la biomasa de bagazo, adicionar agregados alivianados como la piedra pómez o cascajo. Experimenta con tres tipos de dosificaciones que de biomasa que varían de 1 a 3. Los resultados obtenidos indican que de acuerdo a las normas INEN con estas dosificaciones se obtienen bloques del tipo C y D utilizados para mampostería liviana (Pozo, 2011).

Existe referencias de tratamiento de bagazo para fabricación de bloques con seis sustancias (aceite de linaza, aceite de linaza más resina natural, parafina, parafina más resina natural, sellador para madera) para impregnar unas muestras de fibra. Se utilizan dos relaciones de agua-cemento (a/c): 0.65 y 0.35. Los especímenes de concreto se refuerzan con fibra sin tratamiento y con fibra impregnada con las sustancias al 1% del volumen total de la mezcla. La cantidad de fibra se investigó probando porcentajes del volumen total de la mezcla: 0.5, 1, 1.5 y 2 por ciento. Todos los especímenes se ensayaron a 14 días (Hernández R. , 2008). La impregnación con los aceites se realizó por inmersión de la fibra seca en la sustancia a 80°C durante 5 min, posteriormente la fibra se sumerge en la misma sustancia a 24°C durante el mismo periodo de tiempo (Hernández R. , 2008).

### **3.2.1.2 Aditivos**

Como aditivos primarios se utilizan el cemento, como referencia para todas las combinaciones que se realizan y ensayan, y la cal hidráulica natural (compuesta por silicato bicálcico fragua en presencia de agua y desarrolla resistencia a corto plazo) como base a todas las combinaciones.



La elección de la cal hidráulica frente a otro tipo de cal más usual (cal viva) se debe únicamente a razones medio ambientales ya que se trata del tipo de cal más respetuosa con el medio ambiente. La cal hidráulica es la única ecológicamente aceptada por su procedencia natural y mínimo impacto ambiental, es considerada un material ecológico para su uso en bioconstrucción (Laguna, 2011).

La cal hidráulica natural empleada se clasifica según la norma UNE-EN 459-1, 2, 3 como NHL-5. También conocida vulgarmente como “cal sucia”, debe esta denominación a que se utiliza en la fabricación de la misma, un 20% de arcilla como materia prima. Como consecuencia de la calcinación de la arcilla se forman, entre otros,  $\text{SiO}_2$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$  los cuales le confieren a la cal la capacidad de fraguar en contacto con el agua lo que la convierte en un aditivo con capacidad cementante y un poderoso conglomerante hidráulico .

### **3.2.2 En placas o tableros**

#### **3.2.2.1 Con aglomerante**

Al hablar de placas o tableros, se tienen diferentes tipos cada uno con características diferentes. Para biomasa se puede utilizar tableros de partículas, de láminas y de fibras (Casias, 2013).

**Tableros de partículas.-** se fabrica mediante la aplicación de presión y calor sobre partículas de madera añadiendo un adhesivo. El tablero de partículas es también conocido como tablero aglomerado.

**Tablero de láminas.-** se obtiene a través del encolado de láminas de madera superpuestas de madera que sus fibras formen un determinado

ángulo. Por lo regular están formadas por láminas impares, ya que con esto equilibrarían su estructura y comportamiento además de facilitar su curvado.

**Tablero de fibras.-** Formado por fibras que se unen entre sí con la utilización de un adhesivo y la aplicación de calor o presión. Estos tableros también se los denomina "tableros de fibras fabricados por proceso seco". El contenido de humedad de las fibras en el momento de su elaboración debe ser menos al 20% de humedad.

De acuerdo a trabajos realizados en Ecuador (Casias, 2013), para la elaboración de tableros en base a bagazo de caña, es recomendable que estos residuos no sobrepasen los 7 mm de espesor. El adhesivo que se utilizó para la fabricación de paneles es el cemento tipo portland y cola que servirán para brindar una conformidad al tablero. Para la fabricación de un panel se necesitan bagazo, cola o goma blanca, cemento, fibra de vidrio y aceite quemado. El aceite quemado es utilizado para untar el molde, no forma parte constituyente del tablero. No se recomienda realizarlo únicamente con bagazo triturado porque no cumple con ensayos de resistencia. El panel fusionado con cola o goma blanca tiene mejores resultados al utilizar prensado con calor. El tablero fusionado con cola o goma y cemento igualmente tiene mejores resultados con el prensado con calor (Casias, 2013).

Los tableros con mejores resultados fueron los prensados al calor con goma y el formado con goma o cola y cemento; siendo este último el que mejores ventajas presenta a la deformación con presión. La desventaja es el peso obtenido por el cemento. Las características del tablero de bagazo son (Casias, 2013):

- ✓ Fabricación con fibras colocadas perpendicularmente para incrementar consistencia en la estructura.
- ✓ Los residuos de caña no sobrepasan los 7mm de espesor.
- ✓ Se utilizan como adhesivos cemento tipo portland y cola (goma).
- ✓ El tablero elaborado únicamente con cola necesita un molde que permita presionar la muestra por un tiempo aproximado de 24 horas.
- ✓ Las muestras se secan al horno.
- ✓ Los tableros de bagazo triturado (desmenuzado en fibras) no presenta con ningún adhesivo (cola y cemento) buenos resultados porque tienden a quebrarse haciéndolos muy débiles (Casias, 2013).

### **3.2.2.2 Aditivos**

Los aditivos son colocados durante la fabricación para mejora de sus propiedades como ceras para aumentar su repelencia a la humedad, productos ignífugos, productos insecticidas o fungicidas y endurecedores. En el caso de los tableros de caña de azúcar se recomienda el uso de cal, fungicidas naturales propios de la zona y el propio cemento.

### **3.3 Propuesta de Aglomerante**

De acuerdo a trabajos anteriores realizados con biomasa y en virtud de que la biomasa bagazo de caña se encuentra mayoritariamente en regiones con clima tropical, la propuesta de aglomerante es el cemento.

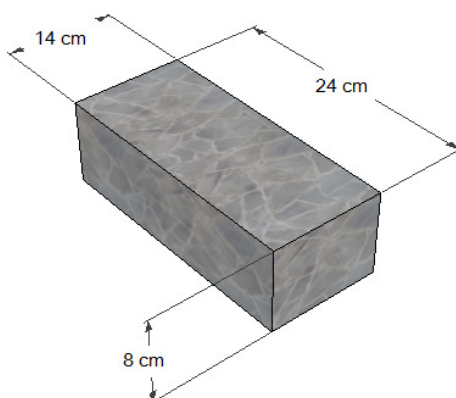
Se justifica su utilización debido a que el proyecto es desarrollado para fabricación en cantidades pequeñas destinadas al consumo sectorial en construcción de viviendas propias. El cemento, es el producto por sí que es más accesible para su adquisición.

El cemento es el producto de la mezcla de clinker, yeso y otros aditivos. El clinker es el resultado de la calcinación de calizas y arcillas que son extraídas de las canteras.

Asegurando el uso de cemento, el siguiente paso es conocer la forma con la que se combinará con la biomasa, es decir, en fragmentos grandes, en fibras, etc. Para la obtención de esta combinación y para obtener las proporciones finales con las que se realizan los ensayos experimentales del siguiente capítulo, se realizaron varios ensayos preliminares que se describen en esta sección. En el presente trabajo no se consideraron los aditivos como la cal o la utilización de fungicidas.

### 3.3.1 Ensayo de bloques de cemento a base de bagazo de caña de azúcar

Para los primeros ensayos se procede a realizar bloques de cemento a base de bagazo de caña de azúcar, para este caso el bloque de cemento tiene las siguientes medidas: Alto 8 cm; Largo 24 cm y Ancho 14 cm.



**Figura 14. Medidas del bloque de cemento**

El bagazo fue seleccionado y cortado de manera que cumpla con las siguientes medidas: 10 cm de largo por 2 cm de ancho y grosor de 0,5 cm.



**Figura 15. Medidas de la fibra de bagazo seleccionada**

El bagazo fue lavado y posteriormente remojado en agua por 24 a 48 horas y secado al ambiente por 7 días.



**Figura 16. Tratamiento de las fibras de bagazo**



**Figura 17. Elementos que conforman el bloque de cemento**

Las proporciones adicionadas para la fabricación del bloque a base de bagazo de caña se describen a continuación:

**Tabla 2.**

**Peso y porcentajes de la mezcla para ensayo B03**

<b>Materiales</b>	<b>Peso en gramos</b>	<b>Porcentaje</b>
Bagazo	1096	28.11%
Cemento	2144	55.00%
Agua	658	16.88%
<b>Total</b>	<b>3898</b>	<b>100%</b>

Con los pesos y porcentajes respectivos se procede a mezclar los elementos hasta obtener una masa homogénea, posteriormente se coloca la mezcla al molde fabricado de madera con las dimensiones antes especificadas, una vez que es compactado la mezcla en el molde se somete al tiempo de secado. A este ensayo inicial se lo denominó B03.



**Figura 18. Fotografías finales del bloque de cemento**

Tabla 3.

## Resultado de evaporación de humedad del bloque B03

Muestra	Peso inicial (g)	Edad 20 días (g)	% evaporación
B03	3898	2910	25.3

## 3.3.1.1 Conclusiones de los ensayos de bagazo de caña B03

B03 ocupa una cantidad considerable de cemento y su evaporación es 25%. A los 16 días de edad no se evidencia presencia de moho u hongos en su estructura.



Figura 19. Bloque de bagazo B03

## 3.3.2 En placas

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

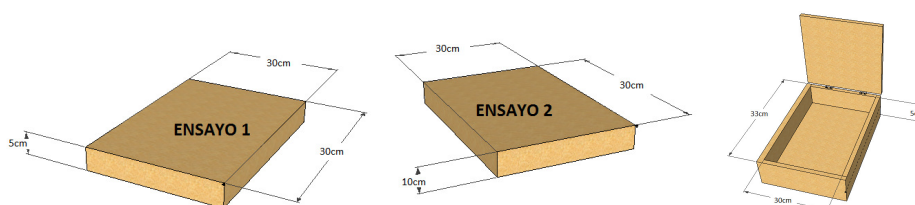
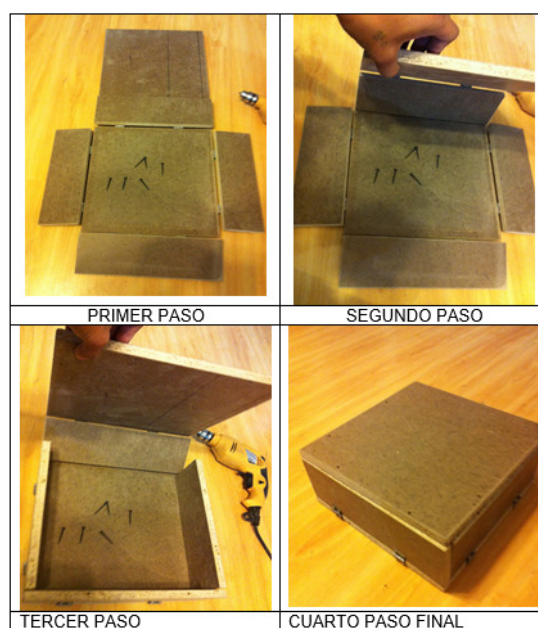
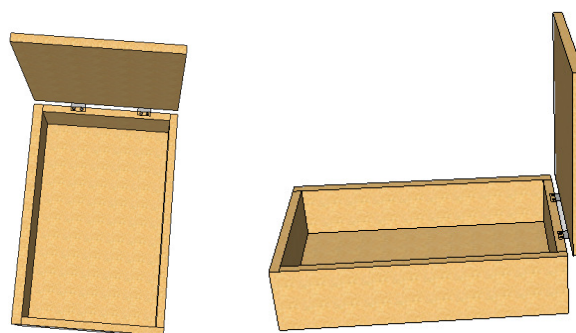


Figura 20. Medida de los paneles aislantes



**Figura 21. Elaboración de molde para la fabricación de los paneles aislantes**

Se fabrica un molde básico de madera de tal manera que se despliegue en sus cinco cuadrantes, de esta forma se facilita la apertura para despegar el panel del molde de madera.



**Figura 22. Vista del molde para la fabricación de los paneles aislantes**

Al ser el molde de madera no favoreció en el tiempo de secado ya que uno de los elementos naturales de secado es la radiación solar, pero la madera actuaba como un aislamiento que no permitió la transferencia de



calor, entonces el tiempo de secado promedio fue de 3 días. Entre las principales desventajas se describen:

- ✓ No permitió la evaporación de condensados, producto de la mezcla del pegamento con el agua.
- ✓ Hubo demasiado consumo de cola blanca.
- ✓ No se tuvo buenos resultados de compresión de la biomasa en el molde.

El aglomerante utilizado en los ensayos de tableros de bagazo de caña fue el pegamento blanco (cola o goma), llamada cola blanca o cola vinílica. Este aglutinante ayuda para la fabricación de los paneles aislantes ya que produce una excelente adhesión con una alta resistencia.

### 3.3.2.1 Ensayo 1 para placas o tableros: P01

Para la fabricación del tablero al que se denominó P01 se determina trabajar con fragmentos de bagazo con longitudes de 30 cm de largo como lo indica la siguiente figura:



**Figura 23. Medidas del bagazo de caña para ensayo P01**

Para este ensayo utiliza el molde con medidas de 30 cm x 30 cm x 10 cm, para ello se distribuye el material a utilizarse en las proporciones indicadas a continuación.

**Tabla 4.**

**Peso y porcentajes de la mezcla para ensayo P01**

Materiales	Peso en gramos	Porcentaje
Bagazo de caña	1215	75.23%
Pegamento polivinílico	400	24.76%
<b>Total</b>	<b>1615</b>	<b>100%</b>



**Figura 24. Medidas del peso de los elementos para ensayo P01**

Se procede a armar el molde y se aplica una capa de grasa biodegradable a las paredes del molde, esto ayuda a que al momento de despegar el panel no se adhiera a la madera del molde y se destruya.

Con una brocha se coloca una capa fina de cola blanca y se va ordenando uno encima de otro. Una vez en la posición adecuada se elimina los residuos de pegamento con un trapo, y seguidamente se presiona ambas piezas mientras se seca el pegamento. Este proceso como se observa lleva un tiempo considerable de fabricación.



**Figura 25. Proceso de fabricación del panel aislante para ensayo P01**

Una vez terminado el trabajo se procede a llevar el molde a un tiempo de secado al ambiente con Sol, aproximadamente 24 horas, una vez transcurrido ese tiempo se despega el panel y se procede nuevamente al secado al ambiente por otras 24 horas más.

### 3.3.2.2 Ensayo 2 para placas o tableros: P02

En esta prueba se utiliza los siguientes porcentajes:

**Tabla 5.**

#### **Peso y porcentaje de elementos**

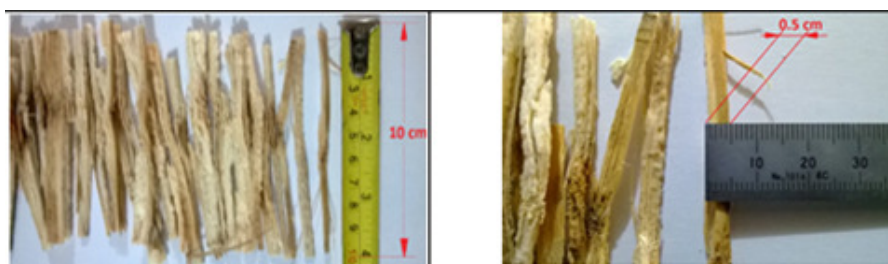
<b>Materiales</b>	<b>Peso</b>	<b>Porcentaje</b>
<b>Bagazo de caña</b>	770	50.65%
<b>Pegamento polivinílico</b>	750	49.34%
<b>Total</b>	1520	100%

El bagazo de caña de azúcar se desmenuza en filamentos, este trabajo es manual, se obtiene filamentos de longitudes promedio de 10 cm por 0,5 cm de grosor, se cronometró el tiempo de desmenuzando con una duración de 45 minutos. Se utiliza el molde de madera de 10 cm de alto.

En la figura siguiente se observa el peso de cada elemento con los que se construye los paneles de bagazo.



**Figura 26. Peso y porcentaje de aglomerados para ensayo P02**



**Figura 27. Medida de los elementos para ensayo P02**

Con la cantidad estimada de biomasa y cola blanca se mezcla en un recipiente donde se homogeniza ambos componentes.

Una vez terminado el trabajo se procede a llevar el molde a un tiempo de secado al ambiente con Sol, aproximadamente 24 horas, una vez transcurrido ese tiempo se despega el panel y se procede nuevamente a secado al ambiente por otras 24 horas más.

**Tabla 6.**

**Resultado de evaporación de humedad del bloque P01 y P02**

<b>Muestra</b>	<b>Peso inicial (g)</b>	<b>Edad 20 días (g)</b>	<b>% evaporación</b>
<b>P01</b>	1615	1280	20.7
<b>P02</b>	1520	860	43.4

**3.3.2.3 Conclusiones de los ensayos P01 y P02**

P01 es de fabricación sencilla, se propone la mejora con el cruce de bagazo en forma perpendicular y aplicando mayor presión a la muestra. Es importante identificar que P01 fue retirado del molde y el bagazo continuó su crecimiento hasta detenerse en un espesor de 20 cm. Luego de 30 días de su exposición al ambiente empezaron a notarse trazas de moho en la muestra. El espesor alcanzado indica una alta accesibilidad para su uso en muros o paredes interiores.

