



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

**CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN Y  
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL OAXACA**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y  
APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES**

**INGENIERÍA**

**CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE UN PANEL  
BIOCOMPUESTO EMPLEANDO FIBRA DE BAGAZO  
DE AGAVE ANGUSTIFOLIA HAW Y LÁTEX.**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y  
APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES**

**PRESENTA**

**MARCO ANTONIO RAMÍREZ SORROZA**

**DIRECTORES:**

**DR. RAFAEL ALAVEZ RAMÍREZ**

**DR. MAGDALENO CABALLERO CABALLERO**

SANTA CRUZ XOXOCOTLAN, ENERO 2018



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

SIP-14-BIS

*ACTA DE REVISIÓN DE TESIS*

En la Ciudad de Oaxaca siendo las 10:00 horas del día 15 del mes de diciembre del 2017 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CIIDIR OAXACA para examinar la tesis titulada:  
Conductividad térmica de un panel biocompuesto empleando fibras de Bagazo de Agave Angustifolia Haw y Látex.

Presentada por el alumno:

Ramírez Sorroza  
Apellido paterno Apellido materno  
Nombre(s) Marco Antonio  
Con registro: 

A	1	5	0	0	3	8
---	---	---	---	---	---	---

aspirante de:

Maestría en Ciencias en Conservación y Aprovechamiento de Recursos Naturales

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA


Directores de tesis

  
Dr. Rafael Alavez Ramirez

  
Dr. Magdalena Caballero Caballero

  
Dr. Fernando Chinas Castillo

  
Dr. Prisciliano Felipe de Jesús  
Cano Barrera

  
Dr. Miguel Chávez Gutiérrez

  
Dr. Francisco Castellanos León

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

  
Dr. Salvador Isidro Belmonte Jiménez





**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

**CARTA CESIÓN DE DERECHOS**

En la Ciudad de México, D.F. el día 18 del mes de diciembre del año 2017, el (la) que suscribe RAMÍREZ SORROZA MARCO ANTONIO alumno(a) del Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES, con número de registro A150038, adscrito(a) al **Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca**, manifiesto(a) que es el (la) autor(a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del (de la, de los) **Dres. Rafael Alavéz Ramírez y Magdaleno Caballero Caballero** y cede los derechos del trabajo titulado **“Conductividad térmica de un panel biocompuesto empleando fibras de Bagazo de Agave Angustifolia Haw y Látex”**, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del (de la) autor(a) y/o director(es) del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a las siguientes direcciones [posgradoox@hotmail.com](mailto:posgradoox@hotmail.com) ó [msorroza3@hotmail.com](mailto:msorroza3@hotmail.com). Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

RAMÍREZ SORROZA MARCO ANTONIO  
Nombre y firma del alumno(a)



CENTRO INTERDISCIPLINARIO  
DE INVESTIGACIÓN PARA EL  
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL  
C.I.I.D.I.R.  
UNIDAD OAXACA  
I.P.N.

## DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

A Dios, porque seguimos amaneciendo.

A mi familia, que siempre ha creído en mí, me ha apoyado y me ha impulsado.

Mi esposa, fuente de inspiración e impulso para lo impensable y mis hijos, Marco y Alberto, inquisitivos e inquietos.

Mi padre, a quien le hubiera gustado verlo, a mi madre, con su constancia, preocupación y ejemplo.

Mis hermanos, mis cuñadas, mis sobrinos.

Agradezco al CONACYT por la oportunidad y apoyo al cursar esta maestría.

Muy especialmente al CIIDIR IPN Oaxaca por los valiosos conocimientos, las facilidades de trabajo, las instalaciones y la apertura a las ideas.

A mis directores de tesis, el doctor Rafael Alavéz Ramirez y el doctor Magdaleno Caballero Caballero, por su interés, su franqueza y su dedicación.

A mi comité revisor, por sus sugerencias, apoyo y paciencia.

Al personal que está siempre pendiente, al amigo Bernabé, al maestro Margarito, al maestro Luis, al señor Fresco, al maestro Navarro, el doctor Víctor, la maestra María, la doctora Lilia, el doctor Juan....

A todos los que diariamente saludé y mi ingrata memoria no atrae.

A mis compañeros y a todos los amigos.

## Nomenclatura

Nomenclatura	Significado
ASTM	American Society for Testing and Materials
BFAL	Biocompuesto de fibra de agave y látex
CO2	Bióxido de carbono
EPS	Polietileno expandido
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FAS	Fibra de agave sola
IPICYT	Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica A.C.
MEB	Microscopio electrónico de barrido
MOB	Microscopio óptico binocular
NFPC	Compuestos naturales de fibra y polímero
RPET	Poliéster reciclado
RSTIB	Aislante térmico de paja de arroz
WHO	World Health Organization

## Lista de tablas.

	<b>Pag.</b>
Tabla 1. Propiedades térmicas de algunos materiales.....	17
Tabla 2. Agaváceas de México.....	27
Tabla 3. Usos del agave en México.....	28
Tabla 4. Clasificación científica del agave angustifolia haw .....	29
Tabla 5. Características físicas y químicas de las fibras del bagazo .....	31
Tabla 6. Composición del látex natural.....	32
Tabla 7. Propiedades del látex .....	33
Tabla 8. Combinaciones de fibra y resinas .....	48
Tabla 9. Evaluación de propiedades térmicas del BFAL en diferentes formulaciones.....	51
Tabla 10. Valores obtenidos en la evaluación de densidad de la FAS.....	57
Tabla 11. Resumen de tamaños, pesos y densidades de la FAS.....	63
Tabla 12. Características térmicas de la FAS .....	64
Tabla 13. Resumen de compatibilidades fibra y resinas. ....	65
Tabla 14. Resultados de absorción de agua.....	66
Tabla 15. Resumen de las propiedades térmicas del BFAL.....	68
Tabla 16. Resultados de la prueba de combustión. ....	69
Tabla 17. Energía empleada para producir un panel de 1 m <sup>2</sup> .....	73
Tabla 18. Toneladas de CO <sub>2</sub> equivalentes emitidas para producir un panel de 1 m <sup>2</sup> .....	73
Tabla 19. Costo económico de producción por metro cuadrado.....	74
Tabla 20. Materiales aislantes, usados y propuestos .....	75
Tabla 21. Costo energético de producción aislantes .....	77

## Lista de figuras.

	<b>Pag.</b>
Figura 1. Flujo de calor en un cuerpo .....	25
Figura 2. Diseño del experimento para la fibra sola de Agave angustifolia Haw .....	34
Figura 3. Proceso de colecta de la fibra de bagazo .....	35
Figura 4. Bagazo en greña .....	35
Figura 5. Bagazo extendido para su secado.....	36
Figura 6. Corte manual de la fibra. ....	36
Figura 7. Proceso de la fibra en molino manual de muelas. ....	37
Figura 8. Molino forrajero y fibra molida.....	37
Figura 9. Molino Fritsh PULVERISETTE19.....	38
Figura 10. Materiales para la determinación de densidad de FAS.....	39
Figura 11. Contenedor con fibra .....	40
Figura 12. Contenedor con fibra en el horno.....	40
Figura 13. Base del conductivímetro .....	42
Figura 14. Diseño del conductivímetro.....	42
Figura 15. Diagrama eléctrico del conductivímetro .....	44
Figura 16. Desarrollo del conductivímetro .....	44
Figura 17. Aislante Armaflex para los tubos del conductivímetro.....	45
Figura 18. Aspecto del conductivímetro terminado .....	45
Figura 19. Inicio del proceso de caracterización termofísica de la FAS. ....	46
Figura 20. Colocación de la fibra y termopares en el conductivímetro.....	47
Figura 21. Equipo de control del conductivímetro .....	47
Figura 22. Pesado de la fibra .....	48
Figura 23. Preparación de los moldes .....	49
Figura 24. Llenado de los moldes.....	49
Figura 25. Pruebas de absorción de agua .....	50
Figura 26. Fabricación del panel biocompuesto por capas y atomización. ....	51
Figura 27. Evaluación de la estructura de la red fibrosa del BFAL .....	53
Figura 28. Microscopio binocular Stemi 2000 (MOB) .....	54
Figura 29. Microscopio electrónico de barrido JSM-IT300 (MEB).....	54
Figura 30. Muestras a observar en el microscopio electrónico de barrido .....	55
Figura 31. Ejemplares para evaluación de fuego. ....	55
Figura 32. Colocación de ejemplar. ....	56
Figura 33. Fibra en greña.....	58
Figura 34. Fibra de 5 cm .....	59
Figura 35. Fibra de 2 cm .....	60
Figura 36. Fibra de 1 cm .....	62
Figura 37. Resumen de caracterización de conductividad térmica de FAS .....	63
Figura 38. Aspecto de las muestras al momento de desmolde .....	65
Figura 39. Pesaje de los cubos. ....	65
Figura 40. Gráficas de las propiedades térmicas de BFAL.....	67
Figura 41. Resumen de la conductividad térmica BFAL.....	68
Figura 42. Aplicación de flama .....	69
Figura 43. FAS molida colocada libremente .....	70
Figura 44. BFAL proporción 50-50 .....	70

Figura 45. Microfotografías de la fibra sola .....	71
Figura 46. FAS a 600 X.....	71
Figura 47. Microfotografías del biocompuesto .....	72
Figura 48. BFAL a 50 X.....	72
Figura 49. Grafico comparativo de la conductividad térmica .....	76



## Resumen.

Este trabajo presenta los resultados de la investigación de las propiedades térmicas (conductividad térmica, resistividad térmica y calor específico) de un panel biocompuesto, con fibra de bagazo de *Agave angustifolia* Haw y matriz de resina polimérica, las pruebas se hicieron en un equipo especialmente desarrollado para este fin y validado con materiales aislantes comerciales. En la primera etapa de esta investigación se obtuvieron los coeficientes térmicos para la fibra de agave *angustifolia* Haw con diferentes tamaños de fibras en greña y 5 cm con densidades de 46.17 a 48.48 kg/m<sup>3</sup>; de 2 cm con densidades de 124.65 a 132.96 kg/m<sup>3</sup> y de 1 cm con densidades de 246.23 a 277.01 kg/m<sup>3</sup>. En la segunda etapa se evaluó la compatibilidad del compuesto resultante con la fibra de *Agave angustifolia* Haw y 3 resinas diferentes, látex, urea formaldehído y brea de pino. La mejor compatibilidad la presentó la fibra con el látex, por lo que se empleó esta combinación en la caracterización. En la tercera etapa se formuló el biocompuesto en 3 proporciones diferentes de fibra y látex. En la cuarta etapa se obtuvieron los valores de las propiedades ignífugas del compuesto. En la quinta etapa se evaluaron los costos energéticos y económicos del compuesto y se realizó la comparación de propiedades termofísicas con materiales comerciales. Los mejores resultados de conductividad térmica (0.044 W/m°C) de la fibra sola se obtuvieron con fibra molida a un tamaño de 1 cm de longitud y densidad de 246.23 kg/m<sup>3</sup>, para la segunda etapa de desarrollo del biocompuesto se seleccionó el látex, en la tercera etapa, evaluación del biocompuesto, la mejor conductividad térmica (0.037 W/m°C) se obtuvo en el panel de 60 % de fibra y 40 % de látex, con una densidad de 436 kg/m<sup>3</sup>. En la etapa 4, los resultados de las pruebas ignífugas mostraron que el comportamiento del biocompuesto fue similar al del poliuretano (0.04). Durante la etapa 4, la evaluación económica del panel propuesto fue de \$ 205.00 m.n., con un impacto ecológico muy bajo, ya que es un panel totalmente compostable. Al comparar el compuesto contra los productos comerciales existente en la etapa 5, se encontró que los resultados encontrados fueron equiparables a los de los paneles de poliestireno expandido, cuya conductividad térmica es de 0.041 W/m°C. Los resultados obtenidos muestran la factibilidad de utilizar el desperdicio de la industria del mezcal (el bagazo de maguey) y una matriz orgánica (el látex) como alternativa para mejorar el confort térmico en viviendas o espacios productivos siendo el compuesto amigable con el ambiente desde su producción hasta su disposición final y con una huella de carbono muy baja y un costo energético mínimo.

## **Abstract.**

This work presents the results of the investigation of the thermal properties (thermal conductivity, thermal resistivity and specific heat) of a biocomposite panel, with *Agave angustifolia* Haw bagasse fiber and polymer resin matrix. The tests were done in an equipment specially developed for this purpose and validated with commercial insulation materials. In the stage 1 of this research, the thermal coefficients were obtained for the raw *Agave angustifolia* Haw fiber with different sizes: 5 cm with densities of 46.17 to 48.48 kg / m<sup>3</sup>, 2 cm with densities of 124.65 to 132.96 kg / M<sup>3</sup> and 1 cm with densities from 246.23 to 277.01 kg / m<sup>3</sup>. The stage 2 evaluated the compatibility of the resulting compound with *Agave angustifolia* Haw fiber and 3 different resins: latex, urea formaldehyde and pine pitch. The fiber with latex showed the best compatibility; therefore, this combination was used in the characterization. In the stage 3, the biocomposite was formulated in 3 different proportions of fiber and latex. In the stage 4, the values of the flameproof properties of the compound were obtained. In the stage 5 the energy and economic costs of the compound were evaluated and the comparison of thermophysical properties with commercial materials was made. The best results of thermal conductivity (0.044 W/m<sup>2</sup>°C) of the fiber alone were obtained with milled fiber at a size of 1 cm in length and density of 246.23 kg/m<sup>3</sup>. For the stage 2 of development of the biocomposite the latex was selected. In the stage 3, which consisted in the evaluation of the biocomposite, the best thermal conductivity (0.037 W/m<sup>2</sup>°C) was obtained in the panel of 60% fiber and 40% latex with a density of 436 kg/m<sup>3</sup>. In stage 4, the results of the fireproof tests showed that the biocomposite was similar to poliuretane. During stage 4, the economic evaluation of the proposed panel was \$ 205.00 Mexican pesos, but with a very low ecological impact, since it is a fully compostable panel. When comparing the compound against the commercial products existing. In stage 5, the findings were comparable to those of the expanded polystyrene panels, whose thermal conductivity is 0.041 W/m<sup>2</sup>°C. The results obtained showed the feasibility of using the waste from mezcal industry (maguey bagasse) and an organic matrix (latex) as an alternative to improve thermal comfort in housing or productive spaces. This biocomposite proved to be environmentally friendly from its production until its final disposal and with a very low carbon footprint and a minimum energy cost.

## Índice

Lista de tablas.....	vi
Lista de figuras.....	vii
Resumen.....	ix
Abstract.....	10
Índice.....	11
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN.....	13
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
1.2. Justificación de la investigación.....	16
1.3. Hipótesis.....	19
1.4. Objetivos.....	19
1.2.1 Objetivo general.....	19
1.2.2 Objetivos específicos.....	19
1.5. Antecedentes de la investigación.....	20
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.....	23
2.1 Calor y transferencia de calor.....	23
2.2 Ley De Fourier.....	24
2.3 Propiedades ignifugas de los materiales.....	26
2.4 El bagazo de agave.....	27
2.4.1 El cultivo del espadín.....	28
2.4.2 El mezcal.....	29
2.4.3 Los residuos de la obtención del mezcal.....	30
2.5 El látex, su naturaleza y características.....	31
CAPITULO III. MATERIALES Y METODOS.....	34
3.1 Fase 1. Caracterización de las propiedades termofísicas de la fibra de agave sola (FAS).....	34
3.1.1 Selección de la fibra.....	35
3.1.2 Adecuación de la fibra.....	36
3.1.3 Evaluación de las propiedades termofísicas de la FAS.....	38
3.1.4 Determinación de la densidad de la FAS.....	38
3.1.5 Determinación del peso volumétrico y absorción de humedad de la FAS.	39
3.1.6 Determinación de la conductividad térmica.....	41

3.1.7	Desarrollo del conductivímetro .....	41
3.2	Fase 2. Desarrollo de un panel biocompuesto con bagazo de Agave angustifolia Haw y matriz polimérica.....	47
3.3	Fase 3. Determinación de las propiedades térmicas e ignífugas del biocompuesto fibra/látex (BFAL).....	51
3.3.1	Determinación de la red fibrosa del BFAL. ....	52
3.3.2	Determinación de las propiedades ignífugas del biocompuesto de fibra de Agave angustifolia Haw y látex. ....	55
3.4	Fase 4. Comparación de las propiedades termofísicas de los aislantes industriales más comunes del mercado con las del BFAL obtenido. ....	56
3.5	Fase 5. Evaluación de las emisiones de carbono, consumo energético y costo económico del panel biocompuesto. ....	56
CAPITULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....		57
4.1	Resultados de las propiedades termofísicas de la FAS. ....	57
4.1.1	Densidad de la fibra: .....	57
4.1.1	Conductividad térmica de la FAS.....	58
4.2	Resultados del desarrollo de un panel biocompuesto de fibra de bagazo y resina polimérica.....	64
4.3	Resultados de la caracterización térmica de BFAL.....	66
4.3.1	Resultados de las propiedades termofísicas de BFAL.....	67
4.3.2	Resultados de las propiedades ignífugas del BFAL.....	69
4.3.3	Evaluación de la estructura de la red del BFAL. ....	70
4.4	Evaluación de costos del BFAL.....	73
4.5	Comparativo entre el BFAL y los aislantes comerciales.....	74
4.5.1	Propiedades térmicas .....	74
4.5.2	Costo energético.....	77
CAPITULO V. CONCLUSIONES.....		78
5.1	Recomendaciones.....	79
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		80
GLOSARIO.....		84
Anexos .....		86

## CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

Este proyecto se centró en la búsqueda de una alternativa de uso de materiales lignocelulósicos localmente disponibles para producir paneles de construcción de aislamiento térmico.

En la presente investigación se analizaron las propiedades termofísicas e ignifugas de un biocompuesto con fibra de bagazo de *Agave angustifolia* Haw y látex y se comparó con paneles industrializados.

En el primer capítulo se presentaron las problemáticas energéticas, de confort, económicas y las investigaciones al respecto, con las perspectivas de cada una, la hipótesis y los objetivos de la investigación.

En el segundo capítulo se incluye la teoría de transferencia de calor, la cual está regida por la Ley de Fourier; como actúa el fuego en los materiales, que es el bagazo de maguey con su problemática y un resumen de las propiedades del látex como matriz a emplear.

El tercer capítulo se presentó la metodología usada para el desarrollo de la investigación que se dividió en 5 fases, en la primera se evaluó a la fibra sola, se determinó su densidad, el peso volumétrico, la absorción de humedad y su conductividad térmica, en la fase 2 se desarrolló el panel de fibra y matriz polimérica, en la fase 3 se determinaron las propiedades térmicas e ignifugas del biocompuesto de fibra y látex, en la fase 4 se hizo un estudio comparativo de la conductividad térmica de los principales aislantes industriales más utilizados en el mercado y el biocompuesto obtenido; en la fase 5 se compararon los impactos de emisión de carbono, consumo de energía y costo económico de los aislantes y el biocompuesto obtenido.

En el capítulo 4 se presentaron los resultados de cada fase en forma analítica y gráfica.

En el capítulo 5 se presentaron las conclusiones y recomendaciones.

Se agregan las referencias bibliográficas, datos técnicos del equipo empleado, la caracterización química de la fibra y las constancias de los congresos en que se participó.

## 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Cada vez es mayor el problema de temperaturas fuera de la zona de confort en las edificaciones, esto genera una alta demanda de energía para proveer de confort térmico, se pueden usar aislantes térmicos industriales, pero tienen alto costo de instalación, mucha energía necesaria para su fabricación y para su disposición final, y muchas veces son tóxicos o irritantes.

Es muy común buscar las soluciones más baratas, que no siempre son las mejores, pero ante la necesidad, se hacen válidas, esto pasa con los elementos de lámina o de materiales que no ofrecen buenas propiedades para el aislamiento térmico, ya que, si bien cubren del sol y son impermeables, transmiten el calor muy rápidamente, protegiendo poco de las temperaturas extremas, fuera de los límites del confort térmico. Este problema se ve agravado por el cambio climático, sobre todo en la parte del techo, que es donde se recibe la mayor cantidad de irradiación solar, siendo en los techos metálicos un problema bastante grave por las temperaturas que alcanza y porque este calor es transmitido al interior de las viviendas alcanzando temperaturas que exceden el de confort térmico, llegando incluso a considerarse insalubres y no aptas para el trabajo y la convivencia. Ha habido un gran esfuerzo en el campo del diseño de edificios para mejorar la eficiencia energética del edificio y el confort térmico interior, especialmente en edificios con problemas de diseño, lográndose reducir los impactos térmicos en el interior (Ramakrishnan et al, 2017), un ambiente térmicamente cómodo es uno de los atributos más importantes de un espacio desafortunadamente esta comodidad no siempre ha sido bien proporcionada. El confort térmico merece una seria investigación ya que la productividad del trabajador puede estar relacionada con la satisfacción.

El disponer de un material aislante actualmente tiene muy altos costos, desde la fabricación hasta la disposición, ya que requiere mucha energía y materiales para fabricarse, aplicarse y desecharse, además que muchas veces despiden polvos que pueden ser tóxicos o irritantes. Los materiales lignocelulósicos presentan buenas características, semejantes a las de los aislantes térmicos industriales.

Con respecto a la fabricación de los materiales, el uso de materiales más respetuosos con el medio ambiente, obtenidos a partir de fuentes renovables con procesos sostenibles podría ser una solución interesante para la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> (Claramunt et al, 2016), la disposición inadecuada de los desechos agrícolas no sólo da lugar a la contaminación ambiental, sino que también desperdicia una gran cantidad de valiosos recursos de biomasa. Se considera que el reciclaje y la utilización de los desechos agrícolas son el paso importante en la

protección del medio ambiente, la estructura energética y el desarrollo agrícola. Sin embargo, el problema en el actual reciclaje de residuos agrícolas ha impedido el logro de escala de funciones ecológicas (Wang et al, 2016),

Existe una preocupación creciente por el impacto ambiental del uso cada vez mayor de plástico y la generación asociada de residuos plásticos, en particular los subproductos no biodegradables y tóxicos, que también presentan desafíos de eliminación en el vertedero. Los polímeros se producen utilizando el petróleo como materia prima principal y son uno de los materiales más utilizados para diversas aplicaciones industriales, agrícolas y domésticas, debido principalmente a sus buenas propiedades mecánicas, versatilidad, baja densidad y facilidad de procesamiento. Al igual que el agua dulce y otros recursos naturales, el petróleo se hace más escaso y más caro. Como resultado, se deben considerar nuevas fuentes alternativas con menor impacto ambiental, así como tecnologías más limpias para la producción de plástico (García-Ivars et al, 2017) El bagazo es el residuo de los azúcares extraídos para producir el mezcal, es decir, azúcar, celulosa, lignina y hemicelulosa, los cuales provocan un serio problema de contaminación, a consecuencia de los grandes volúmenes acumulados y su resistencia a la degradación, que se lleva entre dos y tres años. Esto genera malos olores y fermentación, además es un nicho para la multiplicación de roedores y patógenos, incluso un riesgo, porque es material flamable. También deteriora el paisaje, ya que esos desperdicios van a parar a tiraderos, cárcavas u hondonadas (Rodríguez-Macías et al., 2010). Este proceso produce más de un millón de toneladas en peso seco al año yendo al alza actualmente.

Considerando estos antecedentes y viendo la disponibilidad de materiales, se podrá considerar viable el utilizar material de desecho, en este caso el bagazo de maguey, en la producción de un panel aislante para techos metálicos, tales como los que existen en la región; esto tendrá las ventajas de ser de muy bajo costo, tanto económico, ambiental y energético porque se produce en abundancia, si se logra desarrollar una matriz de poco o nulo impacto ecológico, el costo de disposición también será de muy bajo costo ya que se podrá biodegradar al final de su vida útil.

