



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CHETUMAL

Caracterización físico-térmica de un compuesto de fibra de cocos nucifera y resina poliéster para su aplicación en la construcción

Tesis que para obtener el Grado de:

Maestro en Construcción

Presenta:

Arq. Efraín Tun Dzul

Director:

Dr. José Antonio Domínguez Lepe

Chetumal, Quintana Roo, México, Agosto de 2019



EDUCACIÓN

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Chetumal
División de Estudios de Posgrado e Investigación

"2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata"

Chetumal, Quintana Roo, **7/agosto/2019**

OFICIO: W-313/2019

ASUNTO: Autorización de impresión.

C. EFRAIN TUN DZUL

De acuerdo con las Disposiciones para la Operación de Estudios de Posgrado del Tecnológico Nacional de México, dependiente de la Secretaría de Educación Pública, y habiendo cumplido con todas las indicaciones que el comité tutorial le hizo con respecto a su tesis titulada:

"CARACTERIZACIÓN FÍSICO-TÉRMICA DE UN COMPÓSITO DE FIBRA DE COCOS NUCIFERA Y RESINA POLIÉSTER PARA SU APLICACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN."

La División a mi cargo le concede la autorización para que proceda a la impresión de la misma.

ATENTAMENTE

*Excelencia en Educación Tecnológica ®
Cultura, Ciencia y Tecnología para la Superación de México ®*

**DRA. ALICIA CARRILLO BASTOS
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CHETUMAL
DIVISIÓN DE ESTUDIOS POSGRADO E INVESTIGACIÓN

C.c.p. Departamento de Servicios Escolares.
C.c.p.Minutario.
ACB/Gaby



Aunque este trabajo hubiera servido para el examen de grado y hubiere sido aprobado por el
H. Sínodo, sólo su autor es responsable de las doctrinas emitidas en él mismo.

DEDICATORIA

Especialmente a la memoria de Eunice Tun,
por siempre en mis recuerdos, Nichita

“Que todo mínimo esfuerzo, venga a ser una gran huella que refleje tu esencia”

Anónimo

AGRADECIMIENTOS

Dios, mi fe en ti me permite mantenerme de pie y siempre ser agradecido por lo que me permites y confío que formas de mí, lo que está en tus propósitos

A mis Padres, Margarita y Ramiro, su gran ejemplo de amor y perseverancia en todos los ámbitos de la vida son el motor que me impulsan a ser cada día mejor, sin ustedes nada de esto es posible.

A mi familia: Mateo, Abimael, Magali, Elisa, Natanael, Lidia, Orfamar, Yamili, Eunice, Wilson, Rodolfo, Lourdes, Raquel, Abuelita Dolores y mis Sobrinos, por cada muestra de amor incondicional, que con paciencia y respaldo hicieron de esta etapa mucho más fácil, cada acción será guardado por siempre en mi mente y recompensados en su tiempo.

A mi hermanita Eunice, tu partida significó un gran parteaguas, llegando a pensar en abandonar todo, pero en el deseo de honrar tu memoria, encontré las fuerzas para concluir y decir que lo he logrado, creo que igual serías tan inmensamente feliz como yo lo soy. Te extraño; vivirás por siempre en mis recuerdos y en la esperanza de volver a verte.

A mis compañeros de la maestría, que me enseñaron que la unidad de grupo es la base de la formación profesional.

A mi familia de mi iglesia IDP; Apolos G.E. y amigos Somos Uno, su ánimo, consejos y respaldo en lo que es mi pasión, son y serán siempre mi motivación para nunca rendirme en todo lo que me proponga.

A mis amigos del futbol que, por su gran compañerismo y amistad durante este proceso, pues hicieron único y alegre cada noche de futbol.

A la Ing. Leyla Rivero, por su grande y valiosa amistad, gracias por cada uno de sus consejos y muestras de motivación que me ayudaron a nunca renunciar.

A mi director de tesis el **Dr. José Antonio Domínguez Lepe** y a mis asesores el **Dr. Julio Cesar Cruz Argüello, Dra. Danna Trejo Arroyo y Dr. Ricardo Vega Azamar**, que siempre confiaron en mis capacidades, a pesar de algunos momentos inciertos, pero que con su gran paciencia y conocimiento aportaron de forma incondicional a la culminación de esta etapa.

Al Instituto Tecnológico de Chetumal, mi máxima casa de formación profesional y por la oportunidad de un grado más a mi superación.

Al Mtro. Alberto Yeladaqui Tello que al frente de la coordinación de la Maestría en Construcción, me otorgó en cada momento necesario, la orientación y atención oportuna.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONACYT, por el apoyo económico otorgado durante la realización de los estudios de la Maestría, sin duda alguna fue de vital importancia.

Al Ing. Set Jubal Ávila, por brindarme todas las facilidades y asesoría en la realización de pruebas en el Laboratorio de Ingeniería en Sistemas de Energía de la **Universidad de Quintana Roo**.

A todos y cada uno ¡Muchísimas Gracias!

CONTENIDO

LISTA DE TABLAS	III
LISTA DE FIGURAS	IV
RESUMEN	VII
ABSTRACT	VIII
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I. FUNDAMENTOS	3
1.1 Antecedentes.....	4
1.2 Planteamiento del problema	8
1.3 Marco teórico.....	8
1.4 Justificación.....	25
1.5 Hipótesis	27
1.6 Objetivos.....	27
1.7 Metas	28
CAPITULO II. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	29
2.1 Metodología.....	30
2.2 Diseño experimental.....	31
CAPITULO III. TRABAJO DE LABORATORIO.....	33
3.1 Obtención de los materiales.....	34
3.1.1 Extracción y selección de la fibra	34
3.1.2 Selección de la resina	36
3.2 Tratamiento de la fibra: Alcalino	37
3.3 Caracterización de materiales	38

3.3.1 Triturado y Tamizado de fibras.....	38
3.3.2 Determinar densidad aparente de la fibra	39
3.3.3 Determinar resina-catalizador.....	40
3.4 Moldeo de especímenes.....	42
3.4.1 Fabricación de Moldes	43
3.4.2 Elaboración de probetas.....	43
3.5 Caracterización física del compósito.....	45
3.5.1 Densidad.....	45
3.5.2 Absorción de agua.....	46
3.5.3 Flamabilidad	47
3.6 Caracterización térmica del compósito	48
3.6.1 Conductividad Térmica	48
CAPITULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS	52
4.1 Propiedades físicas.....	53
4.1.1 Densidad.....	53
4.1.2 Absorción.....	56
4.1.3 Flamabilidad.....	59
4.2 Propiedades térmicas.....	61
4.2.1 Conductividad Térmica	61
5.1 PROPUESTA DE APLICACIÓN	62
CAPITULO V. CONCLUSIONES Y DISCUSIONES.....	65
5.2 CONCLUSIONES	66
RECOMENDACIONES	68
BIBLIOGRAFÍAS.....	69
ANEXOS.....	74

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1 Propiedades mecánicas de algunas fibras de origen vegetal	18
Tabla 1.2 Propiedades físicas de la fibra de cocos nucifera	19
Tabla 1.3 Propiedades química de la fibra de cocos nucifera	19
Tabla 2.1 Valores de diseño experimental	31
Tabla 2.2 Proporciones de mezcla para 1cm ³	32
Tabla 3.1 Propiedades físicas y químicas de la resina PP cristal	36
Tabla 3.2 Cantidades para la probeta de ensayo para prueba de conductivas	41
Tabla 3.3 Cantidades para la probeta de ensayo para prueba de flamabilidad	41
Tabla 3.4 Cantidades para la probeta de ensayo para prueba absorción y densidad	42
Tabla 4.1 Dimensiones y peso ideal de especimen Grupo A,B y C	53
Tabla 4.2 Densidad Absoluta de especímenes.....	54
Tabla 4.3 Peso humedo ambiente y especímenes de absorción	56
Tabla 4.4 Resultados de pruebas de absorción	57
Tabla 4.5 Registro de dimensiones y tiempo de quemado	59
Tabla 4.6 Promedio de pruebas de conductividad.....	61
Tabla 4.7 Propuesta: tableros aislantes ASTM.....	64

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Clasificación de los compósito.....	10
Figura 1.2 Proceso del moldeo por compresión	13
Figura 1.3 Proceso de inyección de polímero.....	13
Figura 1.4 Proceso de inyección de polímero en molde.....	14
Figura 1.5 Clasificación de compósito según su refuerzo	15
Figura 1.6 Clasificación de fibras, según su origen.....	16
Figura 1.7 Clasificación de fibras vegetales	17
Figura 1.8 Estructura celulósica	17
Figura 1.9 Composición del fruto de cocos nucifera.....	19
Figura 1.10 Fibra de coco natural, sin tratamiento.....	21
Figura 1.11 Fibra tratada con solución de NaOH - 1.0 gr	21
Figura 1.12 Fibra tratada con solución de NaOH- 10.0 grs.....	22
Figura 1.13 Energía requerida para la producción de algunas fibras	26
Figura 2.1 Metodología de investigación a aplicar.....	30
Figura 3.1 Procedimiento de extracción retting.....	34
Figura 3.2 Muestra UNO	35
Figura 3.3 Muestra DOS.....	35
Figura 3.4 Muestra TRES.....	35

Figura 3.5 Tratamiento alcalino de fibras.....	38
Figura 3.6 Reposo en solución de NaOH	38
Figura 3.7 Secado en horno a 60° C	38
Figura 3.8 Corte de fibras	38
Figura 3.9 Cilindro de volumen conocido	39
Figura 3.10 Montaje de prueba en laboratorio	39
Figura 3.11 Esquema de molde de aluminio	43
Figura 3.12 Molde realizado en aluminio.....	43
Figura 3.13 Proceso de impregnación y estratificación de moldeo manual	44
Figura 3.14 Proceso de consolidación y solificación de moldeo manual	44
Figura 3.15 Probetas de densidad/absorción	46
Figura 3.16 Probetas de absorción sumergidas	47
Figura 3.17 Esquema de la prueba de flamabilidad.....	48
Figura 3.18 Pruebas de flamabilidad	48
Figura 3.19 Conductimetro de placa caliente con guarda	49
Figura 3.20 Ranuras en probetas para recibir termopares	49
Figura 3.21 Peso seco de probeta	50
Figura 3.22 Colocación de termopar y sellado con silicón.....	50
Figura 3.23 Montaje de probetas en conductímetro	50
Figura 3.24 Mecanismos de lectura.....	51

Figura 3.25 Interfaz de lectura termopares	51
Figura 4.1 Gráfica comparativa de densidad	55
Figura 4.2 Resultados de la prueba de absorcion	58
Figura 4.3 Comportamiento superficial en contacto prologado por el agua	58
Figura 4.4 Comparativa de la tasa de inflamabilidad	61
Figura 4.5 Comportamiento de conductividad según volatje	62

RESUMEN

La diversificación de materiales para la construcción ha sido constante, requiriéndose cada vez nuevos e innovadores materiales que aporten durabilidad, resistencia, estética y versatilidad; los materiales sintéticos compuestos vinieron a responder esta necesidad, pero no son una alternativa sustentable, para ello el campo de la investigación ha estudiado el uso de fibras orgánicas en los materiales compósitos, como sustitución de fibras de origen mineral, estos estudios han resultado satisfactorios.

En este trabajo se caracterizó física y térmicamente un compósito de fibra de *cocos nucifera* en una matriz de resina poliéster a 30/70, 40/60 y 50/50, en relación volumen/volumen, respectivamente. Para ello se aplicaron los métodos de prueba según las Normas ASTM C271- Densidad, C272- Absorción, D635- Flamabilidad y C177- Conductividad térmica. Para los especímenes de prueba se usaron fibras en partículas que pasan la malla número 8 y aplicando un moldeo por estratificación manual.