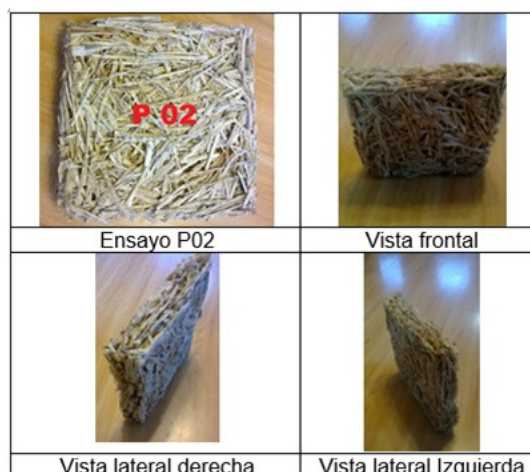


**Figura 28. Dato final de peso en ensayo P01**



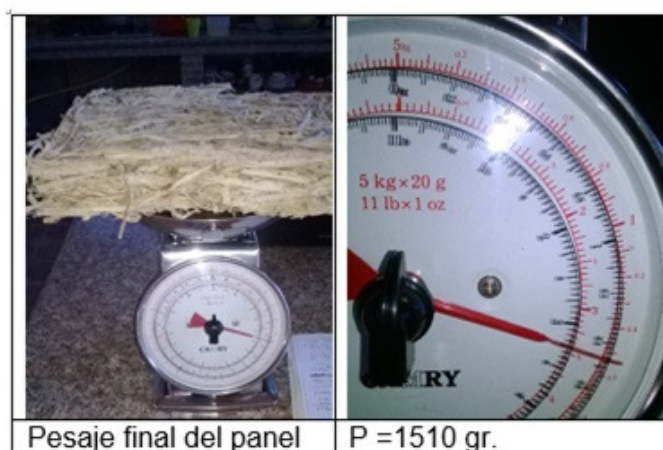
**Figura 29. Resultados obtenidos con el ensayo P01**

P02 es un panel muy frágil y susceptible a rupturas. A la edad de 16 días por la cantidad de cola utilizada ha provocado humedad en la muestra evidenciado en el incremento de olor a caña de azúcar y trazas de moho en su estructura. Para este caso el consumo de cola blanca de 750 g.



**Figura 30. Resultados obtenidos con el ensayo P02**

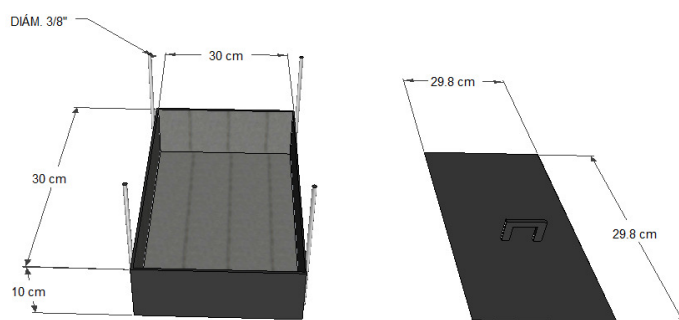
La diferencia por pérdidas de peso por efectos de evaporación del agua de la cola blanca fue de un 10% para este ensayo.



**Figura 31. Dato final de peso en ensayo P02**

### 3.3.2.4 Ensayo 3 para placas o tableros: P05

Para la realización de este ensayo se elabora un molde nuevo, que fue construido con la necesidad de aprovechar la radiación solar, se conforma de láminas de acero negro de 3 mm de espesor:



**Figura 32. Dimensiones de molde metálico para elaboración de paneles para ensayo P05**

Todas las uniones están soldadas herméticamente para impedir la fuga de pegamento durante el proceso de compresión.

El panel P05, con bagazo de caña de azúcar se elabora con dimensión de 30 cm x 30 cm x 5 cm. Este panel toma en cuenta las mejoras propuestas para el panel P01.



**Figura 33. Dimensiones de bagazo para ensayo P05**



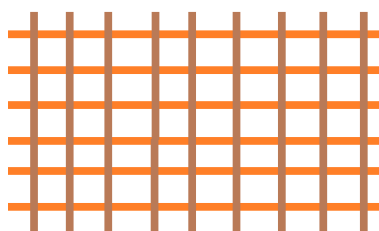
Para la fabricación del P05 se teje el bagazo en fragmentos en forma cruzada, la primera capa en una dirección y la otra al contrario, los porcentajes de peso y volumen se indican en la siguiente tabla.

**Tabla 7.**

**Peso y volumen de componentes para ensayo P05**

<b>Materiales</b>	<b>Volumen</b>	<b>Peso en gramos</b>	<b>Porcentaje</b>
Bagazo de caña	X	436	77,79%
Agua	50ml	25	4,46%
Pegamento polivinílico	90ml	98	17,48%
cemento	25ml	1,5	0,27%
<b>Total</b>		<b>560,5</b>	<b>100%</b>

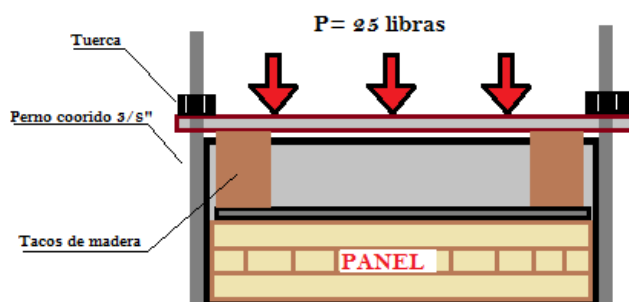
La estructura para el diseño del panel P05 consigue una mayor resistencia a rupturas.



**Figura 34. Configuración de las fibras para tablero de bagazo para ensayo P05**

El tablero con bagazo cruzado, se cubre con una capa de 90ml de pegamento mezclado con 50 ml de agua, se aplica con la ayuda de una brocha, todo el proceso de armado se realiza dentro del molde metálico.

Con las cuatro capas y un espesor de 6,25 cm, se procede a reducir su espesor a 5 cm con la ayuda del molde metálico, que tiene un sistema de compresión con cuatro pernos de 3/8" con tuerca y travesaños pasantes de extremo a extremo, el panel está diseñado para fabricar moldes con los espesores de 5 y 10 cm.



**Figura 35. Sistema de compactación para tablero**

Como el tablero debe tener una estructura homogeneizada previo a la realización de pruebas y como método de evitar humedad y formación de moho, se utiliza una pequeña capa de cemento como cubierta, otorgando buenos resultados finales.

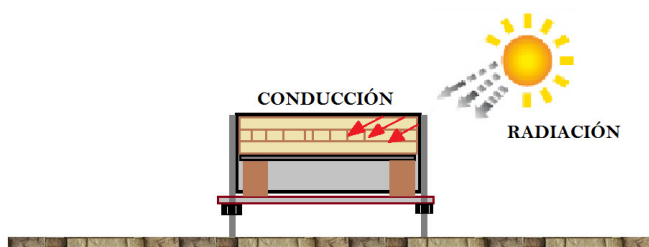


**Figura 36. Molde de metal y producto final de ensayo P05**

Gracias a la constitución del molde fabricado con una láminas de acero de 3 mm de espesor se logró obtener buenos resultados a la hora de secarlo, al ser metálico este tiene la capacidad de absorber de mejor manera

el poder calorífico que entrega el Sol en forma de radiación, así mismo el calor obtenido por la radiación solar es transferido al interior del molde secando más rápido el molde que se encuentra cubierto de pegamento líquido.

Al momento de secado se coloca el molde al inverso, así se distribuye de mejor manera la cola líquida, la radiación emitida por el sol es transformada en energía calorífica en las paredes del molde metálico.



**Figura 37. Proceso de secado con molde metálico**

La estructura propia del molde del tablero permite que sea desencofrado fácilmente. El peso del total del panel es de 490 gramos.



**Figura 38. Resultado de panel de ensayo P05**

### 3.3.2.5 Ensayo 4 para placas o tableros: P06

La construcción del P06 se basa en realizar un tejido de tiras de bagazo de caña de 30 cm solo a los extremos creando un marco y cerrando en la parte superior e inferior dejando un espacio en el centro del panel. Lo que se pretende es que el panel tenga la rigidez solo en la parte externa y formar un marco rígido, la forma es como una cubo done de su interior se coloca bagazo desmenuzado sin pegamento.



**Figura 39. Elaboración de panel P06**

Las medidas del panel son 30x30x15 cm



**Figura 40. Resultado de panel para ensayo P06**

Los porcentajes de mezcla en peso y volumen se indican en la siguiente tabla:

**Tabla 8.**

**Peso y volumen de materiales de elaboración de panel para ensayo P06**

<b>Materiales</b>	<b>Volumen</b>	<b>Peso en gramos</b>	<b>Porcentaje</b>
Bagazo de caña	x	558	81,94%
Agua	50ml	25	3,67%
Pegamento polivinílico	100ml	98	14,39%
Total		681	100%

### 3.4 Propuestas finales

Como se observa las secciones anteriores las pruebas descritas indican las diferentes mezclas y combinaciones; así como los moldes y sus materiales de fabricación para obtener las diferentes combinaciones de biomasa para placas o tableros. Así mismo, el ensayo de bloque P01 permitió observar las características que presenta la mezcla de biomasa y cemento, pudiendo concluir así que no se utilizarán procesos de mineralización previa (mezclado de biomasa con cemento), aditivos o fungicidas para efectos de realización de las muestras experimentales.

Consideraciones importantes:

- ✓ El aglomerante es el cemento, para bagazo de caña en trozos o fragmentos grandes en el caso de bloques. No se utiliza fibras porque a pesar de presentar mayor resistencia mecánica a la fractura, sus

cualidades térmicas se ven mermadas en comparación al uso de fragmentos grandes de caña.

- ✓ Para bagazo de caña se elaboran los paneles de 30 cm x 30 cm x 5 cm en el molde metálico descrito debido a que tiene la ventaja de poseer presión regulable y su condición metálica le permite utilizar el calor del sol para un mejor proceso de secado, así como su construcción por secciones permite el desencofrado de la muestra con facilidad.
  
- ✓ Se realizan tableros de bagazo de caña debido a la versatilidad que presenta esta biomasa para la elaboración de los mismos. Se los realiza en base fragmentos grandes de bagazo con aglutinante pegamento blando (cola o goma polivinílica). El ensayo de muestra a utilizar como propuesta final es el correspondiente a P05.

## **CAPÍTULO 4**

### **4. DESARROLLO EXPERIMENTAL**

#### **4.1 Determinación de las variables y parámetros de control**

La presente sección indica los parámetros básicos referenciales en los que se basa la parte experimental, y se analizan resultados de trabajos ulteriores referentes a bagazo de caña tanto en bloques como en placas o tableros. Los trabajos en referencia a cacao y sus resultados se utilizan únicamente con fines comparativos con la biomasa bagazo de caña, ninguna sección del trabajo de desarrollo para cacao consta este trabajo.

Para las variables básicas, se describe también la normativa encontrada con hormigón que servirá como referencia para los resultados que se deben obtener en la parte experimental. El desarrollo de los experimentos descritos se basa en la propuesta final indicada en el capítulo anterior, donde el aglomerante es el cemento para el caso de bloques de ambas biomásas y para tableros de bagazo de caña el uso de pegamento blanco (cola o goma polivinílica), ésta última es básicamente un pegamento elaborado en base a una mezcla de cadenas polivinílicas con base en el alcohol polivinílico.

Para el caso de bloque se consideran las pruebas de resistencia, absorción de humedad y ensayos de humectación/secado para evidenciar efectos de degradación. En cada una de estas variables se incluirán datos de ensayos referenciales que son usados para referenciar las pruebas y aceptar los bloques como aptos para su fabricación y uso dentro de viviendas.

#### 4.1.1 Conductividad

En el artículo técnico de la revista Conarquitectura (García-Ten, Silva, Cantavella, & Lorente, 2014) se rescatan conclusiones importantes que pueden ser utilizadas para evaluar los valores de conductividad térmica de los materiales de construcción con biomásas. Aquí se ensaya en prototipos en base de mezcla arcillas (A) y una serie de aditivos que fueron seleccionados en función de su coste, distribución geográfica y compatibilidad con el material cerámico. Los aditivos aligerantes ensayados en el presente trabajo fueron los siguientes: Residuos agrícolas: Orujillo (OR), Residuos de la industria papelera (PPL), Serrín (SRN), Coque (CK).

Para la preparación de las composiciones se mezclaron vía seca las distintas materias primas en los porcentajes adecuados. Los ensayos definen mezclas que en lo posible alcancen valores de la conductividad térmica del material cerámico inferiores a  $0.43\text{W/m}^{\circ}\text{K}$ . El procedimiento resumido indica que el material se amasó, y se dejó reposar durante 24 horas con el objeto de homogeneizar la humedad. Con estas masas se conformaron probetas por extrusión, de 75 mm de longitud, 100 mm de anchura y 10 mm de espesor. Los valores obtenidos de conductividad se realizan basados en la norma ISO 8894-2 Refractory material - Determination of thermal conductivity. Part 2: Hot-wire method (parallel) - método del hilo caliente-.

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



### **4.1.2 Humedad**

En esta sección se realiza énfasis en los trabajos realizados sobre las biomásas de estudio, principalmente el bagazo de caña de azúcar.

Humedad para bloques con bagazo de caña:

En el caso de probetas y bloques, de acuerdo a trabajos realizados (Pozo, 2011), se obtienen porcentajes de absorción entre 6% y 11% de acuerdo a dosificaciones de biomasa entre 1:3 y 1:2 en relación volumétrica cemento y biomasa con una referencia de muestra de control del 7% sin biomasa.

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

El ensayo de humedad no se realiza para el tablero o panel debido a su consistencia con pega (goma o cola) polivinílica y la susceptibilidad que la misma presenta ante la presencia de agua.

### **4.1.3 Resistencia**

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

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

De acuerdo a trabajos realizado en bloques en base a bagazo de caña se han encontrado valores (Reyes Bañuelos, 2008) en probetas de prueba con fraguados de 7,14 y 28 días obteniendo los siguientes resultados. La resistencia se encuentra en kg/cm<sup>2</sup>.

**Tabla 9.**

**Resultados de pruebas de resistencia a la compresión**

Contenido de Bagazo	Edad (días)			Edad (días)		
	Porcentaje (%)	7	14	28	7	14
0%	326,99	370,07	373,92	32,077719	36,303867	36,681552
2%	285,83	326,22	342,76	28,039923	32,002182	33,624756
4%	293,90	336,41	372,77	28,83159	33,001821	36,568737
<b>Unidades</b>	<b>kg/cm<sup>2</sup></b>			<b>MPa</b>		

**Fuente: (Reyes Bañuelos, 2008)**

**Tabla 10.**

**Resultados de pruebas de resistencia a la tensión**

Contenido de Bagazo	Edad (días)			Edad (días)		
	Porcentaje (%)	7	14	28	7	14
0%	30,01	31,93	32,1	2,943981	3,132333	3,14901
2%	28,06	29,98	30,73	2,752686	2,941038	3,014613
4%	28,45	30,44	32,05	2,790945	2,986164	3,144105
<b>Unidades</b>	<b>kg/cm<sup>2</sup></b>			<b>MPa</b>		

**Fuente: (Reyes Bañuelos, 2008)**

Semejantes resultados de resistencia a la compresión se obtienen del trabajo realizado por Hernández en el 2008.

**Tabla 11.**

**Resultados de pruebas de resistencia a la compresión**

Contenido de Bagazo	Edad (días)			Edad (días)		
	7	14	28	7	14	28
<b>Porcentaje (%)</b>						
<b>0%</b>	326,99	370,07	373,92	32,077719	36,303867	36,681552
<b>2%</b>	313,14	318,91	355,84	30,719034	31,285071	34,907904
<b>4%</b>	314,69	342,37	370,07	30,871089	33,586497	36,303867
<b>Unidades</b>	<b>kg/cm<sup>2</sup></b>			<b>MPa</b>		

**Fuente: (Hernández R. , 2008)**

Los resultados de estas pruebas fueron realizados con bagazo en fibras para incrementar la resistencia mecánica. En la presente investigación, los bloques son de uso para mampostería liviana, de acuerdo a la regulación ecuatoriana, normativa INEN 638, los bloques encajan en los tipos C y D (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1993).

#### **4.1.4 Forma**

##### **4.1.4.1 Aplicación en bloques**

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

**Tabla 12.****Norma INEN 638 para dimensiones de bloques**

TIPO	DIMENSIONES NOMINALES			DIMENSIONES REALES		
	largo	ancho	alto	largo	ancho	alto
A, B	40	20,15,10	20	39	19,14,09	19
C, D	40	10,15,20	20	39	09,14,19	19
E	40	10,15,20,25	20	39	09,14,19,24	20

**Fuente: (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1993)**

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

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

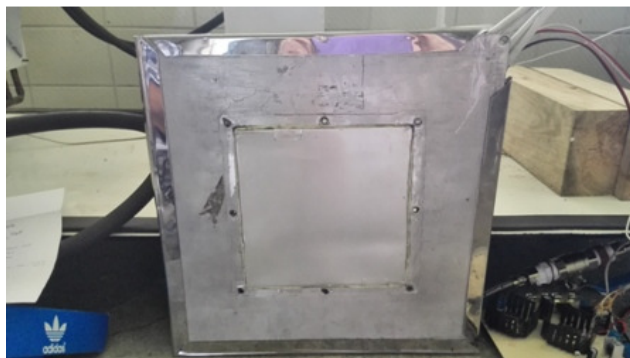
## **4.2 Materiales y equipo**

### **4.2.1 Aparato de medición de conductividad**

Para la medición de la conductividad se utiliza el aparato de medición de conductividad propuesto por la norma ASTM C177-13, que establece la metodología para medir el flujo de calor en estado "estacionario", para lo cual utiliza placas planas paralelas cuyo monitoreo de temperatura constante se lo realiza mediante el sistema de placa caliente (ASTM International, 2013).

La placa caliente es la parte del equipo encargada de transmitir el calor a través de la muestra hacia la placa fría. Ésta última, asegura la disipación de la energía transmitida y asegura un flujo de calor constante (Roldán, 2014).