## 1.2. Justificación de la investigación

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha señalado que los eventos extremos relacionados con el clima reducen la posibilidad de satisfacer algunas de las condiciones básicas para conservar la salud, tales como las de agua potable, vivienda segura, aire limpio y disposición de alimentos. La desatención a estas condiciones se relaciona con diversas enfermedades, entre las que se encuentran diarrea, paludismo, dengue y desnutrición (FAO/WHO, 2009). Dado el daño potencial que puede tener el clima en la salud, no es sorpresa que muchos países, incluyendo México, se hayan propuesto como prioridad el estudio de la relación de morbilidad y mortalidad con los riesgos sanitarios asociados al clima (Díaz Caravantes Et Al, 2014).

El aislamiento de edificios se realiza comúnmente con materiales obtenidos a partir de productos petroquímicos (principalmente poliestireno) o de fuentes naturales procesados con altos consumos de energía (lanas de vidrio y de roca). Estos materiales provocan efectos perjudiciales sobre el medio ambiente, debido principalmente a la fase de producción, es decir, el uso de materiales no renovables y el consumo de energía fósil, y para la etapa de disposición, es decir, los problemas en la reutilización o el reciclaje de los productos al final de su vida.

En términos de ecología, los aislantes biodegradables son de los materiales de construcción que menos contaminan en su proceso de producción. Las tecnologías alternativas de construcción como son el adobe, los bloques de suelo compactado, la paja de arcilla, el bahareque, los sistemas de techo prefabricados, las bóvedas de ladrillo, los techos de losas con relleno, los cementos con cal y puzolana, etc. pueden ser usados para minimizar el consumo de energía y emisiones de CO<sub>2</sub> en la manufactura de materiales para la construcción de viviendas. Ejemplos de construcciones utilizando materiales alternativos pueden ser encontrados en India y otros sitios (Lunt, 1980; Walker, 1995; Fitzmaurice, 1958). Por otra parte, el uso de materiales aislantes biodegradables no contribuye al agotamiento de los recursos naturales, por lo tanto, disminuye satisfactoriamente el impacto al medio ambiente que genera la extracción de las materias primas, así también, con la presente propuesta se da solución al problema que genera el manejo de los residuos de procesos industriales.

Un aspecto relevante son los costos económicos y la tecnología alternativa de un material aislante biodegradable permite hacer uso de mano de obra y materiales locales, así como reducir los costos en materiales para la construcción. Se generarán nuevas técnicas o procesos que permitirán el mejoramiento o sustitución



de materiales industriales, cuyas características medioambientales, culturales, sociales y económicas se puede considerar como una tecnología apropiada.

Tanto la investigación académica como las industrias exploran nuevas formas de desarrollar los productos químicos más amigables con el ambiente para una variedad de aplicaciones. Los residuos agrícolas como la paja del trigo y el arroz, bagazo de maíz y tallos son también fuentes de origen vegetal, aunque las fibras tienen un contenido de celulosa menor en comparación con la madera (Dávila et al, 2011).

Los análisis comparativos se llevaron a cabo teniendo en cuenta en particular las características térmicas en términos de conductividad térmica, calor específico y la densidad tal como se puede ver en la tabla 1. También se informaron datos sobre el rendimiento acústico de los materiales. Los datos de valoración del Ciclo de Vida fueron finalmente recogidos, con el fin de poner en evidencia las ventajas ambientales de estos materiales. Se prestó especial atención a las investigaciones enfocadas para explotar materiales locales e incluso los subproductos industriales, ya que estos enfoques limitan respectivamente el transporte y eliminación de los impactos (Asdrubali et al, 2015).

**Tabla 1. Propiedades térmicas de algunos materiales**

	DENSIDAD (kg/m <sup>3</sup> )	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (W/m <sup>2</sup> K)	CALOR ESPECÍFICO (KJ/kg °K)	CLASIFICACION IGNIFUGA	FACTOR DE RESISTENCIA DE DIFUSION DE VAPOR DE AGUA
LANA DE ROCA	40-200	0.033 - 0.040	0.8 - 1.0	A1 - A2	VALOR $\mu$ 1.0 - 1.3
POLIESTIRENO EXPANDIDO	15-35	0.031 - 0.038	1.25	E	20 - 70
POLIESTIRENO EXTRUIDO	32-40	0.032 - 0.037	1.45 - 1.7	E	80 - 150
KENAF	30-180	0.034 - 0.043	1.6 - 1.7	B2	1.2 - 2.3
LANA DE OVEJA	oct:25	0.038 - 0.054	1.3 - 1.7	B1 - B2	1.0 - 3.0

El aislante biodegradable de fácil y amplia disponibilidad determina como consecuencia su bajo costo. Con el uso de la tecnología alternativa a base de bagazo se pretende reducir las cantidades de materiales respecto a los sistemas industrializados. Con esto se pretende disminuir de manera considerable los costos en la industria de la construcción, principalmente en la construcción de vivienda.

Con el desarrollo y uso de un nuevo material compuesto a base de aislante biodegradable se permitiría la introducción de una nueva tecnología apropiada al lugar. Esto permitiría el engrandecimiento de la cultura local, el mejoramiento y la participación de las comunidades, promoviendo las relaciones sociales y la generación de fuentes de empleo a nivel local y regional.

La introducción del concepto de “sostenibilidad” en la construcción de procesos de diseño alentó investigaciones destinadas a desarrollar materiales de aislamiento térmico y acústico utilizando materiales naturales o reciclados. Algunos de ellos, como el kenaf o la fibra de madera ya se comercializan, pero su difusión podría mejorarse aún más, ya que su rendimiento es similar a los sintéticos. Otros materiales basados en fibras naturales son actualmente objeto de estudio y su desarrollo es solamente en una etapa temprana.

La obtención de un material aislante biodegradable es importante debido a que en su obtención va implícita la sustentabilidad. De esta manera, por medio del análisis de las propiedades térmicas de un biocompuesto que incluye fibra de maguey se genera conocimiento sobre las propiedades de un nuevo material que puede ser utilizado para el mejoramiento y reducir las cargas térmicas de las viviendas en México y con ello, el ahorro de energía.

### **1.3. Hipótesis**

Una matriz compuesta con fibra de *Agave angustifolia* Haw y látex tiene propiedades termofísicas equiparables con las de los aislantes térmicos y los porcentajes de concentración de material de refuerzo modifica sus propiedades como aislante térmico.

### **1.4. Objetivos**

#### **1.2.1 Objetivo general**

Diseñar y analizar el comportamiento mecánico y térmico de un biocompuesto con fibra de *Agave angustifolia* Haw y látex para establecer un comparativo con las mismas propiedades de los aislamientos industriales.

#### **1.2.2 Objetivos específicos**

Evaluar las propiedades térmicas (conductividad térmica, calor específico y retardo térmico) de la fibra de *Agave angustifolia* Haw.

Desarrollar un panel biocompuesto a base de una matriz de fibra de *Agave angustifolia* Haw y látex que será caracterizado como elemento aislante en sistemas de techo.

Evaluar las propiedades térmicas e ignífugas del panel biocompuesto de matriz compacta de fibra de *Agave angustifolia* Haw y látex.

Evaluar las emisiones de carbón, consumo energético y costo económico del panel biocompuesto.

Establecer un comparativo entre las propiedades de los aislantes industriales más comunes del mercado (polipropileno expansible, lana de vidrio, lana mineral, y unice) y las propiedades del panel biocompuesto obtenido.

## 1.5. Antecedentes de la investigación

Actualmente se puede encontrar en el mercado aislantes comerciales, pero sus costos tienden a ser altos y se requiere mucha energía para producirlos, lo cual agrava el problema de efecto invernadero global, además de presentar problemas de disposición final, regularmente son tóxicos e irritantes y requieren de mano de obra calificada para su instalación, algo que para las zonas rurales es inasequible. La selección de los materiales de aislamiento térmico adecuados postconstrucción representa un desafío de investigación que necesita un enfoque inteligente y horizontal. La justificación de las soluciones más adecuadas requiere de una comprensión profunda de los costes y propiedades medioambientales significativas de los materiales de aislamiento térmico, así como de las condiciones en las que se aplican para diferentes soluciones de construcción (Kylili and Fokaides, 2015).

Un principio es que se debe buscar materiales para las viviendas a precios y cantidades accesibles para que los habitantes en situación de pobreza puedan mejorar sus condiciones de vida, dentro de esas condiciones en muchos lados se han tomado los desechos agroindustriales como base, tales como el bambú, madera, palmas, etc. de estos materiales se han aprovechado en muchas partes de México, pero no se ha investigado sus características térmicas; los datos que se tienen son obtenidos en otros países, no los del nuestro, es necesario pues, obtener estos datos (Sanjay et al, 2016), se evaluó el rendimiento de un tablero rígido de aislamiento térmico basado en la médula vegetal y una goma natural (médula de maíz y alginato de sodio) y es completamente compostable (Palumbo et al, 2017), las propiedades térmicas de las fibras naturales se caracterizaron según la norma ASTM C177. Los resultados muestran que la conductividad térmica varía de 0.047 a 0.113 W / m K, para esteras con fibras orientadas unidireccionales, siendo Ichu fino las que tienen los valores más bajos, se trata del primer estudio realizado sobre el comportamiento térmico de esta fibra natural andina (Charca et al, 2015), Los materiales de aislamiento térmico a base de fibras naturales son algunos de los materiales prometedores que están surgiendo actualmente en el mercado de la construcción. Estos materiales son importantes especialmente en términos de desarrollo sostenible, ya que utilizan recursos de materias primas renovables o materiales secundarios y su producción no consume demasiada energía. Sin embargo, un problema con estos materiales es el comportamiento bastante diferente durante el transporte de calor y humedad en comparación con el aislamiento convencional, que está hecho de materiales sintéticos (espuma de poliestireno) o inorgánicos (lana mineral) (Zach, et al, 2016), se caracterizó el coeficiente de conductividad térmica de las agujas de pino y abeto. Las mediciones de flujo de calor se realizaron de acuerdo con el diseño experimental de dos

factores y se realizó el análisis del diseño experimental completo. Se determinó el efecto de la humedad y de las especies de coníferas sobre el coeficiente de conductividad térmica (Muizniece et al, 2015), en una matriz de investigación, hubo los siguientes materiales: lana de oveja tratada, lana de oveja cruda, fibra de madera, cáñamo, lino, paja de paja y panel de paja comprimido. Los principales parámetros examinados son la capacidad térmica, la conductividad térmica, la densidad volumétrica y la isoterma de absorción (Volf et al, 2015), se construyó un tablero aislante térmico, hecho de cáscara de arroz y tallos de girasol, para comparar su comportamiento dinámico con placas de lana de vidrio (Cantorski et al, 2015), Un nuevo material aislante térmico hecho de paja de arroz (RSTIB) fue desarrollado usando prensado en caliente de alta frecuencia. El objetivo de este estudio es investigar el efecto del calentamiento de alta frecuencia, densidad de la placa, tamaño de partícula y temperatura ambiente en las propiedades de RSTIB. Los resultados indican que se obtienen las propiedades físicas y mecánicas óptimas de los tableros con un contenido de humedad de partícula del 14%, una densidad del tablero de  $250 \text{ kg/m}^3$  y un tamaño de partícula de tipo L. Además, las placas de aislamiento térmico tenían una conductividad térmica bastante baja, que oscilaba entre 0,051 y 0,053  $\text{W/m}^{\circ}\text{K}$  (Wei et al, 2015), presenta un estudio sobre las muestras de aislamiento térmico y sonoro desarrolladas a partir de lana de desecho y fibras de poliéster reciclado (RPET) para aplicaciones en la industria de la construcción (Patnaik et al, 2015).

Con estos antecedentes, el fabricar y caracterizar un panel de fibra de bagazo con látex como matriz puede ser una solución práctica, económica y sustentable para el problema de aislamiento térmico en viviendas con techo de lámina ya que resolvería varios problemas al mismo tiempo, mejoraría el confort térmico, reduciría la contaminación generada por los desechos de la industria mezcalera, añadiría valor agregado a la mano de obra local y se podría tener un producto que al final de su vida útil sea fácilmente degradable a un bajo precio.

No existe ninguna iniciativa para conservar el medio ambiente, por pequeña que sea, que no impacte en la preservación de la naturaleza y las oportunidades para los seres humanos que habitamos y los que van a habitar el planeta. Se debe buscar en nuestro entorno que lo que no se está usando o que, al momento de la producción, genera subproductos no utilizados, es decir, desperdicios o contaminantes.

Dentro de este contexto, un gran vacío en nuestro medio lo forman los procesos agroindustriales, ya que producen gran cantidad de bienes, pero normalmente no se aprovechan los sobrantes y desechos, tal es el caso de la industria del mezcal en Oaxaca, una de las más importantes en la entidad, con una importante

producción de licor, pero también de los dos desechos generados, vinazas y bagazo de agave.

Estos desechos son difíciles de reintegrar, por la misma naturaleza de los mismos y porque los productores no tienen la cultura del reciclaje, generando fauna nociva, contaminación de los mantos acuíferos, acidificación de tierras, basura, entre otras consecuencias desagradables.

Se han realizado esfuerzos para su aprovechamiento, pero el volumen es tan grande que ha resultado insuficiente lo que se ha hecho y aun no se tiene una propuesta que permita la utilización de estos. En un análisis de los productos, se encuentra que el bagazo está formado principalmente de fibra de agave, una fibra lignocelulósica dura, resistente y muy duradera, tal como las que, en otras latitudes se están utilizando, como el sisal, el kenaf y otras para producir tableros y compuestos de amplio uso.

## **CAPITULO II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Calor y transferencia de calor**

Dentro de la teoría general de las manifestaciones de la energía en el universo, el calor es una de las más importantes y más estudiadas, porque es una de las que el ser humano se ha servido para conquistar los espacios, podemos recordar a las máquinas de combustión interna o el desarrollo de las viviendas en todas las zonas del planeta.

Dentro de la consulta de estas definiciones, encontramos que (Kreith et al, 2012, Tippens, 2007) señalan que, tanto la energía potencial como la cinética están asociadas con el movimiento molecular. Puesto que esta energía interna se relaciona con lo caliente o lo frío que está un cuerpo y recibe el nombre de energía térmica. La energía térmica representa la energía interna total de un objeto: la suma de sus energías moleculares potencial y cinética.

Cuando dos objetos con diferentes temperaturas se ponen en contacto, se transfiere energía de uno a otro. Si se dejan caer carbones calientes en un recipiente con agua, la energía térmica se transferirá de los carbones al agua hasta que el sistema alcance una condición estable llamada equilibrio térmico. Por tanto, todos los objetos deben tener una nueva propiedad fundamental que determina si estarán en equilibrio térmico con otros objetos.

Esa propiedad se llama temperatura. Dos objetos se encuentran en equilibrio térmico si y sólo si tienen la misma temperatura.

Una vez que se establece un medio para medir la temperatura, se tiene una condición necesaria y suficiente para el equilibrio térmico. La transferencia de energía térmica que se debe tan sólo a una diferencia de temperatura se define como calor. El calor se define como la transferencia de energía térmica debida a una diferencia de temperatura.

El calor es el proceso de intercambio de energía térmica que se transfiere entre dos sistemas (o un sistema y sus alrededores) debido a una diferencia de temperatura. También se denomina calor a la energía en tránsito que se reconoce solo cuando se cruza la frontera de un sistema termodinámico. Una vez dentro del sistema, o en los alrededores, si la transferencia es de dentro hacia afuera, el calor transferido se vuelve parte de la energía interna del sistema o de los alrededores, según su caso. El término calor, por tanto, se debe de entender como transferencia de calor y solo ocurre cuando hay diferencia de temperatura y en dirección de mayor a menor. De ello se deduce que no hay transferencia de calor entre dos sistemas que se encuentran a la misma temperatura (están en equilibrio térmico).

## 2.2 Ley De Fourier

La conducción del calor a través de un sólido, en régimen dinámico está regida por la ley de conducción del calor llamada Ley de Fourier que establece que el flujo de transferencia de calor por conducción en un medio isótropo es proporcional y de sentido contrario al gradiente de temperatura en esa dirección. Relaciona los parámetros siguientes: temperatura, tiempo, variables de espacio y características térmicas de los materiales en la forma unidimensional, sin pozo ni fuente de calor, dicha ley se escribe de la siguiente manera:

$$\nabla^2 T_1(x, t) = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial^2 T_1(x, t)}{\partial t^2}$$

El parámetro  $\alpha$  representa la difusividad térmica del material y es definida de la siguiente manera:

$$\alpha = \frac{k}{\rho c}$$

Donde  $k$  representa la conductividad térmica,  $\rho$  la densidad y  $c$  el calor específico del material.

El segundo parámetro que se utilizará es la conductividad térmica  $k$ , que se deduce de la misma Ley de Fourier, pero en régimen permanente:

$$k = -q_x \frac{\Delta x}{\Delta T}$$

donde  $q_x$  representa el flujo unitario de calor unidimensional,  $\Delta x$  el espesor del material y  $\Delta T$  la diferencia de temperaturas entre ambas superficies del material (Sánchez et al, 2002).



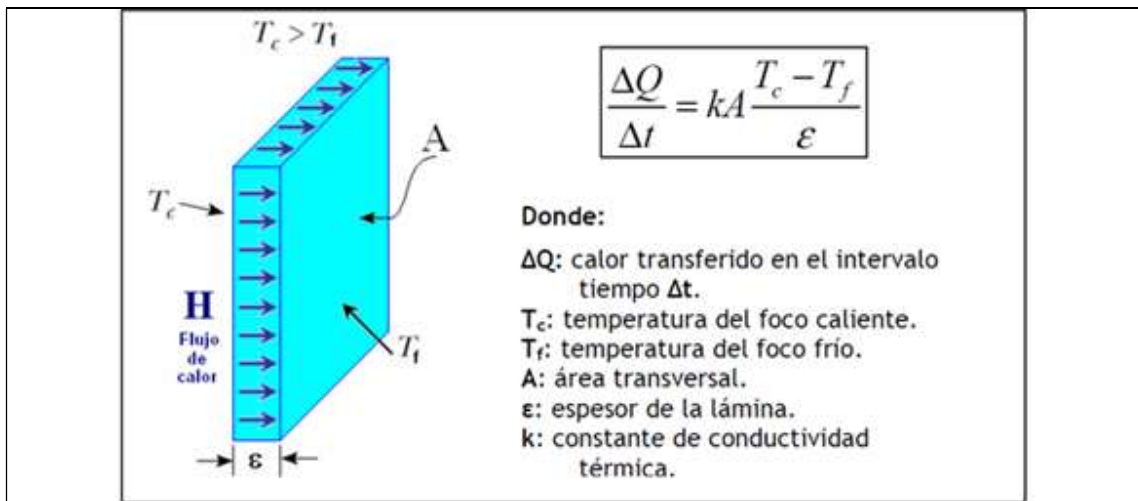


Figura 1. Flujo de calor en un cuerpo

A partir de la Ley de Fourier, se obtuvo la resistencia térmica  $R$  [ $m^2 \text{ } ^\circ K/W$ ] y la conductividad térmica  $k$  [ $W/m^\circ K$ ] de la muestra utilizando las siguientes ecuaciones.

$$R = A \frac{\Delta T}{Q}$$

$$k = \frac{Q L}{A \Delta T}$$

Donde  $Q$  [ $W$ ] es el flujo de calor en el área medida de la muestra,  $A$  [ $m^2$ ].  $\Delta T$  [ $^\circ K$ ] es la diferencia de temperatura entre las superficies de la muestra, y  $L$  [ $m$ ] es el espesor de la muestra (Kobari et al, 2015).

Para obtener el calor específico  $c$  de la sustancia, tenemos la siguiente relación:

$$c = \frac{Q}{m \Delta T}$$

Donde  $Q$  [ $W$ ] es el flujo de calor en el área medida de la muestra,  $m$  [ $kg$ ] es la masa y  $\Delta T$  [ $^\circ K$ ] es la diferencia de temperatura entre las superficies de la muestra (Tippensl, 2001).

De estas propiedades termofísicas se derivan las aplicaciones de los materiales por su conductividad:

Materiales aislantes ( $K > 0.06$ ):

- Conductividad térmica baja.
- Impiden el flujo de calor.
- Aislantes de alta y baja temperatura.
- Aislantes porosos: Contienen gases (mal conductor).

Materiales refractarios:

- Se emplean para soportar elevadas temperaturas.
- No necesariamente son aislantes.

### **2.3 Propiedades ignífugas de los materiales**

Hoy en día, la demanda de materiales ignífugos está aumentando, un compuesto con buenas propiedades mecánicas y retardantes de llama se puede utilizar en diferentes aplicaciones tales como automoción, aeroespacial y las industrias de la construcción (Ismail et al, 2013). Debido a consideraciones ambientales y consideraciones económicas, los compuestos de polímero reforzados con fibras naturales parecen presentar una alternativa viable a los compuestos de polímero reforzados con fibras sintéticas tales como fibras de vidrio. Sin embargo, la simple sustitución de fibras sintéticas por fibras naturales sólo resuelve parte del problema. Por lo tanto, la selección de un material adecuado para la matriz es clave. La celulosa es el biopolímero más común y el compuesto orgánico más común en la Tierra. Alrededor del 33% de toda la materia vegetal es celulosa; Es decir, el contenido de celulosa del algodón es del 90% y el de la madera es del 50%. Sin embargo, al igual que sus contrapartes sintéticas, el pobre retardante de llama de las versiones derivadas de materiales biológicos restringe su aplicación y desarrollo en campos importantes como la construcción y el transporte (Dhanushka H, T. 2010).

La naturaleza autosostenible del fuego la hace extremadamente peligrosa si no se controla. Incluso con sus numerosos usos, incontrolado puede ser muy desastroso. Cada año, alrededor de 5.000 personas mueren por incendios en Europa y más de 4.000 en Estados Unidos. La pérdida directa de propiedades por el fuego es aproximadamente el 0,2% del producto interno bruto y el costo total de los incendios es de alrededor del 1% del producto interno bruto (Beyer, 2005). Esta es la fuerza motriz para que científicos y cuerpos de seguridad desarrollen nuevos materiales para abordar este problema. Se han publicado varias obras en el campo de la prueba de fuego de compuestos de fibra natural. (Schartel et al., 2003) estudiaron la mejora de la resistencia al fuego de los compuestos de polipropileno de fibra de lino (PP).

La base de prueba de los biocompuestos se considera la UL94, que es una prueba diseñada para probar las características de la propagación del fuego en plásticos, ya que son una mezcla de fibras con una matriz que cierra los espacios dejados por la fibra.

## 2.4 El bagazo de agave.

Una planta muy común en el medio oaxaqueño es el maguey espadín, se encuentra en muchos jardines y en el campo está por cualquier lado de los valles centrales, se considera que es uno de los cultivos más extendidos en los valles centrales y en la Sierra Sur del estado de Oaxaca, ya que se usa para la producción de mezcal y para la venta a los productores de Jalisco, es muy utilizado por las características propias de esta planta, ya que soporta bien las condiciones de sequía y es muy fácil de reproducir, sin embargo, no se utiliza integralmente ya que se desperdician sus hojas y también afecta extensas áreas que se desmontan con el fin de sembrar esta planta como monocultivo.

Tabla 2. Agaváceas de México

Estado	Géneros	Especies	Especies Endémicas (%)
Oaxaca	6	58	13 (37)
Sonora	4	37	12 (32)
Jalisco	6	36	2 (6)
Durango	5	35	1 (3)
Chihuahua	4	34	1 (3)
Coahuila	4	33	3 (9)
Puebla	6	32	0 (0)
Querétaro	6	31	3 (10)

El género agave es muy diverso, de sus aproximadamente 200 especies que existen en América, 150 se distribuyen en México lo que representa un 75% del total, sin embargo; de esas, el 64% se caracterizan endémicas con un total de 104 especies de la población existente. En el estado de Oaxaca se encuentran 58 especies que equivale a 25% de la población existente en México y de esas 13 especies son endémicas (19% presentes en el estado) (figura 2).

En la tabla 3 podemos ver los principales usos que tienen los agaves en nuestro país y cuales se utilizan.