Se determina que, al tener mayor volumen de fibra en el compósito, se reduce el coeficiente de conductividad térmica y se obtiene una densidad baja, pero esto mismo provoca el aumento del grado de inflamabilidad y la absorción de agua. El compósito demostró ser un material versátil en su fabricación y respecto a sus posibles aplicaciones, los resultados de las pruebas orientan a poder ser aplicado como material de revestimiento en placas, para interiores y con una posibilidad de ser usado en exteriores, pero con un previo estudio de monitoreo.

ABSTRACT

The diversification of construction materials has been constant, every time, new and innovative are required materials which contribute durability, resistance, aesthetic and versatility, synthetic composite materials have responded to this need, but are not sustainable, for this, the field of the investigation has studied the use of organic fibers in composite materials in substitution of mineral fibers. These studies have been satisfactory.

In this work, a coconut fiber composite was physically and thermally characterized in a polyester resin matrix at 30/70, 40/60 and 50/50, in volume / volume ratio, respectively. To this end, the test methods were applied in accordance with ASTM C271-Density, C272-Absorption, D635-Flammability and C177-Thermal conductivity. For the test specimens, fibers were used in particles that pass the number 8 mesh and applying to molding by manual stratification.

It was determined that, having a greater volume of fiber in the composite, the coefficient of thermal conductivity is reduced and a low density is obtained, this same cause the increase in the degree of inflammability and the absorption of water. The composite proved to be a versatile material in its manufacture and its possible applications, the results of the tests were oriented towards the use of the material as a coating on plates, for interiors and with a possibility of being used outdoors, but with a previous study monitoring.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene el objeto de estudiar y conocer las propiedades de un nuevo material, que trata de responder directamente a la constante búsqueda de diversificación en los materiales de construcción, los cuales se pretenden que sean innovadores con características de durabilidad, resistencia, estética y versatilidad. La obtención de materiales, forma parte de las primeras etapas del ciclo de vida de toda edificación, por ello en los últimos años se ha intensificado la búsqueda de materiales alternativos sustentables, comprometidos con la reducción del impacto al medio ambiente.

Para intervenir la problemática, se ha intensificado el uso de materiales denominados compuestos o compósitos, que son la combinación de dos o más materiales de distinta naturaleza, el mejor ejemplo es el concreto armado, que consta de una mezcla cementante con agregados. También surgen los materiales sintéticos como los polímeros, que resultan de síntesis químicas y que son usados como matrices para compuestos reforzados con fibras de origen mineral, que aún tienen alto impacto ambiental, por ello el campo de investigación ha demostrado la viabilidad del uso de fibras orgánicas vegetales, como el yute, sisal y coco, en sustitución de refuerzo en matrices poliméricas lo que se traduce en reducción del impacto.

El cocos nucifera es el árbol de donde proviene el fruto comúnmente conocido como coco y que según registros tiene una producción de dos mil hectáreas anuales en el sureste mexicano, incluyendo las costas del caribe. Diversos estudios determinaron que la fibra de coco, es de excelentes propiedades mecánicas, aislamiento térmico y acústico, dando así la pauta para poder ser usando en matrices poliméricas. La investigación parte de la hipótesis donde el propuesto compósito, obtendrá una mejor capacidad de aislamiento térmico, si en la proporción de la mezcla de sus componentes, en este caso resina poliéster y fibra de coco, se tenga una mayor proporción de fibra en relación volumen/volumen.

La presente tesis se desarrolla en cuatro capítulos, el Capítulo I permite profundizar en los antecedentes, el marco conceptual y teórico de todas las variables que se involucran en la experimentación, para que estos puedan ser sustentados correctamente, así como los alcances de la investigación que se especifica en la justificación, hipótesis y objetivos. El Capítulo II da

a conocer el diseño de la investigación a través de la metodología que consta de siete pasos básicos: obtención de materiales, tratamiento de la fibra, caracterización de la fibra, moldeo de los especímenes de prueba, caracterización física y caracterización térmica y finalmente el reporte de resultados. Las pruebas para caracterización toman como referencia el compendio de la Normas Internacionales de la ASTM (American Society for Testing and Materials) orientados a compósitos y plásticos. Estas pruebas permiten conocer el comportamiento del compósito por su naturaleza polimérica.

El Capítulo III describe todo el trabajo de campo realizado en laboratorio de forma experimental, tanto como los procedimientos de las pruebas, así como cada actividad que busca el cumplimiento de los objetivos específicos. El Capítulo IV es la parte esencial del proyecto pues da a conocer los resultados de las pruebas, para su posterior análisis y discusión, de esta manera se logra llegar a las conclusiones y posibles recomendaciones con respecto a la investigación, que se prevé dar aporte al campo de investigación.

El aporte al campo de investigación del presente estudio plantea diversos puntos, entre los cuales se encuentra; el lograr la compatibilidad de la resina-fibra, la comprobación del método de extracción de fibra por procedimiento *retting* y tomando con mayor jerarquía el comportamiento térmico por conductividad del nuevo material, además de sugerir que la fabricación del compósito, con respecto a sus materiales y moldeo, permitan que pueda ser realizado por cualquier persona con las respectivas recomendaciones y conocimientos básicos.

CAPITULO I. FUNDAMENTOS

1.1 Antecedentes

En el año 2017, en México, la industria de la construcción se consolidó como el cuarto sector económico más importante, aportando el 8.0% al PIB total, alcanzando una facturación de 1.6 billones de pesos, según datos del Centro de Estudios Económicos del Sector de la Construcción (CEESCO) de la CMIC con información del INEGI (CMIC, 2018). Esta anterior estadística demuestra la gran importancia que tiene este sector, por lo tanto, es evidente que una gran cantidad de materiales es invertida en la edificación, que se traduce en impactos al medio.

La evolución de los materiales pasó de lo tradicional, como la madera, la piedra, las pieles y los ladrillos hechos de barro, para luego dar paso a la fabricación de vidrio y de morteros puzolánicos. Con revolución industrial y el posterior desarrollo de las nuevas tecnologías, aparece una nueva concepción de la edificación y las obras de ingeniería. Se puede transportar un material de un lado del mundo al otro, se produce calor y frío artificialmente, se sintetizan materiales más agresivos y contaminantes. Como por ejemplo en la segunda mitad del siglo XX y XXI, nacen nuevos materiales sintéticos, entre ellos los plásticos, las fibras artificiales, los materiales compuestos y los adhesivos sintéticos.

Pocos son los materiales naturales que por sí solos aportan buenas propiedades como resistencia mecánica; y para poder lograr este objetivo se ha hecho mezcla de dos o más componentes que al estar unidos producen un material con mejores propiedades, tales materiales son conocidos como **compósito o compuesto**. (Olivares Santiago, et al., 2003). Por ejemplo, el concreto reforzado usado en estructuras de gran resistencia mecánica, que corresponde a mezcla de cemento portland, agregados y acero de refuerzo. Tan solo el sector de la construcción representa un 6.6% de incidencia donde los materiales compuestos son aplicados, el sector del transporte y textil se muestran como los mayores consumidores de este tipo de materiales. En su clasificación general encontramos compuestos hechos a base de matrices poliméricas o cementicias, siendo reforzadas con fibras de origen mineral como el vidrio, carbono y boro, los cuales les confieren un aumento en su resistencia mecánica y gran durabilidad. El uso que a lo largo de la historia se les ha dado a los materiales de construcción está relacionado con tres factores: disponibilidad, idoneidad y coste. (Miravete, 2002)

El coste siempre va ser en función de la disponibilidad del material, considerándose su extracción, transporte, demanda y calidad. Las nuevas tendencias van ligadas en gran manera al diseño, cuanto mayor sea el alcance de diseño buscado, más sofisticados e innovadores deben ser los materiales involucrados. Los problemas tradicionales de la edificación, como la seguridad estructural o frente al fuego y aislamiento acústico-térmico, son también generadores de nuevos materiales que intentan solucionar los problemas de construcción moderna, involucrando nuevos requisitos como el impacto medioambiental.

Para resolver los requisitos tradicionales de seguridad, aislamiento y los medioambientales, se ha podido actuar en dos líneas:

- a) La mejora o innovación de los materiales ya conocidos
- b) La generación de nuevos materiales (resinas epoxi, poliéster, silicona, etc)

Entre los nuevos materiales encontramos los polímeros sintéticos, materiales fluidos y que podía ser vertido en moldes, para que después sea sometido a calor y presión convirtiéndose en un material sólido y resistente, esta invención abrió la posibilidad de adaptar y crear nuevos polímeros con funciones y propiedades específicas como rigidez, flexibilidad, transparencia, dureza o fragilidad. La producción de resinas y catalizadores de curado a temperatura ambiente ha facilitado la fabricación de compuestos sin necesidad de prensas o moldes industrializados. (Miravete, 2002).

Según menciona el autor (Ghoreishi Karimi, 2011) ha existido una inconsciencia generalizada que deriva en el abuso de energías procedentes de combustibles fósiles. Tras 150 años de consumo de petróleo, carbón y gas desmesurado, creando elevadísimos índices de emisiones de CO² y de terribles consecuencias. Un planeta recalentado, árido y en continuo conflicto por los escasos recursos fósiles. Es por ello que es hora de mirar hacia atrás, pero también hacia delante. Aprender de las técnicas milenarias y aprovechar los recursos tecnológicos que nos ofrece el presente. Para esto es bueno mencionar el aprovechamiento de los recursos naturales y los materiales sostenibles como tema que cada día adquiere mayor interés de la comunidad científica.

La constante necesidad de poder encontrar materiales verdes, ha permitido diversos estudios científicos que generan un aporte al campo de la investigación, referente a materiales compuestos de fibras de origen vegetal y matrices poliméricas como se muestra a continuación:

(Mercedes, et al., 2018) realizó un estudio experimental sobre el comportamiento de las fibras de cáñamo, lino, algodón y sisal en una matriz cementicia, aplicando un tratamiento basado en la impregnación de las fibras con poliéster no saturado para mejorar la adherencia en probetas de mortero prefabricado. El material con cáñamo mostró mayor resistencia a tensión y se demostró que la impregnación si mejora la adherencia de los componentes en el compuesto.

(Peñaloza Nieblas, 2015) realizó un material con fibras orgánicas de lirio y resina poliéster, para ser colocado como núcleo en una estructura tipo sándwich. Se les aplicó a las fibras un tratamiento de secado y tamizado en partículas de núm. 14 y 20, las probetas fueron sometidas a estudios mecánicos y el material mostró bajo peso y densidad, idóneo en el factor de flamabilidad. El mejor tamizado fue del número 20 y una relación de 15% de fibra y 85% resina.

(Rwawiire, et al., 2015) Mostró el proceso de fabricación de materiales compuestos con resinas biodegradables y reforzadas con corteza celulósica. Ciertamente no es una fibra, pero el proceso es muy similar al que se proyecta en este trabajo. Estos materiales compuestos fabricados, fueron caracterizados mecánicamente, así también se realizó un análisis de la morfología y las propiedades térmicas. Se mencionó básicamente, el aprovechamiento que tiene este material en aplicaciones sobre paneles de instrumentos en el sector automotriz.

(Trejos T., 2014) realizó la caracterización mecánica de un compuesto de fibra de coco en una matriz de resina poliéster en sustitución de la fibra de vidrio, haciendo una comparativa de la resistencia mecánica de ambos refuerzos, demostrándose su baja conductividad térmica el cual disminuye cuando se usa una cantidad considerable mayor de fibra, respecto a su volumen total.