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



**Figura 41. Placa caliente**

Para evitar pérdidas en el sistema de suministro de agua se elaboró un sistema cerrado que permite mantener un flujo y presión constante que permite el monitoreo constante mediante el uso de dos termómetros y un regulador manual de temperatura.



**Figura 42. Sistema de enfriamiento**

La regulación de temperatura de la placa caliente se lo hace a través de un circuito de control que regula la temperatura de la placa central y a través de programación hace que la temperatura de la periferie le siga, minimizando la diferencia de temperatura, haciéndola homogénea.

La variación de temperatura se la realiza a través de un pequeño reóstato y las medidas de voltaje y corriente de la placa interna se indican en dos multímetros independientes.



**Figura 43. Tarjeta de control de sistema de placa caliente**

La utilización de una prensa permite evitar todo contacto entre el material de la muestra y cualquier otro elemento que no sean las placas fría y caliente (Roldán, 2014).



**Figura 44. Máquina de medición de coeficiente térmico**

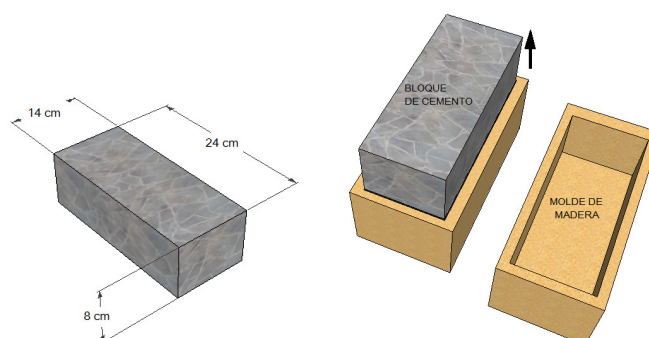
Las temperaturas registradas en las placas frías y la placa caliente determinan un gradiente que puede ser ajustado mediante la variación de la potencia eléctrica producto del cálculo entre el voltaje y la corriente que indican los multímetros descritos en el párrafo anterior.

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

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

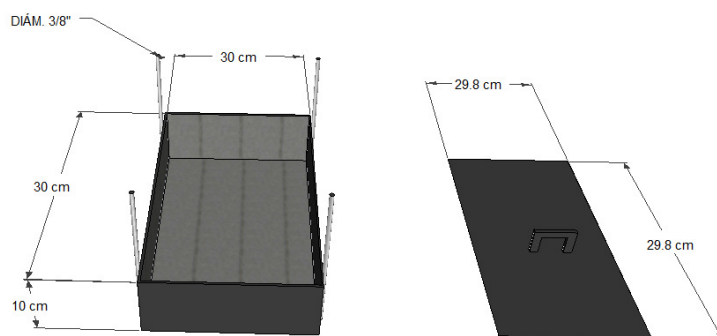
#### 4.2.2 Moldes y sistemas de prensado

Las pruebas se realizan con la elaboración de bloques y paneles, no se especifican las probetas de prueba de acuerdo a normativa, las pruebas de probetas indican más adelante para cada caso considerado. Los bloques se realizan en moldes de madera que estructurarán bloques de cemento con las siguientes medidas: Alto 8 cm, Largo 24 cm y Ancho 14 cm:



**Figura 45. Molde de madera para fabricación de bloques**

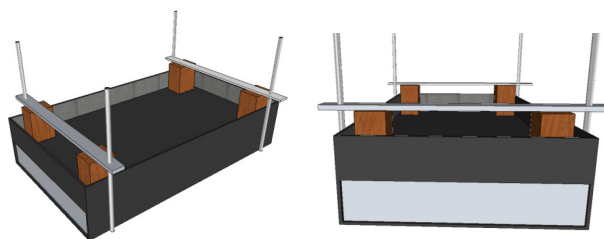
En el caso de paneles o tableros, se construye un molde que aproveche la radiación solar, es decir en base a láminas de acero negro de 3 mm de espesor.



**Figura 46. Molde de metal para tableros o paneles**



Todas las uniones fueron soldadas herméticamente para impedir la fuga de pegamento cuando lleguen a comprimirse. El volumen del molde es de  $9.000 \text{ cm}^3$ .



**Figura 47. Sistema de prensado del molde de metal**

#### **4.2.3 Prensa rompe cilindros de hormigón - Máquina de compresión**

Es una máquina de compresión hidráulica marca Soiltest modelo CT-710 que permite la realización de pruebas destructivas con probetas cilíndricas cuyas dimensiones en centímetros pueden ser de 15 x 30, 10 x 20 ó 25 x 50. El ensayo proporciona resultados de resistencia a la compresión y tiene una capacidad de 2000 kN.



**Figura 48. Máquina de compresión**

### **4.3 Protocolo de medición de las propiedades físicas, químicas y mecánicas.**

#### **4.3.1 Planificación y protocolo de medición de conductividad**

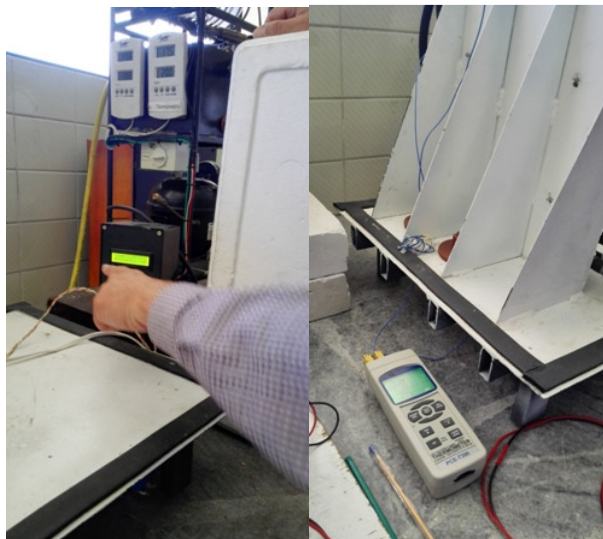
Como se indica en la sección anterior, el aparato de medición de coeficiente térmico requiere de la elaboración de dos placas de 30x30x5 centímetros de la biomasa bagazo. La elaboración de las placas se las realiza con el molde metálico descrito en la sección anterior. Las placas para esta prueba deben cumplir con las siguientes condiciones para un resultado exitoso de la prueba:

- ✓ Deben ser construidas a la par, es decir dos placas lo más semejante posible, con los procesos de mezcla, secado y curado bajo condiciones ambientales semejantes y con ingredientes semejantes (el mismo tipo de agregado - arena), es decir, se necesita la fabricación en serie de las dos placas.
- ✓ Deben emular las condiciones de las pruebas de resistencia, es decir tener la misma mezcla C, A, B (cemento, arena y biomasa) y los diferentes criterios tomados, bagazo en fragmentos no desmenuzados, cacao mineralizado o sin desmineralizar, etc.

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

1. Encender el sistema de enfriamiento y colocar el setting del regulador de temperatura a un nivel inferior a 12°C (este valor es referencial varía y se encuentra escrito en la hoja de cálculo para lograr la mayor diferencia

térmica entre las placas fría y caliente). El valor a utilizar para el cálculo es el indicado por el termómetro directamente en las placas frías.



**Figura 49. Encendido del sistema de enfriamiento**

2. Calentar la placa caliente de manera que tenga un valor semejante entre la placa caliente parte interna y la placa caliente periferia, se realizan pruebas y aproximadamente se llega a un valor máximo de 30°C por limitación del equipo. El diferencial debe ser lo mínimo posible menor a un centígrado.

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



**Figura 50. Comprobación de temperaturas en placa caliente**

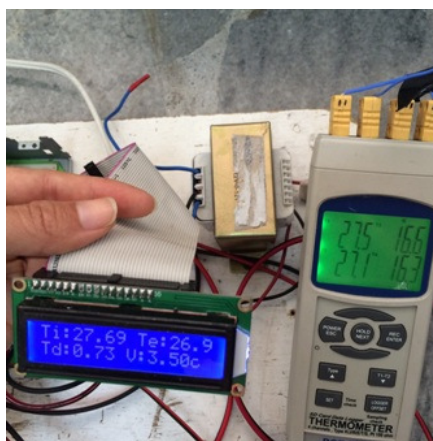
3. Antes de colocar el material es importante tomar los siguientes datos iniciales indicados en la tabla de experimentación indicada en el Anexo 1: temperaturas de las placas fría y calientes, voltaje y corriente de la placa caliente interna, porcentaje de humedad relativa, temperatura ambiente, peso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

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



**Figura 51. Instalación del material de prueba en el equipo**

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



**Figura 52. Estabilización de temperaturas entre placa fría y placas calientes**

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

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

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

9. Realizar el cálculo correspondiente de coeficiente teniendo en cuenta el análisis dimensional [W/°K.m], como referencia en muchas tablas se encuentra el coeficiente de conductividad térmica en [kcal.m/°C.h.m<sup>2</sup>].

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

De acuerdo a la normativa ASTM C1045 se tiene en cuenta la siguiente fórmula para el cálculo de coeficiente térmico (ASTM International, 2013):

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

Siendo:

$\lambda$ : coeficiente de conductividad térmica [W/°K.m]

A: el área normal a la dirección del flujo [m<sup>2</sup>]

L: espesor de la placa [m]

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

T<sub>c</sub>: Temperatura de la placa caliente [°K]

T<sub>f</sub>: Temperatura de la placa fría [°K]

Se debe tener en cuenta para el cambio de unidades que: Joule (kgm<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>) = W.s = 0.2389 cal

De acuerdo a los datos obtenidos en la prueba de yeso empapelado los valores obtenidos son los siguientes:

$$A = 0,15 \text{ cm} \times 0,15 \text{ cm} = 0,0225 \text{ m}^2$$

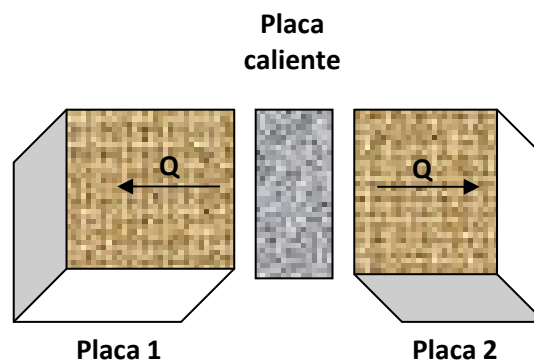
$$L = 1,5 \text{ cm} = 0,015 \text{ m}$$

V: voltaje entregado a la placa caliente [V] = 4,83 V

I: corriente entregada a la placa caliente [A] = 0,04 A

Debido a que la potencia entregada se divide en dos direcciones para las dos placas,  $V \times I$  tiene que ser dividida para 2.

$$Q = V \times I / 2 = 0,0966$$



**Figura 53. Repartición de flujo de calor entre muestras**

$$T_c = 41,7^\circ\text{C}$$

$$T_f = 19^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = 22,7^\circ\text{C} \text{ ó } ^\circ\text{K}$$

El valor de  $\lambda$  es entonces igual a 0,00946 W/°K.m

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

1. Yeso empapelado.
2. Tablero de bagazo de caña.

3. Muestras de mezcla de bagazo con cemento de acuerdo al mejor resultado de mezcla para la fabricación de bloque.
4. Bagazo en trozos de 2,5 cm con densidad 1.
5. Bagazo de trozos de 2,5 cm con densidad 2.

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

- ✓ Previo a colocar las muestras se realiza una envoltura de plástico para evitar pérdida por fugas, igualmente al colocar las probetas y la placa, se realiza una envoltura plástica en todo el grupo igualmente para evitar pérdidas por acción del aire.



**Figura 54. Envoltura plástica para evitar pérdidas**



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



**Figura 55. Pruebas de biomasa en trozos**

La densidad de ambos moldes se calcula de manera práctica dividiendo el peso de la biomasa para el volumen medido.

### 4.3.2 Planificación y protocolo de medición de humedad

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

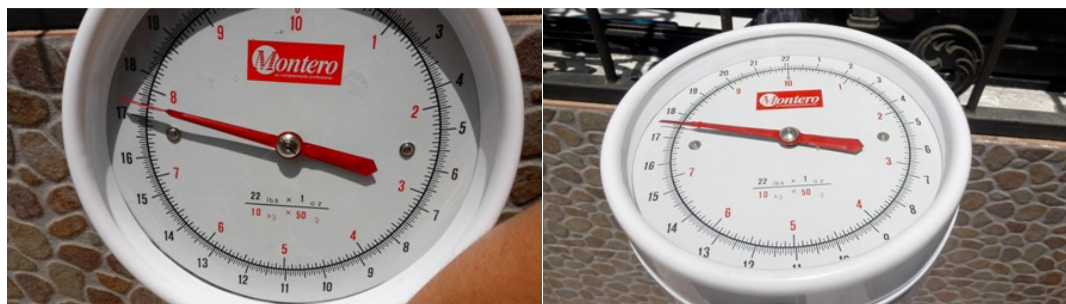
Como procedimiento se indica:

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



**Figura 56. Prueba de humedad**

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



**Figura 57. Peso de la muestra húmeda**

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

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

Siendo:

A: Masa en húmedo del espécimen [kg]

B: Masa en seco del espécimen [kg]

Adicional al ensayo de humedad se realiza el protocolo de humectación/secado para evidenciar degradación del bloque por estos procesos. La normativa utilizada es la UNE 41410 y el procedimiento realizado se describe a continuación (AENOR, 2008):

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



**Figura 58. Pruebas de humectación/secado**

Una muestra no presenta resultados satisfactorios si presenta:

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

#### **4.3.3 Planificación y protocolo para pruebas de resistencia a la compresión**

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

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

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

Las pruebas con bloques se realizan con el mejor resultado de la prueba de probetas o cilindros. A continuación se describen las dos formas.

#### 4.3.3.1 Pruebas con probetas cilíndricas

Para la elaboración de las probetas cilíndricas se toma en cuenta la normativa ASTM C31 que indica las proporciones y la ejecución de la prueba (ASTM International, 2012).

El procedimiento realizado se indica a continuación:

1. Se realizan los cálculos de porcentaje de la mezcla en peso de acuerdo a la normativa indicada en la sección anterior para pruebas con probetas cilíndricas, se utilizan dos tamaños de probetas 15 cm x 30 cm y 10 cm x 20 cm.
2. Se pesan los ingredientes de acuerdo a la fracción que tienen en la mezcla (C cemento, A arena, B bagazo) y la cantidad de agua a anexar a la mezcla:



**Figura 59. Peso de ingredientes para probeta de biomasa**

Para el caso del bagazo se realizaron ensayos con diferentes tamaños de fragmentos de 2,5 y 5 centímetros, de ahí la utilización de los dos tamaños de probetas:



**Figura 60. Corte de trozos de biomasa**

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



**Figura 61. Elaboración de masa de probetas**

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



**Figura 62. Compactación de probetas**

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



**Figura 63. Desmolde de probetas**

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



**Figura 64. Ensayo de compresión**

#### **4.3.3.2 Pruebas con bloques**

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

##### **Bagazo de caña C1, A2, B1**

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





**Figura 65. Pruebas en bloques**

#### **4.4 Modelo de evaluación de resultados**

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

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

Se tienen entonces las siguientes consideraciones:

- ✓ Para el caso de coeficiente térmico se indica como referencia los valores promedio encontrados para los diferentes aislantes descritos

en el capítulo II que se encuentran entre **0,01 y 0,05 W/m.°K** (IVE Instituto Valenciano de la Electrificación, 2011).

- ✓ Para el caso de resistencia de bloques se utiliza un único valor dado por la normativa INEN 643 para bloques indicando también el valor de **2MPa o superior** (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1993):

**Tabla 13.**

**Norma INEN 643 de resistencia mínima de compresión**

TIPO DE BLOQUE	Resistencia mínima a la compresión en MPa a los 28 días (ver nota 1) (Norma INEN 640).
A	6
B	4
C	3
D	2,5
E	2

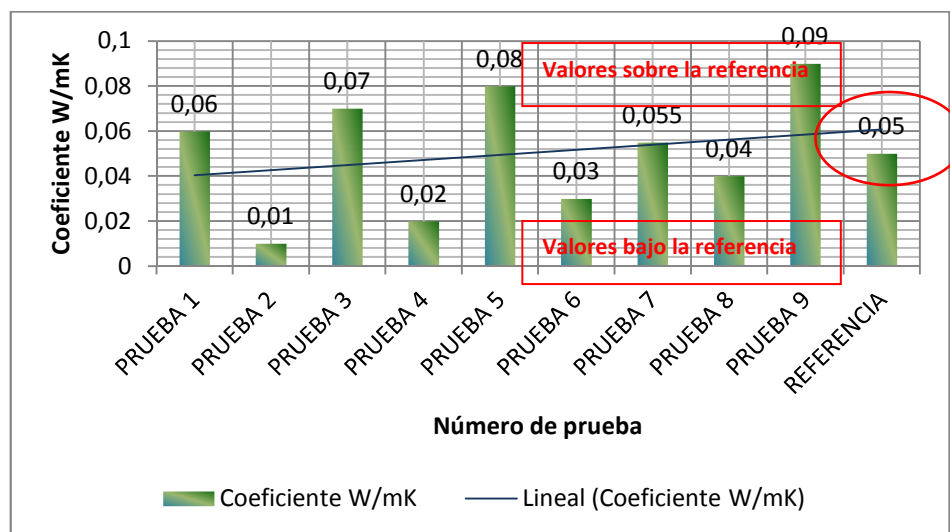
**Fuente: (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1993)**

El gráfico que se obtiene se indica a continuación para comparar entre los resultados de las pruebas de coeficiente y pruebas de resistencia.