Tabla 3. Usos del agave en México

CATEGORIA	PARTE DE LA PLANTA	ESPECIES
Alimento	Tallos, base de hojas, pedúnculo floral, flores	<i>Agave americana</i> , <i>A. angustiarum</i> , <i>A. angustifolia</i> , <i>A. applanata</i> , <i>A. chiapensis</i> , <i>A. Karwinskii</i> , <i>A. marmorata</i> , <i>A. potatorum</i> , <i>A. rhodacantha</i> , <i>A. salmiana</i> , <i>A. seemanniana</i> ,
Bebida fermentada (agua miel y)	Jugos de tallos y hojas	<i>Agave americana</i> var. <i>americana</i> , <i>A. americana</i> var. <i>oaxacensis</i> , <i>A. salmiana</i> var.
Bebidas destiladas (mezcal)	Jugos de tallo y base de hojas cocidos	<i>Agave americana</i> var. <i>americana</i> , <i>A. americana</i> var. <i>oaxacensis</i> , <i>A. angustifolia</i> , <i>A. convallis</i> , <i>A. karwinskii</i> , <i>A.</i>
Medicina	Hojas: cutículas y jugo	<i>Agave americana</i> , <i>A. angustiarum</i> , <i>A. marmorata</i> ,
Fibras	Hojas	<i>Agave americana</i> var. <i>americana</i> , <i>A. americana</i> var. <i>oaxacensis</i> , <i>A. angustiarum</i> , <i>A. angustifolia</i> , var. <i>angustifolia</i> , <i>A. angustifolia</i> var. <i>rubescens</i> ,
Construcción	Pedúnculo floral y hojas	<i>Agave americana</i> , <i>A. angustifolia</i> , <i>A. atrovirens</i> ,
Forraje	Inflorescencias y hojas	<i>Agave americana</i> , <i>A. angustifolia</i> , <i>A. atrovirens</i> ,
Ornato	Planta completa, inflorescencia	<i>Agave americana</i> 'Marginata', <i>A. applanata</i> ,
Sustituto del jabón	Rizoma, restos de fibras de hojas	<i>Furcraea longaeva</i> , <i>F. macdougallii</i>
Ceremonial	Inflorescencias	<i>Polianthes tuberosa</i>
Cercas vivas	Planta completa	<i>Agave americana</i> , <i>A. angustiarum</i> , <i>A.</i>
Combustible	Planta completa	<i>Agave americana</i> , <i>A. angustifolia</i> , <i>A. Karwinskii</i> ,

#### 2.4.1 El cultivo del espadín

El *Agave angustifolia* Haw, a utilizar en el biocompuesto, (tabla 4), se caracteriza por su roseta surculosa extendida en forma radial, con tallo de 20 a 90 cm. de longitud; hojas maduras generalmente de 60 a 120 por 3.5 a 10 cm., lineares o

lanceoladas, rígidas, fibrosas, jugosas, jugosas, de ascendente a horizontal, color verde pálido a gris glauco, planas o cóncavas de arriba, convexas de abajo, angosta y gruesas hacia la base, margen derecho ondulado, algunas veces cartilagosos; dientes pequeños de 2 a 5 mm de longitud, de puntas débiles curvadas o variando a flexas; panículas de 3 a 5 m de alto, abiertos, algunas veces bulbíferas; los pedúnculos más grandes que la panícula. Brácteas triangulares angostas y secas; ramas de la umbela de 10 a 20 cm.; flores verdes a amarillas de 50 a 65 mm de longitud. Tubo funeliforme de 8 a 24 mm de longitud y de 3 a 5 mm De ancho, se abren de forma rápida, primero erectos, luego curvados y pronto se marchitan. Las agaváceas sólo se desarrollan en forma natural en el continente americano. Se hallan desde el nivel del mar, donde crecen sobre las dunas costeras, hasta los bosques mesófilos de montaña a los 3,300 msnm; sin embargo, su abundancia es mayor entre los 800 y 2,500 msnm. Es común observarlos en sitios soleados, pedregosos, en las laderas de las montañas o barrancas de los ríos y a veces en lugares planos, siempre sobre terrenos con buen drenaje. A pesar de la amplitud de esta área, el país donde se concentra el mayor número de especies es México, seguido por los territorios contiguos del sur de los Estados Unidos, Guatemala y Cuba.

El mejor desarrollo de la especie *Agave angustifolia* Haw, se da en sitios abiertos, con alta intensidad lumínica, con suelos profundos a medianos, de textura ligeramente arenosa - limosa, nunca arcillosa, de color pardo-oscuros a blanquecinos-calcáreos, con cantidades moderadas de materia orgánica. Su presencia en sitios secos es común, sin embargo, en climas templados, su distribución se limita a los sitios de humedad intermedia y muy raramente a lugares altamente húmedos.

Tabla 4. Clasificación científica del *Agave angustifolia* Haw

REINO	DIVISION	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GENERO	ESPECIE
PLANTAE	MAGNOLIOPHYTA	LILIOPSIDA	ASPARAGALES	AGAVACEAE	AGAVE	AGAVE ANGUSTIFOLIA

## 2.4.2 El mezcal

Proceso de elaboración

Los pasos que se siguen en la elaboración del mezcal son los siguientes.

Recolección  
Cocción

Triturado  
Fermentación  
Destilación  
Refinado  
Envasado

### **2.4.3 Los residuos de la obtención del mezcal**

Las diversas variedades de agaves encontradas a través de todo el país, se han utilizado principalmente para la generación de bebidas alcohólicas como el mezcal, tequila y bacanora entre otros, hay 2 tipos de residuos, el bagazo que es sólido y la vinaza que es líquida.

Se calcula que para producir un litro de mezcal se producen alrededor de 12 litros de vinazas. Las cuales simplemente se vierten en los cauces de los arroyos, generándose una gran contaminación de los acuíferos.

El proceso de obtención de estas bebidas alcohólicas genera un subproducto denominado bagazo, del cual se producen de 15 a 20 kg en base húmeda por cada litro de mezcal. Si se generan 9,400 L/mes de mezcal y se producen 15 Kg de bagazo por litro se tendrán 141 toneladas de residuos al mes. (Chávez, 2010).

Además del bagazo, se produce una gran cantidad de material vegetal mientras que las hojas y el quiote representan el 46% restante. Tanto las hojas como el quiote consisten principalmente de fibras lignocelulósicas.

Se han realizado estudios sobre el uso de materiales lignocelulósicos, incluyendo al bagazo de agave para la obtención de bioetanol, ácidos orgánicos, compostas, papel, combustible, hongos comestibles y alimento para animales (Iñiguez et al, 2001; González et al, 2005), ladrillos para la construcción de viviendas, y en mayor volumen para la fabricación de colchones para dormir (Iñiguez et al, 2001).

Aunque estos residuos (fibras de las piñas, hojas y quiote) son utilizados en pequeña escala (las fibras de bagazo para colchones, las hojas o pencas como tejas en techumbres, los tallos o quiotes como vigas etc.), en la mayoría de los casos representan un desecho y un problema para la industria del agave. El bagazo tarda entre 6 y 8 años para su completa biodegradación, por lo que se acumula tanto en el campo como en las zonas aledañas a las industrias licoreras causando por lo general un problema de contaminación.

Durante el proceso de producción de mezcal se desechan miles de toneladas de bagazo, como se conoce a este residuo. El equipo del IPYCIT calculó un promedio

de 17 mil toneladas anuales en todo México, pero hay investigaciones que plantean más de cien mil toneladas, solo en el sur del país.

Sin embargo, todavía no se han implementado procesos comerciales para el aprovechamiento ya sea en forma parcial o integral de los residuos generados en la explotación de agaves, la práctica de los productores de mezcal es tirar los residuos en las proximidades del palenque, sin mayor tratamiento ni cuidado, sin que ninguna autoridad se ocupe de observar la fuente de contaminación que esto representa.

En la tabla 5 se pueden encontrar algunas características del bagazo, como se puede apreciar, aún faltan por caracterizarse diversas propiedades (Satyanarayana et al, 2013).

Tabla 5. Características físicas y químicas de las fibras del bagazo

Parámetro	Resultado
Densidad	414.7 kg/m <sup>3</sup>
Diámetro del haz fibroso	501 µm
Longitud del haz fibroso	144 mm
Contenido de humedad	7.78 ± 0.37 %
Solubilidad en agua fría	2.66 ± 0.12 %
Solubilidad en agua caliente	4.39 ± 0.32 %
Solubilidad en NaOH al 1%	20.22 ± 0.27 %
Extractivos en etanol/tolueno	1.54 ± 0.11 %
Extractivos totales	5.30 ± 0.40 %
Lignina Klason	17.91 ± 1.02 %
Lignina Soluble	2.78 ± 0.35 %
Lignina total	20.69 ± 0.97 %
Holocelulosa	82.12 ± 0.49 %
Celulosa	48.04 ± 1.36 %
Hemicelulosa	34.08 ± 1.03 %
α-Celulosa	55.03 ± 0.33 %
Contenido de cenizas	1.28 ± 0.06 %

## 2.5 El látex, su naturaleza y características

El látex natural, la matriz a utilizar en el biocompuesto, es una sustancia lechosa que proviene del sistema laticífero de diferentes plantas, entre las que se encuentra el árbol hevea brasiliensis, el cual es el productor más importante y estudiado en el sector cauchífero.

El látex se obtiene al rayar y remover la corteza del árbol para que este brote de él debido a la presión existente dentro de los vasos laticíferos del tronco.

Una vez el látex deja el árbol, se contagia de bacterias generadoras de ácidos que causan una coagulación prematura y posteriormente una putrefacción; por esta razón se busca preservar la colecta.

El preservador comúnmente empleado es el amoníaco en concentraciones de 16 a 20 ml/L y se añade tan pronto se complete la etapa de recolecta. El amoníaco hace veces de bactericida y de álcali, manteniendo básico el pH del látex.

Después de la correcta preservación, el látex se pasa por tamices de acero inoxidable de mallas 40 y 60 para remover contaminantes como viruta de corteza, hojas, arena y pequeños coágulos de caucho. Posteriormente el látex se almacena en tanques de ladrillo forrados con loza o aluminio y se mantiene en agitación lenta. A continuación, se deja en reposo unas horas para que las impurezas minerales sedimenten, finalmente se obtiene un látex natural preservado.

En la tabla 6 se pueden ver los principales componentes del látex, otras sustancias comprendidas en el suero acuoso del látex son los aminoácidos, producto de la hidrólisis de los prótidos, proceso promovido por la adición de amoníaco, entre las que está la glicina, histidina, lisina, alanina y serina. También se encuentran aniones inorgánicos, principalmente fosfatos y carbonatos; además, iones metálicos de potasio, magnesio, hierro, sodio y cobre. En la tabla 7 se presentan algunas propiedades del látex. Existe adicionalmente una amplia gama de enzimas que aparecen en el látex desde la emanación del árbol y que intervienen en la biosíntesis del hidrocarburo caucho (Cáceres, A. 2011).

Tabla 6. Composición del látex natural

<b>CONSTITUYENTE</b>	<b>% en peso</b>
Agua	52 – 70
Hidrocarburo caucho	27 – 40
Prótidos	1,5 – 2,8
Sustancias solubles en acetona: resinas	1 – 1,7
Azúcares	0,5 – 1,5
Materias minerales	0,2 – 0,9



Tabla 7. Propiedades del látex

Módulo elástico:	0.0015 - 0.0025 GPa
Coefficiente de Poisson:	0.499 - 0.5
Resistencia mecánica a la compresión:	22 - 33 MPa
Resistencia mecánica a la tracción:	22 - 32 MPa
Resistencia mecánica a la abrasión:	Excelente
Resistencia mecánica al desgarro:	Excelente
Tenacidad a fractura (K <sub>Ic</sub> ):	0.15 - 0.25 MPa·m <sup>1/2</sup>
Comportamiento a tracción:	500 - 760 %
Temperatura de transición vítrea:	(-78.2) - (-63.2) °C
Conductividad térmica:	0.1 - 0.14 W/m·K
Capacidad calorífica específica:	1.8e3 - 2.5e3 J/kg·K
Observaciones:	
<p>Es un buen aislante térmico. Alrededor de -195°C, el caucho puro es un sólido duro y transparente. De 0 a 10°C es frágil y opaco, por encima de los 20°C se vuelve blando, flexible y translúcido. Al calentarlos por encima de los 50°C adquiere una textura de plástico pegajoso. A temperaturas superiores a 200°C descompone.</p>	

### CAPITULO III. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1 Fase 1. Caracterización de las propiedades termofísicas de la fibra de agave sola (FAS)

El análisis de los materiales se realizó en dos etapas, en la primera etapa se caracterizaron las propiedades termofísicas de la fibra como un material unitario, con diferentes valores de tamaño y densidad volumétrica. En la segunda etapa se caracterizaron las propiedades termofísicas del biocompuesto formado por dos materiales, el primero es el bagazo y el segundo es la matriz polimérica, el látex, los dos son materiales de origen orgánico.

Figura 2. Diseño del experimento para la fibra sola de Agave angustifolia Haw

DISEÑO DE EXPERIMENTO PARA FIBRA SOLA, SIN MATRIZ, SECA.						
VARIABLES INDEPENDIENTES	MUESTRA	PESO VOLUMETRICO DE FIBRA	NUMERO DE MUESTRAS	REPETICIONES	CARGA DE COMPRESION	VARIABLES DEPENDIENTES
	FGO	1.5	2	3	20 KG	
	FM1	2				
TEMPERATURA INTERIOR	FM2	2.5				CONDUCTIVIDAD TERMICA
TEMPERATURA EXTERIOR	FM3	3				
		3.5				
		4				
		4.5				
FGO	FIBRA EN GREÑA (LONG 10-15 cm)					
FM1	FIBRA MOLIDA 1, LONG. 5 cm					
FM2	FIBRA MOLIDA 2, LONG 2 cm					
FM3	FIBRA MOLIDA 3, LONG 1 cm					

La figura 2 muestra el diseño del experimento para la fibra sola, un valor constante fue el volumen de la muestra, de 0.95 m X 0.95 m X .0127 m (0.01146 m<sup>3</sup>).

La conductividad térmica se determinó en base a la Norma Internacional ASTM C177 Método de prueba estándar para la determinación del flujo de calor en estado estacionario y propiedades de transmisión térmica mediante el aparato de placa caliente con guarda.

### 3.1.1 Selección de la fibra

La primera parte fue el coleccionar fibra de maguey espadín en un palenque de Matatlan, en la figura 3a se pueden apreciar las instalaciones y como simplemente lo amontonan, sin ningún tratamiento, en la figura 3b se observa la separación del bagazo para cuartearlo según la norma NMX-AA-015-1985, en la figura 3c se presenta el bagazo al momento de ser empacado para su traslado.



Figura 3. Proceso de colecta de la fibra de bagazo

La fibra se debe adecuar para que sea posible utilizarla, cuando sale del palenque viene en diferentes tamaños, con diferentes materiales adheridos y comúnmente en greña (figura 4).



Figura 4. Bagazo en greña

### 3.1.2 Adecuación de la fibra

Una vez que se tiene el bagazo, se procede a secar la fibra obtenida del proceso de mezcal, con el objeto de poder iniciar el desprendimiento de los materiales adheridos, que escurran las vinazas y también para poder seleccionarla, tal como se muestra en la figura 5, bagazo extendido al sol.



Figura 5. Bagazo extendido para su secado

El siguiente paso fue cortar la fibra al tamaño adecuado, la figura 6a muestra con un vernier, la figura 6b muestra el método de corte manual, el cual es muy lento y no es viable por el volumen de material para este estudio.



a)



b)

Figura 6. Corte manual de la fibra

También se probó hacer la adecuación de muestras en molino manual de muelas (figura 7a) pero los resultados son poco utilizables, ya que el molino lo que hace es pulverizar una parte y romper otro tanto (figura 7b), no siendo resultados aplicables a nuestro objetivo.



a)



b)

Figura 7. Proceso de la fibra en molino manual de muelas

Debido a la lentitud y dificultad de los métodos manuales, se consiguió un molino para forraje con 2 cribas diferentes, se hicieron las pruebas correspondientes y se decidió por usar los 2 tamaños de fibra que resultaron de este proceso, el molino, como se puede ver en la figura 8a, utiliza un motor de 2 hp, monofásico, una navaja en la entrada y martillos para romper la fibra, figura 8b, lográndose un tamaño uniforme (figura 8c) y una velocidad de procesamiento bastante aceptable, ya que se obtiene una fibra de promedio pasando la fibra por el molino la primera vez, cortando la fibra a la mitad en cada molienda, con un máximo de 3 pasadas, ya que después de eso ya la fibra no es modificada.



a)



b)



c)

Figura 8. Molino forrajero y fibra molida

Este método permite la molienda de fibra a razón de 1 kilogramo por hora y nos entrega 2 tamaños de fibra, con la criba de media pulgada, 6 -4 cm de longitud; con la criba más chica, de 3/8 de pulgada, de 2 a 3 centímetros, posteriormente se procesó en un molino marca Fritsch de cuchillas el cual se encuentra en las instalaciones del CIIDIR IPN Oaxaca, en el laboratorio de nanomateriales, con criba de 4 mm, con lo que se obtuvo una fibra de longitud de 0.5 a 1 cm. figura 9a, molino de frente, figura 9b, datos de placa del molino, figura 9c, molino abierto para limpieza, se puede ver la navaja y sistemas de control.



Figura 9. Molino Fritsch PULVERISETTE19

### 3.1.3 Evaluación de las propiedades termofísicas de la FAS.

En esta sección se evaluaron las propiedades térmicas de la FAS, la conductividad térmica, la resistividad térmica y el calor específico.

### 3.1.4 Determinación de la densidad de la FAS.

Para poder determinar la cantidad de FAS y las propiedades de absorción de agua de la FAS, se evaluó su densidad en el laboratorio de materiales de construcción ubicado en las instalaciones del IPN CIIDIR Oaxaca. Se utilizó el Principio de Arquímedes de volumen de agua desplazado, las relaciones utilizadas fueron:

$$V_{fib} = V_{amf} - V_{amsf} \quad \text{volumen de la fibra}$$

$$W_{fh} = W_{mfe} - W_{mall} \quad \text{peso de la fibra húmeda}$$

$$W_{fs} = W_{mfs} - W_{mall} \quad \text{peso de la fibra seca}$$

$$\rho_{fib} = \frac{W_{fs}}{V_{fib}} \quad \text{densidad de la fibra seca}$$

- $W_{mall}$     Peso de la malla
- $V_{amf}$     Volumen de agua teniendo malla con fibra
- $W_{mfe}$     Peso de la malla con fibra escurrida
- $W_{mfs}$     Peso de la malla con fibra seca
- $V_{amsf}$     Volumen de agua con malla sin fibra
- $V_{mcf}$     Volumen de la malla con fibra
- $V_{mall}$     Volumen de la malla



Vfib	Volumen de la fibra seca
Wfh	Peso de la fibra húmeda
Wfs	Peso de la fibra seca
$\rho_{fib}$	Densidad de la fibra

### 3.1.5 Determinación del peso volumétrico y absorción de humedad de la FAS.

La determinación del peso volumétrico fue importante ya que nos permitió calcular los volúmenes de FAS a utilizar.

Materiales usados, figura 10a, malla de gallinero de  $\frac{1}{4}$  in de apertura, figura 10b, vasija de acero, figura 10c, fibra molida y seca, figura 10c, horno para el secado de los ejemplares.

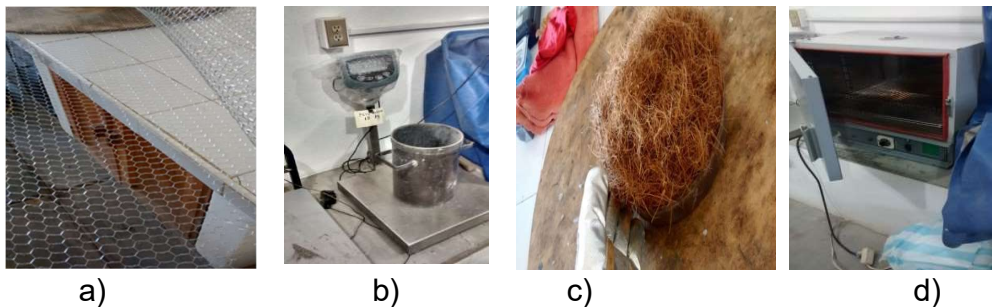


Figura 10. Materiales para la determinación de densidad de FAS

Procedimiento:

En la figura 11 se puede ver que se fabricó un contenedor de forma cilíndrica con la malla de gallinero, esta se pesó antes de llenarla de FAS. La malla se usó para que se pueda colocar la fibra en su interior y no se disperse ni se pierda. Una vez lleno el contenedor con FAS y antes de colocarla en la tara, se sacudió para que las partículas finas se cayeran y no afectaran las mediciones.



Figura 11. Contenedor con fibra

Una vez lleno el contenedor y asegurándose que no se dispersaran las FAS ni el contenedor se deformara, se colocó en un cuenco metálico y se metió en el horno de secado con una temperatura de  $140^{\circ}$  durante 24 horas para extraer la humedad que esta pueda tener, como se muestra en la figura 12.



Figura 12. Contenedor con fibra en el horno

Una vez colocada en el horno, se procedió a medir la capacidad de la vasija con ayuda de la probeta graduada, esto para conocer el volumen de agua que nos permitió determinar nuestros valores experimentales.

Una vez que la FAS se dejó secar durante 24 horas, se apagó el horno y se dejó reposar a temperatura ambiente para que se enfríe y se estabilice, ya que la temperatura afecta las mediciones. La fibra no debe dejarse mucho tiempo al medio ambiente ya que por su naturaleza higroscópica tiende a absorber el agua



del medio ambiente, por lo que debe dejarse enfriar y pesarse cuando este a temperatura ambiente.

Una vez hechas las mediciones de pesado, se colocó la malla con la FAS entro de la vasija y se procedió a llenar esta con agua, anotando el volumen de agua que se necesitó para llenar la vasija.

Después de medir el volumen, se extrajo la malla y se dejó escurrir hasta que ya no goteo, se procedió a pesar y nuevamente se colocó en el cuenco para volverla a colocar en el horno y dejar que se evapore la humedad, llevando esto otras 24 horas.

Se repitió el procedimiento de sacar del horno y dejar enfriar para pesar nuevamente la FAS sin humedad para calcular la cantidad de agua que absorbió.

Finalmente se extrajo la FAS de la malla, se pesó la malla y se colocó en la vasija, se llenó esta con agua y se obtuvo el volumen desplazado por la malla para quitar las taras y poder realizar los cálculos.

### **3.1.6 Determinación de la conductividad térmica.**

#### **3.1.7 Desarrollo del conductivímetro**

Para la estimación de las propiedades térmicas de los especímenes se fabricó un conductivímetro de placa caliente protegida con baño frío, figura 14, el cual fue desarrollado para este trabajo.

Se investigó la disposición de un equipo de características semejantes en otras sedes del IPN, y se constató que no existen en el mismo, ampliando la búsqueda a otras instituciones se encontró que existe uno con características equiparables en el CIEMAT con sede en Chihuahua, pero los costos fueron muy altos, desde el traslado hasta los costos de evaluación de los ejemplares, por lo que se tomó la decisión de desarrollar uno para las evaluaciones térmicas de materiales en el CIIDIR IPN Oaxaca.

Para este desarrollo se tomó como base la norma internacional ASTM 177-10, se inició el proceso con el diseño de la cámara y sus dimensiones (figura 13).

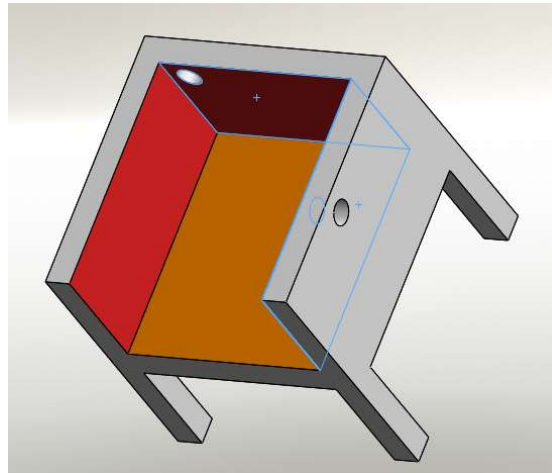


Figura 13. Base del conductivímetro

Estas dimensiones fueron el resultado de considerar el tamaño de la resistencia de plasma y del tamaño de los especímenes que se puedan evaluar en el mismo.