(Caldera Briseño, et al., 2012) Utilizó fibras de ixtle en una matriz de resina epoxi, haciendo una variación en su tamaño, orientación y cantidad de fibra, para después determinar sus propiedades mecánicas. Se observó un incremento en la resistencia a tracción en las fibras tratadas, su módulo de elasticidad y la densidad aumentan con fibras cortas y al azar, este material puede ser usado como paneles de muros divisorios tanto como en interiores como en exteriores.

(Soumitra Biswas, 2012) Realizó el estudio de un panel hecho de resina poliéster y con mezcla de fibra de yute en sustitución de fibra de vidrio en un proceso de moldeo por transferencia. Una vez más se logró demostrar las capacidades mecánicas de la fibra de vidrio y como la fibra vegetal logra alcanzar un nivel cercano al material de origen sintético. Los paneles pueden ser usado para sustituir la madera en las viviendas, para cubiertas en techos o para la fabricación de puertas.

(Parra Paez & Sanchez Zarate, 2012) Estudiaron las fibras de coco, de hoja de plátano y de sábila para determinar su posibilidad de sustitución de fibra de vidrio. Lograda la adhesión entre matriz/fibra, se realizaron pruebas mecánicas de impacto, las fibras de sábila y coco demostraron mejores resultados con 14.6 J/m Los autores determinaron que el compuesto presenta valores satisfactorios en la deformación antes de la falla por tensión.

La alternativa de usar fibras vegetales como refuerzos de polímeros y morteros, es un ejemplo de ello. Las propiedades mecánicas que han mostrado fibras como el lino, cáñamo, sisal, jute, plátano, entre muchas otras, junto con su bajo costo, baja densidad, reciclabilidad y biodegradabilidad, han hecho de las fibras vegetales una potente alternativa frente a fibras sintéticas y de origen mineral. Pues a pesar de presentar muy bajas resistencia en comparación con otros tipos fibras, el bajo costo y la baja densidad de las fibras vegetales permiten utilizar un mayor volumen de fibras y con ello obtener materiales compuestos sostenibles y con propiedades mecánicas comparables.

1.2 Planteamiento del problema

En México como en el mundo el uso de materiales prefabricados en los edificios es cada día mayor, específicamente materiales sintéticos y de compuestos especiales, entre estos materiales encontramos las matrices poliméricas reforzados con fibras de origen mineral, como la fibra de vidrio. Pero el uso de estos materiales cien por ciento de origen mineral, traen consigo tres problemáticas en su uso: riesgos Ambientales, riesgos de salud por su manejo y por último riesgos en su producción y manejo (Parra Paez & Sanchez Zarate, 2012), todos estos influyen en el costo medioambiental en todo su ciclo de vida, desde la extracción hasta la disposición final. (Suppen Reynaga, et al., 2011).

Estas innovaciones en materiales por sí mismos ya cumplen con buenas propiedades mecánicas, por lo que recae la importancia de subsanar los requisitos de aislamiento, consecuente un aporte a lo medioambiental, considerando que, para edificaciones confortables y eficientemente energéticas, es de vital importancia considerar las propiedades térmicas que los materiales usados pueden aportar.

1.3 Marco teórico

COMPÓSITO

Un compuesto (material compuesto), “es un sistema integrado por una mezcla o combinación de dos o más micro o macro constituyentes que difieren en forma y composición química,” (Pinilla & Veloza, 2010) “cuyas propiedades son superiores a las que tendría cada uno por separado, siendo esencialmente insolubles entre sí” (Olivares Santiago, et al., 2003). Su funcionamiento no viene a ser una invención humana ya que existe en la misma naturaleza, por ejemplo, la madera constituida por armaduras de fibra de celulosa envueltas en una matriz de resinas naturales. En la edificación el primer compuesto usado fue una mezcla de barro y paja, denominada adobe, pero el concreto armado viene a ser el material compuesto más famoso y utilizado en la construcción. El concreto por si solo presenta buena resistencia a compresión, pero malas características a tracción; esta problemática es resuelta con la presencia de acero de refuerzo. (Mercader , et al., 2012)

Los materiales compuestos en general se pueden clasificar de acuerdo a su origen y composición química: 1ª) Naturales, 1b) Microcompuestos 1c) Macrocompuestos y de acuerdo a su tipo de matriz: 2ª) Metálica, 2b) cerámica y 2c) polimérica. (Zapata Flores, 2017)

Para el presente estudio, el nombre «compuesto» pareciera ser usado incorrectamente, siendo más recomendable usar el término «compósito», aunque el uso de cualquiera de estos dos términos es correcto, porque en su definición vienen a significar lo mismo, este último (compósito), se usa mayormente para definir a aquellos materiales compuestos recientes, cuya matriz es polimérica, para lograr distinguirlos de los de matriz cementicia o de yeso. Los compósitos se encuentran dentro de los denominados “nuevos materiales” que actualmente son de mayor producción y aplicación. El «compósito» en su composición artificial, se forma de dos fases la “fase matriz”, de naturaleza polimérica y metálica, aunado a una segunda “fase de refuerzo”, compuesta de algún refuerzo (fibroso, en partículas o láminas). El refuerzo dentro de la matriz, puede llegar a absorber prácticamente la totalidad de las cargas que se aplican al compuesto (Mercader , et al., 2012). La Figura 1.1 resume de manera práctica su clasificación.

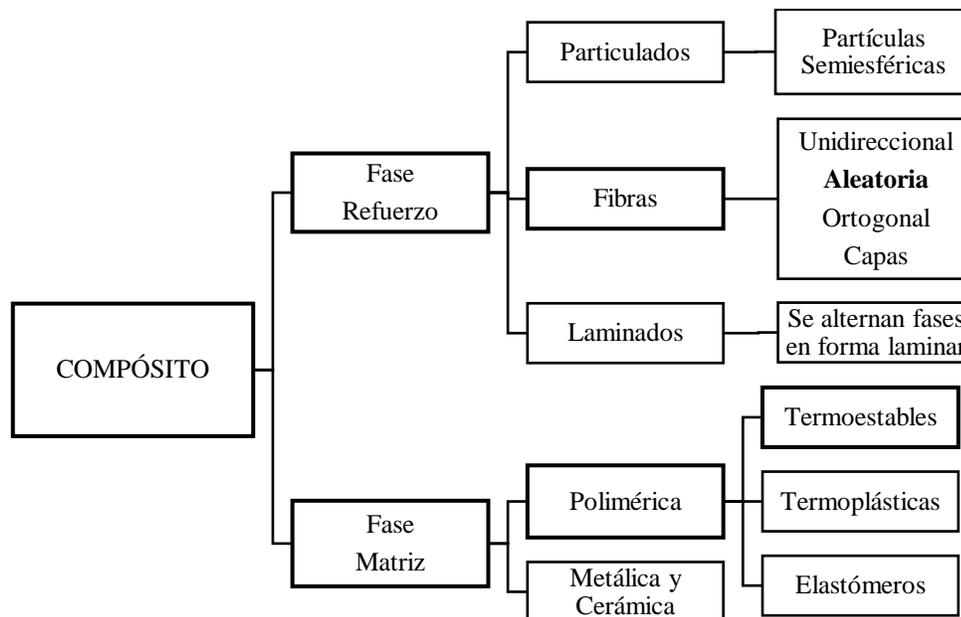


Figura 1.1 Clasificación de los compósito

Fuente: Elaboración propia

Fase Matriz: Polimérica

El presente estudio se centra en una matriz polimérica. La matriz tiene la propiedad de mantener unida la parte discontinua del compósito, rodeándolo y protegiéndolo, además de determinar las características de conformabilidad y acabado superficial, proporcionando rigidez y refuerzo a un producto final, soportando la carga compresiva y la carga a tracción transfiriendo las cargas al refuerzo, para que esto pueda funcionar correctamente debe existir una buena adhesión entre la matriz y el refuerzo. El Autor (Mercader , et al., 2012), señala que las matrices metálicas y cerámicas, presentan muy buenas propiedades mecánicas, pero igual señala que están aún en etapas de investigación como para ser usados en la construcción, aunado al alto coste y las pocas aplicaciones en el campo industrial. Dentro del campo de la construcción son las matrices plásticas o poliméricas, en específico las termoestables, que son las que han sido empleadas, por ejemplo, las resinas poliéster y epóxicas, cada una de ellas con propiedades específicas, pero teniendo en común ciertas ventajas, como se indica en el siguiente listado:

- Viscosidad muy baja antes del curado.

- Estabilidad térmica.
- Resistencia química.
- Poca fluencia y relajación por tensión.
- Buena capacidad de pre-impregnado.
- Facilidad de fabricación.
- Economía.

“Un polímero es una sustancia cuyas moléculas forman cadenas largas, generalmente compuestas de varios millares de cadenas de átomos de diferentes longitudes. Los polímeros difieren unos de otros por la naturaleza de las unidades que conforman sus cadenas y es por esto, que presentan diferentes propiedades y comportamientos en el momento de ser procesados” (Morton, 1993). A su vez los polímeros se subdividen en tres categorías según su reacción al cambio de temperatura en: elastómeros, termoplásticos y termoestables.

- a) Los elastómeros son materiales plásticos con una gran capacidad de deformación cuando son sometidos a esfuerzos, sin que esto genere fractura o modifique su estructura y toman de nuevo su forma al ser retirados los esfuerzos. A su vez según su composición, pueden ser termoplásticas o termoestables, por ejemplo, la goma natural, el neopreno y la silicona.
- b) Los polímeros termoplásticos tienen la capacidad de ablandarse o derretirse, tomando nuevas formas, sin que exista repercusiones en sus propiedades. Algunos ejemplos son el PVC, poliuretano, polietileno, entre otros.
- c) Los polímeros termoestables necesitan un agente externo que genere una reacción química de polimerización, que endurece el material convirtiéndolo en un sólido infusible que no puede volver a su estado anterior, se les denomina igual como poliéster insaturado. Los ejemplos más comunes son el fenol formaldehído, la melanina, las siliconas, las resinas poliéster y resinas epóxicas. (Zapata Flores, 2017). Si somete a temperatura alta, se degradará por pirolisis en lugar de ablandarse.

Resinas Poliéster

Las resinas poliéster son de las más usadas y forman parte de la familia de los plásticos termoestables insaturados, los cuales a temperatura ambiente son líquidas, lo que permite que exista fluidez a fin de mejorar la impregnación y el moldeo del material, el proceso de transformación del estado líquido a sólido se le llama curado o endurecimiento, para ser llevadas a este estado, en resinas pre aceleradas (ósea con un acelerante de octoato del colbato) solo se le adiciona un catalizador o acelerador de nombre PMEK (Peróxido de Metil-etil-cetona) reaccionando de manera exotérmica a medida que transcurre el tiempo y pasando por un estado gelatinoso para después llegar al estado sólido y rígido.

Existen factores que se deben considerar al momento de curar resinas: la temperatura ambiente; no menor a 16 C°, la cantidad del catalizador; a mayor cantidad menor tiempo para la gelificación y la humedad relativa entre 40 y 54%. También hay que considerar que las resinas tienen un tiempo de vida, que, desde su fabricación y disposición al consumidor final, la resina pudo ser afectada en su calidad y viscosidad, por su tipo de transporte y almacenamiento. Además, una vez destapado el recipiente es importante usarla rápido, de lo contrario se puede perder propiedades de manejo y características del producto final ya endurecido. (Gil, 2012)

Entre los tipos de resina poliéster más comunes se encuentran la ortoftálica e Isoftálica. La ortoftálica en comparación con el otro tipo, es de uso general en ambientes no agresivos, presenta mucha más rigidez, tiempos de gelificación más largos, una menor resistencia al agua, tiene propiedades mecánicas adecuadas pero menor resistencia al impacto y son menos viscosas. (Luz, 2013).