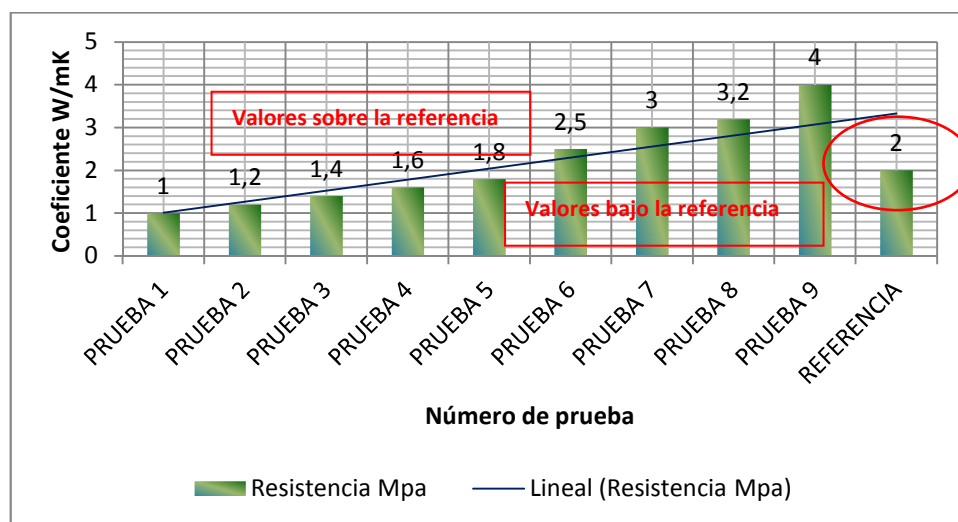
El ejemplo de gráfico se indica a continuación:

El mejor valor será el coincidente con la prueba 2 que indica un valor de 0,01W/m.°K, 0,4 menos que la referencia. Este resultado deberá tener concordancia con la prueba de resistencia, es decir, si la prueba de resistencia aceptable es la entregada en la prueba 6 entonces el valor de

nuestro modelo será de 0,03 W/m.°K. El objetivo es encontrar el elemento de construcción que sea el mejor aislante pero que cumpla con las características de resistencia, en este caso la prueba 6 me entrega 2,5 MPa que me permitirá decir que se encuentra dentro de los límites permisibles y si es mayor mucho mejor.



**Figura 66. Gráfico de evaluación de resultados con respecto a la referencia para coeficiente térmico**



**Figura 67. Gráfico de evaluación de resultados con respecto a la referencia para resistencia a la compresión**

Adicionalmente se realizarán cuadros y gráficos comparativos entre las distintas pruebas relacionando otro tipo de variables como densidad, contenido de cemento, biomasa y arena, etc. que evidencien el comportamiento de la biomasa.

## CAPÍTULO 5

### 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 5.1 Datos obtenidos. Estadísticas y análisis

##### 5.1.1 En bloques y en tableros

##### 5.1.1.1. Conductividad

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

- ✓ **Yeso empapelado:** El yeso empapelado se realizó como prueba de evaluación de la fiabilidad de la máquina de medición de conductividad comparándola con el valor teórico de fabricante, por lo que los resultados no indican esta prueba considerada externa a la investigación.
  
- ✓ **Tablero de bagazo de caña:** Realizado con las características del ensayo P05 indicado en el Capítulo III pero sin la cubierta de cemento, con el objetivo de evaluar el bagazo en fragmentos de longitudes de 30 cm.
  
- ✓ **Bloque de bagazo de caña:** Realizado con las características del ensayo B1 indicado en la sección de resistencia de este capítulo, que es el que presenta una resistencia a la compresión establecida en un valor mayor a los 2MPa.

- ✓ **Bagazo al granel con densidad 1:** Realizado con fracciones de 2,5 cm semejantes a los utilizados para la creación del bloque estableciendo una densidad de 0,032 g/cm<sup>3</sup>. El objetivo de la prueba es evaluar el comportamiento de la biomasa fragmentada y modificar la densidad para evidenciar su comportamiento.
- ✓ **Bagazo al granel con densidad 2:** Realizado con pedazos de 2,5 cm semejantes a los utilizados para la creación del bloque estableciendo una densidad de 0,047 g/cm<sup>3</sup>. Este ensayo se lo hace compactando la biomasa del ensayo de densidad 1 y colocando biomasa adicional.

En la siguiente tabla se indican los resultados de las pruebas realizadas en las diferentes muestras:

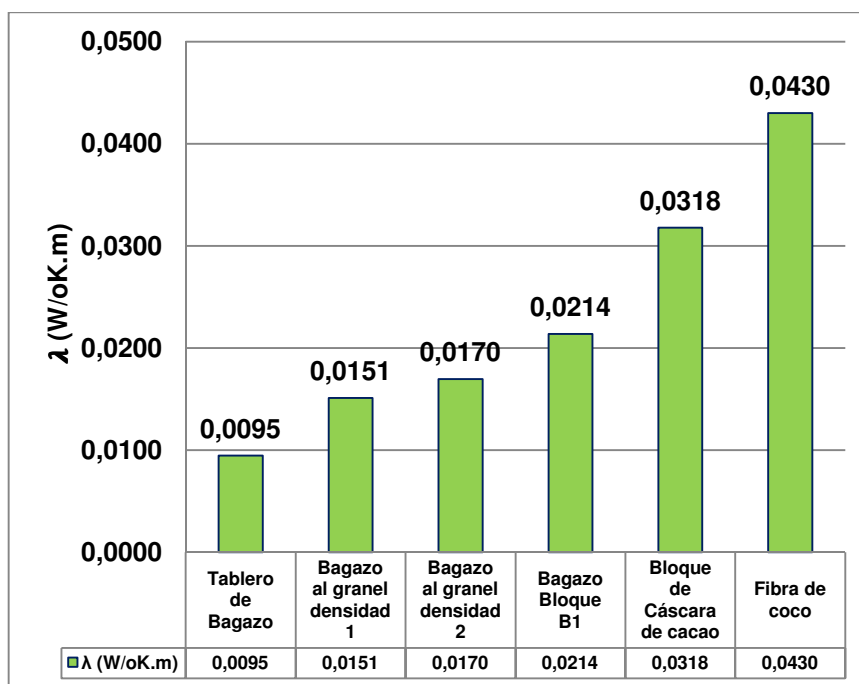
**Tabla 14.**

**Resultados de las pruebas de medición de conductividad térmica**

Muestra	Q (W)	$\Delta T$ (°K)	A (m <sup>2</sup> )	L (m)	$\lambda$ (W/°K.m)
Yeso empapelado	0,2034	5,7000	0,0225	0,0150	0,0238
Tablero de Bagazo	0,0966	22,7000	0,0225	0,0500	0,0095
Bagazo Bloque B1	0,0895	9,3000	0,0225	0,0500	0,0214
Bagazo al granel densidad 1	0,0844	12,9000	0,0225	0,0520	0,0151
Bagazo al granel densidad 2	0,0888	12,1000	0,0225	0,0520	0,0170

Todos los valores de conductividad obtenidos con las diferentes muestras se encuentran dentro de los valores aceptables en relación a otras biomásas analizadas, siendo el mayor el del bloque de bagazo, seguido por el bagazo al granel para encontrar el menor valor en el tablero de bagazo que, medido directamente indica el mejor valor de conductividad que es significativamente bajo representando una condición de buen aislante.

La figura siguiente, indica los resultados comparativos, el bagazo presenta los menores en relación al cacao 0,0318 W/m °K (Carrera, 2015) y al valor de fibra de coco 0,043 W/m °K (IVE Instituto Valenciano de la Electrificación, 2011) referenciado.



**Figura 68. Resultados de coeficiente de conductividad térmica**

La cantidad de potencia entregada para las muestras probadas corresponde al tablero de bagazo, como ya se indicó anteriormente, también le corresponde el menor de coeficiente de conductividad, en el bagazo al granel y en bloques, el comportamiento es semejante en la relación de potencia entregada y resultado de coeficiente.

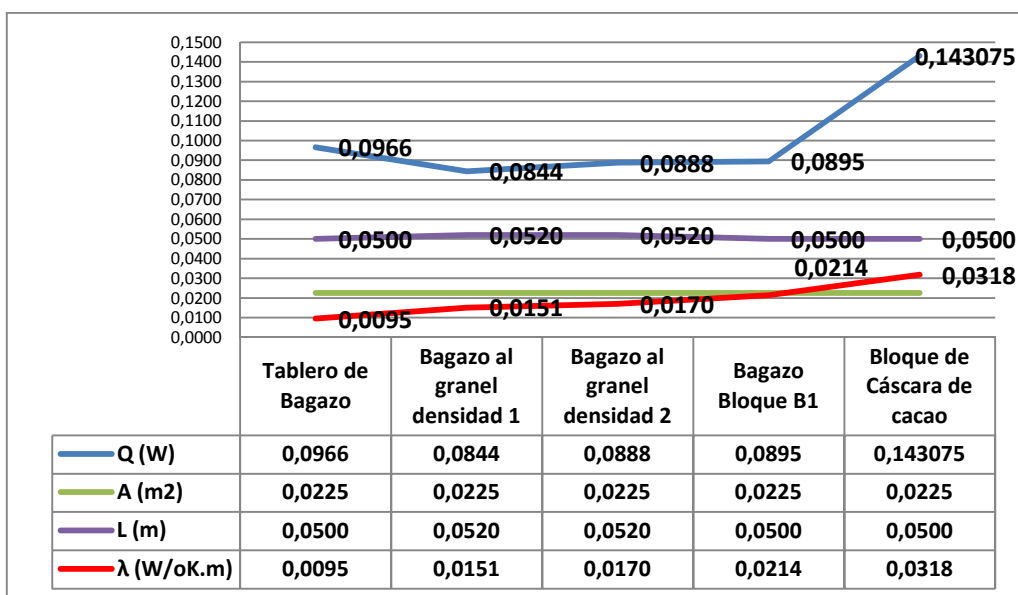


Figura 69. Parámetros de prueba para ensayos de conductividad térmica

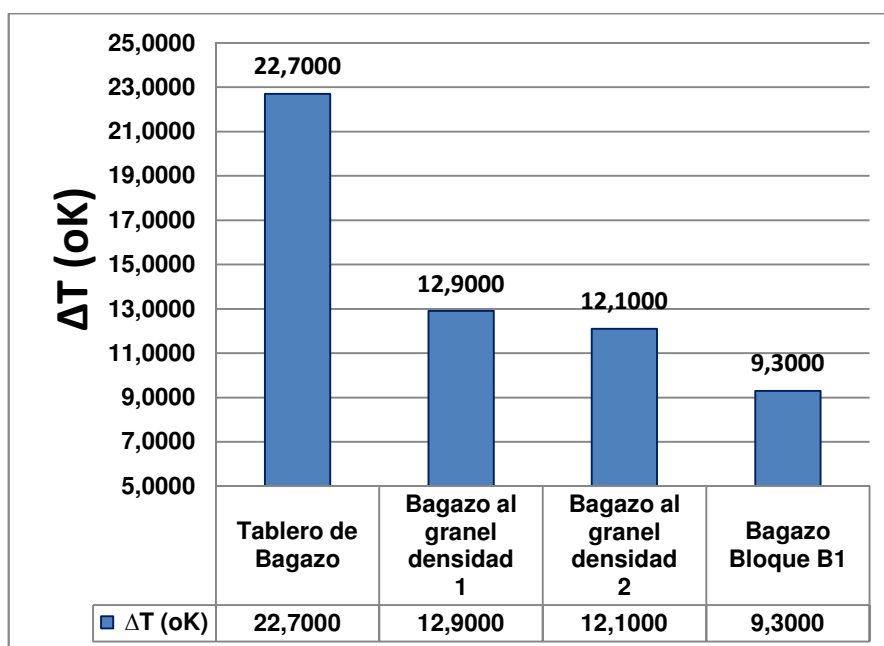


Figura 70. Diferencia de temperatura en ensayos de conductividad térmica



La diferencia de temperatura de las pruebas alcanza el valor mayor en el tablero de bagazo, seguido por el bagazo al granel y finalmente el bloque de bagazo. La figura 73 indica el comportamiento de la variación de la temperatura en las diferentes muestras, evidenciando el comportamiento diferente del tablero de bagazo con relación a los demás.

Experimentalmente, esta diferencia se convirtió en un mayor lapso de tiempo de estabilización de la muestra durante el desarrollo de la prueba. Haciendo una relación entre la densidad y la conductividad indica que en el caso de bagazo en pedazos sea al granel o en el bloque mientras más densidad de biomasa se presenta mayor es la conductividad, sin embargo en las pruebas de densidad 1 y 2 el incremento es pequeño.

**Tabla 15.**

**Resultados de densidad y coeficiente de conductividad térmica**

<b>Muestra</b>	<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b><math>\lambda</math> (W/°K.m)</b>
<b>Tablero de Bagazo</b>	0,0969	0,0095
<b>Bagazo al granel densidad 1</b>	0,0320	0,0151
<b>Bagazo al granel densidad 2</b>	0,0470	0,0170
<b>Bagazo Bloque B1</b>	1,6964	0,0214

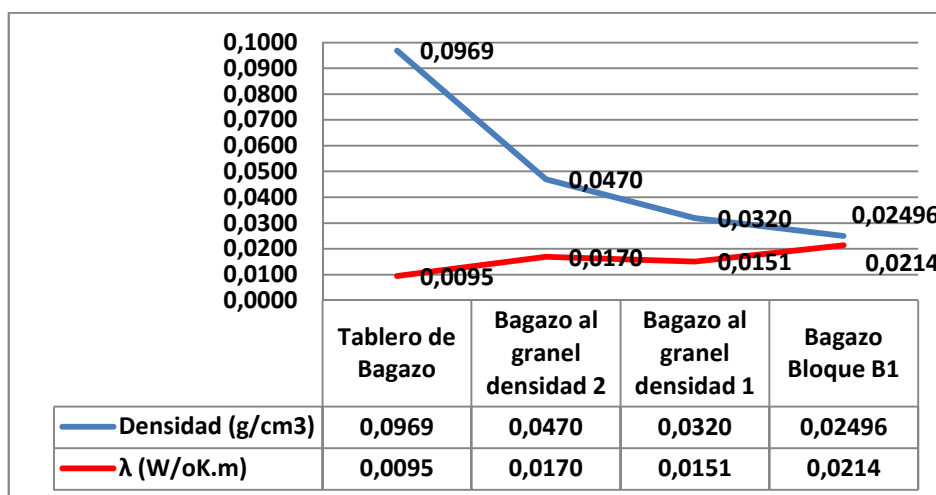


Figura 71. Relación de densidad y conductividad en todas las pruebas

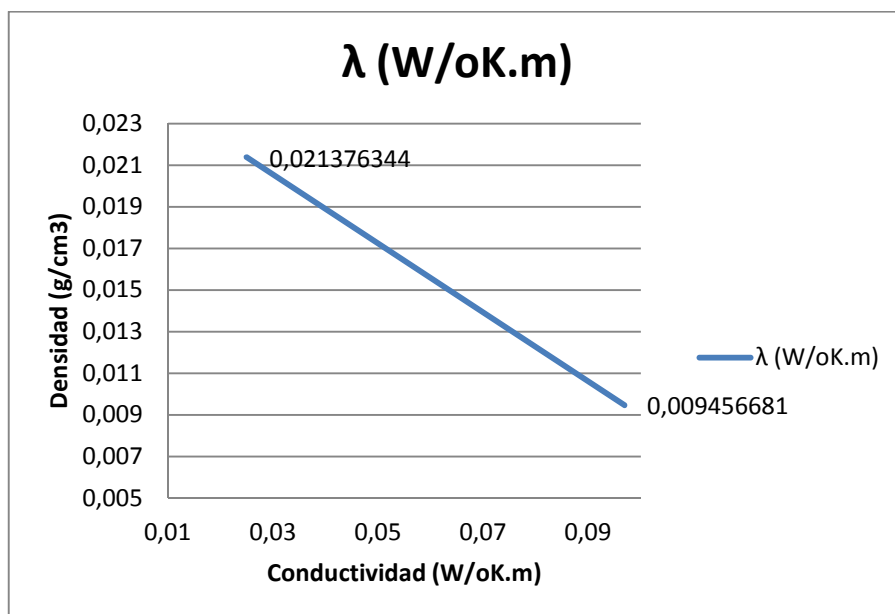
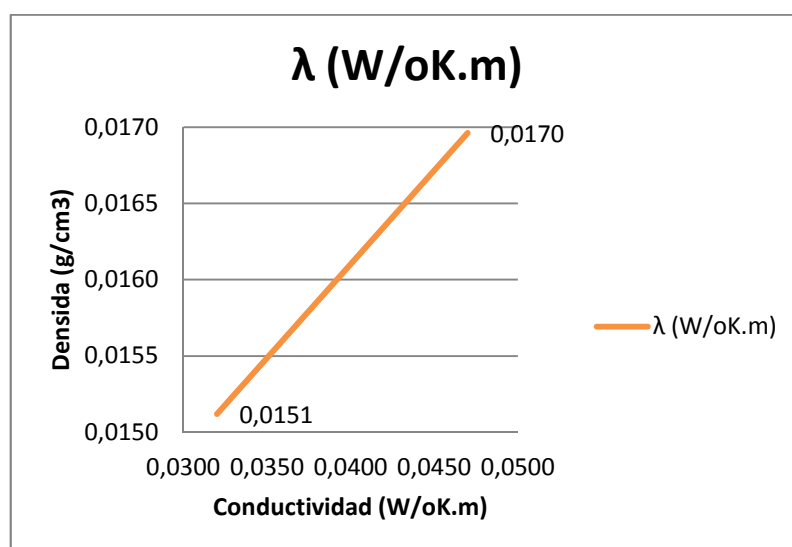
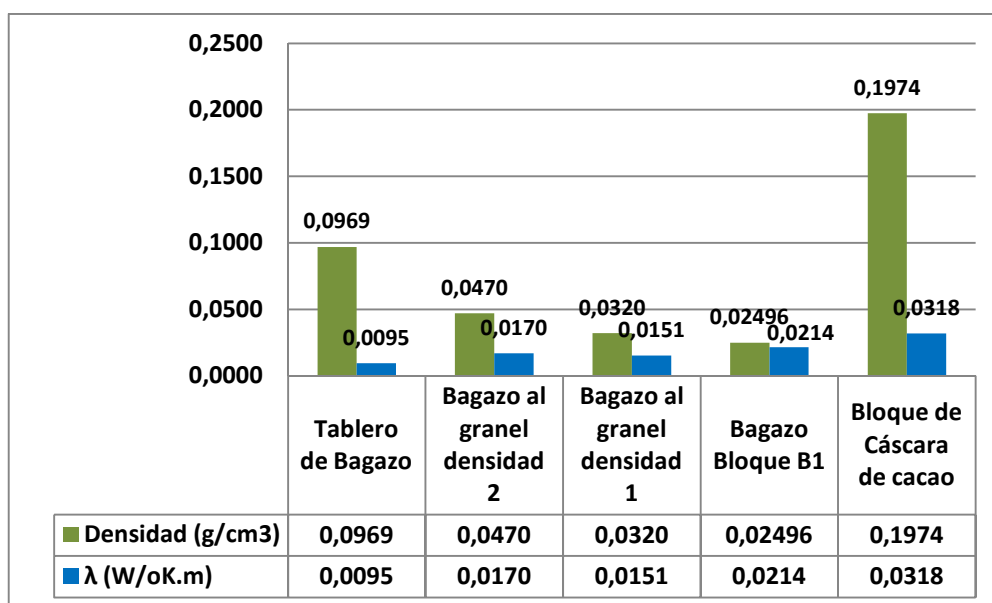


Figura 72. Relación de densidad y conductividad en pruebas de tablero y bloque



**Figura 73. Relación de densidad y conductividad en pruebas de bagazo al granel**



**Figura 74. Relación de densidad y conductividad en pruebas de bagazo al granel y tablero**

Sin embargo al utilizar el bagazo en el tablero, la densidad de la biomasa es alta y la conductividad presentada es la menor de todas, evidenciando

que el uso de bagazo en franjas se obtiene mejores resultados de conductividad en comparación a su condición fragmentada.