El material que se seleccionó para su construcción fue madera (triplay de 1.9 cm de espesor) por sus características de peso y baja conductividad térmica.

Para el sistema de aislamiento se consideró fibra cerámica para aislamiento de muros ya que es ligera, permitió la colocación y el corte en los tamaños y densidades que se requieren, el espesor de la fibra fue de 15 cm en todo el perímetro del equipo y en el piso de la cámara de evaluación. Frontalmente se consideró una puerta abatible para la colocación de ejemplares y que a su vez permita la toma de fotografías con cámaras termográficas para una valoración con equipo más moderno y que gráficamente muestre el comportamiento de los materiales.

Diseño del conductivímetro, figura 14a, vista lateral con el congelador y conexión de aire, figura 14b, vista frontal con las 2 tapas semiabiertas, figura 14c, vista posterior con la alimentación de aire frío.

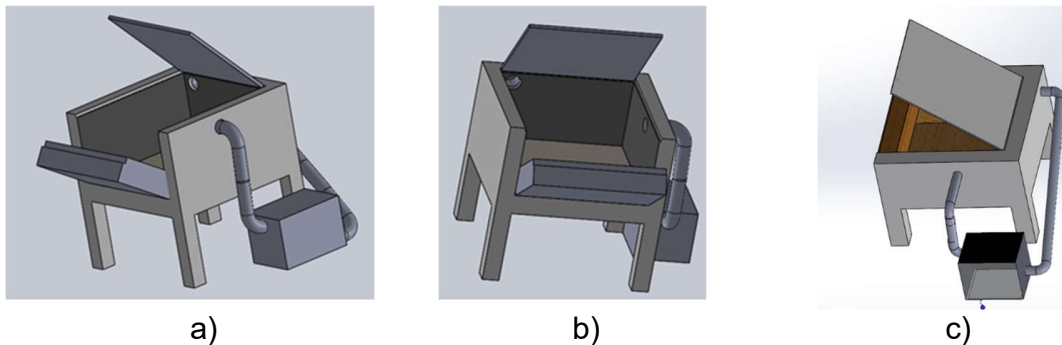


Figura 14. Diseño del conductivímetro

Este dispositivo se colocó en una cámara de ambiente controlado. Fue desarrollado desde la perspectiva de la norma ASTM C-177 de flujo de calor en estado estable para muestras homogéneas de forma horizontal. Sin embargo, para lograr condiciones reales de flujo de calor se consideró la placa fría como el ambiente controlado. El método de placa caliente protegida es ampliamente aceptado como un método primario para determinar las conductividades térmicas efectivas de los materiales aislantes de chapa plana. La resistencia térmica de una muestra se obtiene utilizando la ley de Fourier en estado estacionario. La conductividad térmica también se obtiene utilizando el espesor de la muestra. (Kobari T. et al, 2015). El aparato de consiste principalmente en un espécimen de placa plana, un ensamblaje de superficie caliente y uno de superficie fría. Los conjuntos de superficie fría y caliente se colocaron por encima y por debajo de la muestra, respectivamente. La interacción térmica del aparato con la atmósfera se evitó mediante material aislante. En la parte superior se colocó una puerta abatible forrada con poliestireno expandido de una pulgada de espesor para evitar los intercambios de calor y tener bajo peso al momento de cerrar el conductivímetro, las orillas del mismo se sellaron también con poliestireno expandido de una pulgada de espesor y 5 centímetros de ancho. La norma menciona también que debe existir una fuente que permita la circulación de calor del plato caliente al extremo frío que es donde se colocó el material a evaluar; para esto se consideró un sistema de enfriamiento de aire, después de un análisis de los equipos disponibles se optó por un congelador de 6 pies cúbicos de capacidad, el cual tiene la característica de no generar escarcha y bajar la temperatura interior a  $-6.5^{\circ}$  centígrados, el cual fue conectado al cuerpo principal por medio de tubos de PVC de 4 pulgadas de diámetro, los cuales se aislaron con un aislante comercial de espuma flexible de una pulgada de espesor y se sellaron con espuma de polipropileno preexpandido en aerosol que evito el intercambio de calor con el exterior; se colocaron 2 ventiladores de 4 pulgadas para inyectar y dirigir el aire frío en el interior del aparato e inducir el intercambio de calor desde la placa caliente hacia la superficie superior de la muestra en evaluación, el control de temperatura se realizó por medio de un reóstato que controla el flujo de corriente eléctrica, está y el voltaje aplicado se monitorearon con 2 multímetros conectados a los cables de alimentación a la resistencia eléctrica de plasma de  $0.95 \times 0.95$  m usada como placa caliente, se muestra el diagrama en la figura 15.

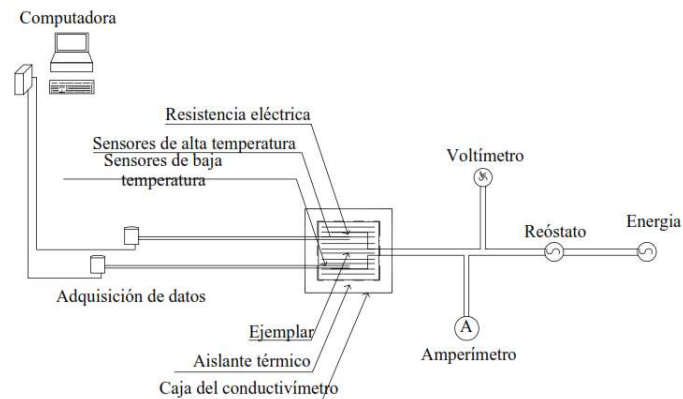


Figura 15. Diagrama eléctrico del conductivímetro

La placa principal se colocó en el centro del aparato y se puso en contacto con la muestra. La figura 16 muestra varios pasos de la fabricación del equipo, figura 16a, marco principal a escuadra, figura 16b, el marco con la base de triplay, figura 16c, detalle del aislamiento a base de fibra de cerámica y espuma de polietileno, figura 16d, el equipo ya terminado.

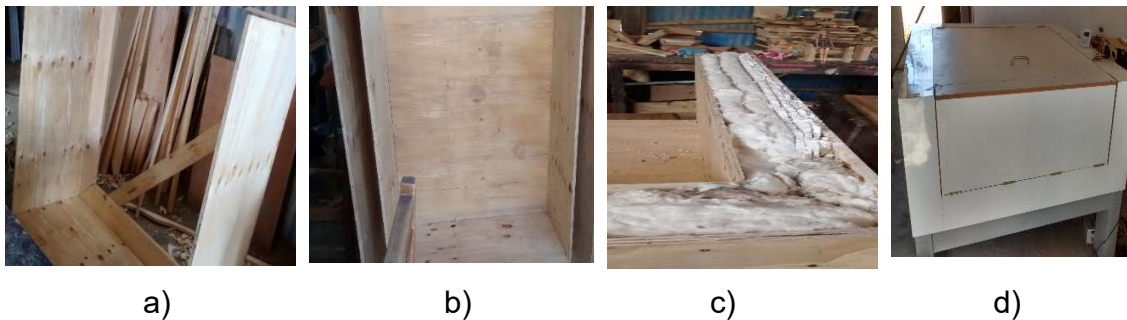


Figura 16. Desarrollo del conductivímetro

Para el intercambio de calor se desarrolló un sistema de inyección de aire a través de tubos de PVC de 10 cm de diámetro, los cuales se forraron con aislante industrial para tubería de refrigeración (Armaflex anexo a), figura 17a, Armaflex, figura 17b, el Armaflex ya ensamblado en la tubería de PVC de 4 in, los codos se sellaron con espuma de poliuretano pre expandida y para el control de flujo se desarrolló un sistema de evaluación, control y arranque de ventiladores y sensores basado en Arduino, este sistema lo desarrollo el MC Luis Ángel Rosario, estudiante de doctorado del CIIDIR IPN Oaxaca.



a)



b)

Figura 17. Aislante Armaflex para los tubos del conductímetro

Se hicieron pruebas de ajuste del equipo, se encontró la mejor configuración de los flujos de aire y se inició con las pruebas de funcionamiento evaluando 2 materiales, paneles de espuma rígida de poliestireno de una pulgada de espesor y de poliestireno expandido, obteniéndose valores dentro del rango especificado por los fabricantes. Figura 18a, aspecto general del conductímetro con las tapas cerradas, figura 18b, el conductímetro con las 2 tapas abiertas y fibra en evaluación.



a)



b)

Figura 18. Aspecto del conductímetro terminado

Los instrumentos utilizados son: Registrador de datos, sensores U12-006 para temperatura y humedad relativa con un rango de  $-20^{\circ}\text{C}$  a  $70^{\circ}\text{C}$  y una precisión de  $\pm 0.35^{\circ}\text{C}$ , los datos de humedad relativa no se requirieron para este estudio. Sensores de temperatura para aire, agua o suelo TMC6-HB para rangos de  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $100^{\circ}\text{C}$ , con una precisión de  $\pm 0.25$  a  $20^{\circ}\text{C}$  y resistencia eléctrica de plasma.

Metodología para el uso del conductímetro

Colocar el ejemplar a evaluar con los sensores y registradores ya programados, 4 en la superficie de la resistencia, a distancias uniformes y 4 en la superficie exterior del ejemplar a caracterizar, preferentemente ubicados en la misma dirección que los que se colocaron en la superficie de la resistencia.

Encender el congelador y el sistema Arduino.

Arrancar la resistencia, colocar el dimmer en la posición que alimente a 100 volts y 3 amperes hasta alcanzar la temperatura de 65 °C en la superficie de la fibra, el tiempo aproximado es de 15 minutos, una vez se tenga la temperatura, reducir el amperaje a 0.86 amperes y dejar que el sistema se estabilice, lo cual sucede en aproximadamente 3 horas.

Al termino de 10 horas se puede hacer la evaluación del ciclo, ya que a ese tiempo ya se alcanzó el estado permanente de flujo de calor en el ejemplar y es viable hacer la descarga de datos con el sistema hoboWare.

Se reemplaza el ejemplar a evaluar por el siguiente.

Volver a correr el ciclo.

Caracterización termofísica de la fibra con baja compactación.

Materiales: Fibra de maguey seca y almacenada, Bascula, Conductivímetro de resistencia eléctrica de plasma, Sensores (termopares), Registradores Hobo.

Procedimiento para la caracterización de las propiedades termofísicas:

En la figura 19a se muestra una bolsa con fibra al momento de ser pesado en la báscula de precisión para determinar la cantidad que se va a evaluar, en la figura 19b se aprecian los sensores térmicos (termopares) en la superficie de la resistencia de plasma para evaluar las temperaturas.



a)



b)

Figura 19. Inicio del proceso de caracterización termofísica de la FAS

Se colocó la fibra uniformemente sobre la superficie de la resistencia del conductivímetro, buscando un espesor de 1.27 centímetros en general, tal como se



observa en la figura 20a, en la figura 20b se aprecian como se colocaron los termopares externos sobre la superficie de la fibra.



Figura 20. Colocación de la fibra y termopares en el conductivímetro

Se conectaron los sensores a los registradores, previamente programados en el software Hoboware plus, tal como se ve en la figura 21a, se encendió la alimentación eléctrica, regulando la corriente que llega a la resistencia con el reóstato y dejando un promedio de 0.86 amperes de flujo eléctrico y 38 volts, lo que dio un consumo de 32.68 watts/hora en la resistencia, en la figura 21b se aprecia la resistencia y el amperímetro con el que se aseguró el flujo de corriente.

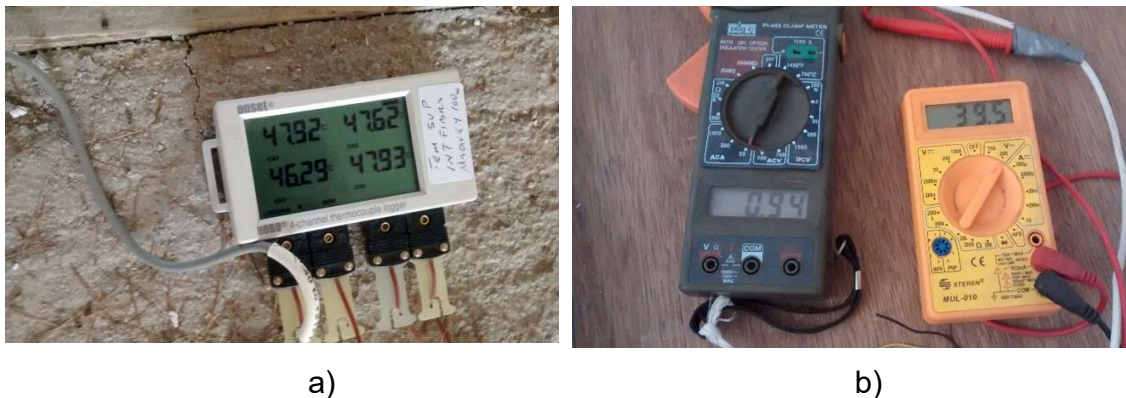


Figura 21. Equipo de control del conductivímetro

Se iniciaron los ciclos de prueba, de 2 a 3 días cada uno. Se descargaron los datos del registrador en Excel y se procedió a su análisis. Esto se hizo para cada uno de los tamaños y densidades de fibra.

### 3.2 Fase 2. Desarrollo de un panel biocompuesto con bagazo de Agave angustifolia Haw y matriz polimérica.

Se realizó una mezcla de polímero con bagazo de Agave angustifolia Haw, con diferentes proporciones de resina para comparar su comportamiento (tabla 6), el

volumen fue el mismo del experimento 1 y se usó el tamaño y densidad volumétrica que resultó elegida del experimento 1.

Se propusieron originalmente para la formulación 3 resinas a evaluar, látex, brea de pino y urea formaldehido, siendo las 2 primeras resinas orgánicas biodegradables y la tercera sintética y no biodegradable. Se hicieron pruebas para conocer la compatibilidad de las matrices con la fibra en la siguiente formulación: 60 % de fibra y 40 de matriz, como se muestra en la tabla 8.

Tabla 8. Combinaciones de fibra y resinas

	Látex	Resina De Pino	Urea Formaldehido
Fibra 60 %	45 Gramos	45 Gramos	45 Gramos
Resina 40 %	30 Gramos	30 Gramos	30 Gramos

Primeramente, se evaluó la compatibilidad de materiales, entre la fibra y las resinas disponibles, 2 orgánicas, el látex y la resina de pino y una base solvente, la urea formaldehido, se fabricaron cubos de 5 x 5 x 5 cm.

Fabricación de especímenes de fibra y matrices.

Materiales y equipo a emplear:

Fibra de agave molida a 1 pasada, látex en estado líquido, brea de pino líquida, urea formaldehido, balanza, molde de metal de 5 X 5 X 5 cm, cera desmoldante, película separadora, estopa, aguarrás, guantes desechables.

Procedimiento:

Se hicieron cubos de 5 x 5 x 5 cm con los moldes existentes en el laboratorio de materiales para construcción. Se utilizó la fibra cortada con una longitud de 2 centímetros en promedio.

Se lavaron los moldes con detergente, ya que el aceite que comúnmente se usa tiende a adherirse a las resinas y mancha las pruebas.

Se inicia el proceso pesando la fibra y las resinas en la báscula granatoria del laboratorio de construcción, como se observa en la figura 22.



Figura 22. Pesado de la fibra



La figura 23 muestra los moldes que fueron preparados con una cera desmoldante para facilitar el retiro de los especímenes, antes de hacer la mezcla de la fibra con la resina se limpiaron, secaron y prepararon los moldes, Se utilizó cera desmoldante (figura 23a) y película separadora para facilitar el retiro de los especímenes, como se muestra en la figura 23b.



a)



b)

Figura 23. Preparación de los moldes

El mezclado se hizo en forma manual, a la fibra se le incorporo la resina, dependiendo del tiempo de reacción, la más rápida es la del látex, ya que solidifica en cuando el amoniaco se evapora, en un tiempo aproximado de 10 minutos empieza a formar grumos, la resina de pino y la urea formaldehido no tienen problema a ese respecto, tardaron mucho en solidificar; la resina formaldehido requirió para un cristalizado total alrededor de 2 días expuesto al ambiente, bajo condiciones de presión y temperatura adecuadas ( $120^{\circ}\text{C}$  y  $100\text{kg}/\text{cm}^2$ ) lo hace en 5 minutos.

En la figura 24 se muestra los moldes con la mezcla de resina y fibra, ya listos para reposar y su posterior apertura.



Figura 24. Llenado de los moldes

También se realizaron pruebas de absorción de agua, con base en la norma JIS A 5905 (2003), se colocaron cubos de 5 X 5 X 5 cm en agua durante 24 horas y se probó su absorción y textura figura 25 a, colocación de los cubos, 25 b, cubos con agua.



a)

b)

Figura 25. Pruebas de absorción de agua

La relación utilizada para esta evaluación fue:

$$\text{Absorción de humedad \%} = \left( \frac{m_2 - m_1}{m_1} \right) \times 100$$

Donde:

La expresión m1 se refiere al peso en seco

La expresión m2 se refiere al peso húmedo

Esto sirvió como avance del objetivo 2 que trata de desarrollar un compuesto, para este se propone usar la combinación de peso volumétrico y tamaño que tenga la mejor conductividad térmica del desarrollo de las pruebas térmicas.

Una vez seleccionada la resina a emplear (látex) se iniciaron las pruebas de fabricación del biocompuesto, se seleccionó la técnica de capas de fibra y atomizado de látex con el fin de tener una forma homogénea de adherencia en el compuesto, como se observa en la figura 26. Figura 26a, se espolvorea la fibra molida en forma uniforme en el molde, ya limpio, encerado y con la película antiadherente, figura 236, se atomizo el látex en forma manual sobre la fibra, procurando sea una película uniforme, figura 26c, se repitió el procedimiento hasta llenar el molde y se dejó secar.



a)

b)

c)

Figura 26. Fabricación del panel biocompuesto por capas y atomización

### 3.3 Fase 3. Determinación de las propiedades térmicas e ignífugas del biocompuesto fibra/látex (BFAL)

En esta etapa se procedió a evaluar las propiedades termofísicas del biocompuesto ya seleccionado de la base de bagazo y una matriz de látex, para esto se propusieron 3 formulaciones diferentes de proporción de refuerzo y matriz, quedando el experimento descrito en la tabla 9.

Tabla 9. Evaluación de propiedades térmicas del BFAL en diferentes formulaciones

DISEÑO DE EXPERIMENTO PARA FIBRA CON MATRIZ DE LATEX						
VARIABLES INDEPENDIENTES					VARIABLES DEPENDIENTES	
	PROPORCION	EDAD (DIAS)	NO DE MUESTRAS REPETICIONES		CARGA DE COMPRESION	CONDUCTIVIDAD TERMICA
TEMPERATURA INTERIOR	60-40 A0 (3-2)	4	2	3	20 KG	
TEMPERATURA EXTERIOR	50-50 A1 (1-1)					
	40-60 A2 (2-3)					
FIBRA DETERMINADA EN EL EXPERIMENTO						
A0	FIBRA CON LATEX EN LA PROPORCION 2 DE FIBRA, 1 DE LATEX		60-40	A0 (3-2)		
A1	FIBRA CON LATEX EN LA PROPORCION 1 DE FIBRA, 1 DE LATEX		50-50	A1 (1-1)		
A2	FIBRA CON LATEX EN LA PROPORCION 1 DE FIBRA, 2 DE LATEX		40-60	A2 (2-3)		

Se tomó como base del experimento la norma internacional ASTM C177 Método de prueba estándar para la determinación del flujo de calor en estado estacionario y propiedades de transmisión térmica mediante el aparato de placa caliente con guarda.

### **3.3.1 Determinación de la red fibrosa del BFAL.**

Dentro de la evaluación del biocompuesto, se proyectó la observación a nivel micrométrico, tanto de la fibra como del biocompuesto para poder apreciar los huecos en el conjunto de fibras y en el biocompuesto también el sellado de la matriz del biocompuesto, esta observación se realizó en las instalaciones del CIIDIR IPN Oaxaca.

Se realizaron 2 micrografías del panel biocompuesto, uno de ellos con microscopio óptico (MOB) y otro con microscopio electrónico de barrido.

El MOB usado se encuentra en el área de producción de nematodos dentro de las instalaciones del CIIDIR IPN Oaxaca, marca Stemi modelo 2000, el cual se muestra en la figura 29.

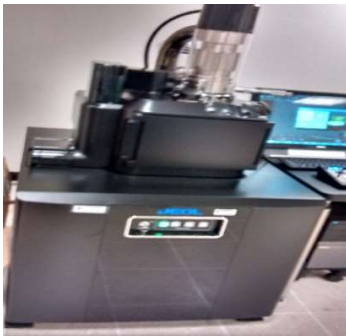
Figura 27. Evaluación de la estructura de la red fibrosa del BFAL

<b>DISEÑO DE EXPERIMENTO PARA OBSERVACION DE SUPERFICIE CON MICROSCOPIO ELECTRONICO</b>			
VARIABLES INDEPENDIENTES			VARIABLES DEPENDIENTE
	NO DE MUESTRAS	REPETICIONES	
FORMA DE LA SUPERFICIE	2	2	DISTRIBUCION DE MATRIZ
<b>MUESTRA DETERMINADA CON EL MEJOR DESEMPEÑO TERMICO</b>			



Figura 28. Microscopio binocular Stemi 2000 (MOB)

Se utilizó el microscopio electrónico de barrido (MEB) modelo JSM-IT300, marca Oxford Instruments, figura 27, que se encuentra en las instalaciones del laboratorio de metrología del CIIDIR IPN Oaxaca, allí se hicieron micrografías a 30, 35, 85, 90, 100, 200, 250, 600, 700 y 800 acercamientos con muestras especialmente preparadas para esta observación, tanto de fibras solas como del biocompuesto. Figura 30a, el microscopio electrónico de barrido, figura 30b, la unidad de rayos X y figura 30c, la cámara de vacío y platina del microscopio, también se obtuvo la composición química de la fibra, se incluye en el anexo C.



a)



b)



c)

Figura 29. Microscopio electrónico de barrido JSM-IT300 (MEB)

Para las micrografías en el MEB se prepararon muestras compatibles con el tamaño de la platina y las condiciones del equipo, las muestras se secaron y se dejaron guardadas para evitar la humedad y facilitar el vacío en el proceso y se colocó cinta de grafito para mejorar la conductividad de las muestras. En la figura 31a se observa la muestra de biocompuesto de 50 % de fibra y 50 % de látex, en la figura



31b tenemos fibra sola y en la figura 31c una muestra de 40 % de fibra y 60 % de látex.

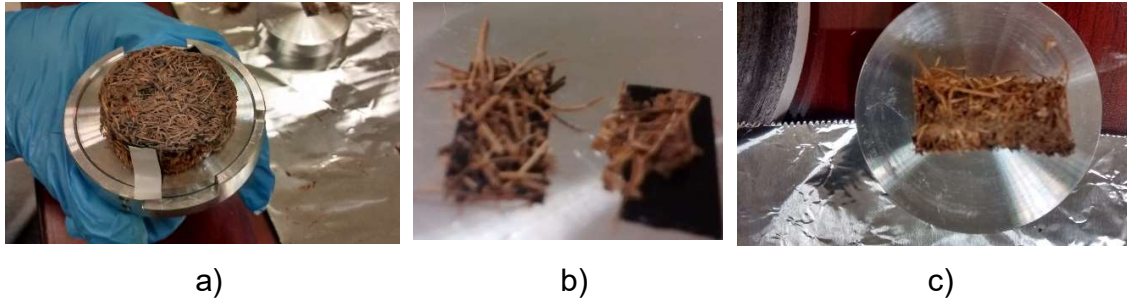


Figura 30. Muestras a observar en el microscopio electrónico de barrido

### 3.3.2 Determinación de las propiedades ignífugas del biocompuesto de fibra de *Agave angustifolia* Haw y látex.

Se evaluaron muestras de BFAL de dimensiones 0.10 x 0.12 X 0.15 m, tomando como base la norma internacional ASTM D-635-03. Se prepararon 10 ejemplares de 120 x 10 x 15 mm para ser probados en la flama de un mechero de acuerdo a la norma, en la figura 32a se presentan los ejemplares a medir, en la figura 32b se muestra la medición de la longitud de un ejemplar, la norma indica que se deben hacer 2 marcas, una a 2.5 cm del inicio y otra a 10 cm del inicio.