El molde es un elemento importante a considerar, ya que este puede interferir en la buena realización de un vaciado de resina, por eso es bueno considerar factores variables como: la forma, el tipo y condición superficial del material, el método de desmoldeo y sobre todo el tipo de moldeo que se aplique; solo pudiendo controlar estas variables se logra alcanzar un material que cumpla con las características propias de la resina.

Método de moldeo en los materiales poliméricos

Los métodos de moldeo que se clasificaran en este apartado generalmente se han aplicado a materiales termoestables y termoplásticos, clasificándose en moldeo por: compresión, inyección, transferencia y estratificación manual, los tres primeros son complejos y casi exclusivos para plásticos termoestables.

En el **moldeo por compresión** el material en forma líquida se coloca en un molde caliente y conforme el molde va cerrándose, el material es obligado a ocupar todas las partes de la cavidad del molde, al cerrar completamente se aplica máxima presión que, en conjunto con el calor, da lugar a reacciones químicas que permiten el curado final del material como se observa en la Figura 1.2.

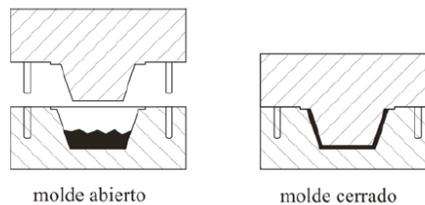


Figura 1.2 Proceso del moldeo por compresión Fuente: (Beltran Rico & Marcilla Gomis, 2012)

El **moldeo por inyección** se considera en caliente, pues consiste en fundir un material plástico en condiciones adecuadas e introducirlo a presión a un molde cerrado, a través de un orificio llamado contrapuerta, en donde el polímero se enfría a una temperatura en donde las piezas puedan ser extraídas sin deformarse, este moldeo es muy aplicado a resinas termoplásticas. Viene igual a ser el método más ampliamente usado en la industria de los plásticos, en donde se ocupan maquinas sofisticadas de alto coste, ideadas y fabricadas para la producción masiva, como se observa en la Figura 1.3

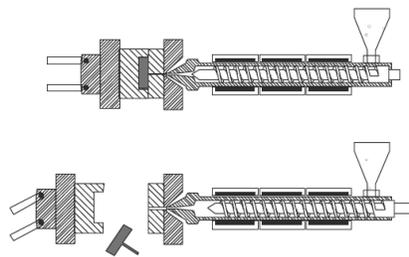


Figura 1.3 Proceso de inyección de polímero Fuente: (Beltran Rico & Marcilla Gomis, 2012)

El **moldeo por transferencia** es un desarrollo a partir del moldeo por compresión donde el plástico o resina en estado líquido se introduce dentro en una cámara de transferencia dentro del molde, de modo que, al cerrar el molde a presión, la resina es transferida hasta las diferentes cavidades del molde a través de una serie de canales, para luego ser extraído, como se observa en la Figura 1.4.

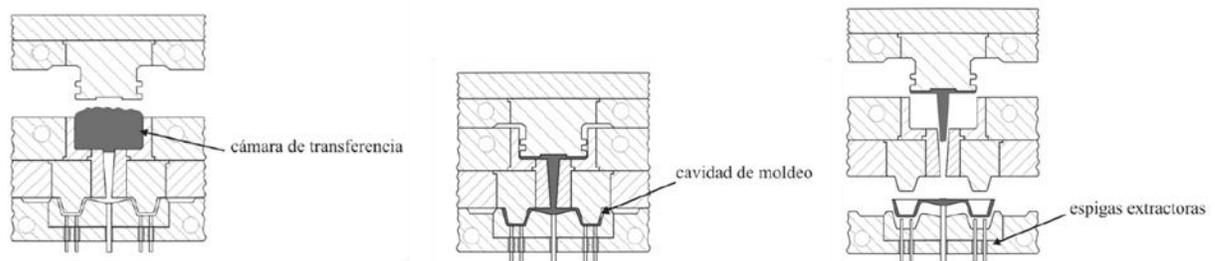


Figura 1.4. Proceso de inyección de polímero en molde Fuente: (Beltran Rico & Marcilla Gomis, 2012)

El **moldeo por estratificación o colocación manual**, se utiliza en frío y consiste que en el proceso de producción material es en una serie de capas y manualmente, es el método más sencillo y se lleva a cabo en un molde abierto, debidamente acondicionado con pulido y desmoldantes, debiéndose cumplir una serie de pasos del procesamiento: impregnación, estratificación, consolidación y solidificación. (Calderon Freire, 2016)

La impregnación se refiere a la correcta humectación del refuerzo y con una porción de resina, esto para evitar el que quede atrapar aire dentro del compuesto. La estratificación consiste en colocar la mezcla de resina y el refuerzo humectado, en un molde y posteriormente definir la orientación y arquitectura de los refuerzos, obteniéndose el espesor deseado con varias capas. El tercer paso viene ser la consolidación que permite el contacto entre capas, bajo la aplicación de presión; en caso de una mala consolidación se produciría gran cantidad de poros distribuidos superficial y sub-superficialmente. Por último, la solidificación que pertenece al tiempo de espera en que los materiales han conseguido su curado, dependiendo de su catalizador y acelerante y siendo mantenido en presión constante.

Una vez profundizado en los conceptos que respectan a la fase matriz de un compuesto, es necesario definir los conceptos de la fase refuerzo, mismos que se muestran a continuación:

Fase refuerzo: fibras

En esta fase podemos encontrar que los materiales compuesto se pueden clasificar según su **tipo de refuerzo**, en tres categorías: elementos particulados, estructurales o laminados y con fibras, estas disposiciones del refuerzo cumplen con la función de absorber las fuerzas aplicadas al compuesto, que por sí sola no lograría soportar. (Trejos T., 2014)

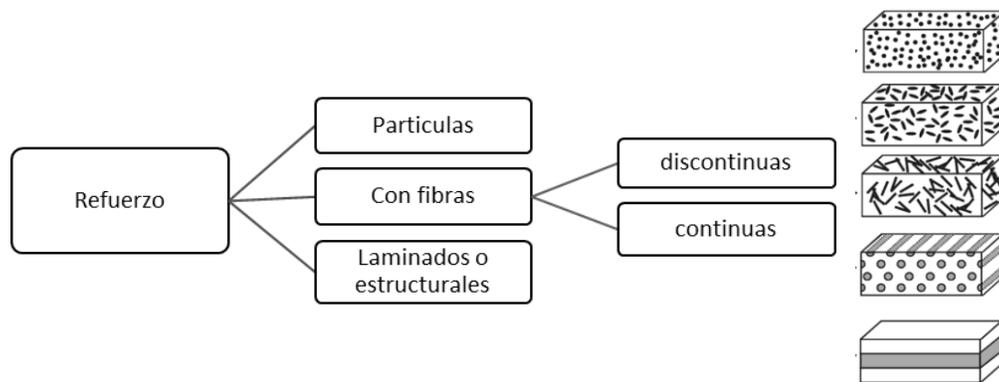


Figura 1.5 Clasificación de compuesto según su refuerzo

Fuente: Trejos, 2014

Partículas. Este tipo de refuerzo se divide en partículas grandes y consolidadas por dispersión. El primero se puede visualizar a nivel macroscópico, como la grava o arena en un concreto y el segundo por dispersión es de partículas más pequeñas con diámetro entre 10 y 100 nm.

Laminados o estructurales. Este tipo de refuerzo debe tener la capacidad de combinar en una geometría de diseño estructural, todos sus elementos que lo lleguen a conformar. Un ejemplo muy común son los paneles configuración sándwich. La estructura sándwich está compuesta principalmente de tres elementos 1) Las alas compuestas por láminas delgadas y resistentes 2) Un núcleo, comúnmente un material ligero que separar las alas y transmite los esfuerzos cortantes de un ala a la otra. 3) La interfase de unión entre las alas y el núcleo.

Fibras. Son hilos con espesores de 3 a 10 μm de diámetro y a través de ellos la matriz transmite las cargas aplicadas al compuesto para hacerlo resistente mecánicamente, sin embargo, esta propiedad puede cambiar, según se varié de la longitud, concentración y orientación de fibras. Por eso el autor (Trejos T., 2014), clasifica los refuerzos fibrosos o de fibra según su origen en fibras de origen mineral y vegetal, como se muestra en el diagrama de la Figura 1.6.

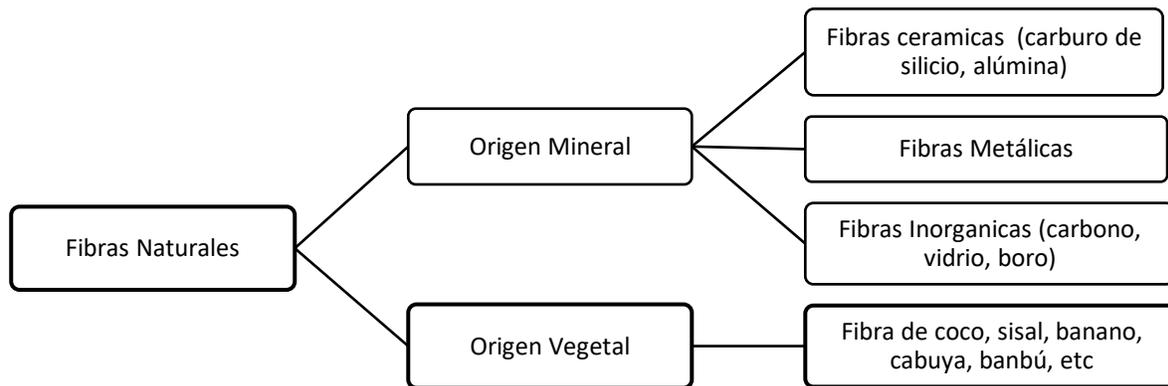


Figura 1.6 Clasificación de fibras, según su origen

Fuente: Trejos, 2017

Las **fibras de origen mineral** son los más comunes utilizados en la producción de materiales reforzados, entre las más usadas se encuentra la fibra de vidrio como elemento inorgánico basado en sílice (SiO_2), con adiciones de óxido de calcio, boro, hierro y aluminio.

Fibras de origen vegetal

En su contraparte encontramos las fibras de origen vegetal y son materiales lignocelulósicos y se encuentran en árboles, plantas y cultivos, con ventajas en su disponibilidad y renovabilidad.

La investigación constante de estos materiales a resultado en que las fibras naturales en materiales representan importantes ventajas ambientales, ya que viene a ser amigables en su proceso y producción; presentando propiedades de mayor elasticidad, menor abrasión durante la producción, además de presentar buena absorción de las vibraciones y por ende del sonido, en la parte de sus costos puede resultar hasta tres veces más económico que trabajar con fibras

de vidrio, su densidad puede ser favorable y al momento de ser incineradas producen menores cantidades de CO₂, como se puede observar en la Figura 1.7.