#### **5.1.1.2 Humedad**

El resultado después de mantener la muestra sumergida durante 24 horas incrementó el peso de la muestra de 6.700 g a 7.850 g, es decir 1.150 g; lo que nos indica un porcentaje de absorción de 17%, que puede deberse a la exposición de bagazo en las superficies laterales de la muestra.

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

### **5.1.2 Resistencia a la compresión**

#### **5.1.2.1 Pruebas con probetas cilíndricas**

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

1. Se realizan ensayos preliminares únicamente en la probeta de 10x20 centímetros con varias mezclas (cemento C, arena A, bagazo B), para el caso de bagazo se utilizaron los siguientes casos:

- ✓ Bagazo sin desmenuzar C1, A2, B1.
- ✓ Bagazo sin desmenuzar C1, A2, B3.
- ✓ Bagazo sin desmenuzar C1, A2, B5.
- ✓ Bagazo desmenuzado C1, A2, B3.
- ✓ Bagazo desmenuzado C1, A2, B5.

2. Se realiza una prueba adicional con bagazo ahora cambiando la altura de la probeta:

- ✓ Bagazo sin desmenuzar C1, A2, B2 con cilindro 10x20 cm.
- ✓ Bagazo sin desmenuzar C1, A2, B2 con cilindro 15x30 cm.

3. Con los resultados de estas probetas se realiza una última prueba para evidenciar las diferencias entre trozos de dos diferentes dimensiones de bagazo:

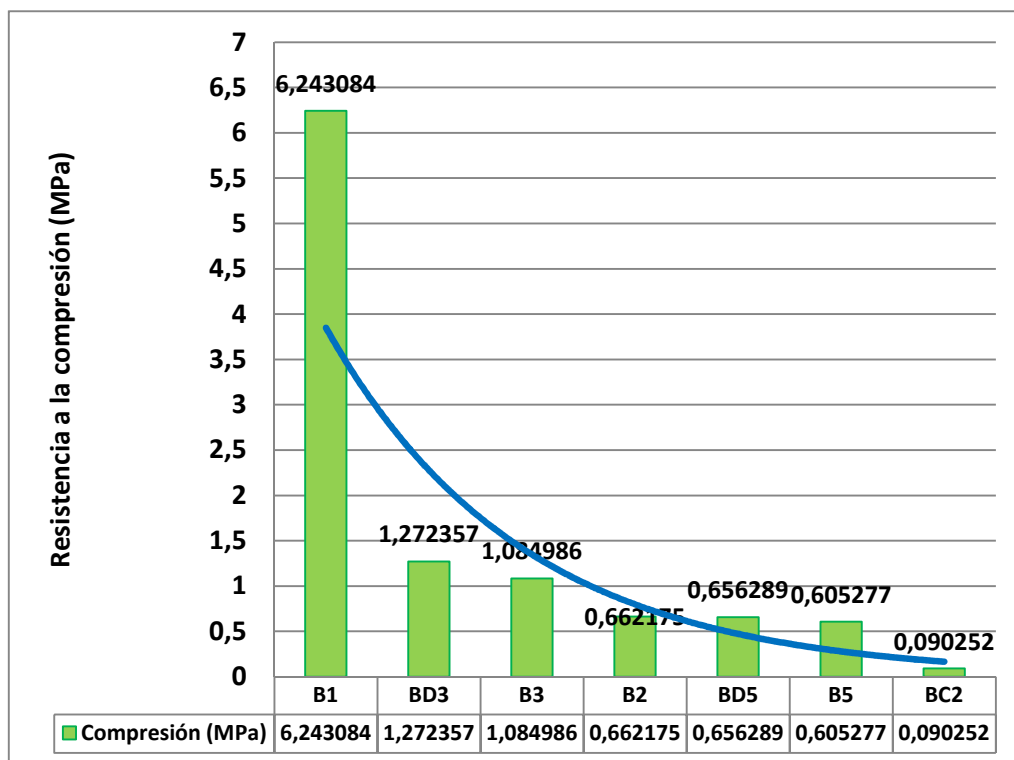
- ✓ Bagazo con fragmentos de 2,5 cm; C1, A2, B2 con cilindro 10x20 cm.
- ✓ Bagazo con fragmentos de 5 cm; C1, A2, B2 con cilindro 15x30 cm.

En el Anexo 2 de este trabajo, se indica la tabla de las proporciones y cálculos de volumen de todas las pruebas descritas y la nomenclatura con la que aparecerán los resultados finales.

Todos los ensayos fueron realizados con fragmentos de bagazo de caña de 2,5 cm excepto el caso BC2 que tuvo fragmentos de 5 cm para comprobar la diferencia de comportamiento en el tamaño sobre el valor de resistencia obtenido.

Como el resultado de B1 expresa un valor elevado de 6,2MPa por encima de los 2MPa establecidos, se decide realizar pruebas con B2 para corroborar los datos de compresión encontrando un valor mejor a B3 pero que no sea

tan alto como B1 y las pruebas indican un valor menor a 2MPa por lo que nuevamente se descartan y se escoge como la propuesta final de bloque a B1.



**Figura 75. Resultados de pruebas de resistencia a la compresión en probetas**

Evidentemente, la mayor cantidad de cemento lo contiene B1 y también una menor proporción de biomasa, sin embargo es la que mejores valores otorgó a las pruebas de compresión.

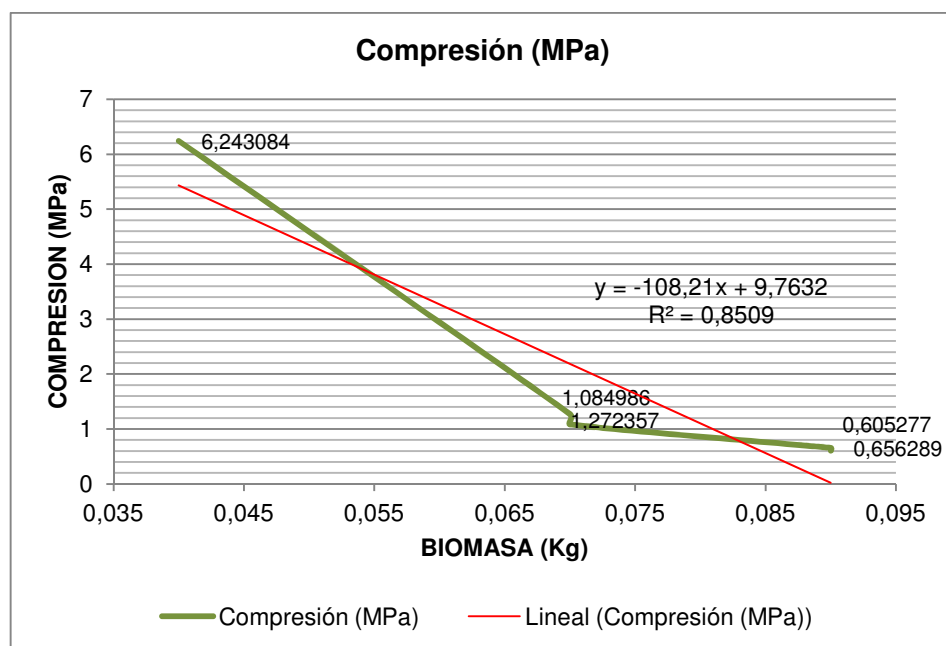


Figura 76. Relación de compresión por cantidad de biomasa bagazo

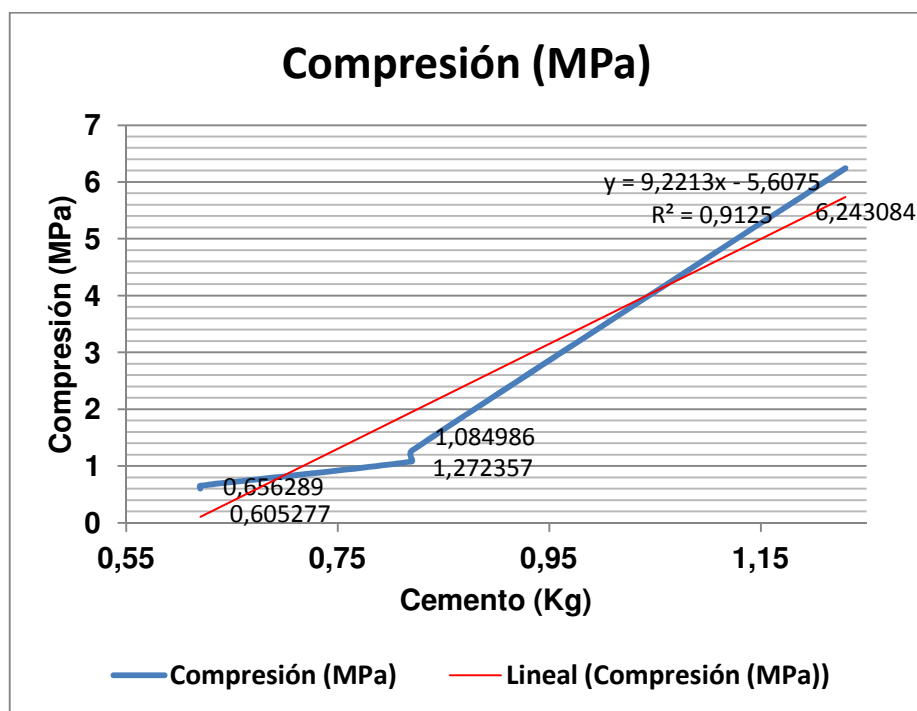
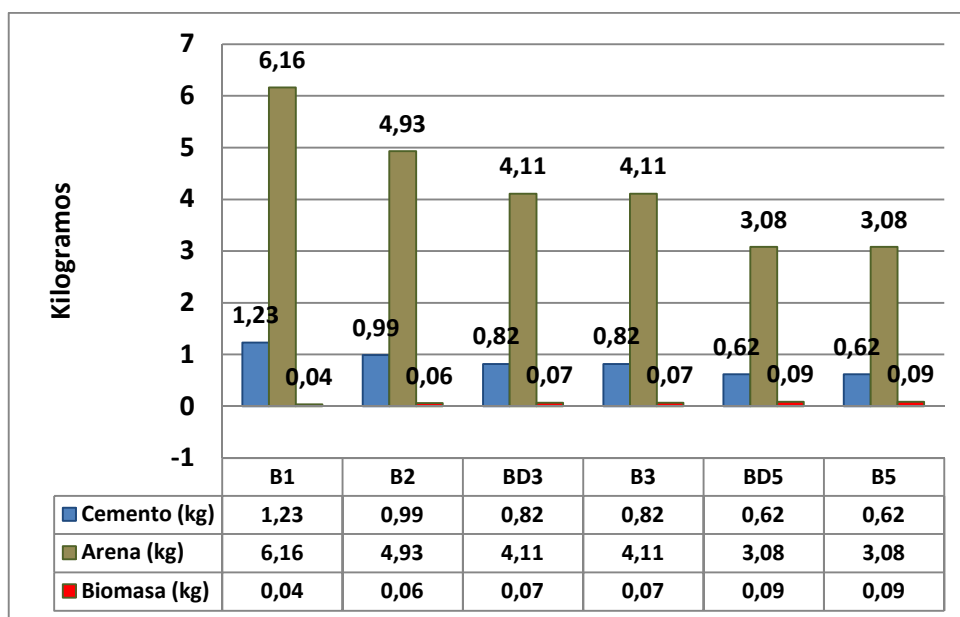


Figura 77. Relación de compresión por cantidad de cemento



**Figura 78. Relación de variables en las muestras probadas**

### 5.1.2.2 Pruebas con bloques

Solo como medida de prueba de los resultados encontrados con probetas, con el mejor resultado encontrado, se realiza la construcción del bloque de bagazo de caña B1 con la proporción: C1 A2 B1. Las dimensiones del bloque se indican a continuación:

**Tabla 16.**

#### **Dimensiones del bloque de bagazo de caña B1**

Dimensiones (cm)			Área cm <sup>2</sup>	Carga(kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia (Mpa)
A	b	c				
14	29,5	9,5	413	9990	24,19	2,37



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

## **5.2 Parámetros ambientales y coste para bloques de bagazo de caña de azúcar**

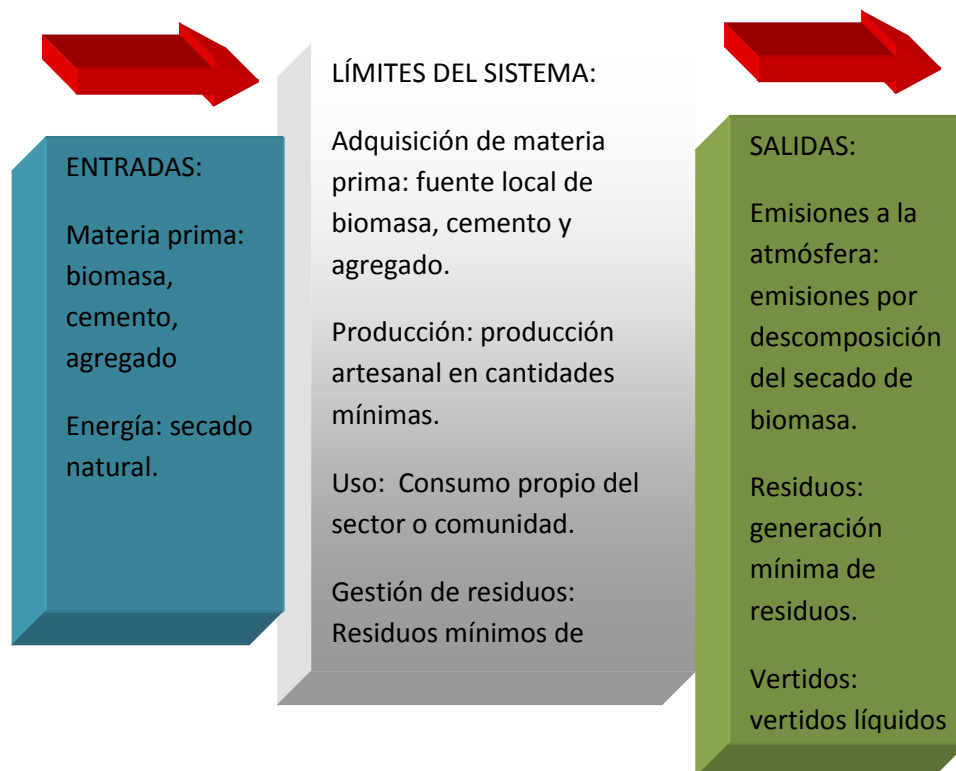
### **5.2.1 Huella de carbono**

Como ya se indicó en capítulos anteriores, la huella de carbono se define como la cantidad de emisión de gases relevantes al cambio climático asociada a las actividades de producción o consumo de los seres humanos, aunque el espectro de definiciones varía desde un mirada simplista que contempla sólo las emisiones directas de CO<sub>2</sub>, a otras más complejas, asociadas al ciclo de vida completo de las emisiones de gases de efecto invernadero, incluyendo la elaboración de las materias primas y el destino final del producto y sus respectivos embalajes. (Oliveira de Paula, Ferreira, Rodríguez, & Osorio, 2009)

Este análisis se lo puede realizar con dos metodologías: el análisis de procesos (PA), se refiere al impacto individual de un proceso en su ciclo de vida, conocido como de la cuna a la tumba y el análisis de entradas y salidas al ambiente (EIO), permite una aproximación hacia la estimación de la huella de carbono, mediante tablas de las cuentas económicas del sector en combinación con los datos de las cuentas de medio ambiente.