Figura 31. Ejemplares para evaluación de fuego

Se montó un soporte y se utilizó un mechero alimentado por gas, en la figura 33 se muestra cómo se presentó la colocación.

Se obtuvo la tasa de combustión lineal mediante la ecuación:

$$v = 60L/t$$



Figura 32. Colocación de ejemplar

Donde:

$v$ =tasa de combustión lineal en mm/min

$L$ = longitud quemada en mm, en caso de quemarse sin necesidad de flama del mechero, se debe usar el valor 75.

$t$ =tiempo requerido para que el ejemplar se queme a la marca de 10 cm.

#### **3.4 Fase 4. Comparación de las propiedades termofísicas de los aislantes industriales más comunes del mercado con las del BFAL obtenido.**

Se realizó una recopilación de la información disponible de fabricantes e investigadores de sistemas aislantes, se ordenó y preparo la información para su comparación.

#### **3.5 Fase 5. Evaluación de las emisiones de carbono, consumo energético y costo económico del panel biocompuesto.**

La evaluación de costos tuvo como objetivo conocer el comportamiento de un producto desde diferentes perspectivas para tener elementos de juicio al momento de establecer comparativos contra otros productos o propuestas. Se evaluó al BFAL desde el punto de vista de toneladas de carbono emitidas al ambiente en su producción, también se evaluó partiendo del principio de cuanta energía se consumió y finalmente se realizó la evaluación económica de la producción del panel.



## CAPITULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se presentan las evidencias fotográficas de los objetivos planteados en la investigación, asimismo los datos y análisis de estos resultados.

### 4.1 Resultados de las propiedades termofísicas de la FAS.

#### 4.1.1 Densidad de la fibra:

Se muestra un resumen de los valores calculados, el valor de la densidad obtenido fue de  $302 \text{ kg/m}^3$ , el cual es inferior al de bagazo de caña o a la fibra de coco, pero superior a la lana de roca (Ra A.,2012), esto se presenta en la Tabla 10.

Tabla 10. Valores obtenidos en la evaluación de densidad de la FAS

Volumen de la vasija	10135	ml
Peso de la vasija	4744	gr
Peso de la malla	151.68	gr
Volumen de agua teniendo malla con fibra	9152	ml
Peso de la malla con fibra escurrida	796.76	gr
Peso de la malla con fibra seca	440.99	gr
Volumen de agua con malla sin fibra	10109	ml
Volumen de la malla con fibra	983	ml
Volumen de la malla	26	ml
Volumen de la fibra	957	ml
Peso de la fibra humeda	645.08	gr
Peso de la fibra seca	289.31	gr
Peso volumetrico fibra seca	0.3023093	gr/ml
Densidad	0.3023093	kg/lt

#### 4.1.1 Conductividad térmica de la FAS.

Los resultados de la caracterización de los tamaños de FAS y pesos volumétricos se muestran en las figuras 33 a 36, se puede apreciar la variación en los valores de las propiedades térmicas, los datos que se presentan son: la masa  $m$  (kg), la energía empleada  $Q$  (watts), el área ocupada  $A$  ( $m^2$ ), la variación en la temperatura  $\Delta t$  ( $^{\circ}C$ ), el espesor de la muestra  $L$  (m), la conductividad térmica  $K$  ( $W/m^{\circ}C$ ), la resistividad térmica  $R$  ( $m^2^{\circ}C/W$ ) y el calor específico  $Ce$  ( $J/kg^{\circ}C$ ).

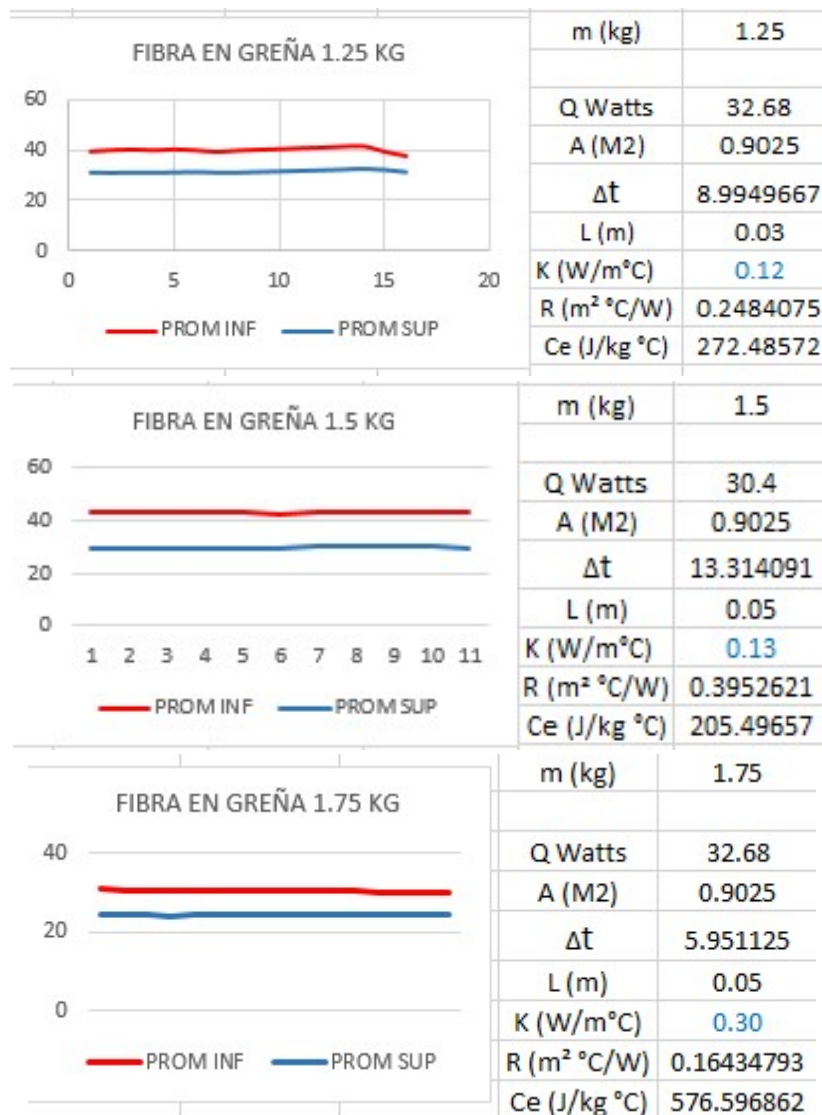


Figura 33. Fibra en greña

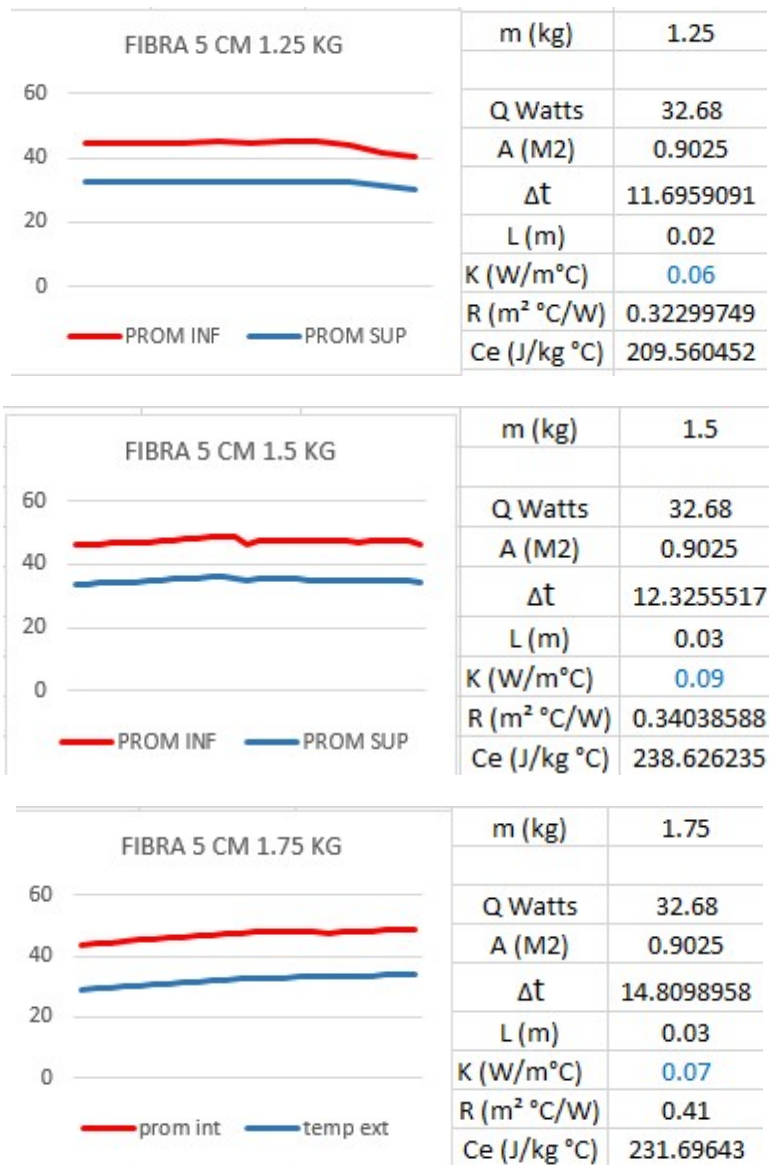


Figura 34. Fibra de 5 cm

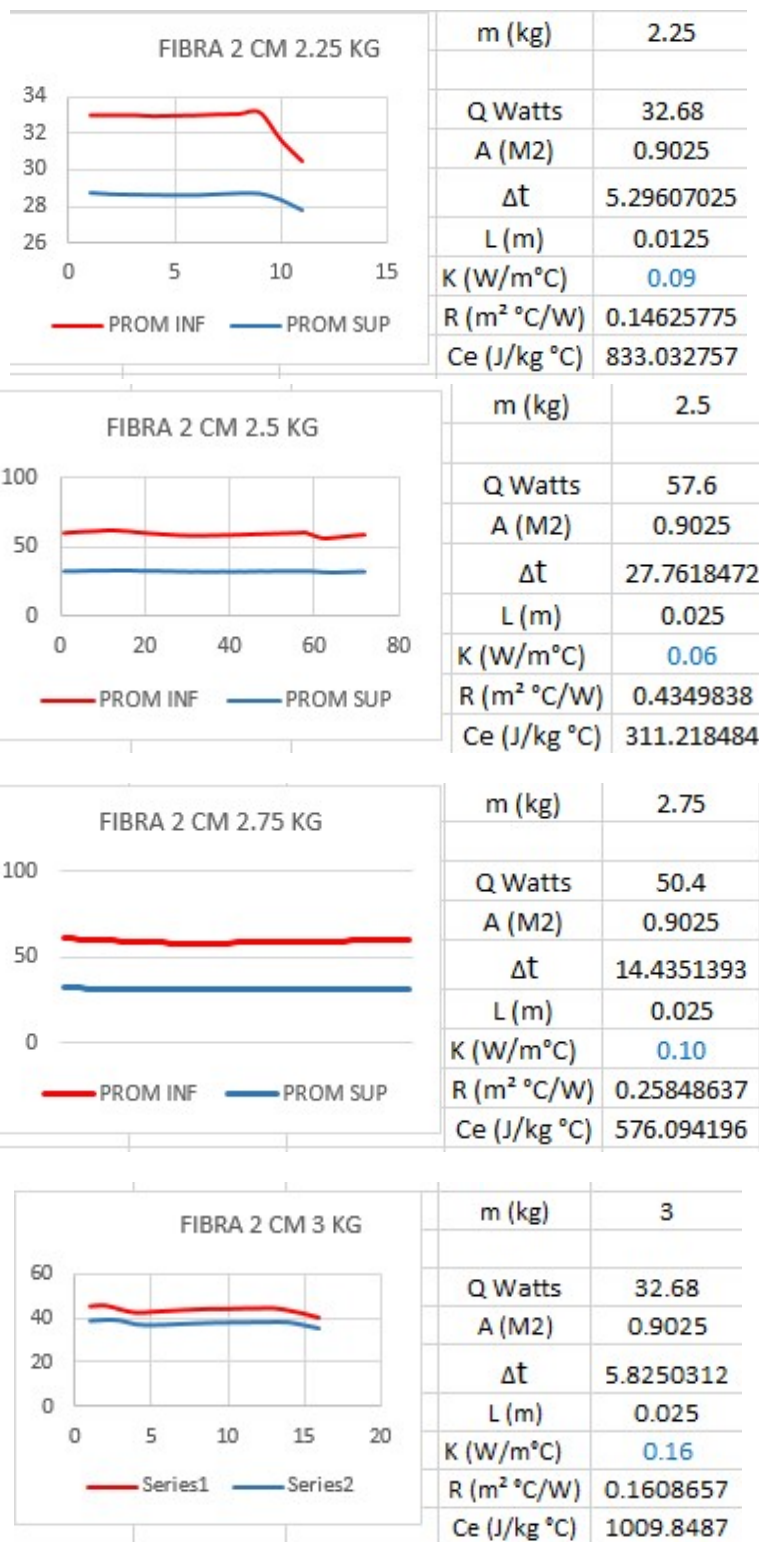
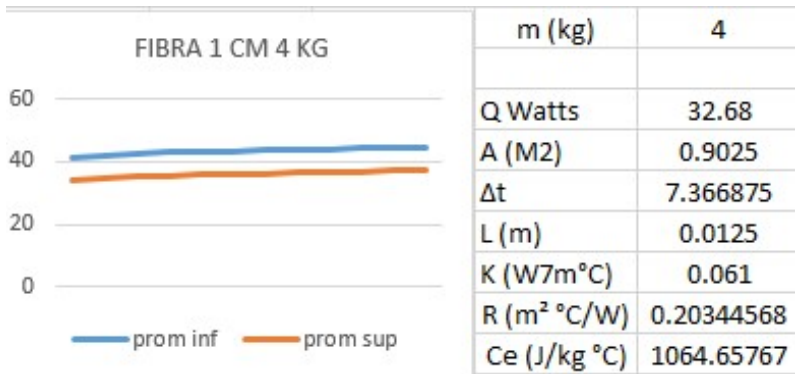
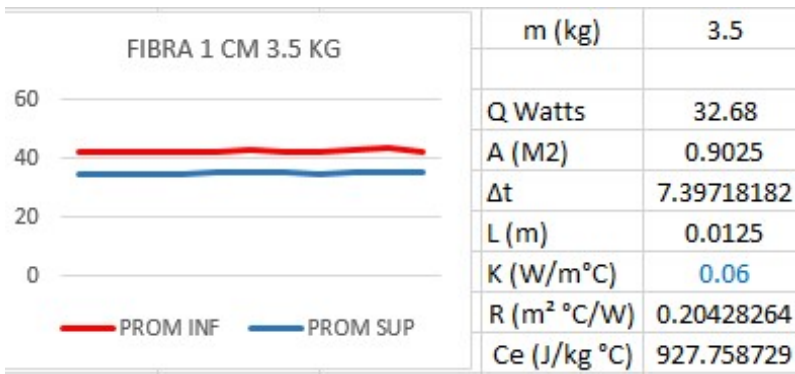
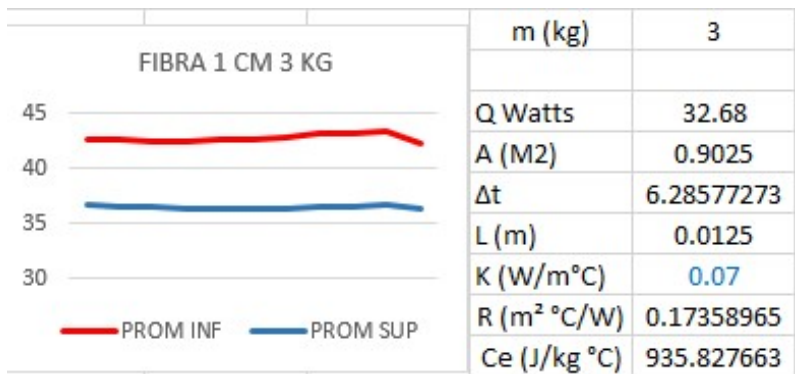
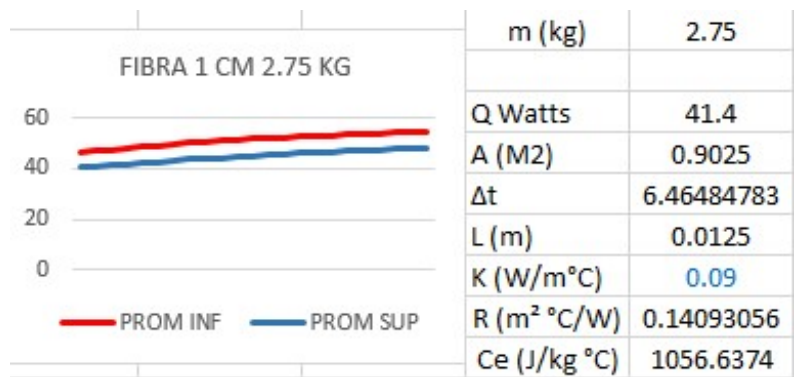


Figura 35. Fibra de 2 cm



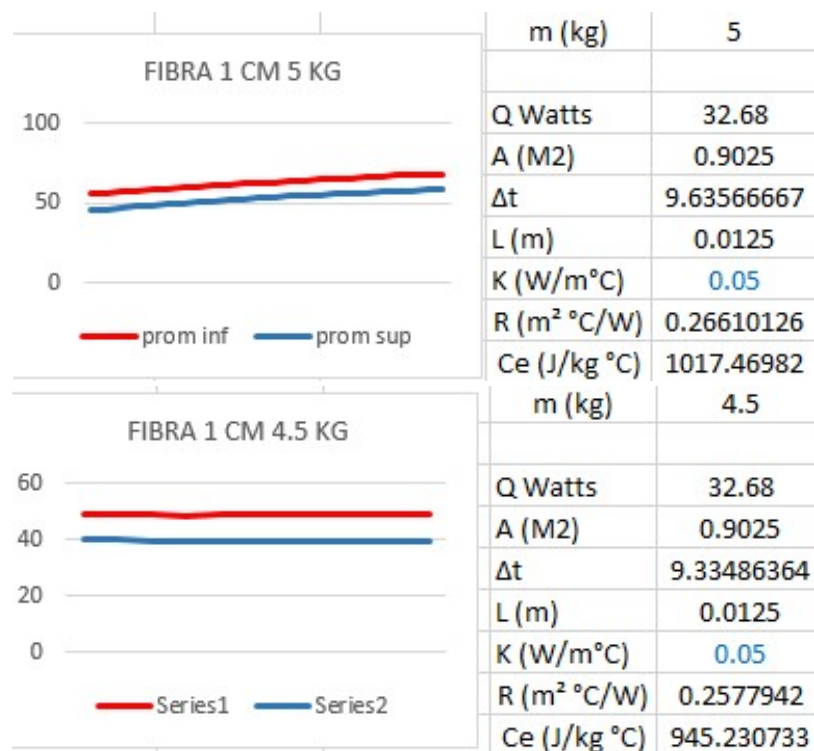


Figura 36. Fibra de 1 cm

Se concentraron los resultados de los diferentes tamaños y pesos volumétricos censados en la tabla 11 y se graficaron en la figura 37, se trazó también la línea de tendencia y de acuerdo con los datos se pudo observar que es poca la variación de la conductividad térmica con más peso volumétrico, por otra parte, para reducir más el tamaño de la FAS se usaría mucha energía, lo cual no es viable para el planteamiento de esta investigación, ya que se busca el menor costo económico y ambiental.

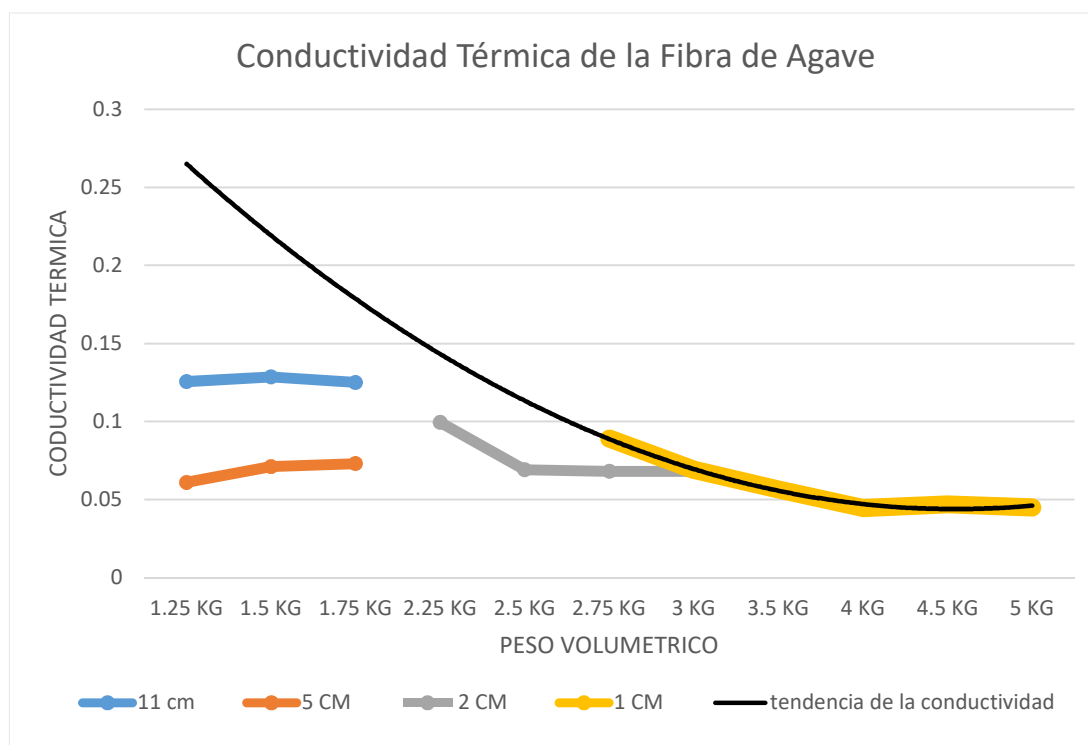


Figura 37. Resumen de caracterización de conductividad térmica de FAS

Tabla 11. Resumen de tamaños, pesos y densidades de la FAS

PESO FIBRA	CONDUCTIVIDAD TERMICA K				VOLUMEN M3	DENSIDAD KG/M3
	GREÑA	5 CM	2 CM	1 CM		
1.25 KG	0.1255	0.061			0.03	46.17
1.5 KG	0.1285	0.071			0.03	47.49
1.75 KG	0.125	0.073			0.04	48.48
2.25 KG			0.0995		0.02	124.65
2.5 KG			0.069		0.02	125.91
2.75 KG			0.068	0.089	0.02	121.88
3 KG			0.068	0.069	0.01	261.74
3.5 KG				0.0565	0.01	277.01
4 KG				0.04455	0.02	246.23
4.5 KG				0.047	0.02	249.31
5 KG				0.045	0.02	251.83

La densidad del material también es muy importante, ya que, al reducir el volumen del cuerpo, reduce más la circulación en su interior, por eso podemos apreciar la disminución de la conductividad térmica, como se observa en la tabla 10.