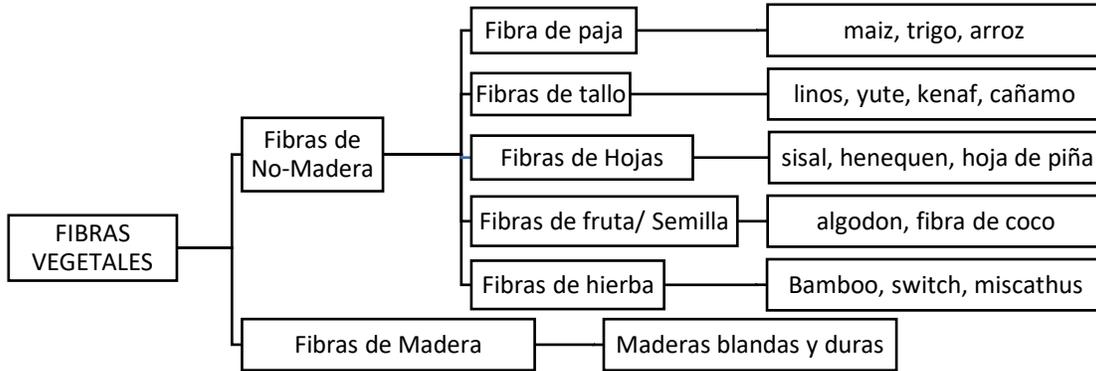


Figura 1.7 Clasificación de fibras vegetales

Fuente: Bledzki, A. K. y otros, 2002

Sus propiedades mecánicas dependerán del tipo de celulosa y la geometría de su morfología, mismas que le proporcionan resistencia, rigidez y estabilidad estructural a la fibra. Esta celulosa está compuesta de filas paralelas denominadas microfibrillas, que se unen entre sí, por la hemicelulosa y pectina, formando una estructura llamada macrofibrilla (Figura 1.8). En la Tabla 1, el autor (Páez Moscoso, 2007), muestra un estudio sobre las características mecánicas de algunas fibras de origen vegetal.

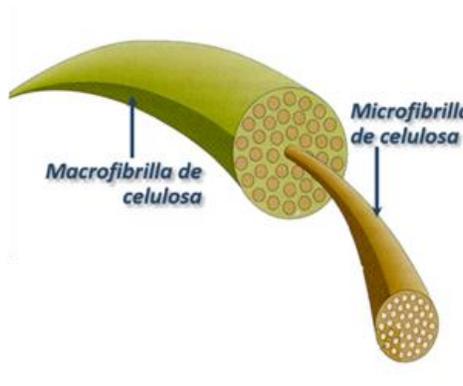


Figura 1.8 Estructura celulósica

Fuente: educa.madrid.org

Tabla 1.1 Propiedades mecánicas de algunas fibras de origen vegetal Fuente: Moscoso, 2002

Fibra	Densidad [g/cm ³]	Resistencia [MPa]	Módulo de elasticidad [GPa]	Elongación [%]	Absorción de humedad [%]
Cabuya	1,3	305	7,5	4,96	-
Yute	1,3	393 - 773	26,5	1,5 - 1,8	12
Coco	1,2	175 - 220	4 - 6	15 - 30	10
Abacá	1,3	400 - 1289	45	2,7	8 - 10
Sisal	1,5	511 - 635	9,4 - 22	2 - 2,5	-
Algodón	1,5	393 - 773	27,6	7 - 8	8 - 25
Ramio	1,5	400 - 938	61,4 - 128	3,6 - 3,8	12 - 17
Lino	1,5	345 - 1035	27,6	2,7 - 3,2	7
Cáñamo	1,4	690	35	1,6	8

Las fibras vegetales no eran consideradas como refuerzos en matrices poliméricas, porque presentaban algunas tres principales condicionantes

1. Baja estabilidad térmica, con posible degradación entre los 230 a 250 °C
2. Naturaleza hidrofílica, con tendencia a que la adhesión de componentes sea deficiente.
3. Su variabilidad de propiedades, que depende de las condiciones de cultivo y extracción

Es por eso que el uso convencional para reforzar materiales ha sido de fibras de origen mineral como la fibra de vidrio y el carbono, pero como las fibras vegetales han emergido como una opción viable de refuerzo.

Fibra de cocos nucifera

La fibra de coco es de origen vegetal y es obtenido del fruto de la palmera *cocos nucifera*. Su fruto es el coco, cuya envoltura fibrosa que va de los 20 a los 30 centímetros de longitud y puede llegar a tener un peso de 2.5 kilogramos. La fibra de coco tiene un alto contenido de lignina, pero bajo contenido de celulosa, resultando en fibras resistentes, fuertes y muy duraderas (Escudero Siosi & Aristizabal Restrepo, 2016). Además de poseer ventajas de baja conductividad, resistencia a la humedad, es inodora, no se pudre, ni produce hongos y bacterias. (Chavez Hernandez & Lopez Sanchez , 2008).

El coco está constituido por cuatro principales capas: el exocarpio, mesocarpio, endocarpio y endosperma. La Figura 1.9 muestra un esquema representativo del coco y su composición. El mesocarpio, varía entre 3 y 5 centímetros, y representa el 35 % del total de la fruta. El 90 % del mesocarpio está conformado por fibras (Trejos T., 2014)

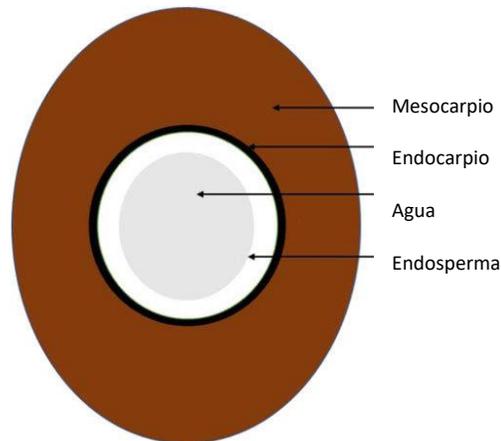


Figura 1.9 Composición del fruto de cocos nucifera Fuente: (Benjakul & Patil, 2018)

Una investigación experimental hecha por (Kabir, et al., 2012), muestra las propiedades físicas y químicas que tiene la fibra de coco, poniendo especial atención a su densidad real y sus contenidos de lignina y celulosa, como se muestra en la Tabla 1.2 y 1.3

Tabla 1.2 Propiedades físicas de la fibra de cocos nucifera Fuente. (Kabir, et al., 2012)

Contenido de Humedad [% wt.]	Contenido de ceniza [% wt.]	Contenido de carbono [% wt.]	Absorción de agua [% wt.]	Diámetro promedio [μm]	Densidad [g/m^3]
27,1	5,1	51,5	169	397	1,29

Tabla 1.3 Propiedades químicas de la fibra de cocos nucifera Fuente: (Kabir, et al., 2012)

Lignina [% wt.]	Celulosa [% wt.]	Hemicelulosa [% wt.]
59,4	32,65	7,95

En el caso de la fibra de coco la lignina, pectina y otras impurezas presentes en la superficie, se considera que impiden una adhesión adecuada entre la fibra con la matriz polimérica. Por

eso las investigaciones han logrado comprobar métodos de aplicación de tratamiento de la fibra, lo que permita mejorar la compatibilidad de sus componentes. (Cristaldi, et al., 2010).

Tratamiento de fibras

Las fibras vegetales se componen de regiones cristalinas y amorfas. En las regiones cristalinas se encuentra componentes ricos en agua, como la lignina y la hemicelulosa que crean una barrera que dificulta la penetración de sustancias químicas. Sin embargo, en las zonas amorfas, se pueden absorber más fácilmente algunas sustancias como colorantes y resinas, pero la presencia de grupos de hidroxilo en esta región hace que la fibra sea hidrofílica, disminuyendo la compatibilidad con las matrices poliméricas hidrofóbicas. Para eliminar estos grupos hidroxilo, es necesario hacer una inmersión de la fibra vegetal en un tratamiento, antes de ser colocado en una matriz polimérica. Algunos de estos tratamientos son: la mercerización, acetilación, benzoilación, y el uso de silanos. (Kabir, et al., 2012)

Los silanos modifican la energía de la superficie de la fibra vegetal, transformando su superficie a una menos hidrofílica. **La acetilación** permite a la fibra ser de carácter hidrofóbica. El **tratamiento alcalino**, conocido igual como mercerización, modifica la superficie de la fibra dejándola rugosa y rompe los enlaces de hidrógeno en la estructura microestructural.

Tratamiento alcalino

Uno de los tratamientos más aplicados y estudiados es el tratamiento alcalino o mercerización, que consiste en la inmersión de las fibras en una solución de Hidróxido de Sodio (NaOH), también conocido como sosa cáustica. Este tratamiento busca reducir la absorción de agua e incrementar las propiedades mecánicas de las fibras. Para poder comprender los efectos que la solución alcalina provoca en las fibras (da Silva, et al., 2015), realizó un estudio en donde sumergió cinco grupos de 25 fibras de coco en cinco soluciones: agua desionizada, cemento portland e hidróxido de sodio en tres proporciones (1.0gr, 10.0 grs y 20.0 grs). Durante un periodo de 81 días, después fueron llevadas a observación bajo microscopio electrónico de barrido (MEB o SEM por sus siglas del inglés Scanning Electron Microscope). Los resultados obtenidos aportan al presente estudio una pauta a seguir, en la aplicación del tratamiento

alcalino a las fibras y tener comprobado su posible comportamiento. En la Figura 1.10 tenemos un hilo de fibra de coco sin tratamiento, visto en escala 100 μm se puede observar una morfología irregular, y a escala 40 μm se puede identificar claramente las zonas amorfas compuestas de poros y elementos cerosos en su superficie.

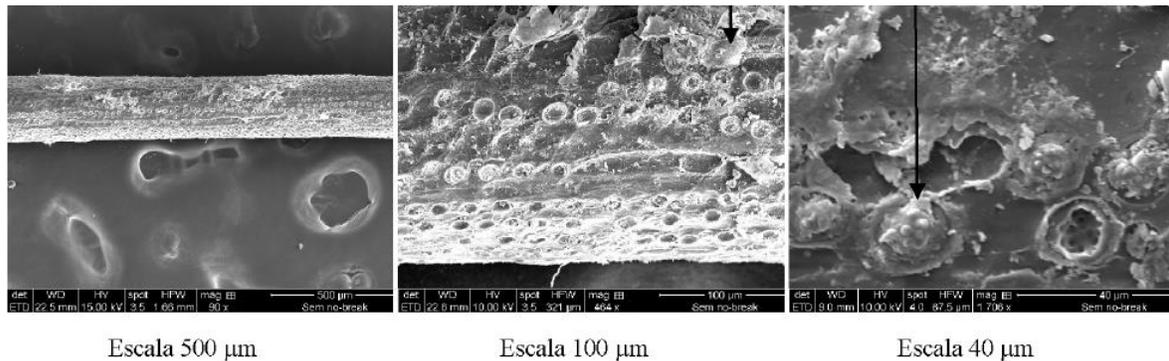
Escala 500 μm Escala 100 μm Escala 40 μm

Figura 1.10 Fibra de coco natural, sin tratamiento Fuente: (da Silva, et al., 2015)

La Figura 1.11 muestra el resultado de la fibra después de ser sumergida en una solución de Hidróxido de Sodio a 1.0 gr. Observando la escala 40 μm , se visualiza una degradación superficial significativa, los poros abiertos desaparecen y existe una mínima separación de microfibrillas. Cuando la fibra es tratada en NaOH de 10.0 grs, mostrado en la Figura 1.12, en la escala a escala 40 μm existe una mayor separación de las microfibrillas por consiguiente eliminación de la celulosa es mayor, lo que muestra una pauta que indica que a mayor concentración de la solución la fibra se vuelve más hidrofóbica, quedando la lignina más expuesta, mejorando la compatibilidad con otro polímero.