De acuerdo a esto se ha generado la gráfica de evaluación de elaboración de un bloque en base a biomasa, es importante la realización

del diagrama de límites del mismo que definen la energía, su uso y las emisiones para poder posteriormente desarrollar el análisis del ciclo de vida:



**Figura 79. Gráfica de huella de carbono para la elaboración de bloque de bagazo de caña**

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

### 5.2.2 Coste de elaboración de un bloque de bagazo de caña

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

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

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



**Figura 80. Proceso de fabricación de bloques de bagazo de caña**

### 5.2.3 Precio Unitario para la elaboración de bloque de hormigón con biomasa bagazo de caña de azúcar

En el caso del bagazo de caña de azúcar el costo está determinado según la proporciones, en este bloque se consideró también el mejor resultado y corresponde a la relación C1:A2:B1.

**Tabla 17.****Valores de evaluación de costo de elaboración de un bloque de bagazo de caña**

Material	Volumen	Unidad	Peso	Unidad	Proporciones	Costo(\$)
Cemento	0,9	dm <sup>3</sup> o lt	0,93	kg	1	0,1395
Arena	1,8	dm <sup>3</sup> o lt	3,06	kg	2	0,093
Bio-masa	1,8	dm <sup>3</sup> o lt	0,4	kg	1	0
<b>TOTAL</b>						<b>\$ 0,23</b>

La estimación económica para la elaboración del bloque a partir del bagazo de caña de azúcar es aproximadamente 0,233 dólares americanos (\$).

En el mercado ecuatoriano, los precios de bloques comunes se clasifican como sigue:

- ✓ Bloque pesado de 15x20x40 (u): USD \$0,35
- ✓ Bloque pesado de 10x20x40 (u): USD \$0,27
- ✓ Bloque liviano de 15x20x40 (u): USD \$0,32
- ✓ Bloque liviano de 10x20x40 (u): USD \$0,27

El precio del bloque de bagazo obtenido tendría un valor competitivo con relación al bloque liviano indicado de dimensiones 10x20x40 (u).

**5.2.4 Ciclo de vida para bloque de bagazo de caña**

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

## Cuadro 2.

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

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

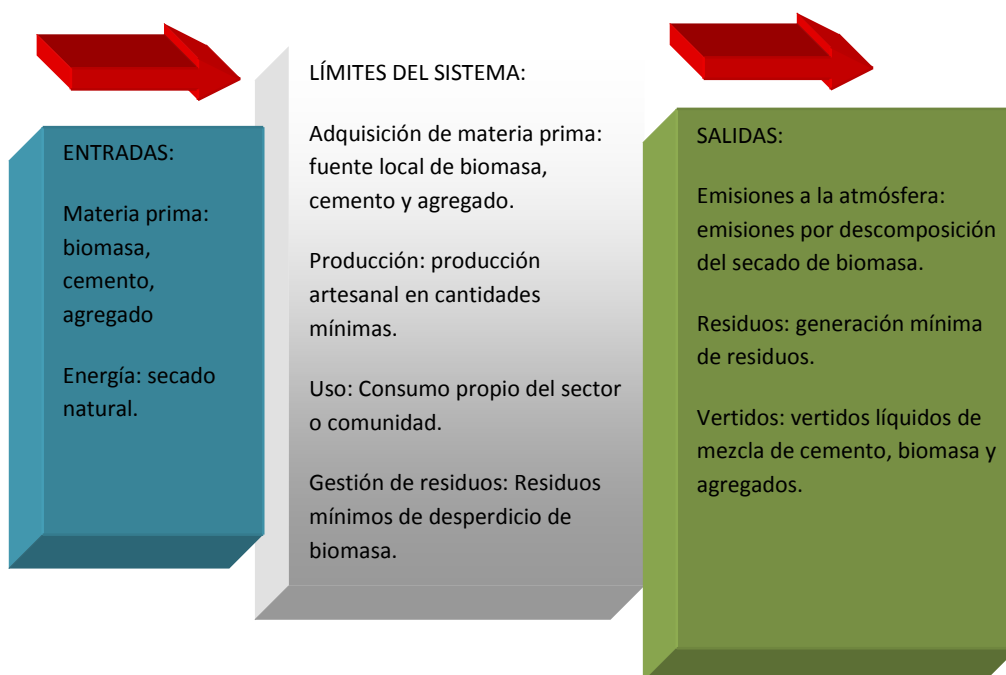
Con ayuda de las matrices de impacto, se evalúa el material que implica mayor riesgo para cada proceso y la recomendación para su mitigación.

**Cuadro 3.****Matriz de material de mayor riesgo para elaboración de bloque de bagazo de caña**

Producto	Material	Proceso	Recomendación
<b>Bloque de bagazo de caña de azúcar</b>	Cemento	El riesgo se presenta por exposición prolongada del polvo de cemento en piel, ojos y vías respiratorias.  No presenta riesgo particular al medio ambiente si se cumplen procesos de recolección adecuados.	Realizar procesos de recolección con cemento fraguado y no en polvo sobre aguas superficiales y alcantarillas.

**5.3 Parámetros ambientales y coste para tableros de bagazo de caña de azúcar****5.3.1 Huella de carbono**

Al igual que en el caso de fabricación de bloques, se elabora el diagrama de límites del proceso de elaboración de tableros de bagazo:



**Figura 81. Gráfica de huella de carbono para la elaboración de tablero de bagazo de caña**

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

### 5.3.2 Coste de elaboración de un tablero de bagazo de caña

Al igual que en el caso anterior se considera el costo de elaborar un panel o tablero de bagazo con las condiciones anteriormente descritas.

Con esto el primer paso para poder realizar el análisis de costos es generar el diagrama de proceso de fabricación del tablero como se detalla a continuación:



**Figura 82. Proceso de fabricación de tablero de bagazo de caña**

Para elaborar el panel aislante a base de bagazo de caña de azúcar se toma la mejor proporción en el cual se tuvo el mejor resultado, entre ellos esta los paneles P05 y P06.

**Tabla 18.**

**Valores de evaluación de costo de elaboración de un tablero de bagazo de caña**

<b>Materiales</b>	<b>Peso en gramos</b>	<b>Dólares (\$)/unidad</b>
<b>Bagazo de caña</b>	558	\$ 0
<b>Agua</b>	25	\$0,04
<b>Pegamento polivinílico</b>	98	\$5,00
<b>Cemento</b>	1,5	\$0,56
<b>Total</b>	681	\$5,60

Con esto se considera que el costo aproximado para elaborar un panel aislante con las medidas de 30x30x5 cm tiene un valor de \$5.60 dólares, en el mercado ecuatoriano la venta de los paneles se considera por metro cuadrado (m<sup>2</sup>), por lo que el costo estimado es de \$62 dólares.



Como referencia de trabajos anteriores, el costo referencial del tablero con características semejantes al elaborado (cola, cemento y bagazo) se estima en \$148,50 / m<sup>2</sup> para el año 2013 (Casias, 2013). Tómese en cuenta que el tablero de este trabajo presenta un valor casi reducido a la mitad en comparación con la bibliografía encontrada porque no se han considerado procesos de revestimiento estético (yeso o cemento), aplicación de fungicidas o aditivos como la cal para el trabamamiento de la biomasa.

### 5.3.3 Ciclo de vida para tablero de bagazo de caña

Con el panorama del proceso se elabora la matriz del ciclo de vida para el tablero de bagazo de caña.

#### Cuadro 4.

#### Impacto durante el ciclo de vida de la elaboración de un tablero de biomasa

Impacto	Durante la construcción	Durante la utilización	Etapa de abandono
<b>Local</b>	Desperdicios no utilizados en la elaboración de tablero.	Desperdicios generados por eliminación del tablero.	Desperdicios generales a evaluarse toxicidad por residuos de cola - pega blanca.
	Emisión de vertidos de mezcla de cemento y áridos durante la fabricación.	Impacto en la comunidad por aceptación de nuevo material y uso adecuado del mismo.	
	Emisión de vertidos de cola - goma durante la elaboración.		
	Impacto visual hacia la comunidad por construcción y áreas de secado de biomasa.		
	Proliferación de plagas, mosquitos en el área de secado.		
	Energía para la elaboración.		
	Alto consumo de agua.		

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

### Cuadro 5.

#### Matriz de material de mayor riesgo para elaboración de un tablero de bagazo de caña

Producto	Material	Proceso	Recomendación
Tablero de bagazo	Cemento	<p>El riesgo se presenta por exposición prolongada del polvo de cemento en piel, ojos y vías respiratorias.</p> <p>No presenta riesgo particular al medio ambiente si se cumplen procesos de recolección adecuados.</p>	Realizar procesos de recolección con cemento fraguado y no en polvo sobre aguas superficiales y alcantarillas.
Tablero de bagazo de caña	Cola - pega blanca	<p>Es altamente inflamable y al quemarse puede producir monóxido de carbono como emisión al ambiente.</p> <p>Los vertidos son dañinos al ambiente por sus compuestos generalmente: butatona, acetona y acetato de etilo.</p> <p>No se registra daños por CMR (carcinogenicidad, mutagenicidad y toxicidad para la reproducción)</p>	Usar como alternativa otro tipo de aglutinantes naturales como la linaza y disminuir la proporción de cola - pega blanca.

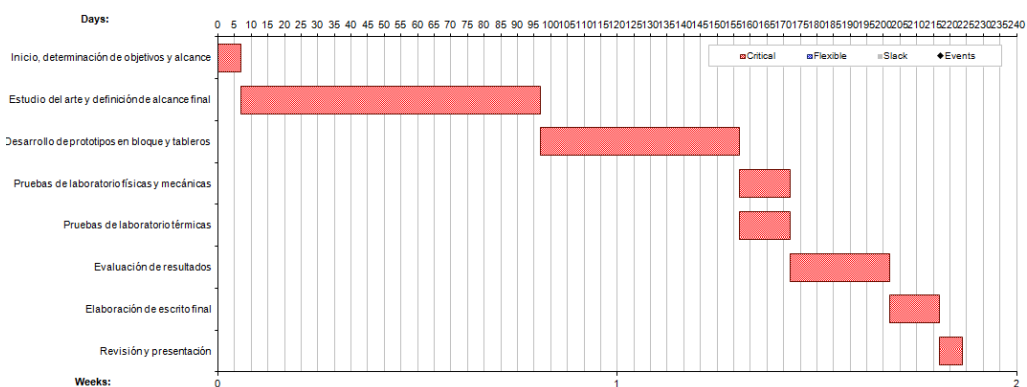
## CAPÍTULO 6

### 6. ANÁLISIS DEL COSTO DE LA INVESTIGACIÓN

#### 6.1 Coste de la investigación

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

ID	Task Name	Predecessors (Enter one ID per cell)	O (min)	M (most likely)	P (max)	Duration (exp. time)	ES	EF	LS	LF	Slack
10	Inicio, determinación de objetivos y alcance		7	7	7	7,00	0,00	7,00	0,00	7,00	0,00
20	Estudio del arte y definición de alcance final	10	90	90	90	90,00	7,00	97,00	7,00	97,00	0,00
30	Desarrollo de prototipos en bloque y tableros	20	60	60	60	60,00	97,00	157,00	97,00	157,00	0,00
40	Pruebas de laboratorio físicas y mecánicas	30	15	15	15	15,00	157,00	172,00	157,00	172,00	0,00
50	Pruebas de laboratorio térmicas	30	15	15	15	15,00	157,00	172,00	157,00	172,00	0,00
60	Evaluación de resultados	40 50	30	30	30	30,00	172,00	202,00	172,00	202,00	0,00
70	Elaboración de escrito final	10 20 30 40 50 60	15	15	15	15,00	202,00	217,00	202,00	217,00	0,00
90	Revisión y presentación	70	7	7	7	7,00	217,00	224,00	217,00	224,00	0,00



**Figura 83. Diagrama de Gantt de ejecución de proyecto**

De acuerdo al cronograma desarrollado el trabajo total culminado tiene una duración de 224 días para su finalización, es decir 7,5 meses

aproximadamente. Es importante recalcar que este cronograma se desarrolla con el tiempo real que implicó la elaboración del presente trabajo.

Como se indica, las dos actividades principales y que mayor tiempo generaron corresponden a: estudio del arte y elaboración de prototipos entendiéndose su conjunto como el estudio de campo, desarrollado en un tiempo aproximado de 5 meses.

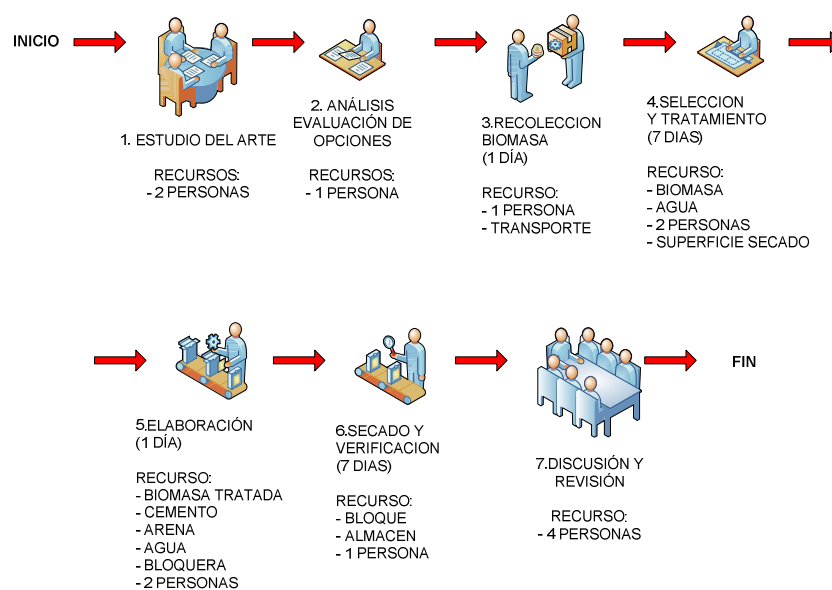
El paso siguiente es elaborar el diagrama de proceso que implicó el desarrollo de campo discriminando elaboración de bloque y elaboración de tablero:

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

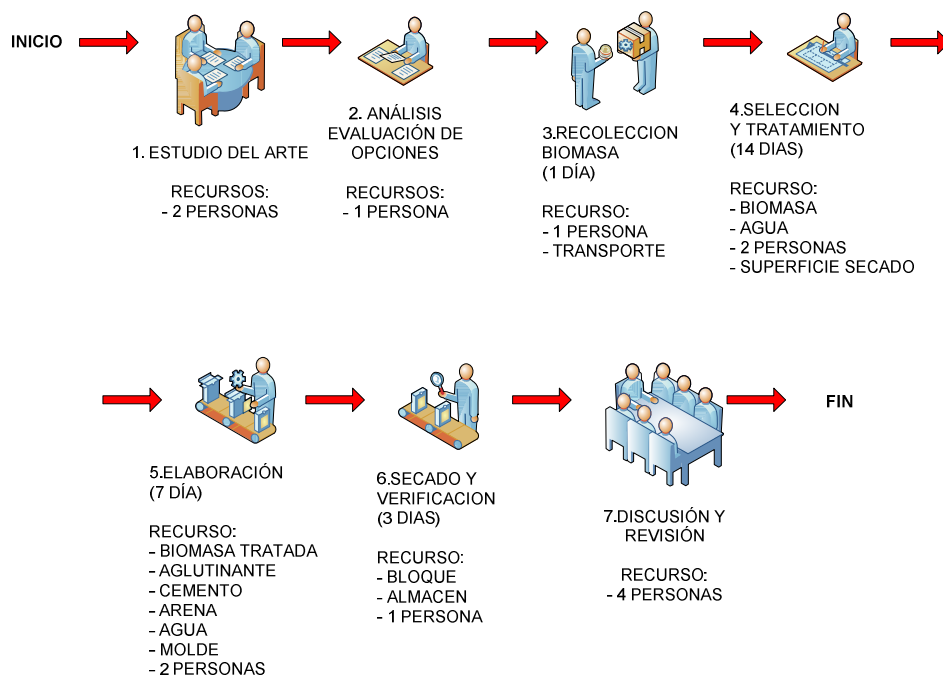
### **6.1.1 Análisis de costos de estudio de campo**

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

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



**Figura 84. Proceso de investigación para bloques de bagazo de caña**



**Figura 85. Proceso de investigación para tableros de bagazo de caña**

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

Se establecen entonces los costos directos y los indirectos.

### 6.1.1.1 Costos directos

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

**Tabla 19.**

#### Costos directos del estudio de campo

<b>PERSONAL EJECUTOR</b>				
<b>NOMBRE</b>	<b>CARGO</b>	<b>TIEMPO</b>	<b>VALOR</b>	<b>TOTAL</b>
		[HORAS]	[USD/HORA]	[USD]
<b>Mónica Soledad Cascante Vallejo</b>	Ejecutor	200	2,8	560
			<b>TOTAL</b>	<b>560</b>

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

Tabla 20.

**Coste de producción para la elaboración de muestras de prueba**

<b>GASTOS TOTAL</b>				
<b>MATERIAL</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO UNITARIO (\$)</b>	<b>PRECIO TOTAL (\$)</b>
<b>AGUA</b>	m <sup>3</sup>	2	0,43	0,86
<b>CEMENTO</b>	Kg	2	7,5	15
<b>ARENA</b>	Kg	2	2	4
<b>BAGAZO DE CAÑA</b>	Kg	10	0,02	0,2
<b>TRASPORTE</b>	UNIDAD	2	50	100
<b>PEGAMENTO</b>	GALÓN	3	7,5	22,5
<b>MOLDE DE MADERA PARA PANEL</b>	UNIDAD	2	5	10
<b>MOLDE DE MADERA PARA BLOQUE</b>	UNIDAD	2	5	10
<b>MOLDE METÁLICO</b>	UNIDAD	1	98	98
<b>ACCESORIOS</b>	UNIDAD	1	50	50
<b>TOTAL</b>				310,56

**6.1.1.2 Costos indirectos**

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

Tabla 21.