Tabla 12. Características térmicas de la FAS

Tipo de fibra	m kg	k (W/m°C)	R (m <sup>2</sup> °C/W)	Ce (J/kg °C)
GREÑA	1.25	0.1255	0.23	11352.39
GREÑA	1.5	0.1285	0.40	5479.91
GREÑA	1.75	0.125	0.16	11296.59
5 CM	1.25	0.061	0.32	8047.12
5 CM	1.5	0.071	0.34	6363.37
5 CM	1.75	0.073	0.41	4539.36
2 CM	2.25	0.0995	0.15	9872.98
2 CM	2.5	0.069	0.43	2987.70
2 CM	2.75	0.068	0.26	4570.66
2 CM	3	0.068	0.16	6732.32
1 CM	2.75	0.089	0.14	8383.24
1 CM	3	0.069	0.17	6238.85
1 CM	3.5	0.0565	0.20	4544.12
1 CM	4	0.04455	0.20	4123.72
1 CM	4.5	0.047	0.26	2800.68
1 CM	5	0.045	0.27	2441.93

Al reducir el tamaño de la FAS, esta tendió a comportarse como un sólido esponjoso, que redujo la circulación de aire y la vibración en su interior, característica muy deseable para un material aislante.

La caracterización de la FAS mostró la factibilidad de incorporar está a procesos industriales.

Un problema a resolver es la alta densidad de la FAS, lo que conlleva un elevado peso.

#### 4.2 Resultados del desarrollo de un panel biocompuesto de fibra de bagazo y resina polimérica.

Una vez que se desmoldaron, 5 días después del llenado, se pudo apreciar que las 2 resinas más compatibles con la fibra fueron, en primer lugar, el látex y en segundo lugar la urea formaldehído, la resina de pino presenta muy poca adherencia y se desmorona muy fácilmente, eso se muestra en la figura 38.





Figura 38. Aspecto de las muestras al momento de desmolde

Se pudo apreciar que la mejor compatibilidad la presentó la fibra con el látex, ya que con la brea de pino no se formó un compuesto resistente, la brea no generó una película uniforme y se deshizo muy fácilmente, con la urea formaldehído se formó un compuesto sólido, pero muy quebradizo y con el látex se formó un compuesto resistente y flexible, este se presentó en la tabla 13.

Tabla 13. Resumen de compatibilidades fibra y resinas

Compuesto	Secado	Aspecto	Compatibilidad
Fibra látex	Completo	Sólido, Flexible	Buena
Fibra Resina De Pino	No Se Alcanzo	Deforme, Se Desmorona	Mala
Fibra Urea Formaldehido	Completo	Sólido, Muy Quebradizo	Regular

También se realizaron pruebas de absorción de agua a los cubos de fibra y matriz, tanto de urea formaldehído como de látex. Se muestra en la figura 39a el peso de los cubos urea formaldehído secos, en la 39b los cubos de látex secos, en la figura 39c el peso de los cubos urea formaldehído húmedos, en la 39b los cubos de látex húmedos.

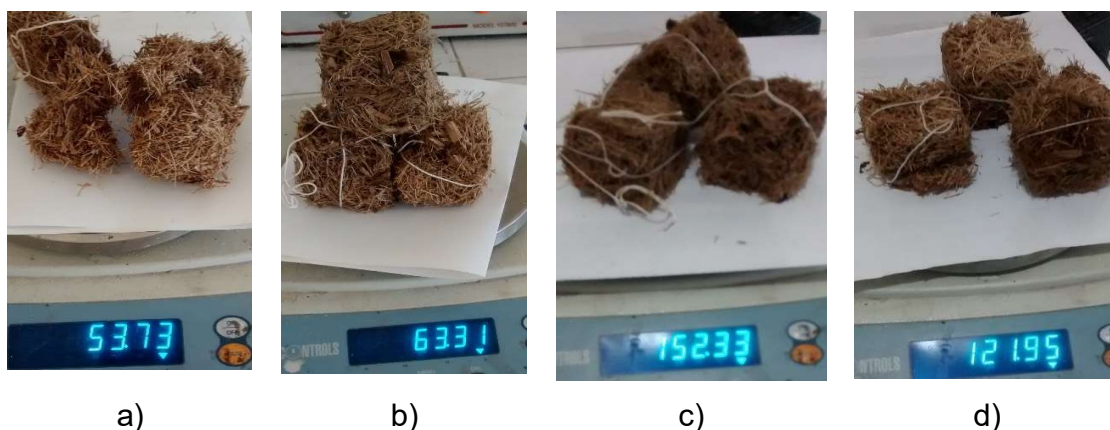


Figura 39. Pesaje de los cubos

En la tabla 14 se presentan los resultados de la absorción de agua y el porcentaje que cada compuesto tuvo, se puede observar que la urea formaldehído absorbió casi el triple que el látex en el mismo tiempo.

Tabla 14. Resultados de absorción de agua.

Matriz	Peso seco				Peso humedo				% absorcion de agua
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio	
Urea formaldehído	53.73	57.61	53.89	55.0766667	152.33	176.53	175.81	168.22	205.43
Latex	63.31	67.16	63.27	64.58	121.95	121.91	120.2	121.35	87.91

Observando los resultados de estas pruebas se tomó la decisión de utilizar látex como la matriz a analizar, por la trabajabilidad y la compatibilidad fibra de refuerzo con la matriz.

#### 4.3 Resultados de la caracterización térmica de BFAL.

Se hicieron las pruebas de conductividad térmica de tres diferentes combinaciones de las proporciones de fibra y látex, los resultados se muestran en la figura 40, los datos que se presentan son: la masa  $m$  (kg), la energía empleada  $Q$  (watts), el área ocupada  $A$  ( $m^2$ ), la variación en la temperatura  $\Delta t$  ( $^{\circ}C$ ), el espesor de la muestra  $L$  (m), la conductividad térmica  $K$  ( $W/m^{\circ}C$ ), la resistividad térmica  $R$  ( $m^2^{\circ}C/W$ ) y el calor específico  $C_e$  ( $J/kg^{\circ}C$ ).

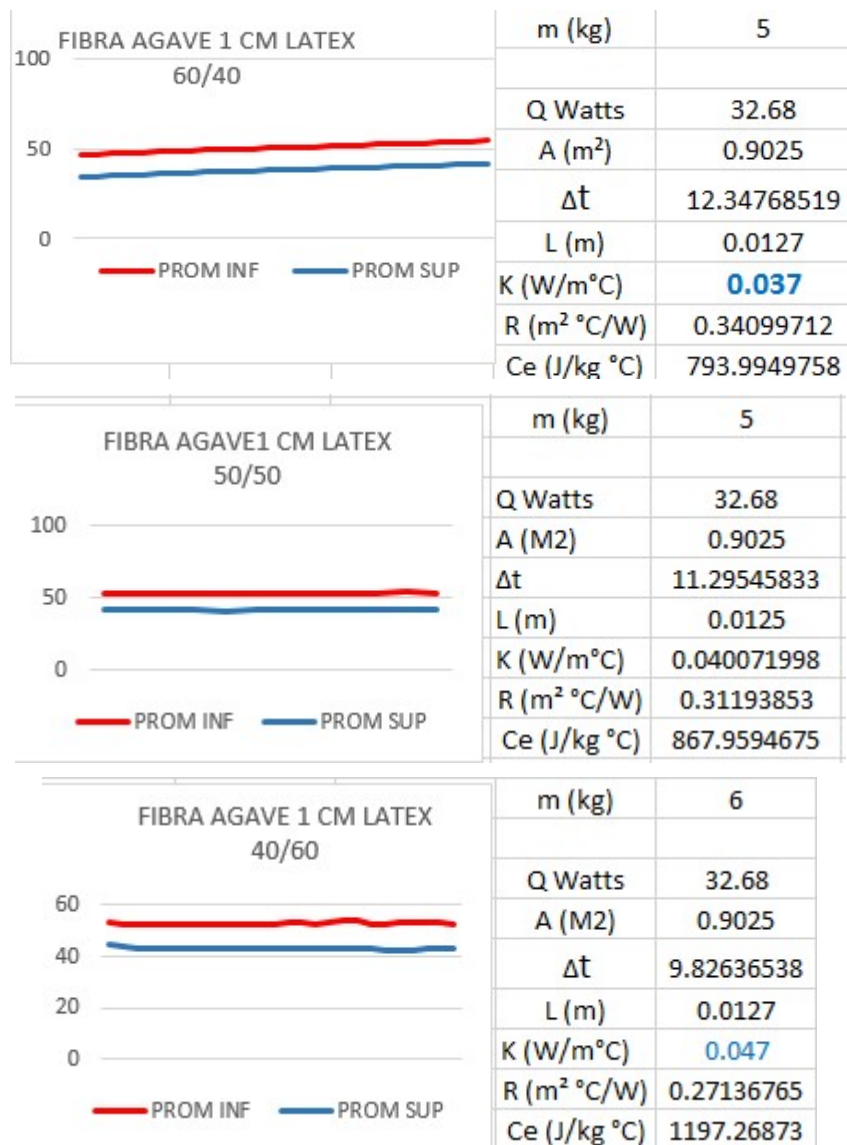


Figura 40. Gráficas de las propiedades térmicas de BFAL

#### 4.3.1 Resultados de las propiedades termofísicas de BFAL.

Una vez concluida la experimentación de las diferentes combinaciones de fibra y látex, se concentraron los resultados y se pudo visualizar el comportamiento del BFAL, esto se aprecia en la tabla 15 y en la gráfica 41, el mejor resultado lo presentó la combinación de 60 % de fibra y 40 % del látex con una conductividad térmica de 0.037 W/m<sup>o</sup>K.

Tabla 15. Resumen de las propiedades térmicas del BFAL

BIOCOMPUESTO FIBRA DE AGAVE 1 CM/LÁTEX			
MEZCLA	K	R (m <sup>2</sup> °C/W)	Ce (J/kg °C)
60/40	0.037	0.34	1905.59
50/50	0.040	0.31	2083.10
40/60	0.047	0.27	1995.45

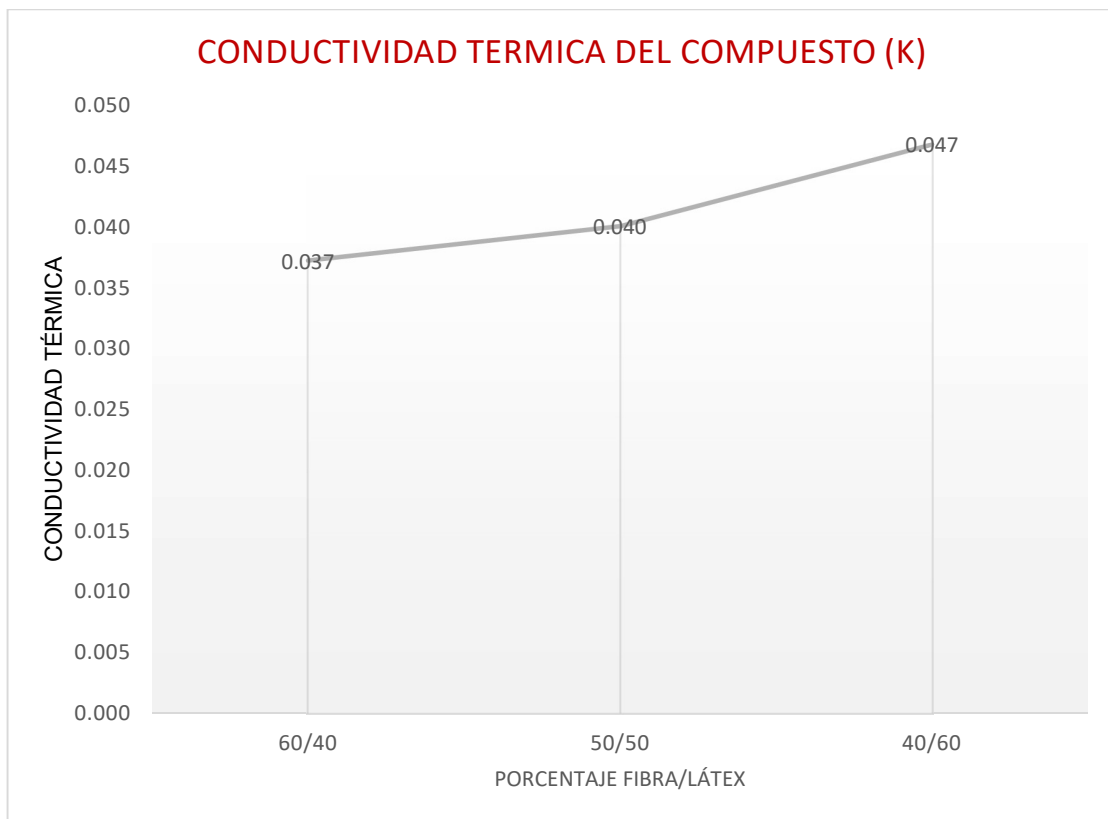


Figura 41. Resumen de la conductividad térmica BFAL

Se observó que, a menor contenido de látex, el BFAL presenta una mejor conductividad térmica, esto se puede explicar considerando las propiedades térmicas de los componentes, ya que el látex tiene una conductividad térmica más alta que la de la fibra, sin embargo, la conductividad térmica del BFAL se encuentra en el rango de los aislantes térmicos más utilizados.

### 4.3.2 Resultados de las propiedades ignífugas del BFAL.

Se hicieron las pruebas de acuerdo a la norma internacional ASTM-D635, para evaluar el comportamiento del BFAL y tenemos los siguientes resultados:

Se realizó la prueba, se colocó un espécimen por turno, se le aplicó la flama azul con una penetración de alrededor de 6 mm y se observó en cada uno de los 3 casos que se incendió, presentando una flama amarilla la cual no se apagó al retirar el mechero a los 30 segundos, como marca la norma, la flama se mantuvo y se dejó consumir hasta que el frente de flama alcanzó la marca de 10 cm, se tomó la lectura en el cronometro y se registró, se probaron 3 ejemplares, ya que el apartado 9.8 manifiesta que si existe flama solo se evalúan 3 ejemplares, en la figura 42a se muestra la aplicación de la flama, en la 42b se muestra la flama generada en el ejemplar y en la 42c se muestra una fotografía térmica de la combustión.

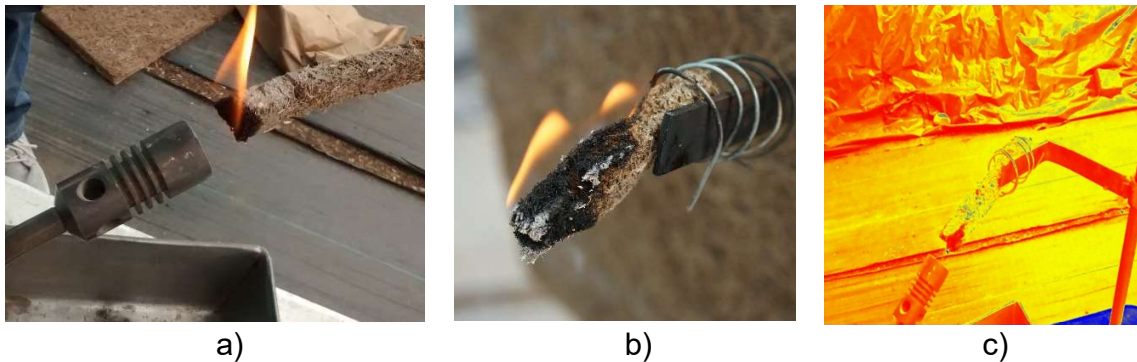


Figura 42. Aplicación de flama

Los resultados se presentan en la tabla 16, con un promedio de 45.96 mm/min, el resultado es muy similar al del poliuretano que es de 41.6 mm/min.

Tabla 16. Resultados de la prueba de combustión

Ejemplar	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Longitud consumida a 30 s (mm)	Tiempo de quemado a la marca de 100 mm (s)	Tasa de combustion lineal (mm/min)
1	120	10	13	2 mm	98	45.91836735
2	120	10	13	2.2 mm	94	47.87234043
3	120	10	13	2.1 mm	102	44.11764706

### 4.3.3 Evaluación de la estructura de la red del BFAL.

La figura 43 muestra la superficie de un conjunto de fibra molida sin resina y como se acomodó cuando se colocó en una superficie plana, se puede observar que los huecos entre fibras son muy pequeños y que el mismo tamaño de la fibra sella muchos de ellos, dificultando el paso del aire y reduciendo su conductividad térmica, esta observación se hizo con MOB.



Figura 43. FAS molida colocada libremente

En la figura 44 se puede ver como el látex selló los espacios dejados por la fibra, reduciendo aún más el paso de aire, pero al mismo tiempo crea puentes térmicos, en esta ampliación no es posible medir los espacios libres, eso se puede ver con el MEB.



Figura 44. BFAL proporción 50-50



La siguiente parte de la caracterización consistió en observar muestras tanto de la fibra sola como del BFAL en el MEB. Esto fue con la finalidad de poder contrastar los materiales, poder observar la geometría de la fibra y también tener así una forma de medir los huecos dejados por la fibra y el consiguiente paso de aire y la transferencia de calor. En la figura 45a se pueden observar los huecos dejados por la FAS, del orden de hasta 150  $\mu\text{m}$  con un aumento de 30X, en la figura 45b se observa una fibra sola y con el aspecto de un tronco, se utiliza un aumento de 130 X, en la figura 45c se observa la forma de la fibra más a detalle y se aprecian unas estructuras huecas con un aumento de 250 X.

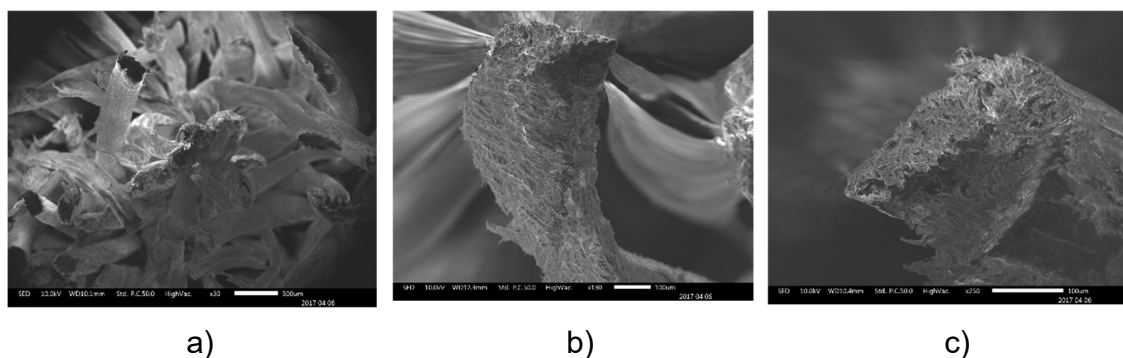


Figura 45. Microfotografías de la fibra sola

Figura 46, fibra a 600 ampliaciones, se pudo observar dos cosas relevantes, la más evidente es el efecto del corte que hizo el molino, la otra, la más importante, es que la fibra está compuesta de microfibras y huecos de alrededor de 10  $\mu\text{m}$ , es una estructura tubular, esto nos señaló la causa de porque tiene una baja conductividad térmica, ya que el aire atrapado en su interior retrasa la transferencia de calor.

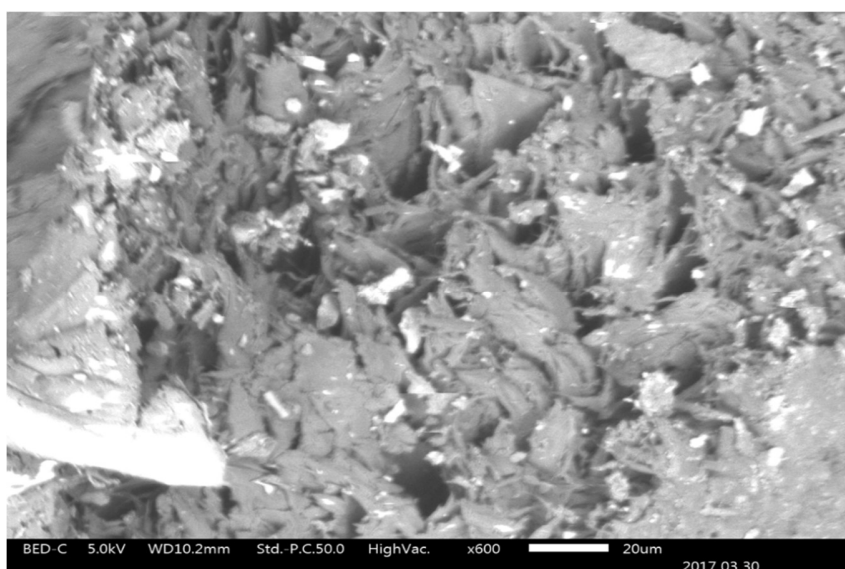


Figura 46. FAS a 600 X

Una vez caracterizada la fibra, se pasó a observar el BFAL, igualmente buscando la contrastación para medir los huecos. En la figura 47a se observó la fibra cubierta con látex con un aumento de 30 X, en la figura 47b se empleó un aumento de 50 X y se puede apreciar que el látex cubre casi en su totalidad la superficie, sin embargo, en la 47c ya se aprecian mejor los huecos del BFAL con un aumento de 100 X.

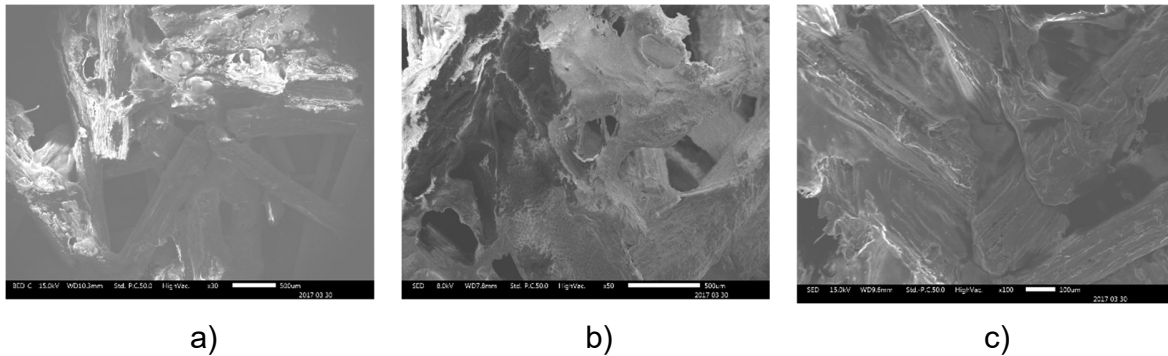


Figura 47. Microfotografías del biocompuesto

En la figura 48, se observa cómo se adhiere el látex a la fibra, y se observan también huecos que rompen la continuidad del BFAL y los puentes térmicos formados por el látex, lo que dificulta la transferencia de calor.

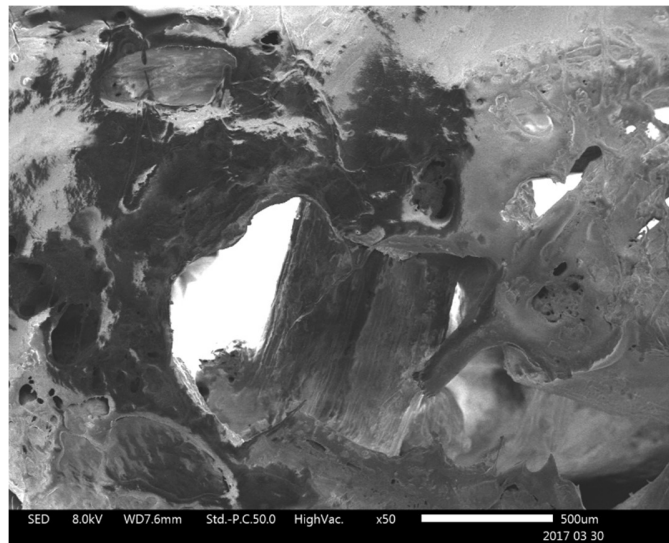


Figura 48. BFAL a 50 X

El análisis de las microfotografías confirma la excelente adherencia del látex con la fibra y muestra los huecos dejados en el BFAL.



#### 4.4 Evaluación de costos del BFAL.

Se evaluaron los costos, ambientales y económicos del BFAL utilizando estándares internacionales.