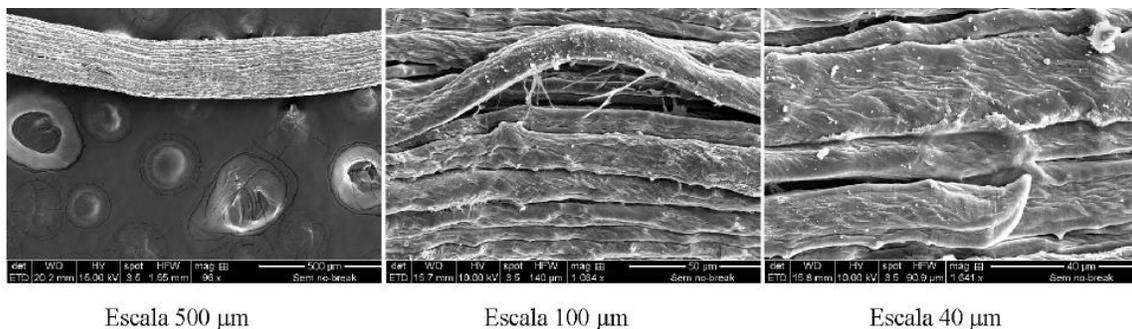
Escala 500 μm Escala 100 μm Escala 40 μm

Figura 1.11 Fibra tratada con solución de NaOH - 1.0 gr Fuente: (da Silva, et al., 2015)

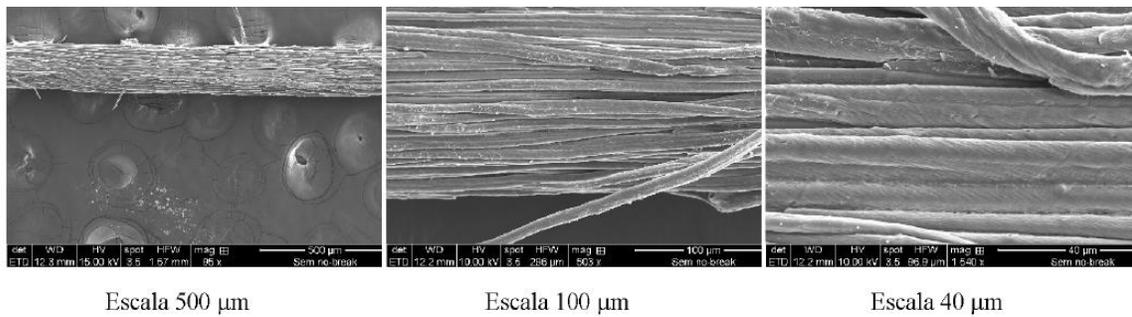


Figura 1.12 Fibra tratada con solución de NaOH- 10.0 grs Fuente: (da Silva, et al., 2015)

Procesos de extracción de fibras

Las fibras se encuentran fuertemente ligadas a los otros componentes de la fruta y el proceso de separarlas debe hacerse con sumo cuidado, ya que se busca el menor daño posible. Se han desarrollado procesos mecánicos, biológicos y químicos de separación de fibras, por lo que se deben estudiar a fondo las propiedades del material para decidir la estrategia más adecuada en cada caso. (Escudero Siosi & Aristizabal Restrepo, 2016)

Proceso biológico

En los procesos biológicos se utiliza la producción de enzimas de diferentes organismos (como bacterias) para descomponer la lignina adherida a las fibras. El proceso suele durar de 2 a 3 semanas, aunque es posible obtener fibras en menor tiempo si se mantiene la materia prima en un ambiente cálido y húmedo. (Escudero Siosi & Aristizabal Restrepo, 2016)

Entre estos procedimientos biológicos se encuentra el denominado *retting o enriado*, donde el autor (Trejos T., 2014), explica el procedimiento básico a aplicar para la obtención de la fibra del mesocarpio, mismo que consiste en la sumersión dentro agua del mesocarpio como mínimo 24 horas, para generar condiciones de fermentación, y de esta forma facilitar la extracción y separación de las fibras que están aglomeradas por otro tipo de residuos orgánicos. Por medio de herramienta manuales se hace necesario el desmembramiento y separación por medio del lavado de las fibras con agua limpia, para posteriormente ser puesto en proceso de secado, primero por medio del sol y por segunda vez al horno eléctrico de

laboratorio, a una temperatura no mayor a 60 C°, para evitar dañar o alterar las propiedades de la fibra. (Trejos T., 2014)

Proceso mecánico

Los procesos mecánicos consisten en extraer las fibras manualmente o con ayuda de rocas y molinos. Usualmente se aplican en materiales blandos como el banano o en fibras separadas como las cortezas de coco, pero también se pueden utilizar rodillos o molinos más precisos que permitan la extracción de fibras de otras plantas como la caña de azúcar, el yute o el cáñamo. Estos procesos suelen ser poco eficientes ya que dañan las fibras y no separan bien los componentes desechables. (Escudero Siosi & Aristizabal Restrepo, 2016)

Proceso químico

El principio es separar los tres componentes principales de la materia prima vegetal, es decir, la celulosa, la hemicelulosa y la lignina. En la práctica, son efectivos para eliminar la mayor parte de la lignina, pero también degradan cierta cantidad de celulosa, de manera que las fibras resultantes del proceso de despulpe no corresponden al total del material fibroso original en la planta (se obtiene entre el 40% y 50% del material fibroso, aproximadamente). Este procedimiento es muy complejo en términos químicos puesto que la lignina es insoluble en todos los solventes y, por lo tanto, no se puede disolver directamente, sino que se deben romper los enlaces covalentes que la unen con la hemicelulosa. Un ejemplo claro de este proceso es el uso de solución de NaOH. (Escudero Siosi & Aristizabal Restrepo, 2016)

PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS MATERIALES

Los materiales poseen características inherentes a su naturaleza, sean puros o compuestos. Los materiales compuestos conjugan las características individuales de sus componentes para adquirir nuevas características que son resultantes de la relación entre los agregados.

Densidad

La gravedad específica o densidad de un sólido es una propiedad útil en la caracterización de materiales. La densidad es una magnitud derivada de las magnitudes base del ISQ (Sistema

internacional de magnitudes), masa y volumen (Kalustian , 2016). El peso (masa) y volumen de un cuerpo son características básicas que definen en primer lugar su tamaño y en segundo la manera en la cual la gravedad del planeta lo afecta, por lo que la densidad también se le conoce como gravedad específica. El autor (Vargas Robles, 2007) define a la densidad como la magnitud que relaciona las dos anteriores características (masa y su volumen). La unidad de densidad es kilogramo por metro cúbico (kg/m^3).

Absorción

Es un hecho que la destrucción de un material comienza por su superficie. El término resistencia química, define la capacidad que posee una materia para soportar la destrucción por cambios físicos o químicos que suceden en la superficie que se encuentre expuesta, y la absorción forma parte de dichos cambios. La absorción es el proceso por el cual un material o sustancia porosa aspira fluidos o humedad, sea por el contacto directo con el fluido o de la atmósfera. La absorción aun cuando no llegue al punto de ocasionar corrosión o cualquier cambio químico, puede alterar las propiedades mecánicas de un material. (Vargas Robles, 2007)

Ignición o inflamabilidad

Es una condición física en donde una materia o sustancia combustible, inicia un proceso de oxidación al ser colocado en una fuente de calor externo, conforme aumente la temperatura la materia llega a cierto punto en que por la oxidación desprendida puede mantenerse por sí sola en ignición. En un aspecto más general se puede determinar como la respuesta de los materiales, productos o ensamblajes frente al calor y las llamas. Para determinar este valor es necesario aplicar una fórmula que calcula la tasa de quemado lineal en cierto tiempo, aunque no sean incorporados todos los factores requeridos como para asemejarse a condiciones reales de fuego de incendio. Los datos obtenidos solo nos sirven como una indicación preliminar de su aceptabilidad con respecto a la inflamabilidad para una aplicación particular, en consideración que la velocidad de combustión y otros fenómenos de combustión se verán afectados por factores tales como la densidad, los pigmentos, cualquier anisotropía del material y el espesor de la muestra. (ASTM, 2014)

Conductividad Térmica.

Para incrementar la temperatura de un cuerpo, se debe aplicar calor. Si a masas iguales de distintos materiales se les aplica la misma cantidad de calor, su temperatura se verá elevada en éstas, pero ocurrirá de diferente manera, lo cual depende de la sustancia de la cual estén hechos. Básicamente, el calor específico de una sustancia o material, es la cantidad de calor que debe suministrarse a la unidad de masa de tal sustancia, para elevar su temperatura en una unidad.

Una propiedad de los materiales que determina la velocidad con la que el calor se transmite a través de un material es la conductividad térmica (k), lo cual es de suma importancia en aplicaciones donde se involucre la transferencia de calor como el uso de elementos aislantes. La conductividad térmica determina la velocidad con que una cantidad de energía térmica se desplaza a través de un cuerpo entre dos planos, desde el que tiene mayor temperatura. Tal aseveración implica que la propiedad de la conductividad térmica pueda ser utilizada, pero en su valor recíproco que es la resistividad, con lo que un material puede ser usado como aislante, debido a su baja conductividad o a su alta resistividad.

En un cuerpo de composición homogénea y forma no determinada en el que existan dos planos distinguibles, que exista una distancia entre ellos, y que estén a diferente temperatura, existirá un flujo de energía térmica por medio de conducción, desde el la superficie de mayor temperatura hacia la de menor temperatura, con lo que tal flujo es proporcional a la diferencia de temperaturas y al coeficiente de conductividad térmica k , e inversamente proporcional a la distancia (e) entre los planos superficiales. (Vargas Robles, 2007)

1.4 Justificación

Con el fin de generar una nueva alternativa de aprovechamiento de materiales que disminuyan nuestro impacto al medio; esta investigación se realiza por que busca conocer y comprobar las propiedades de un innovador material en donde se sustituya algunos de sus componentes minerales por uno de origen vegetal y de igual forma subsanar en alguna medida las deficiencias ante el factor térmico y la búsqueda de confort en la edificación, que en algunos materiales no se han considerado.

En los compuestos o compósito, comúnmente se han usado materiales de origen mineral como la fibra de vidrio, como bien se mencionó son costosas, perjudiciales para la salud, difíciles de producir y de tratar para su posterior producción.

El aprovechamiento de los recursos naturales y los materiales sostenibles es un tema que cada día adquiere mayor interés de la comunidad científica. La alternativa de usar fibras vegetales como refuerzos de polímeros y morteros, es un ejemplo de ello. Las propiedades mecánicas que han mostrado fibras como el lino, cáñamo, sisal, jute, plátano, entre muchas otras, junto con su bajo costo, baja densidad, reciclabilidad y biodegradabilidad, han hecho de las fibras vegetales una potente alternativa frente a fibras sintéticas. Pues a pesar de presentar muy bajas resistencia en comparación con otros tipos fibras, el bajo costo y la baja densidad de las fibras vegetales permiten utilizar un mayor volumen de fibras y con ello obtener materiales compuestos sostenibles y con propiedades mecánicas comparables con compuestos de fibras sintéticas (Mercedes, et al., 2018) además de poder aprovechar el valor agregado de sus propiedades térmicas, mismas que no son consideradas en la mayoría de compósitos comúnmente producidos. Las fibras vegetales son una alternativa de gran ventaja en cuanto a costos, reducción de tiempos de producción y un impacto menor de huella ecológica. Un estudio comparativo presenta la amplia diferencia que existe en la cantidad de consumo energético proveniente de la producción de fibras de origen mineral y las de origen vegetal, como se puede observar en la Figura. - 1.13.