**Costo indirecto del estudio de campo**

<b>PERSONAL ASESOR</b>				
<b>NOMBRE</b>	<b>CARGO</b>	<b>TIEMPO (HORAS)</b>	<b>VALOR (\$/HORA)</b>	<b>TOTAL (\$)</b>
<b>Arq. Luis Roldán</b>	Tutor	50	30	1500
			<b>TOTAL</b>	<b>1500</b>

**6.1.2 Análisis de costos de estudio experimental**

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

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

### 6.1.2.1 Costos directos

**Tabla 22.**

#### Costos directos del estudio experimental

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

PERSONAL EJECUTOR				
NOMBRE	CARGO	TIEMPO (HORAS)	VALOR (\$/HORA)	TOTAL (\$)
Mónica Soledad Cascante Vallejo	Ejecutor	40	2,8	112
			TOTAL	112

### 6.1.2.2 Costos indirectos

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

**Tabla 23.**

#### Costo indirecto del estudio experimental

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



### 6.1.3 Costo total de la investigación

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

**Tabla 24.**

#### Costo por misceláneos

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

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

**Tabla 25.**

#### Costo total de la investigación

DESCRIPCIÓN	COSTO
	(\$)
<b>COSTOS DEL ESTUDIO DE CAMPO</b>	
<b>Costos directos</b>	
Ejecutor	\$ 560,0
Materiales y servicios	\$ 310,6
<b>Costos indirectos</b>	
Tutoriales	\$ 1.500,0
<b>COSTOS DEL ESTUDIO EXPERIMENTAL</b>	
<b>Costos directos</b>	
Ejecutor	\$ 112,0
Pruebas de laboratorio	\$ 45,0
<b>Costos indirectos</b>	
Tutoriales	\$ 1.500,0
<b>OTROS</b>	
Misceláneos	\$ 330,0
<b>TOTAL SIN IMPREVISTOS</b>	<b>\$ 4.357,6</b>
<b>IMPREVISTOS 3%( CD+ CI )</b>	
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 4.488,3</b>

De los cuales los costos generados por el ejecutor son \$672 (dólares americanos), los costos por tutoriales \$3.000 (dólares americanos) y los costos netos de los procesos de campo y experimentación \$821,30 (dólares americanos)

Es así que el costo total de la investigación considerando un 3% de imprevistos tiene un monto total de \$4.488,30 (dólares americanos)

## CAPÍTULO 7

### 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 7.1 Conclusiones

- ✓ El presente trabajo se ha realizado con bagazo de caña que ha evidenciado características óptimas para la elaboración de materiales de construcción cuyo proceso no implica una mayor demanda de energía para su elaboración, aprovecha fuentes naturales y su procesamiento a pesar del tiempo que implica es relativamente simple. Para la cosecha de la caña de azúcar, el proceso implica el retiro completo de la planta de caña para invertir en una nueva siembra, el material obtenido de la misma es utilizado casi en su totalidad. La potencialidad de utilizar el bagazo como material de construcción se incrementa por ser un desecho de fácil acceso y obtención.
  
- ✓ El valor encontrado de coeficiente de conductividad térmica del bagazo de caña presenta valores de  $0,0095 \text{ W/m } ^\circ\text{K}$  para el caso del tablero constituido por franjas de 30 cm de biomasa, seguido por valores entre  $0,015 \text{ W/m } ^\circ\text{K}$  y  $0,021 \text{ W/m } ^\circ\text{K}$  cuando se trata la biomasa en fragmentos a diferentes densidades; comparando estos valores con materiales orgánicos como la cascarilla de cacao o la fibra de coco cuyos valores se encuentran entre los  $0,03 \text{ W/m } ^\circ\text{K}$  y  $0,04 \text{ W/m } ^\circ\text{K}$  muestran un potencial elevado del bagazo de caña como aislante térmico.
  
- ✓ Al realizar los ensayos de conductividad térmica, se observa una diferencia entre el comportamiento del tablero de bagazo (fragmentos de 30 cm.) y el bagazo al granel con el bloque de bagazo (fracciones);

para tableros se entrega una mayor cantidad de potencia obteniendo un menor valor de coeficiente mostrando una relación inversa, en el caso de bagazo al granel mientras mayor es la cantidad de potencia entregada, mayor es el valor de coeficiente encontrado indicando una relación directa; caso similar al bloque de cascarilla de cacao con el que fue comparado.

- ✓ Cuando se obtuvo la relación entre la densidad de las muestras de tablero y bloque de bagazo con el valor de coeficiente obtenido se observó que a mayor densidad, menor valor de coeficiente. Sin embargo, al realizar los dos ensayos de bagazo al granel con densidades de  $0,047 \text{ g/cm}^3$  y  $0,032 \text{ g/cm}^3$  la diferencia encontrada en el valor del coeficiente fue mínima variando de  $0,017 \text{ W/m}^\circ\text{K}$  a  $0,015 \text{ W/m}^\circ\text{K}$  respectivamente observando que a mayor densidad mayor valor de coeficiente.
- ✓ Las pruebas de absorción de humedad del bloque de bagazo de caña presentaron un porcentaje del 17%, es decir, un bloque con densidad de bagazo de  $0,025 \text{ g/cm}^3$  no cumplió con las condiciones establecidas por la normativa INEN ecuatoriana de alcanzar valores menores al 15%, sin embargo, esta condición no debe ser excluyente para el uso del bloque en aplicaciones interiores y considerando diferentes opciones de revestimientos.
- ✓ Las pruebas de resistencia a la compresión indican dos relaciones muy claras, mayor cantidad de cemento, mejor resistencia y menor cantidad de bagazo, mayor resistencia. Si se reduce el campo de aplicación se observa que en los dos casos probados de bagazo desmenuzado en fibras y bagazo en fragmentos sin desmenuzar el que presenta mejores resultados de compresión es el bagazo desmenuzado en fibras. Es decir, mientras más pequeños sean los fragmentos de bagazo, mejor es la resistencia a la compresión. Pero

se debe tomar en cuenta que en la pruebas de coeficiente de conductividad térmica esta relación es al revés, mientras mayores sean los fragmentos de bagazo más bajo es su valor de coeficiente encontrado y mejores son sus características como aislante térmico.

- ✓ El bloque obtenido de bagazo con corresponde de acuerdo a la normativa INEN 638 a un bloque de tipo E para uso en losas livianas.
- ✓ El desarrollo de esta mixtura de biomasa, cemento y áridos como arena en un bloque de construcción así como la fabricación de paneles o tableros, presenta su mayor amenaza en que el proceso de elaboración implica un tiempo largo de elaboración y su manufactura manual es laboriosa, esto determinado sobre todo en el proceso inicial que se tiene que brindar a la biomasa, el tiempo de secado al natural por la cantidad de agua existente exige una superficie considerable de secado, y un tiempo promedio de 7 días. En el caso del tablero en base a bagazo de caña esta condición encuentra inconvenientes adicionales al tener que escoger los perfiles de bagazo de caña aptos para la elaboración.
- ✓ Una de las barreras obstáculo que presenta la elaboración de materiales de construcción en base a biomasa principalmente bagazo de caña es la importancia que ha tomado la misma como materia prima para la cogeneración de energía eléctrica en Ecuador, los principales ingenios azucareros como Valdez y San Carlos aprovechan la misma y sus aplicaciones ya se encuentran ampliamente difundidas y afianzadas en los procesos productivos de estas empresas.

## 7.2 Recomendaciones

- ✓ De acuerdo al desarrollo del trabajo realizado la utilización de biomasa como material componente de construcción es viable si se realiza a nivel sectorial en zonas de producción de la misma, ésto basado en que la premisa preponderante para la elaboración de este tipo de material, si no se quiere desviar su objetivo de sustentable, debe garantizar el respeto al medio ambiente en todo el desarrollo de vida del mismo pero siempre respondiendo a un producto que garantice las cualidades tanto térmicas como físicas que sean adecuados para un cierto tipo de construcción. La fabricación a gran escala implicaría el uso de medios de transporte, energía eléctrica y materiales sintéticos que no corresponden al objetivo que se quiere alcanzar en este trabajo.
  
- ✓ En consideración, para la fabricación del tablero, se deben generar micro empresas zonales que gestionen el proceso de fabricación de manera manual a través de cooperativas que permitan principalmente elaborar un proceso de producción simplificado que permita generar una cantidad considerable de tableros bajo la demanda que exige su fabricación. Esto en el caso de la elaboración de bloques se simplifica porque su elaboración es más ampliamente conocida, no necesariamente necesita el secado al 100% de la biomasa y la elaboración se puede definir en dos partes: elaboración y secado. El tablero a diferencia necesita un proceso de secado de biomasa, selección, elaboración, compactación y secado, proceso de cubierta y secado de cubierta. Es decir implica adicionalmente un proceso de seguimiento continuo.
  
- ✓ No se evidenciaron estudios de comportamiento térmico en materiales de construcción basados en biomasa realizados en Ecuador,

principalmente se enfatiza en el desarrollo de características físicas y mecánicas que permitan que los materiales sean aptos para construcción, este trabajo prioriza su diferencia en este sentido, las características térmicas llevan elevada importancia, sin embargo, se encuentra que la normativa ecuatoriana, tampoco ha considerado esta variable, por lo que este trabajo se ha basado en la documentación encontrada en la normativa relacionada como es IRAM Argentina. Es importante como trabajo posterior, generar una documentación que permita elevar a los sistemas de gestión relacionados a construcción esta característica como un paso adicional al crecimiento que se pretende generar en el uso de materiales alternativos en los sectores de la construcción.

- ✓ El presente trabajo se ha concentrado en la mezcla de biomasa con cemento y áridos para la elaboración de bloques y ordenamiento de biomasa caña de azúcar con cemento y aglomerante para la elaboración de tableros. Se recomienda realizar un mayor número de pruebas para evidenciar con claridad el comportamiento de la biomasa. Adicionalmente, no se ha enfatizado en el desarrollo de dos pendientes importantes para trabajos posteriores como son la mitigación de crecimiento de plagas y hongos en la biomasa, es decir el tratamiento previo a la elaboración de materiales y nuevos sistemas de aglomeración de biomasa caña de azúcar como puede ser la linaza u otros materiales naturales ecuatorianos. Este último implicaría un único trabajo que concentre esfuerzos en analizar la enorme biodiversidad que tiene Ecuador en materia orgánica vegetal que puede servir como aglomerante y su procesamiento, es decir, si no existe en la zona donde se tiene el consumo de biomasa caña de azúcar puede ser insertado, se pueden generar sembríos, mezclas de los mismos otorgan mejores resultados que uno solo, etc.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1 Acosta, D. (2011). *Arquitectura y construcción sostenible*. Obtenido de [http://dearq.uniandes.edu.co/sites/default/files/articles/attachments/De\\_Arq\\_04\\_-\\_Acosta\\_0.pdf](http://dearq.uniandes.edu.co/sites/default/files/articles/attachments/De_Arq_04_-_Acosta_0.pdf).
- 2 AENOR. (2008). *Norma UNE 41410, Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo*. España.
- 3 AENOR, A. E. (2008). *Norma Española, Norma UNE 41410, Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo*. España.
- 4 Agronoticias. (2012). <http://www.fao.org/agronoticias/agronoticias/detalle/en/c/134957/>.
- 5 Águila, I. (2008). *Evaluación físico química de cenizas de cascarilla de arroz, bagazo de caña y hoja de maíz y su influencia en mezclas de mortero, como materiales puzolánicos*. Venezuela: Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción IDEC.
- 6 Andes. (2015). <http://www.andes.info.ec/es/economia-reportajes/ecuador-producira-800-millones-litros-etanol-programa-biocombustible.html>.
- 7 ASTM International. (2012). *Norma ASTM C31, Práctica Normalizada para preparación y curado de especímenes de ensayo de concreto en la obra*.
- 8 ASTM International. (2013). *Norma ASTM C1045, Standard Practice for Calculating Thermal Transmission Properties Under Steady-State Conditions*.
- 9 ASTM International. (2013). *Norma ASTM C177-13, Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus*.
- 10 Bastidas, L. (2011). <http://unefmagronomia-spici-canazucar.blogspot.com/>.



- 11 Beraldo, L. (2011). *Aprovechamiento de residuos agro-industriales como fuente sostenible de materiales de construcción*. España: CYTED Universidad Politécnica de Valencia.
- 12 Cámara Chilena de la Construcción. (2008). *Aislación térmica exterior, manual de diseño para soluciones en edificaciones*. Chile: Corporación de desarrollo tecnológico.
- 13 Carmona Durán, P. (Abril de 2011). *Evaluación mecánica de pastas de cemento modificadas con escoria de horno de arco eléctrico y ceniza de bagazo de caña de azúcar*. México: Universidad Veracruzana. Recuperado el 02 de abril de 2014, de <http://boletin-iccy.com/files/files/ARTICULO%20ABRIL%20Calculador%20Huella%20de%20Carbono%20para%20Edificaciones.pdf>
- 14 Carrera, A. (2015). *Análisis, desarrollo y evaluación de aislantes térmicos fabricando bloques de hormigón con cascarilla de cacao para su aplicación en la construcción de edificaciones*. Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE).
- 15 Casias, A. (2013). *Experimentación con residuos de la industrialización de la caña de azúcar y su aplicación en viviendas emergentes para climas cálidos*. Ecuador: Universidad Técnica Particular de Loja.
- 16 Comité ejecutivo de la norma ecuatoriana de la construcción. (2011). *NEC-11 Norma Ecuatoriana de la Construcción*. Ecuador.
- 17 Contreras, L. (2010). *Sustentabilidad, Nuevo paradigma del Siglo XXI*. Obtenido de <http://es.slideshare.net/tendresee/paper-sustentabilidad>.
- 18 Díaz, R. (2008). *Caracterización energética del bagazo de caña de azúcar del Ingenio Valdez*. Ecuador: ESPOCH Escuela Politécnica del Chimborazo .
- 19 Domoterra. (2013). <http://www.domoterra.es>.
- 20 Dreher, D. (2014). <http://www.douglasdreher.com/proyectos/canaguadua>.
- 21 Figueroa, F. (2008). *Tablero de Comando para la Promoción de los Biocombustibles en Ecuador*. CEPAL: Publicación de las Naciones Unidas.
- 22 García-Ten, J., Silva, G., Cantavella, V., & Lorente, M. (2014). *Utilización de materiales aligerantes en la fabricación de bloques de*

*Termoarcilla. Influencia sobre la conductividad térmica y el comportamiento en el proceso.* España: Universitat Jaume I.

- 23 Hernández, M., Rodríguez, B., Middenford, B., Rubio, A., Martínez, F., Machado, L., & González, L. (Febrero de 2001). *Propiedades puzolánicas de desechos de la industria azucarera (segunda parte)*. Cuba: Universidad Central de las Villas. Recuperado el 05 de abril de 2014, de <http://www.anavam.com/docs/foroXI-ponencia-mesadebate-Sectores%20difusos-Construccion.pdf>
- 24 Hernández, R. (2008). *Uso de fibras de bagazo de caña en concreto. Tratamiento de las fibras con parafina*. México: Universidad Veracruzana.
- 25 Horta, L. (2010). *Indicadores de políticas públicas en materia de eficiencia energética en América Latina y el Caribe*. Chile: CEPAL.
- 26 IEA International Energy Agency. (2010). *Energy Efficiency Governance*. Francia.
- 27 Incropera, F., & De Witt, D. (1996). *Fundamentos de transferencia de calor, Capítulo 2, Cuarta Edición*. México: Prentice Hal.
- 28 Instituto Ecuatoriano de Normalización. (1993). *INEN 638, Bloques huecos de hormigón, definiciones, clasificación y condiciones generales, 1º. Edición*. Ecuador.
- 29 Instituto Ecuatoriano de Normalización. (1993). *INEN 643, Bloques huecos de hormigón, requisitos, 1º. Edición*. Ecuador. .
- 30 IPCC . (2009). *Submission of the United Nations Environment Programme (UNEP) Sustainable Building Initiative (SBCI) to the Ad Hoc Working Group on Long-Term Cooperative Action under the Convention (AWG-LCA)*. Naciones Unidas: UNEP.
- 31 IVE Instituto Valenciano de la Electrificación. (2011). *Cuadernos de Rehabilitación, Productos y Materiales, Propiedades de aislantes térmicos para rehabilitación energética*. España.
- 32 Jacobo Guillermo José, V. D. (2004). *Materiales aislantes en la edificación arquitectónica. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas(T-094)*.
- 33 Jacobo, G. (2007). *Construcción sostenible. Materiales de construcción energética y ambientalmente eficientes en el nordeste de Argentina*. España: <http://habitat.aq.upm.es>.