Se tomó como base para el cálculo de los costos generales un panel de 1 metro cuadrado, con fibra de 1 cm de longitud procesado en el molino del CIIDIR IPN Oaxaca y con proporción de 50 % de fibra y 50 % de látex en su fabricación, se utilizaron 3 kg de bagazo y 3 kg de látex, se secó en exposición al sol, sin otro proceso, con los siguientes resultados:

Costo energético de fabricación, considerando un estándar aproximado para la fabricación de un panel de proporción 50/50 de 1 m<sup>2</sup>, se tiene la tabla 17, se tomó el criterio de rendimiento de 10 km/lt de un vehículo y se transportan 100 litros de látex en uno y 100 kg de bagazo en el otro.:

Tabla 17. Energía empleada para producir un panel de 1 m<sup>2</sup>

ENERGÍA EMPLEADA PARA PRODUCIR UN PANEL DE 0.95 X 0.95 m							
GASOLINA	DISTANCIA KM	LITROS CONSUMIDOS	MATERIAL		LITROS EQUIVALENTES		
			TRANSPORTADO KG	USADO UND			
LATEX, TUXTEPEC AL CIIDIR	220	22	100	3	0.66		
BAGAZO, MATATLAN AL CIIDIR	34	3.4	100	3	0.10		
<b>TOTAL GASOLINA LT</b>					<b>0.762</b>	<b>25.40</b>	<b>BTU'S</b>
						<b>7.4422</b>	<b>WATTS</b>
ELECTRICIDAD	POTENCIA KW	TIEMPO (HORAS)					
			PRODUCIDO	CONSUMIDO			
MOLIDO DEL BAGAZO	1.7	1	3	3	1.7	1700	
<b>TOTAL ELECTRICIDAD</b>						<b>1707.44</b>	<b>WATTS</b>
1 Btu= .293 watt							

De este consumo de energía, en la tabla 18 se tiene la equivalencia en toneladas de CO<sub>2</sub> emitidas para producir el panel, que son 0.68 toneladas.

Tabla 18. Toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes emitidas para producir un panel de 1 m<sup>2</sup>

TONELADAS DE CO <sub>2</sub> EMITIDAS EQUIVALENTES				
TOTAL ELECTRICIDAD KWH			1707.44	WATTS
			682.98	KG CO <sub>2</sub>
1 watt= 0.4 kg CO <sub>2</sub>		<b>TOTAL</b>	<b>0.68</b>	<b>TON CO<sub>2</sub></b>

Fuente: Eur-Lex

Costo económico de fabricación, considerando un estándar aproximado para la fabricación de un panel de proporción 50/50, se consideraron 3 kg de fibra, esta no tuvo costo por ser un desperdicio, 2.4 litros de látex, el látex se cotiza en el mercado

internacional y su precio varía, se tomó el aproximado de la temporada, para el costo de la mano de obra se consideró mano de obra no calificada y que en el mercado se pagaba en cien pesos diarios, una renta de área de local de \$3,600.00 mensual, y un costo de energía eléctrica por área utilizada de \$58.00 mensual, eso se resumió y detallo en la tabla 19, dando un costo total de \$306.98.

Tabla 19. Costo económico de producción por metro cuadrado

<u>Determinacion del Costo de Produccion</u>				
Producto: panel de latex				
Planilla de Costeo por orden de producción de 1 m2				
Cantidad y Unidad	Elementos del Costo	Precio	Costo Fijo	Costo Variable
3kg	fibra	-		-
2.4 lt	latex	144.00		144.00
1 hora	mano de obra molido 1	12.50		12.50
1 hora	Mano de Obra molienda 2	12.50		12.50
4 horas	Mano de Obra Armado y Term	37.50		37.50
6 horas	Alquiler local	30.00	50.00	
6 horas	Alquiler maquina	20.00	100.00	
Proporc.	gasolina	50.00	0.50	
6 horas	Energía Eléctrica	0.48	2.35	
<b>Totales</b>		<b>306.98</b>	<b>152.85</b>	<b>206.50</b>

#### 4.5 Comparativo entre el BFAL y los aislantes comerciales.

Actualmente se tiene una gran variedad de aislantes, y también una gran cantidad de propuestas para nuevos materiales, todos tienen ventajas y desventajas.

##### 4.5.1 Propiedades térmicas

En la tabla 20 los parámetros más importantes son la conductividad térmica y la densidad del material, aquí se presenta un resumen, incluyendo el material aquí

desarrollado (Rahul A., 2012), (Panyakaew S. 2011). Se puede apreciar que el material desarrollado podría competir como aislante térmico ya que presenta características de conductividad térmica (0.040) muy cercanas a las de los aislantes más utilizados comúnmente, solo abajo del poliestireno extruido (0.035), la lana de oveja (0.034) y de la espuma de poliuretano (0.027), se presentó mucho mejor que la vermiculita (0.07), fibra de coco (0.068), celulosa de madera (0.05), lana de roca (0.045), lana de vidrio (0.045), celulosa de papel (0.041) y poliestireno expandido (0.041), de los aislantes comerciales.

Tabla 20. Materiales aislantes, usados y propuestos

Material aislante	K W/m <sup>°</sup> K	Densidad kg/m <sup>3</sup>
Espuma de poliuretano	0.027	80
Lino y cañamo	0.033	39
Lana de oveja	0.034	40
Poliestireno extruido	0.035	80
<b>Agave/ latex</b>	<b>0.040</b>	<b>436</b>
Poliestireno expandido	0.041	50
Celulosa (papel reciclado)	0.041	30
Lana de vidrio	0.045	100
Lana de roca	0.045	180
Lino	0.045	100
Celulosa	0.05	45
Celulosa (fibra de madera)	0.05	30
Bagazo de caña	0.055	350
Kenaf	0.058	200
Hojas de papiro	0.0606	400
Fibra de coco	0.068	350
Vermiculita	0.07	160

En la figura 49 se aprecia la posición que tiene el BFAL entre los aislantes empleados y otros propuestos dentro de las investigaciones de fibras naturales,

tiene una conductividad equiparable a la del poliuretano expandido y mejor a la lana de vidrio y la celulosa.



Figura 49. Grafico comparativo de la conductividad térmica

Podemos observar que el BFAL tiene un comportamiento térmico muy bueno, superior a varios de los más utilizados en el mercado, como la vermiculita, la celulosa, lana de roca, lana de vidrio e incluso el poliestireno expandido, supera también a las fibras de coco, papiro, caña y lino, lo cual abre muchas posibilidades para desarrollo de aplicaciones.

#### 4.5.2 Costo energético

Un aspecto trascendente es el del costo de energía empleada para producir un producto, también la equivalencia en las toneladas de CO<sub>2</sub> que se emiten por cada producto, este es uno de los criterios que tienen un gran peso en las decisiones actuales y es uno de los parámetros más importantes de esta comparación con otros materiales en el mercado.

En la tabla 21 se presenta el costo energético de producción de los principales aislantes comerciales y toneladas de carbón equivalentes emitidas a la atmosfera incluyendo en también el BFAL.

Tabla 21. Costo energético de producción aislantes

MATERIAL	ENERGIA MJ	W/H	TON CO <sup>2</sup>
FIBRA DE VIDRIO	4700	1,305,519.00	52.22
FIBRA DE MADERA	286.29	79,522.77	3.18
LADRILLOS RELLENOS CON LANA MINERAL	179.06	49,737.50	1.99
LANA MINERAL	78	21,666.06	0.87
ESPUMA MINERAL	72.32	20,088.33	0.80
ESPUMA DE POLIESTIRENO EXPANDIDO BLANCO	47.84	13,288.52	0.53
ESPUMA DE POLIESTIRENO EXPANDIDO GRIS	39.84	11,066.36	0.44
<b>BIOCOMPUESTO FIBRA LATEX</b>	<b>0.61</b>	<b>1,707.44</b>	<b>0.07</b>
POR UNIDAD FUNCIONAL (= 1 m <sup>2</sup> DE AREA EQUIVALENTE)			
1 MJ = 277.777 watt/hora			
1 watt= 0.4 kg CO <sub>2</sub>			

Fuente: Environmental Construction Products Organisation (ECO) and Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU)

Un criterio empleado en el mercado de aislantes fue que los materiales aislantes deben ser comparados unos con otros por unidades funcionales (p.e. m<sup>2</sup> de resistencia térmica X), debiendo tenerse en cuenta también la densidad aparente y la conductividad térmica (European Manufacturers of EPS Weertersteenweg).

## CAPITULO V. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos de esta investigación muestran la caracterización de la FAS desde el punto de vista de sus propiedades térmicas.

Los resultados mostraron que se obtuvo una disminución significativa del valor de la conductividad térmica de la FAS desde un valor de 0.12 a 0.045 al reducir su longitud hasta la de 1 centímetro, esto nos dio una tendencia de reducir la longitud de la fibra para hacerla utilizable para los procesos industriales.

Se observó que al adecuar la FAS por medio del molido a la longitud de 1 centímetro o menos se obtuvo un aislante térmico de buen desempeño, pero este material tuvo la desventaja de comportarse como un material granulado, es decir, se desmoronó al tacto, por lo que fue necesario incorporarle una resina que le permitió tener mayor resistencia y manejabilidad.

Se probó la compatibilidad de adherencia de la FAS con las resinas, se determinó que se fabricaría con látex, ya que permitió una muy buena adherencia y manejabilidad al compuesto.

La geometría de las FAS, formada por una serie de tubos huecos y microfibras, redujo favorablemente la vibración provocada por el calor, propiedad esta que lo hace aislante.

Se observó que el biocompuesto reducía aún más la conductividad del panel, siempre que el contenido de látex no supere al de fibra, ya que eso va en detrimento de las propiedades aislantes.

Al analizar en el MEB el BFAL, se observó que los huecos que deja el látex al contraerse, rompen los puentes térmicos, por eso al aumentar la proporción de látex en el biocompuesto, este tuvo una mayor conductividad y redujo sus propiedades aislantes.

El BFAL presentó favorables propiedades térmicas, superiores a los de muchos aislantes comerciales y de otras fibras naturales que se han evaluado con este fin.

En las propiedades ignífugas, se comportó como una madera fibrosa, de fácil combustión.

El costo económico fue más alto que el de los materiales más utilizados en el aislamiento comercial, pero un aspecto no considerado es el de la disposición final, ya que el BFAL de esta investigación es totalmente compostable, a diferencia de los materiales industriales, cuya vida final es de varios cientos de años, e incluso

miles, como la fibra de vidrio, aparte que estos son tóxicos e irritantes en su aplicación.

## **5.1 Recomendaciones**

Es necesario aplicar regulaciones en la disposición de los desechos y esto apoyará la investigación y promoverá el uso de los materiales sobrantes de los procesos industriales, lo que al fin reducirá la contaminación y permitirá el obtener beneficios adicionales para las personas de las zonas afectadas.

Se abre la ventana de continuar la caracterización de la fibra de agave en la aplicación de aislamiento térmico, en los aspectos de reducción de flamabilidad y de desarrollar un panel con otras resinas y diferentes condiciones de presión y temperatura para mejorar sus propiedades.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Asdrubali, D'Alessandro, Schiavoni. 2015, A review of unconventional sustainable building insulation materials. *Sustainable materials and technologies* 4, 1-17.

ASTM C177 – 13, 2013, *Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus*, ASTM International, West Conshohocken, PA.

ASTM D635-03, 2003, *Standard Test Method for Rate of Burning and/or Extent and Time of Burning of Plastics in a Horizontal Position*, ASTM International, West Conshohocken, PA.

Beyer. G: Nanocomposites – 2009, A new class of flame retardants. *Plastics, Additives and Compounding*. March /April. 11(2): p 16-17/19-21.

Cáceres Sandoval, A. (2011). *Estudio De Caracterización Fisicoquímica De Látex Natural Proveniente De Hevea Brasiliensis Por Medio De Termogravimetría*. Ingeniería. Universidad Industrial De Santander, Facultad De Ingenierías Fisicoquímicas, Bucaramanga.

Cantorski da Rosa Leandro, Cilione Gracieli Santor, Adalberto Lovato, Claudia Severo da Rosa, Saulo Güths, 2015, Use of rice husk and sunflower stalk as a substitute for glass wool in thermal insulation of solar collector, *Journal of Cleaner Production*, Volume 104, 1 October, Pages 90-97.

Charca S, J. Noel, D. Andia, J. Flores, A. Guzman, C. Renteros, J. Tumialan, 2015, Assessment of Ichu fibers as non-expensive thermal insulation system for the Andean regions, *Energy and Buildings*, Volume 108, 1 December, Pages 55-60.

Chávez I. 2010, *Uso de bagazo de la industria mezcalera como materia prima para generar energía*, CIIDIT, FIME-UANL.

Claramunt Josep, Lucía J. Fernández-Carrasco, Heura Ventura, Mònica Ardanuy, 2016, Natural fiber nonwoven reinforced cement composites as sustainable materials for building envelopes, *Construction and Building Materials*, Volume 115, 15 July, Pages 230-239.

Dávila, José Luis; Galeas, Salomé; Guerrero, Víctor Hugo; Pontón, Patricia; Rosas, Nelly María; Sotomayor, Verónica; Valdivieso, Carla. 2011, *Nuevos*



*materiales. Aplicaciones estructurales e industriales.* Repositorio Digital EPN / Escuela Politécnica Nacional EPN, Ecuador.

Dhanushka H, T. (2010). *Development and Characterisation of Flame Retardant Nanoparticulate Bio-based Polymer Composites.* Doctorado. School of Engineering and Materials Science, Queen Mary University of London, Mile End Road, London E1 4NS.

Díaz Caravantes, Rolando Enrique; Castro Luque, Ana Lucía; Aranda Gallegos, Patricia; 2014. "Mortalidad por calor natural excesivo en el noroeste de México: Condicionantes sociales asociados a esta causa de muerte". *Frontera Norte*, num. Julio-Diciembre, pp. 155-177.

FAO/WHO. 2001. Food and Agriculture Organization of the United Nations-World Health Organization. Health and nutritional properties of alginate in food. <http://www.fao.org/docrep/006/y4765e/y4765e08.htm>

Fitzmaurice, R. (1958). *Manual on Stabilised Soil Construction for Housing.* United Nations, New York, USA.

Garcia-Ivars, Jorge, Xin Wang-Xu, Maria-Isabel Iborra-Clar, 2017, Application of post-consumer recycled high-impact polystyrene in the preparation of phase-inversion membranes for low-pressure membrane processes, *Separation and Purification Technology*, Volume 175, 24 March, Pages 340-351.

Gonzalez-Nunez, Leduc, Ramos, Riedl, Rodriguez, Galindo. 2008, LDPE/Agave fiber composites: effect of coupling agent and weld line on mechanical and morphological properties. *Polymers and Polymer Composites*. 16.2 (Feb.): p115.

Iñiguez-Covarrubias, Lange, Rowell. 2001, Utilization of byproducts from the tequila industry: part 1: agave bagasse as a raw material for animal feeding and fiberboard production. *Bioresource Technology* 77 25-32. B

Ismail A, Hassan A, Bakar AA, Jawaid M (2013) *Flame retardancy and mechanical properties of kenaf filled polypropylene (PP) containing ammonium polyphosphate (APP).* *Sains Malaysiana* 42:429–434.

Kobari T., Okajima J., Komiya A., Maruyama S. 2015, Development of guarded hot plate apparatus utilizing Peltier module for precise thermal conductivity measurement of insulation materials. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 91 1157-1168.

Kreith Frank, Raj M. Manglik, Mark S. Bohn, 2012, *Principios de transferencia de calor.* Cengage Learning Editores, 13/01/

Kylili A. and P.A. Fokaides, 2017, Chapter 2 - *Methodologies for Selection of Thermal Insulation Materials for Cost-Effective, Sustainable, and Energy-Efficient Retrofitting*, In *Cost-Effective Energy Efficient Building Retrofitting*, Woodhead Publishing, Pages 23-55.

Lunt, M. (1980). Stabilised soil blocks for building, Building Research establishment, Overseas Building Notes 184. (42), 451-464.

Muizniece, Indra, Dace Lauka, Dagnija Blumberga, 2015, Thermal Conductivity of Freely Patterned Pine and Spruce Needles, *Energy Procedia*, Volume 72, Pages 256-262.

Palumbo M, A.M. Lacasta, A. Navarro, M.P. Giraldo, B. Lesar, 2017, Improvement of fire reaction and mould growth resistance of a new bio-based thermal insulation material, *Construction and Building Materials*, Volume 139, 15 May, Pages 531-539.

Panyakaew Satta, Steve Fotios, 2011, New thermal insulation boards made from coconut husk and bagasse, *Energy and Buildings*, Volume 43, Issue 7, July, Pages 1732-1739.

Rahul A. 2012, State of de art insulation materials: a review. *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)*, Vol. 2, Issue 6, December.

Ramakrishnan Sayanthan, Xiaoming Wang, Jay Sanjayan, John Wilson, 2017, Thermal performance of buildings integrated with phase change materials to reduce heat stress risks during extreme heatwave events, *Applied Energy*, Volume 194, 15 May, Pages 410-421.

Rodríguez-Macías R., Alcantar-González EG., Iñiguez-Covarrubias G., Zamora-Natera F., García-López PM., Ruíz-López MA., Salcedo-Pérez E (2010) Caracterización física y química de sustratos agrícolas a partir de bagazo de agave tequilero. *Interciencia* 35(7):515-520.

Sanjay, M.R., Arpitha, G.R., Naik, L.L., Gopalakrishna, K. and Yogesha, B. 2016, Applications of Natural Fibers and Its Composites: An Overview. *Natural Resources*, 7, 108-114.

Satyanarayana Kestur G., Thais H.S. Flores-Sahagun, Lucas Pereira Dos Santos, Juliana Dos Santos, Irineu Mazzaro, Alexandre Mikowski, 2013, Characterization of blue agave bagasse fibers of Mexico, Composites Part A: *Applied Science and Manufacturing*, Volume 45, February, Pages 153-161.

Schartel. B, Braun. U, Knoll. U, Bartholmai. M, Goering. H and Neubert. D: 2008, Mechanical thermal and fire behavior of bisphenol A polycarbonate/multiwall carbon nanotube nanocomposites. *Polymer Engineering and Science*. 48. p.149-58.

Tippens Paul E. 2007, *Física: Conceptos y aplicaciones*, 7/e, ISBN: 9701062604, Copyright. McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A. de C.V.

Volf Martin, Jakub Diviš, Filip Havlík, 2015, Thermal, Moisture and Biological Behaviour of Natural Insulating Materials, *Energy Procedia*, Volume 78, Pages 1599-1604.

Walker, P. (1995). Strength durability and shrinkage characteristics of cement stabilized soil blocks, *Cement and Concrete Composites*. 17(4), 301–310.

Wang, Bin, Faqin Dong, Mengjun Chen, Jingping Zhu, Jiangyue Tan, Xinmei Fu, Youzhi Wang, Shu Chen, 2016, Advances in Recycling and Utilization of Agricultural Wastes in China: Based on Environmental Risk, Crucial Pathways, Influencing Factors, Policy Mechanism, *Procedia Environmental Sciences*, Volume 31, Pages 12-17.

Wei Kangcheng, Chenglong Lv, Minzhi Chen, Xiaoyan Zhou, Zhenyu Dai, Da Shen, 2015, Development and performance evaluation of a new thermal insulation material from rice straw using high frequency hot-pressing, *Energy and Buildings*, Volume 87, 1 January, Pages 116-122.

Zach, Jiří, Richard Slávik, Vítězslav Novák, 2016, Investigation of the Process of Heat Transfer in the Structure of Thermal Insulation Materials Based on Natural Fibres, *Procedia Engineering*, Volume 151, Pages 352-359.

## **GLOSARIO**

**Aislamiento térmico:** es el conjunto de materiales y técnicas de instalación que se aplican a un elemento o a un espacio calientes para minimizar la transmisión de calor hacia otros elementos o espacios no convenientes.

**Bagazo:** residuo de materia después de extraído su jugo.

**Calor específico:** se define como la cantidad de calor que hay que suministrar a la unidad de masa de una sustancia o sistema termodinámico para elevar su temperatura en un grado.

**Calor:** se entiende como transferencia de calor y solo ocurre cuando hay diferencia de temperatura y en dirección de mayor a menor.

**Ciclo de vida:** se refiere al tiempo en que los materiales que existen, entre su producción y su degradación por el medio ambiente.

**Conductividad térmica:** es una propiedad física de los materiales que mide la capacidad de conducción de calor. En otras palabras, la conductividad térmica es también la capacidad de una sustancia de transferir la energía cinética de sus moléculas a otras adyacentes o a sustancias con las que está en contacto.

**Densidad:** es una magnitud escalar referida a la cantidad de masa en un determinado volumen de una sustancia.

**Energía:** En física, se define como la capacidad para realizar un trabajo. En tecnología y economía, se refiere a un recurso natural (incluyendo a su tecnología asociada) para poder extraerla, transformarla y darle un uso industrial o económico.

**Fibra:** es cada uno de los filamentos que conforman algunos tejidos orgánicos o que se encuentran en la textura de algunos minerales o vegetales. La palabra latina se origina en filum, fili con el concepto de hilo.

**Ignifugo:** es la característica de un tipo de construcción o material que es resistente al calor y al fuego. Es un tipo de medida pasiva que brinda protección a los materiales o a las estructuras ante el fuego mediante el uso de materiales o estructuras que son más resistentes al fuego.

**Peso volumétrico:** es la relación entre el peso de un material y el volumen ocupado por el mismo.

Puente térmico: es una zona donde se transmite más fácilmente el calor que en las zonas aledañas. Puede deberse por diferente conductividad de los materiales, diferente espesor de los materiales o por cuestiones geométricas.

Resistividad térmica: es la propiedad física de los materiales que mide la capacidad de oponerse al paso del calor. Es también la capacidad de una sustancia oponerse a la transferencia de energía cinética de sus moléculas a otras moléculas adyacentes o a sustancias con las que no está en contacto.

Temperatura: es una magnitud física que refleja la cantidad de calor, ya sea de un cuerpo, de un objeto o del ambiente.

Tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente: es una medida en toneladas de la huella de carbono. Huella de carbono es el nombre dado a la totalidad de la emisión de Gases de Efecto Invernadero. La masa de los gases emitidos es medida por su equivalencia en CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono). El CO<sub>2</sub> es el más conocido y es también la referencia del resto de los gases de efecto invernadero, a los que se considera causantes del calentamiento del planeta.

## Anexos

### A. Armaflex, ficha técnica.



PRESENTACIÓN

#### Descripción

El aislamiento de tuberías (tubos) AP Armaflex resistente al moho es un aislamiento térmico de espuma elastomérica flexible, de color negro, que se ofrece como tubos sin ranuras en:

- espesores nominales de pared de 3/8", 1/2", 3/4", 1" y 1-1/2" (10, 13, 19, 25 y 38 mm)
- dimensiones comunes de hasta 6" (168 mm) IPS.

La expandida estructura celular cerrada del aislamiento de tuberías AP Armaflex lo convierte en un aislamiento eficiente. Se fabrica sin el uso de compuestos de CFC (clorofluorocarbono), HFC (hidrofluorocarbono) o HCFC (hidroclorofluorocarbono). Tampoco contiene formaldehído, tiene bajo contenido orgánico volátil, carece de fibra y polvo, y resiste el moho y los hongos. Los productos AP Armaflex están diseñados con protección antibacterial Microban® para brindar una defensa adicional contra el moho en el aislamiento.

#### Sistema de aprobación de Factory Mutual

Factory Mutual ha aprobado mediante la supervisión permanente que AP Armaflex proporciona de forma constante valores reales en cuanto a los siguientes criterios de rendimiento primordiales para el aislamiento de sistemas mecánicos:

- Conductividad térmica: 0.25 BTU-pulg/h pies<sup>2</sup> \* F
- Transmisión al vapor de agua: 0.05 perm-pulg.
- Margen piroretardante: no contribuye significativamente a la propagación de llamas (pruebas de uso final simuladas).