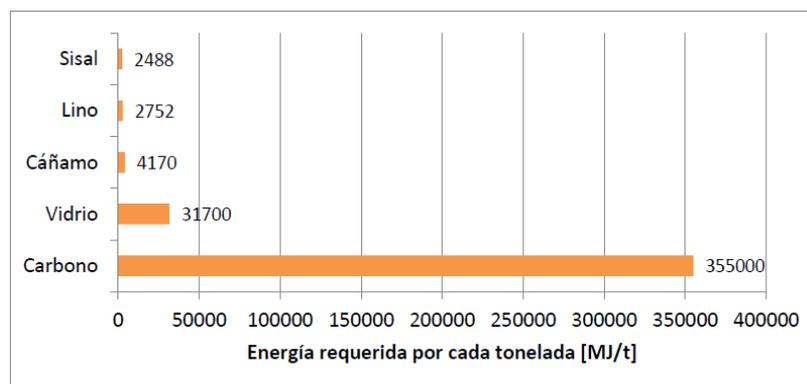


Figura 1.13 Energía requerida para la producción de algunas fibras Fuente: (Cristaldi, et al., 2010)

En México, así como en la mayoría de los países, se ha invertido en prácticas sustentables en la edificación, que reducen la contaminación, mejoran el confort o se orientan en el ahorro energético y económico, de esta manera reducir la huella ambiental, pero en muchos casos no se ha intervenido directamente en la producción de los materiales, siendo esta una de las primeras etapas de vida de una edificación (Suppen Reynaga, y otros, 2011).

Países como Estados Unidos y Canadá han iniciado el uso de materiales constructivos de contenido reciclable, abriendo el mercado de producción materiales con procesos de reciclamiento. (Hernandez, 2007)

1.5 Hipótesis

Una mayor proporción de fibra de coco en una matriz de resina poliéster, disminuirá la capacidad de conductividad térmica del compuesto y mostrará una menor densidad.

1.6 Objetivos

General:

Desarrollar un material compuesto de fibra vegetal de *cocos nucifera* y una matriz de resina poliéster como sus componentes, para conocer su comportamiento físico y su conductividad térmica.

Específicos:

- Aplicar método de tratamiento a la fibra que mejore la adherencia con la matriz polimérica.
- Determinar las características de los componentes del compuesto.
- Caracterizar físicamente el compuesto conociendo su densidad, absorción de agua y grado de flamabilidad.
- Caracterizar térmicamente el compuesto para conocer su conductividad térmica.

1.7 Metas

- Comprobar método de extracción indirecto *retting*, como una alternativa de obtención de fibras de coco de forma manual.
- En consideración de la zona sureste de México, en específico Chetumal y su tipo de clima cálido subhúmedo, conocer los porcentajes óptimos de catalizador para una porción de resina poliéster insaturado PP Cristal.
- Conocer la conductividad térmica en la innovación de este material compuesto, como una característica no considerada en otros compósitos.
- Proponer una posible aplicación del compósito en la construcción.

CAPITULO II. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 Metodología

Para definir la metodología a aplicar en el presente proyecto fue necesario estructurar el procedimiento tomando como referencias los antecedentes del campo científico, donde se muestra diversas pautas de vital importancia en el desarrollo del material. La metodología consta de siete pasos que permiten el desarrollo del material y cumplimiento de las metas.

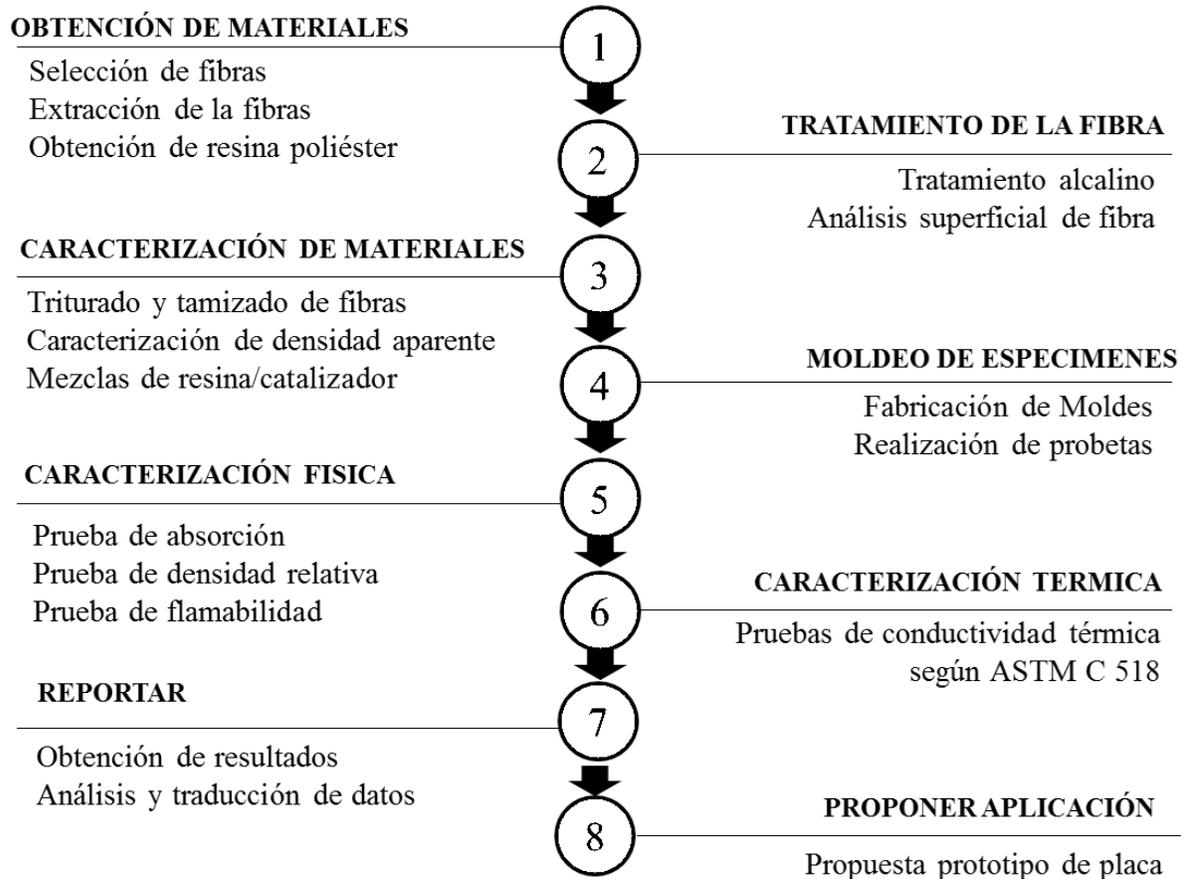


Figura 2.1 Metodología de investigación a aplicar

Fuente: Propio

2.2 Diseño experimental

La caracterización parte de la hipótesis de que una mayor cantidad de fibra en el compósito mejora las propiedades de aislamiento térmico y le confiere al material una baja densidad. Para comprobar lo anterior se propuso tres tipos de relación en **volumen/volumen (fibra-resina)**, en el presente trabajo se identificarán de la siguiente manera: **Grupo A (30/70)**, **Grupo B (40/60)** y **Grupo C (50/50)**, siendo categorizados en un valor **mínimo, medio y máximo**, respectivamente y tomando como variable independiente la fibra de coco.

Sé realizó un diseño de experimentos para saber el número total de ensayos o probetas que se van a fabricar para realizarle las pruebas y saber si se cumple la hipótesis. En la Tabla 2.1, se muestra el diseño de experimentos.

Tabla 2.1 Valores del diseño experimental

Fuente: Propio

Prueba	Norma	Categoría	Clave	Cantidad		TOTAL
	referencia	Relación %	(prueba+grupo+No.)	optimo	Propuesta	
Densidad	ASTM D 792	Mínimo	DA	5	6	18
		Medio	DB	5	6	
		Máximo	DC	5	6	
Absorción	ASTM C 272	Mínimo	AA	5	6	18
		Medio	AB	5	6	
		Máximo	AC	5	6	
Flamabilidad	ASTM D 635	Mínimo	FA	10	10	30
		Medio	FB	10	10	
		Máximo	FC	10	10	
Densidad	ASTM C 518	Mínimo	CA	3	4	12
		Medio	CB	3	4	
		Máximo	CC	3	4	

El procedimiento para la fundición de los especímenes en sus respectivos moldes, consiste primero en definir las cantidades de los materiales a mezclar. Según el porcentaje y tamaño de probeta de ensayo y de acuerdo a los porcentajes de mezcla en relación fibra-resina, se procedió a definir un estándar que corresponde a 1.0 m^3 de volumen, como se muestra en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2 Proporciones de mezcla para 1.0 cm^3

Fuente: Propio

Componente	Grupo A	Grupo B	Grupo C
Resina (grs)	0.84	0.72	0.60
Fibra (grs)	0.036	0.048	0.060
Catalizador 2% (grs)	0.0168	0.0144	0.0120
Volúmenes de los especímenes de prueba			
Densidad	Absorción	Flamabilidad	Conductividad
73.74 cm^3 3"x3"x1/2"	73.74 cm^3 3"x3"x1/2"	24.19 cm^3 5"x 15mmx1/2"	245.81 cm^3 5"x6"x1/2"

Es importante recalcar la identificación de los términos a utilizar, refiriéndose “probetas” o “especímenes” como las piezas puestas a prueba en laboratorio, el término “fibra” refiriéndose a la fibra de *cocos nucifera* y “resina” siendo la resina poliéster que fue seleccionada para ser la matriz del compuesto.

Las pruebas a las que fueron sometidos los especímenes fueron: densidad, absorción de agua, flamabilidad y conductividad térmica. Para ello se tomó como base las referencias de la ASTM (American Society for Testing and Materials) orientados a polímeros.

CAPITULO III. TRABAJO DE LABORATORIO

3.1 Obtención de los materiales

3.1.1 Extracción y selección de la fibra

Con el fin de aportar un método de extracción de manual de la fibra, se procedió a realizar la comprobación por proceso biológico. En este campo, el autor (Trejos T., 2014), propone un procedimiento para obtener la fibra del mesocarpio, denominado *retting* o enriado, que consiste de forma general en la sumersión dentro agua del mesocarpio para generar condiciones de fermentación, al fin de lograr la facilidad de extracción y separación de las fibras que se unen gracias a los residuos orgánicos que aglomeran las mismas.

El procedimiento de extracción bajo este método se muestra en la Figura 3.1, el cual consistió en sumergir las cascaras en una cubeta con agua durante 24 horas bajo sombra y sellado, para posteriormente ser retirado y con un martillo desmembrar lo suficiente. Una vez desmembrado se retiran las fibras mediante un lavado manual durante casi 5 minutos, de esta manera se retiran los residuos orgánicos que aglomeran las fibras, después se procede a un secado al sol de 3 horas para eliminar humedad. En cada lavado se obtuvieron un promedio de 40 gramos de fibra que después fueron almacenados en bolsas de plástico.



Figura 3.1 Procedimiento de extracción retting

Fuente: Propio

En el punto de la recolección del material, en este caso las copras de coco que se podían encontrar en la ciudad de Chetumal, aplicando el proceso de extracción antes descrito, se plantea conocer cuál sería la edad aproximada de la copra de coco, en la que se podría tener una mejor extracción de fibras.