- 34** Laguna, M. (2011). *Ladrillo ecológico como material sostenible para la construcción, Departamento de Proyectos e Ingeniería Rural*. España: Universidad Pública de Navarra.
- 35** Martina, P., Aeberhard, A., Aeberhard, M., & Corace, J. (2011). *Fabricación de un equipo de placa caliente para determinación de la conductividad térmica de materiales*. Argentina: Universidad Nacional del Nordeste, Comunicaciones científicas y tecnológicas.
- 36** Naturland. (2000). *Agricultura orgánica en el trópico y subtrópico – Caña de Azúcar, 1<sup>o</sup>. Edición, Alemania*. Obtenido de [http://www.naturland.de/sobre\\_naturland.html](http://www.naturland.de/sobre_naturland.html) .
- 37** Neila, J., & Bedoya, C. (1997). *El comportamiento térmico y la inercia térmica de las fábricas con bloques Termoarcilla*. Obtenido de <http://www.ceramica-lapaloma.com/pdf/documentacion/articulos/elcomportamientotermicoylainerciatermica.pdf>.
- 38** Oliveira de Paula, M., Ferreira, I., Rodríguez, C., & Osorio, J. (2009). *Ceniza de bagazo de caña de azúcar como material de sustitución parcial del cemento Portland*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- 39** Pere, A. (1997). *La construcción sostenible. El estado de la cuestión*. España: UPC.
- 40** Pisarenko, Yákovlev, & Matvéev. (1979). *Manual de Resistencia de Materiales*. Moscú: MIR.
- 41** PNUMA. (2009). <http://www.pnuma.org>.
- 42** Pozo, C. (2011). *Aprovechamiento del bagazo de caña de azúcar en la fabricación de bloques ecológicos para mampostería liviana*. Ecuador: Escuela Politécnica del Chimborazo.
- 43** Reyes Bañuelos, I. (2008). *Concreto reforzado con fibra de bagazo de caña*. México: Universidad Veracruzana.
- 44** Reyes, S. (2012). *Panel de fibra vegetal para la división de espacios interiores*. Ecuador: Universidad Técnica Particular de Loja.
- 45** Ríos González, E. (2011). *Empleo de la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) como sustituto porcentual del agregado fino en la elaboración de concreto hidráulico*. México. : Universidad Veracruzana.

- 46** Rojas, M. (2010). *Diseño de un proceso tecnológico para la fabricación de tableros que se utilizarán como materiales de construcción*. Venezuela: Universidad de Oriente.
- 47** Roldán, L. (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*. Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- 48** WWF. (2008). <http://www.wwf.org>.
- 49** Yépez, T. (2012). *Análisis de la arquitectura vernácula del Ecuador: Propuestas de una arquitectura contemporánea sustentable*. España: Universidad Politécnica de Cataluña.

## ANEXOS

### ANEXO 1

#### **Anexo 1. Pruebas de medición de coeficiente de conductividad térmica**

##### **Nomenclatura**

T1: Temperatura interna de la placa caliente

T2: Temperatura de la periferie de la placa caliente

T3: Temperatura de la placa fría 1

T4: Temperatura de la placa fría 2

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

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

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

V: Voltaje entregado a la placa caliente en voltios.

I: Corriente entregada a la placa caliente en amperios.

H: Porcentaje de humedad relativa del ambiente.

Ta: Temperatura ambiente en centígrados.

P1: Peso de la muestra 1 en gramos.

P2: Peso de la muestra 2 en gramos.

T se: Temperatura del sistema enfriamiento. (referencial)

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

$\lambda$ : Coeficiente de conductividad térmica W/oK.m

**Tabla 1**

**Ensayo de conductividad térmica para yeso empapelado**

<b>P1</b>	<b>g</b>	<b>1010</b>
<b>P2</b>	<b>g</b>	<b>1025</b>
<b>T sistema de enfriamiento</b>	<b>°C</b>	<b>12</b>
<b>A</b>	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>0,0225</b>
<b>L</b>	<b>m</b>	<b>0,015</b>

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

Tabla 2

### Ensayo de conductividad térmica para tablero de bagazo de caña de azúcar

<b>A</b>	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>0,0225</b>
<b>L</b>	<b>m</b>	<b>0,05</b>
<b>P1</b>	<b>g</b>	<b>500</b>
<b>P2</b>	<b>g</b>	<b>625</b>
<b>t sistema enfriamiento</b>	<b>°C</b>	<b>12</b>

hh:mm		10:00	10:15	11:30	12:00	12:35	13:00	14:30	15:00	15:30	16:00
<b>T1</b>	°C	29,20	31,20	37,70	38,80	39,60	40,1	41,1	41,5	41,6	41,7
<b>T2</b>	°C	29,00	29,60	36,90	38,10	30,80	39,4	40,5	40,8	40,7	41
<b>T3</b>	°C	17,80	18,10	19,20	19,00	19,00	19	19	19,2	19	19
<b>T4</b>	°C	17,70	18,00	19,10	18,90	18,90	18,8	18,8	19	18,8	18,9
<b>Ti</b>	°C	31,00	29,84	36,91	37,97	38,84	39,34	40,47	40,81	40,94	41
<b>Te</b>	°C	29,70	28,50	35,80	36,90	37,80	38,3	39,4	39,7	39,5	39,8
<b>Ti-Te</b>	°C	1,330	1,360	1,060	0,980	1,020	1,03	1,03	1,08	1,34	1,17
<b>V</b>	V	6,690	6,550	4,840	4,830	4,830	4,83	4,83	4,83	4,83	4,83
<b>I</b>	A	0,060	0,060	0,040	0,040	0,040	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
<b>%H</b>	%	45,60	45,60	46,90	47,10	45,70	44,2	43,4	46,5	48,8	48,1
<b>Td</b>	°C	21,10	21,10	21,30	21,40	21,40	21,6	21,7	21,9	21,7	21,3
<b>Q</b>	W	0,200	0,196	0,096	0,096	0,096	0,0966	0,0966	0,0966	0,0966	0,0966
<b>ΔT</b>	°K	11,40	13,10	18,50	19,80	20,60	21,1	22,1	22,3	22,6	22,7
<b>λ</b>	W/°K.m	0,039	0,033	0,011	0,011	0,010	0,0101	0,0097	0,0096	0,0094	0,0094

Tabla 3

**Ensayo de conductividad térmica para bloque de bagazo de caña de azúcar**

<b>P1</b>	<b>gr</b>	<b>6700</b>
<b>P2</b>	gr	6610
<b>t sistema enfriamiento</b>	°C	12
<b>A</b>	m <sup>2</sup>	0,0225
<b>L</b>	m	0,05

<b>Hora</b>	<b>hh:mm</b>	<b>12:45</b>	<b>14:00</b>	<b>15:00</b>	<b>15:30</b>
<b>T1</b>	°C	28,9000	33,2000	30,8000	29,9000
<b>T2</b>	°C	28,5000	33,9000	31,4000	30,4000
<b>T3</b>	°C	19,4000	21,4000	20,9000	20,6000
<b>T4</b>	°C	20,0000	19,8000	19,6000	19,3000
<b>Ti</b>	°C	30,1200	34,4100	31,7200	30,7200
<b>Te</b>	°C	29,0000	33,4000	30,7000	29,7000
<b>Ti-Te</b>	°C	1,0200	0,9700	1,0000	0,9800
<b>V</b>	V	5,5730	4,3030	4,4400	4,4730
<b>I</b>	A	0,0500	0,0400	0,0400	0,0400
<b>%H</b>	%	49,5000	48,4000	49,9000	50,7000
<b>Td</b>	°C	21,2000	21,1000	19,9000	20,1000
<b>Q</b>	W	0,1393	0,0861	0,0888	0,0895
<b>ΔT</b>	°K	9,5000	11,8000	9,9000	9,3000
<b>λ</b>	W/°K.m	0,0326	0,0162	0,0199	0,0214



Tabla 4

**Ensayo de conductividad térmica para bagazo de caña de azúcar con densidad D1**

<b>P1</b>	<b>gr</b>	<b>150</b>				
<b>P2</b>	gr	155				
<b>t sistema enfriamiento</b>	°C	12				
<b>A</b>	m <sup>2</sup>	0,0225				
<b>L</b>	m	0,052				
<b>Hora</b>	<b>hh:mm</b>	<b>9:45</b>	<b>10:45</b>	<b>11:30</b>	<b>12:00</b>	<b>12:31</b>
<b>T1</b>	°C	25,5000	26,6000	28,6000	29,3000	30,0000
<b>T2</b>	°C	25,7000	24,3000	27,8000	29,1000	29,0000
<b>T3</b>	°C	16,7000	16,8000	17,1000	17,4000	17,1000
<b>T4</b>	°C	16,6000	18,1000	17,5000	17,2000	17,5000
<b>Ti</b>	°C	25,4400	27,3000	29,2800	29,8400	30,7200
<b>Te</b>	°C	24,7000	25,6000	28,0000	28,6000	29,5000
<b>Ti-Te</b>	°C	0,7000	1,6600	1,2200	1,1700	1,1600
<b>V</b>	V	3,8000	5,1400	4,2200	4,2200	4,2200
<b>I</b>	A	0,0300	0,0500	0,0300	0,0300	0,0400
<b>%H</b>	%	49,8000	47,9000	49,0000	50,5000	50,2000
<b>Td</b>	°C	19,9000	20,0800	21,1000	20,7000	20,9000
<b>Q</b>	W	0,0570	0,1285	0,0633	0,0633	0,0844
<b>ΔT</b>	°K	8,8000	9,8000	11,5000	11,9000	12,9000
<b>λ</b>	W/°K.m	0,0150	0,0303	0,0127	0,0123	0,0151

**Densidad de la muestra de biomasa 1**

<b>Dimensiones (cm)</b>	<b>30</b>	<b>29,7</b>	<b>5,2</b>
<b>V1</b>	4633,2	cm <sup>3</sup>	
<b>P1 molde</b>	4400	g	
<b>P1 biomasa</b>	150	g	
<b>Densidad 1</b>	0,032375	g/cm <sup>3</sup>	

### Densidad de la muestra de biomasa 2

<b>Dimensiones (cm)</b>	<b>30,4</b>	<b>29,7</b>	<b>5,2</b>
<b>V2</b>	4694,976	cm <sup>3</sup>	
<b>P2 molde</b>	4420	g	
<b>P1 biomasa</b>	155	g	
<b>Densidad 1</b>	0,033014	g/cm <sup>3</sup>	

**Tabla 5**

### Ensayo de conductividad térmica para bagazo de caña de azúcar con densidad D2

<b>P1</b>	<b>gr</b>	<b>280</b>
<b>P2</b>	gr	281
<b>t sistema enfriamiento</b>	°C	12
<b>A</b>	m <sup>2</sup>	0,0225
<b>L</b>	m	0,052

<b>Hora</b>	<b>hh:mm</b>	<b>12:40</b>	<b>14:00</b>	<b>14:30</b>	<b>15:00</b>	<b>15:15</b>
<b>T1</b>	°C	30,3000	29,3000	25,6000	28,2000	29,1000
<b>T2</b>	°C	27,7000	28,3000	25,0000	27,6000	28,4000
<b>T3</b>	°C	17,1000	17,2000	17,6000	16,8000	17,0000
<b>T4</b>	°C	18,9000	18,1000	17,2000	16,6000	16,8000
<b>Ti</b>	°C	30,8100	29,4100	26,1600	29,0600	29,8400
<b>Te</b>	°C	29,5000	28,9000	25,2000	28,0000	28,8000
<b>Ti-Te</b>	°C	1,2500	0,5300	0,9500	1,0200	0,9700
<b>V</b>	V	4,2200	1,8900	4,4400	4,4400	4,4400
<b>I</b>	A	0,0350	0,0100	0,0400	0,0350	0,0400
<b>%H</b>	%	48,3000	52,4000	51,9000	52,7000	53,6000
<b>Td</b>	°C	21,0000	20,0000	20,3000	20,1000	20,1000
<b>Q</b>	W	0,0739	0,0095	0,0888	0,0777	0,0888
<b>ΔT</b>	°K	13,2000	12,1000	8,0000	11,4000	12,1000
<b>λ</b>	W/°K.m	0,0129	0,0018	0,0257	0,0158	0,0170

**Densidad de la muestra de biomasa 1**

<b>Dimensiones (cm)</b>	<b>30</b>	<b>29,7</b>	<b>5,2</b>
<b>V1</b>	4633,2	cm <sup>3</sup>	
<b>P1 molde</b>	4400	g	
<b>P1 biomasa</b>	217,5	g	
<b>Densidad 1</b>	0,0469438	g/cm <sup>3</sup>	

**Densidad de la muestra de biomasa 2**

<b>Dimensiones (cm)</b>	<b>30,4</b>	<b>29,7</b>	<b>5,2</b>
<b>V2</b>	4694,976	cm <sup>3</sup>	
<b>P2 molde</b>	4420	g	
<b>P1 biomasa</b>	222,5	g	
<b>Densidad 1</b>	0,0473911	g/cm <sup>3</sup>	

Tabla 6

**Ensayo de conductividad térmica para bloque de cáscara de cacao y cemento.**

<b>P1</b>	<b>gr</b>	<b>5925,0000</b>					
<b>P2</b>	<b>gr</b>	<b>5800,0000</b>					
<b>t sistema enfriamiento</b>	<b>°C</b>	<b>12,0000</b>					
<b>A</b>	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>0,0225</b>					
<b>L</b>	<b>m</b>	<b>0,0500</b>					
<b>Hora</b>	<b>hh:mm</b>	<b>0,3958</b>	<b>0,4375</b>	<b>0,4583</b>	<b>0,4792</b>	<b>0,5000</b>	<b>0,5208</b>
<b>T1</b>	<b>°C</b>	29,2000	27,4000	28,1000	28,4000	28,8000	29,0000
<b>T2</b>	<b>°C</b>	29,0000	27,1000	27,7000	27,9000	28,3000	28,5000
<b>T3</b>	<b>°C</b>	18,4000	18,9000	19,0000	19,0000	19,1000	19,0000
<b>T4</b>	<b>°C</b>	18,2000	18,7000	18,8000	18,0700	18,8000	18,8000
<b>Ti</b>	<b>°C</b>	30,9400	28,0600	28,7500	29,1200	29,4700	29,7200
<b>Te</b>	<b>°C</b>	30,0000	27,0000	27,7000	28,0000	28,4000	28,7000
<b>Td</b>	<b>°C</b>	0,8600	1,0300	1,0200	1,0000	1,0300	1,0000
<b>V</b>	<b>V</b>	5,7000	5,5830	5,7600	5,7300	5,5720	5,7230
<b>I</b>	<b>A</b>	0,0500	0,0500	0,0500	0,0500	0,0500	0,0500
<b>%H</b>	<b>%</b>	48,1000	47,8000	47,4000	48,3000	49,6000	49,0000
<b>t</b>	<b>°C</b>	20,5000	20,7000	20,5000	20,7000	20,9000	21,0000
<b>Q</b>	<b>W</b>	0,1425	0,1396	0,1440	0,1433	0,1393	0,1431
<b>ΔT</b>	<b>°K</b>	10,8000	8,5000	9,1000	9,4000	9,7000	10,0000
<b>λ</b>	<b>W/°K.m</b>	0,0293	0,0365	0,0352	0,0339	0,0319	0,0318

## ANEXO 2

### Anexo 2. Pruebas de medición de resistencia a la compresión

#### Pruebas en probetas

#### Columnas:

**a: Nomenclatura**

**b: Volumen de probeta (dm<sup>3</sup>)**

**c: Cantidad cilindros construidos**

**d: Cemento**

**e: Arena**

**f: Biomasa**

**g: Agua**

**h: Observaciones**

#### Datos de cálculo

a	Proporciones					Cálculo de volumen dm <sup>3</sup> ó l			Peso kg				
	b	c	d	e	f	d	e	f	d	e	f	g	h
<b>B1</b>	1,57	1	1	2	1	0,39	2,46	0,39	1,23	6,16	0,04	0,8	sin desmenuzar
<b>B3</b>	1,57	1	1	2	3	0,26	1,64	0,79	0,82	4,11	0,07	0,65	sin desmenuzar
<b>B5</b>	1,57	1	1	2	5	0,2	1,23	0,98	0,62	3,08	0,09	0,7	sin desmenuzar
<b>BD3</b>	1,57	1	1	2	3	0,26	1,64	0,79	0,82	4,11	0,07	0,65	desmenuzado
<b>BD5</b>	1,57	1	1	2	5	0,2	1,23	0,98	0,62	3,08	0,09	0,7	desmenuzado
<b>B2</b>	1,57	1	1	2	2	0,31	1,97	0,63	0,99	4,93	0,06	0,8	sin desmenuzar
<b>B2</b>	1,57	1	1	2	2	0,31	1,97	0,63	0,99	4,93	0,06	0,8	Trozos 2.5cm
<b>BC2</b>	5,3	1	1	2	2	1,06	6,66	2,12	3,33	9,99	0,19	0,8	Trozos 5cm

## Resultado de pruebas

### Nomenclatura columnas:

**a: Muestra**

**b : Peso de probeta en gramos**

**c: Altura de probeta en centímetros**

**d: Diámetro de probeta en centímetros**

**e: Área de probeta en centímetros cuadrados**

**f: Volumen de probeta en centímetros cúbicos**

**g: Densidad en gramos sobre centímetro cúbico**

**h: Carga en Kilogramos**

**i: Compresión en kilogramos sobre centímetros cuadrados**

**j: Compresión en Mega Pascales**

**k: Edad del bloque en días**

a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k
No.	(g)	(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>3</sup> )	(g/cm <sup>3</sup> )	(Kg)	(Kg/cm <sup>2</sup> )	Mpa	(Días)
<b>B1</b>	2718,3	20	10,1	80,1184	1602,3	1,6964	5098,73	63,64	6,243084	7
<b>B3</b>	2298	20,1	10	78,5398	1578,6	1,4556	868,650	11,06	1,084986	7
<b>B5</b>	1802	20	10,3	83,3228	1666,4	1,0813	514,102	6,17	0,605277	7
<b>BD3</b>	1802	20,2	10,25	82,5158	1662,7	1,0837	1070,23	12,97	1,272357	7
<b>BD5</b>	1736	20,1	10,3	83,3228	1674,7	1,0365	557,430	6,69	0,656289	7
<b>B2</b>	2650	20	10	78,5398	1570,8	1,6870	530	6,75	0,662175	7
<b>BC2</b>	8630	30	15	176,7	5301,4	1,6278	650	0,92	0,090252	7

### Prueba en bloque

Dimensiones (cm)						
a	b	c	Área cm <sup>2</sup>	Carga(kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia (Mpa)
<b>14</b>	29,5	9,5	413	9990	24,19	2,37