En espesores de hasta 1-1/2" (38 mm), el aislamiento de tuberías AP Armaflex posee un índice de propagación de llamas inferior a 25%, y un índice de generación de humo inferior a 50% según las pruebas realizadas por ASTM E 84 y CAN/ULC S-102, "Método de prueba para las características de materiales de construcción en cuanto a la quema de superficies" en espesor de pared de hasta 1-1/2" (38 mm).

**Nota:** Los valores nominales de inflamabilidad no pueden definir por sí solos el rendimiento de los productos bajo condiciones incendiarias reales. Solo se ofrecen para usarse en la selección de productos a fin de cumplir los límites especificados.

#### Usos

El aislamiento de tuberías AP Armaflex se utiliza para retardar la ganancia de calor y controlar la humedad condensada en sistemas de refrigeración y agua helada. También disminuye eficientemente el flujo de calor tanto en tuberías de agua caliente como en tuberías de calefacción de líquidos y de temperatura dual. El margen de temperatura recomendado para usar con el aislamiento de tuberías AP Armaflex es -297° F a +220° F (-183° C a +105° C).

Para el uso de tuberías en frío, los espesores del aislamiento de tuberías AP Armaflex se han calculado para controlar la condensación en la superficie exterior del aislamiento, tal cual se ilustra en la tabla de recomendaciones de espesor.

El aislamiento AP Armaflex es aceptable en espesores de pared de hasta 1-1/2" (38 mm) para usarse en cámaras de aire. Cumple con los requisitos de NFPA 90A y NFPA 90B.

AP/Armaflex cumple los requisitos de códigos energéticos de ASHRAE 90.1, ASHRAE 90.2, Código Internacional de la Conservación de Energía (IECC) y otros códigos para construcciones.

#### Resistencia a la humedad y flujo de vapor

La estructura celular cerrada del aislamiento AP Armaflex previene la propagación de humedad y lo convierte en un aislamiento eficiente. Por lo general, AP Armaflex no requiere protección suplementaria al vapor de agua.



Puede que AP Armaflex necesite protección retardante al vapor de agua adicional si se instala en tuberías con temperaturas muy bajas, o cuando el aislamiento esté expuesto permanentemente a condiciones de alta humedad.

#### Aplicación

El aislamiento de tuberías AP Armaflex en forma tubular sin cortes puede embutirse en los tubos antes de instalarlos, o puede cortarse a lo largo y colocarse a presión en los tubos una vez que ya están instalados. Las cubiertas de los conexiones están fabricadas de forma tubular con corte diagonal. En todos los casos, las juntas de los toques y uniones deben sellarse con adhesivo Armaflex 520, 520 Black, o bien con Armaflex 520 BLV cuando se requiera un adhesivo con bajo contenido volátil. Los productos 520 son adhesivos de contacto; por lo cual, en todos los casos, es preciso aplicar adhesivo a las dos superficies que se unirán.

Para tuberías con dimensiones mayores a 6" (168 mm) IPS, use el aislamiento en rollos/láminas AP/Armaflex. Para espesores superiores a 1" (25 mm), haga capas múltiples del aislamiento. Encontrará información adicional en el boletín técnico No. 030. El aislamiento de tuberías AP/Armaflex está disponible en espesor de pared de 1-1/2" (38 mm) con un índice 25/50 para una gama de diámetros internos de 7/8" (22 mm) a 4" (100 mm) IPS.

AP Armaflex está diseñado para instalarse sobre el nivel del suelo. En exteriores, debe aplicarse una capa protectora resistente a la intemperie. Se recomienda usar el acabado WB Armaflex.

Los productos de aislamiento Armaflex deben instalarse según las indicaciones que aparecen en el folleto "Installation of Armaflex Insulations" (Instalación de aislamientos Armaflex). Es preciso instalar correctamente el producto para asegurar una respuesta óptima del aislamiento Armaflex.

#### Conformidad con especificaciones

El aislamiento de tuberías AP Armaflex se ha diseñado para cumplir las siguientes especificaciones:  
ASTM C 534, Tipo I—Tubular Grado 1  
ASTM E 84, NFPA 255, UL 723  
CAN/ULC S102  
UL 94 5V-A, V-O, Archivo E 55798  
NFPA 90A, 90B  
UL 181  
ASTM G-21/C1338, ASTM G-22  
ASTM D 1056, 2B1  
MIL-P-15280J, Especificación T  
MIL-C-3133C (Estándar Militar 670B), Grado SBE 3  
MEA 90-85-M  
Ciudad de Los Ángeles - RR 7642

AP/Armaflex<sup>®</sup> TUBOS



## Datos físicos

### Propiedades físicas

### Método de prueba

Conductividad térmica, Btu • pulg./h • pie <sup>2</sup> • °F (W/mK) temp media 75° F (24° C) temp media 90° F (32° C)	0.25 (0.036) 0.256 (0.037)	ASTM C 177 o C 518	<b>Notas</b> ① Durante el ciclo de calentamiento, el aislamiento de tuberías AP Armaflex soportará temperaturas de hasta 220° F (105° C). Es posible usar el adhesivo 520, 520 Black o 520 BLI en aplicaciones de aislamiento de tuberías a temperaturas de hasta 220° F (105° C). ② A temperaturas inferiores a 20° F (-29° C) el aislamiento elástico comienza a tornarse menos flexible. Sin embargo, esta característica de endurecimiento no afecta la eficiencia térmica ni la resistencia a la permeabilidad al vapor de agua del aislamiento Armaflex. * Para aplicaciones entre -40° F y -297° F (-40° C y -183° C), comuníquese con Armacell. ③ Solo como referencia.
Permeabilidad al vapor de agua, perm-pulg [Kg/(s•m•Pa)]	0.05 (725 x 10 <sup>-9</sup> )	ASTM E 96 Procedimiento A	
Índice de generación de humo y propagación de llamas en espesores de hasta 1-1/2" (38 mm)	25/50	ASTM E 84 CAN/ULC S102	
Crecimiento de moho Resistencia a hongos Resistencia a bacterias	UL181 ASTM G21/C1338 ASTM G22	Cumple los requisitos Cumple los requisitos Cumple los requisitos	
Absorción de agua, % por volumen	0.2	ASTM C 209	
Límite de uso máximo ④	220° F (105° C)	—	
Límite de uso mínimo, ° F ④	-297° F (-183° C)*	—	
Resistencia al ozono	ADECUADA	—	
Dimensiones Espesor de pared, (nominal)	3/8", 1/2", 3/4", 1", 1-1/2" (10, 13, 19, 25 y 38 mm)	—	
Diámetro interior, forma tubular	Diám. interior entre 3/8" y 6" IPS (Diám. interior entre 10 mm y 168 mm) [Pared de 1-1/2": 7/8" a 4" IPS (22 mm a 114 mm)]	—	
Longitud de secciones, en pies, forma tubular	6 pies (1.83 m) [Pared de 1-1/2": 3 pies (0.91 m)]	—	
Densidad, margen típico ⑤	3.0 - 6.0 lbs./pie <sup>3</sup>	ASTM D 1622 o D 1667	

## Recomendaciones sobre el espesor del aislamiento de tuberías Armaflex

Para controlar la condensación en la superficie exterior del aislamiento (basadas en espesores disponibles fabricados y no diseñadas para sustituir ningún código de construcción estatal ni local)

Dimensiones de tubería	Temperaturas de línea			
	50° F (10° C)	35° F (2° C)	0° F (-18° C)	-20° F (-29° C)
<b>BASADO EN CONDICIONES NORMALES DE DISEÑO</b> <sup>①</sup> Diám. interior de 3/8" a 1-1/8" (10 mm-28 mm) Diám. interior desde más de 1-1/8" a 2-1/8" (28 mm-54 mm) Diám. interior desde más de 2-1/8" a 2-5/8" (54 mm-67 mm) Diám. interior desde más de 2-5/8" a 6" IPS (67 mm-168 mm)	Nom 3/8" (10 mm) Nom 3/8" (10 mm) Nom 3/8" (10 mm) Nom 1/2" (13 mm)	Nom 1/2" (13 mm) Nom 1/2" (13 mm) Nom 1/2" (13 mm) Nom 3/4" (19 mm)	Nom 3/4" (19 mm) Nom 1" (25 mm) Nom 1" (25 mm) Nom 1" (25 mm)	Nom 1" (25 mm) Nom 1" (25 mm) Nom 1-1/4" (32 mm) Nom 1-1/4" (32 mm)
<b>BASADO EN CONDICIONES LEVES DE DISEÑO</b> <sup>②</sup> Diám. interior de 3/8" a 2-5/8" (10 mm-67 mm) Diám. interior desde más de 2-5/8" a 6" IPS (67 mm-168 mm)	Nom 3/8" (10 mm) Nom 1/2" (13 mm)	Nom 3/8" (10 mm) Nom 1/2" (13 mm)	Nom 1/2" (13 mm) Nom 1/2" (13 mm)	Nom 3/4" (19 mm) Nom 3/4" (19 mm)
<b>BASADO EN CONDICIONES SEVERAS DE DISEÑO</b> <sup>③</sup> Diám. interior de 3/8" a 1-5/8" (10 mm-42 mm) Diám. interior desde más de 1-5/8" a 3-5/8" (42 mm-92 mm) Diám. interior desde más de 3-5/8" a 6" IPS (92 mm-168 mm)	Nom 3/4" (19 mm) Nom 3/4" (19 mm) Nom 3/4" (19 mm)	Nom 1" (25 mm) Nom 1" (25 mm) Nom 1" (25 mm)	Nom 1-1/2" (38 mm) Nom 1-1/2" (38 mm) Nom 1-1/2" (38 mm)	Nom 1-1/2" (38 mm) Nom 1-3/4" (44 mm) Nom 2" (50 mm)
<b>EN CONDICIONES EXTREMADAMENTE SEVERAS DE DISEÑO</b> , que Armacell considera temperaturas sobre <b>90° F (32° C)</b> y/o sobre <b>80% de humedad relativa</b> .	Consulte a Armacell sobre el espesor de aislamiento recomendado	Consulte a Armacell sobre el espesor de aislamiento recomendado	Consulte a Armacell sobre el espesor de aislamiento recomendado	Consulte a Armacell sobre el espesor de aislamiento recomendado

NOTA: Los espesores superiores a 1" (25 mm) corresponden a aplicaciones de capas múltiples, consulte el boletín técnico No. 30.

<sup>①</sup>BASADO EN CONDICIONES NORMALES DE DISEÑO AP Armaflex, con los espesores indicados y dentro de los márgenes de temperatura especificados, controlará la condensación en la superficie exterior del aislamiento en interiores bajo condiciones normales de diseño, a un nivel de exigencia máximo de **85° F (29° C)** y **70% de humedad relativa**. Las investigaciones y experiencia en terreno de Armacell indican que las condiciones en interiores en cualquier localidad de Estados Unidos rara vez exceden este nivel de exigencia.

<sup>②</sup>BASADO EN CONDICIONES LEVES DE DISEÑO AP Armaflex, con los espesores indicados y dentro de los márgenes de temperatura especificados, controlará la condensación en la superficie exterior del aislamiento en interiores bajo condiciones leves de diseño, a un nivel de exigencia máximo de **80° F (27° C)** y **50% de humedad relativa**. Estas condiciones son típicas en la mayoría de los lugares con aire acondicionado y climas áridos.

<sup>③</sup>BASADO EN CONDICIONES SEVERAS DE DISEÑO AP Armaflex, con los espesores indicados y dentro de los márgenes de temperatura especificados, controlará la condensación en la superficie exterior del aislamiento en interiores bajo condiciones severas de diseño, a un nivel de exigencia máximo de **90° F (32° C)** y **80% de humedad relativa**. Estas condiciones son típicas en las áreas interiores donde se produce humedad excesiva, o en áreas confinadas con escasa ventilación donde puede que la temperatura descienda bajo la temperatura ambiental.

Microban es una marca comercial registrada de Microban Products Company.



ARMACELL LLC  
7600 Oakwood Street Extension  
Mebane, NC 27302, EE.UU.  
TEL. 919 304-3846 • FAX 919 304-3847  
CORREO ELECTRÓNICO info.us@armacell.com  
INTERNET www.armacell.com/us

Para cualquier actualización de este documento, favor de referirse a nuestra página web.

Armacell ofrece esta información a modo de servicio técnico. Si la información proviene de fuentes externas a Armacell, ésta confía en gran medida, si es que no totalmente, en que el contenido proporcionado por tales fuentes es exacto. La información proporcionada como resultado de los propios análisis técnicos y pruebas por parte de Armacell es exacta hasta el grado que permite nuestro conocimiento y capacidad, a la fecha de impresión, empleando métodos y procedimientos estándar. Cada usuario de estos productos, o de esta información, debe realizar sus propias pruebas para determinar la seguridad, condición y conformidad de los productos, o combinación de productos, para cualquier finalidad, aplicación y uso predecible por el usuario, así como por terceros a los cuales el usuario pueda derivar los productos. Puesto que Armacell no puede controlar el uso final de este producto, Armacell no garantiza que el usuario obtendrá los mismos resultados que aparecen publicados en este documento. Los datos e información se proporcionan a modo de servicio técnico y están sujetos a cambios sin previo aviso.

017-SP 001 03 08 NA NA

© 2008 Armacell LLC

Impreso en Estados Unidos de América



# Anexo B, Molino Fritzch PULVERISETTE 19, ficha técnica.,

Inicio Contacto Imprimir

Productos Soluciones Servicio técnico Actualidad Quiénes somos Contacto

Productos Molinos Molinos a cuchillas PULVERISETTE 19 Technical data

**NEW Products**

**Molienda**

- Molinos planetarios
- Molinos de bolas
- Molinos a cuchillas**
- PULVERISETTE 15
- PULVERISETTE 19
- PULVERISETTE 25
- PULVERISETTE 25/19

Molinos de rotor / de martillos

Triburadores de mandíbulas

Molinos de discos

Molino molero

---

**Tamizado**

---

**División / distribución / limpieza**

---

Contacto directo

**0049 6784 700**  
info@fritsch.de

¿Tiene alguna pregunta o desea saber más acerca de nosotros y de nuestros aparatos?

No tiene más que llamarnos o utilizar nuestro formulario de contacto:

- Servicio de devolución de llamadas de distribución
- Servicio de devolución de llamadas de técnica

## Universal Cutting Mill PULVERISETTE 19

Order number: 19.1030.00

Grinding reports: Exemplary grinding reports

Description	Technical data	Accessories	Selection aid	Download
Voltage/connection values:		400 V/3~* (order no. 19.1030.00, 19.1080.00)		
Frequency:		50-60 Hz* (order no. 19.1030.00, 19.1080.00)		
Input Power:		2000 watt* (order no. 19.1030.00) 3240 watt (order no. 19.1080.00)		
Operating principle:		Cutting		
Max. feed size: (depends on material and funnel)		70 x 80 mm		
Max. throughput quantity: (depends on material and sieve size)		60 l/h		
Final fineness: (depends on sieve cassette)		0.2 - 6 mm		
Feeding:		Batchwise/continuous		
Cutting tools:		Rotor with V-cutting edges and fixed knives, rotor with straight cutting edges and fixed knives, disk milling cutter rotor with indexable inserts and fixed knives		
Materials of the cutting tools:		Hardened stainless steel, tool steel, hardmetal tungsten carbide, chromium-free tool steel, stainless steel 316L, chromium-free steel DC01		
Rotor speed: (depending on voltage and frequency)		2800 - 3400 rpm (order no. 19.1030.00, 19.1020.00, 19.1010.00) 300 - 360 rpm (order no. 19.1080.00)		
Rotor peripheral speed: (depending on voltage and frequency)		14.92-17.9 m/s (order no. 19.1030.00, 19.1020.00, 19.1010.00) 1.57 m/s (order no. 19.1080.00)		
Motor shaft power in accordance with VDE 0530, EN 60034:		1.5 kW for all motors, except 1.1 kW for 100-120 V/1~ motor 2.2 kW* (order no. 19.1080.00)		
Weight:		56 kg (order no. 19.1030.00, 19.1020.00, 19.1010.00) 65 kg (order no. 19.1080.00)		
Dimensions: (W x D x H)		Table mounted or on stand 45 x 55 x 63 cm (order no. 19.1030.00, 19.1020.00, 19.1010.00) 45 x 62 x 63 cm (order no. 19.1080.00)		
Emission value of workplace according to DIN EN ISO 3746:2005 (depending on the material to be ground, rotor and sieve cassette used)		Approx. 76 dB(A) (order no. 19.1030.00, 19.1020.00, 19.1010.00) Approx. 75 dB(A) (order no. 19.1080.00)		
*Instrument available in the following voltages		230 V/1~, 50-60 Hz, 2200 watt (order no. 19.1020.00) 100-120 V/1~, 50-60 Hz, 1850 watt (order no. 19.1010.00)		

\*The three-phase AC version „3~“ is definitely preferable over a single-phase version „1~“, since you obtain with the three-phase AC version more power, better effectiveness and a greater energy efficiency.  
Please note: the three-phase AC version „3~“ must always be operated on a three-phase supply network.

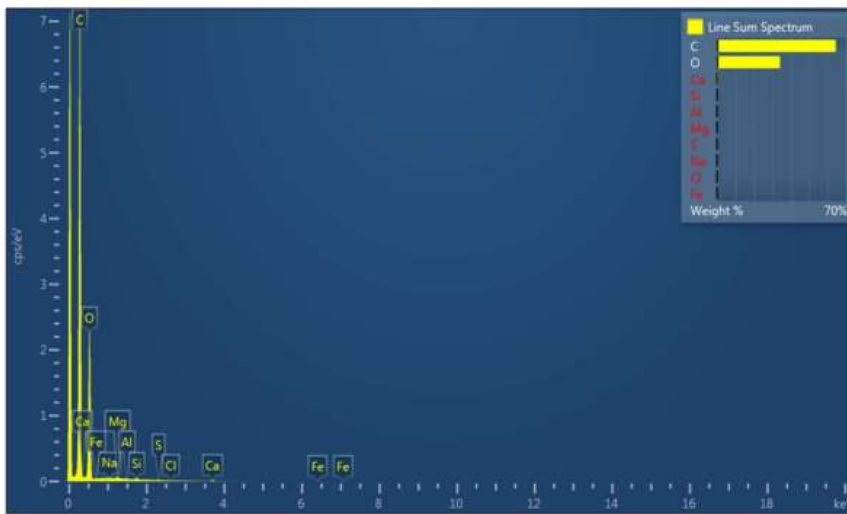
**Suitable for the following material samples**  
medium-hard, soft, brittle, tough, fibrous samples

Enlaces directos Login COV Información legal Política de privacidad Imprimir Preparación de muestras Medición de partículas

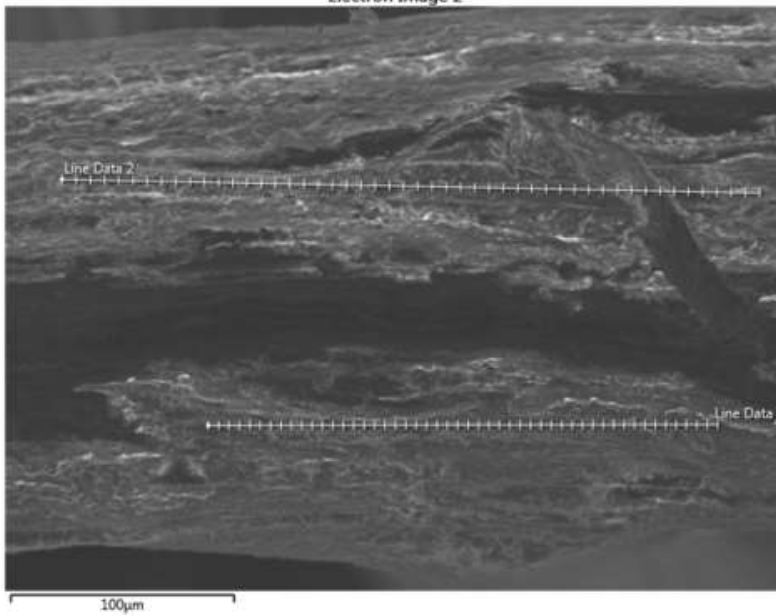


### Anexo C, composición química de la fibra de agave.

Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt% Sigma	Standard Label	Factory Standard	Standard Calibration Date
C	K series	5.86	0.05858	64.64	0.30	C Vit	Yes	
O	K series	4.30	0.01448	34.24	0.29	SiO2	Yes	
Na	K series	0.01	0.00002	0.03	0.05	Albite	Yes	
Mg	K series	0.01	0.00009	0.11	0.05	MgO	Yes	
Al	K series	0.02	0.00011	0.13	0.04	Al2O3	Yes	
Si	K series	0.03	0.00020	0.22	0.05	SiO2	Yes	
S	K series	0.01	0.00005	0.06	0.05	FeS2	Yes	
Cl	K series	0.00	0.00000	0.00	0.00	NaCl	Yes	
Ca	K series	0.06	0.00052	0.57	0.07	Wollastonite	Yes	
Fe	K series	0.00	0.00000	0.00	0.00	Fe	Yes	
Total:				100.00				



Electron Image 2



## Anexo D, constancias de participación en congresos.

Derivado de esta investigación se presentaron 3 ponencias, una de ellas en el **XV CONGRESO INTERNACIONAL y XXI CONGRESO NACIONAL DE CIENCIAS AMBIENTALES** que se realizó del 15 al 17 de junio del 2016, en las instalaciones del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, la otra fue en **LAS X JORNADAS POLITÉCNICAS 2017**, celebradas en las instalaciones del CIIDIR IPN Oaxaca, en el mes de mayo de 2017 y en el International Conference on Polymers and Advanced Materials POLYMAT -2017 que se realizó en Huatulco, México del 15 al 19 de Octubre 2017.



**El Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional,  
Unidad Oaxaca, del Instituto Politécnico Nacional  
Otorga la presente:**

# CONSTANCIA

**A:**  
**Ramírez Sorroza Marco Antonio; Alavéz Ramirez Rafael;  
Caballero Caballero Magdaleno**

Por haber participado con la ponencia:  
**“Determinación de la conductividad térmica de un biocompuesto de  
fibra de Bagazo de Agave angustifolia Haw y látex.”**  
Dentro del marco de las “X Jornadas Politécnicas 2017”  
Realizadas del 17 al 19 de mayo, en las instalaciones de este Centro de Investigación.

ATENTAMENTE  
“La Técnica al Servicio de la Patria”



Dr. Salvador Isidro Belmonte Jiménez  
Director



Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México

# TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca y  
La Academia Nacional de Ciencias Ambientales

## Otorgan el presente RECONOCIMIENTO

A: Marco Antonio Ramírez Sorroza, Rafael Alavez Ramirez, Magdalena Caballero Caballero,  
Fernando Chiñas Castillo

Por haber presentado la ponencia: DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE LA  
FIBRA DE Bagazo de Agave angustifolia Haw..

XV Congreso  
Internacional

Academia Nacional de Ciencias Ambientales

XXI Congreso  
Nacional de Ciencias  
Ambientales

"La cultura de los pueblos, base para la conservación del ambiente"

M. C. Óscar Antonio Silva Sánchez  
Director  
Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca

M. C. Miguel Ángel Valera Pérez  
Presidente  
Academia Nacional de Ciencias Ambientales  
Oaxaca, Oax., México, Junio 2016.

Dra. Gisela V. Campos Ángeles  
Secretaría  
Academia Nacional de Ciencias Ambientales





**We deliver the present  
ATTESTATION to:**

*Marco Antonio Ramirez-Sorroza, Rafael  
Alavéz-Ramirez, Magdalena Caballero-  
Caballero and Fernando Chiñas-Castillo.*

For their participation with the **ORAL** presentation entitled:

**“THERMAL INSULATION CHARACTERISTICS OF A  
BIOPOLYMER COMPOSITE REINFORCED WITH  
ANGUSTIFOLIA HAW AGAVE FIBER”**

in the

**INTERNATIONAL CONFERENCE ON POLYMERS AND  
ADVANCED MATERIALS / POLYMAT-2017**

**October 15<sup>th</sup>-19<sup>th</sup>, 2017.**

**Prof. Ernesto Rivera Garcia**  
President of the Organizing Committee