En la imagen de la Figura 3.2, se muestra que en la muestra UNO se tienen tres semanas de cortado; la extracción por el método no funcionó, observándose que el grado de madurez es reciente siendo la corteza demasiado compacta en sus tres diferentes capas. En la imagen de la Figura 3.3. de la muestra DOS se presenta una edad de más de año y medio; lo cual ha provocado que las fibras estén prácticamente en descomposición siendo más útil como sustrato y abono. Aun así, se procedió a realizar la extracción por el método propuesto el cual no fue efectivo, considerando que había exceso de residuos del mismo coco que imposibilitaron el aprovechamiento efectivo de la sola fibra.

En la imagen de la Figura 3.4, los residuos de la muestra TRES tienen una edad aproximada de 2 a 3 meses de corte y conservación, en este caso se observa mayor facilidad de extracción a través del método propuesto, siendo esta una referencia aproximada de la edad a considerar, para que obtención de fibra por proceso biológico pueda ser efectivo.



Figura 3.2. Muestra UNO Sin **Figura 3.3 Muestra DOS** **Figura 3.4 Muestra TRES**

embargo, la extracción por método biológico presenta complicaciones en cuanto al trabajo manual aplicado, el tiempo de extracción y la cantidad extraída. Como bien termina de confirmar el autor (Escudero Siosi & Aristizabal Restrepo, 2016) que debido a que requiere grandes cantidades de agua, se considera un proceso ineficiente en comparación con otros métodos. Además, el agua contiene microorganismos que pueden afectar el procedimiento de separación de fibras, produciendo problemas como más demora, rompimiento de las fibras y

afectación de propiedades, entre otros. Por lo cual se procedió a complementar la obtención de fibra necesaria para las pruebas, con las extraídas por método mecánico.

Por lo tanto, se adquirió en el mercado fibras largas extraídas mecánicamente, proveído por una empresa de nombre I-Deal, de la ciudad de Mérida, Yucatán, el costo de esta fibra fue de \$200 por kilogramo. Esta fibra presenta visualmente las mismas características de lo extraído, pero a efecto de garantizar el uso de una sola variable en el proceso de extracción de fibra, se decidió utilizar únicamente este tipo de fibra.

3.1.2 Selección de la resina

Dentro de la amplia gama de resinas en el mercado se eligió una resina considerando: facilidad de obtención, trabajabilidad, bajo costo y de acabado estético una vez curado. Por lo tanto, se trabajó con la **Resina PP-Cristal Preparada**, en la Tabla 3.1 se presentan sus características específicas con etiqueta de la Empresa Mexicana Poliformas Plásticas, S.A. de C.V., siendo una resina **poliéster insaturada orto ftálica**, con una densidad de 1.22 gr/cm^3 , que para el curado se requiere un catalizador tipo peróxido de metil etil cetona (PMEK), una vez agregado el catalizador el material llega a su estado sólido en los primeros 30 minutos y tiene un acabado final de gran transparencia y brillo. El polímero obtenido es un plástico termoestable de buenas características mecánicas, generalmente usado para encapsulados.

Tabla 3.1 Propiedades físicas y químicas de la resina PP Cristal Fuente: Poliformas SA de CV,2018

Propiedades	Valor
Estado físico	Líquido viscoso
Punto de Inflamación	31.0 °C
Densidad relativa	1.22 ± 2
Temperatura de auto ignición	490 °C
Color APHA	Transparente cristalino
Tiempo de gel a 25°C	$14 \pm 2'$ min
Tiempo de curado	$30 \pm 5'$ min
Temperatura exotérmica	160 ± 10 °C
Temperatura Max. De distorsión al calor	70 °C

3.2 Tratamiento de la fibra: Alcalino

Se aplicó un tratamiento químico alcalino o mercerizado que consiste en tratar las fibras en una solución de Hidróxido de Sodio (NaOH) o comúnmente conocido como sosa caustica. Se realizó una solución al 2% P/V, bajo la recomendación de estudios que demuestran que porcentajes mayores como lo serían un 5% y 8% P/V, disminuyen las propiedades mecánicas y generan mayor desgaste en las fibras. (Gomez P. , 2009)

Para poder realizar la solución fue necesario del trabajo directo en laboratorio y sus respectivos instrumentos: Hidróxido de sodio (NaOH) en perlas, agua desionizada, balanza analítica, campana extractora, matraz aforado 1 litro, vaso de precipitado 100ml y 1000ml, equipo de seguridad y cubeta para almacenamiento. Se realizó el cálculo de P/V al 2% de hidróxido de sodio en un litro de agua, siendo un total de 20 grs de NaOH en 1000 ml de solución, mismo que se diluyó paulatinamente en un matraz de aforo, aproximadamente 2 gr de NaOH por cada 100 ml de agua para evitar que la reacción exotérmica afecte el contenedor.

Una vez disuelto en su totalidad se vertió la solución en una cubeta de plástico resistente, el cual ya contenía la fibra extraída, recomendado para proporciones óptimas de tratamiento, una relación masa-fibra del 1:25 (Conde rito, 2010), resultando 41.09 grs en un litro de solución quedando totalmente sumergido. Se dejó reposar la fibra en la cubeta durante 2 horas, después fue retirado del recipiente para ser lavado manualmente con agua desionizada y dejar sumergido de nuevo durante 24 horas para eliminar otras impurezas orgánicas y residuos del tratamiento químico. Cumplidas estas 24 horas, se enjuagó y fueron llevadas a secado de luz solar sol, durante un periodo de 24 horas, siguiendo un control de 4 días, en un horario de irradiación solar de 10:00 hrs a 17:00 hrs.

Después del secado solar y con el fin de deshumidificar las fibras y mejorar la adhesión con la matriz polimérica, se colocó en el horno de secado a una temperatura de 60 °C, por un periodo de 2 horas, esta temperatura media es recomendada con el fin de evitar la degradación térmica de la fibras por ser de origen vegetal (Trejos T., 2014) (Conde rito, 2010) (Gómez J. 2009). Después de transcurrido este tiempo, se almaceno de forma hermética en bolsas de plástico, para evitar que la humedad ambiental pueda afectarla.



Figura 3.5 Tratamiento alcalino de fibras



Figura 3.6 Reposo en solución



Figura 3.7 Secado en Horno

3.3 Caracterización de los componentes

3.3.1 Triturado y Tamizado de fibras

Basado en literatura donde se hace referencia a la dificultad que conlleva un acomodo homogéneo de los hilos largos de fibra en una matriz de poliéster. El autor (Peñaloza Nieblas, 2015), utilizó las fibras de lirio en un tamiz número 14 y 20, ambos tamaños fueron aptos para la mezcla. En base al antecedente se realizó el corte de las fibras por medios manuales, para después cribar utilizando un tamiz Núm. 8 y otro de Núm. 10, las partículas de fibra permiten una mejor homogeneidad y la compactación al momento de realizar las probetas de ensayo.



Figura 3.8 Corte y tamizado de fibras

3.3.2 Determinar densidad aparente de la fibra

Para el procedimiento de moldeo de los especímenes es de suma importancia definir cuál sea la densidad de los materiales a usar, en específico el de la fibra, ya que en la revisión literaria existía mucha variación en cuanto al valor específico de densidad, pues en ocasiones aparecía como un sustrato que contenía otros orgánicos mezclados.

La densidad real se define como el cociente entre la masa de las partículas del sustrato y el volumen que ocupa, sin considerar poros o huecos, no dependiendo del grado de compactación ni del tamaño de la partícula. La densidad aparente es la relación entre la masa o peso de las partículas y el volumen aparente que ocupan, incluyendo el espacio poroso total, tiene relación directa con la porosidad del material y con el grado de compactación aplicada a las partículas lo que disminuye espacios de aire.

Para realizar los especímenes se recomienda usar la densidad aparente a un grado de compactación manual. Para ello se usó un método indirecto denominado “*método de cilindro*”; procedimiento que consta en pesar la masa de fibra en partículas que logra contenerse dentro de un cilindro de volumen conocido como se muestra en la Figura 3.9., después de aplicar una compactación manual.

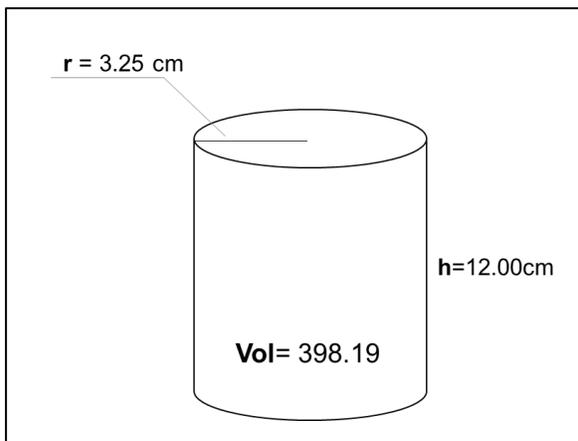


Figura 3.9 Cilindro de volumen conocido



Figura 3.10 Montaje de prueba en laboratorio

La fórmula que se necesita aplicar es la de densidad:

$$DA = \frac{M}{V} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde: DA: Densidad aparente M= Masa (peso total) V= Volumen

$$DA = \frac{48.87 \text{ grs}}{398.19 \text{ cm}^3} \quad DA = 0.122 \text{ grs}$$

Se sustituyen los valores en la formula, según la cantidad de materiales usados, resultando una densidad aparente de 0.12 grs/cm³. Este valor obtenido de forma experimental, tiene similitud a los valores obtenidos en otros diversos estudios, pudiendo identificar un rango entre 0.08 grs/cm³ y 0.30 grs/cm³ de densidad aparente en fibras de coco, con la diferencia de variaciones en los que interviene factores como tipo de zona, forma de extracción, tamaño de fibra y errores en el experimento. (Zarate Altamirano, 2008) (Fernandez Perez, 2010) (Vargas Tapia, et al., 2008)

3.3.3 Determinar resina-catalizador

La importancia de catalizador es de suma importancia, debe mantenerse entre 1.0% y 2.0% de masa, según lo recomendado por el fabricante de la resina y además comprobado en laboratorio en 1.0%, 2.0% y 3.0%, el límite inferior duraba mucho tiempo en catalizar, el límite superior apresuraba la catálisis lo que impedía hacer la mezcla de materiales de buena forma. (Peñaloza Nieblas, 2015)

Para la elaboración de la mezcla se tomó en cuenta las densidades de ambos materiales especifica que materiales y se utilizaron las siguientes fórmulas para hacer cada una de las relaciones con las que se trabajaron (Peñaloza Nieblas, 2015).

$$Mr = V * Pr * Dr \quad \text{Ecuación 2}$$

$$Mf = V * Pr * Df \quad \text{Ecuación 3}$$

Mr= Masa resina (grs)

V= Volumen del recipiente (cm³)

Pr= Porcentaje de resina a utilizar

Dr= Densidad de la resina

Pf= Porcentaje de fibra a utilizar

Df= Densidad de la fibra

Mf= Masa de la fibra

Como ejemplo, la concentración 70/30 resina-fibra, se usó un recipiente de 245.81 cm³, se sustituyó en la fórmula:

$$Mr = (245.81 \text{ cm}^3) (0.70 \%) (1.20 \text{ grs/cm}^3) \quad Mr = 206.48$$

$$Mf = (245.81 \text{ cm}^3) (0.30\%) (0.12 \text{ grs/cm}^3) \quad Mf = 8.85$$

Siguiendo el mismo método de cálculo con todas las probetas, se procedió a verter los datos en las siguientes tablas de volúmenes y proporciones, como se presenta en la siguiente Tabla 3.2, 3.3 y 3.4

Tabla 3.2 Cantidades para la probeta de ensayo para prueba de conductividad

Fuente: Propio

Probeta con dimensiones en centímetros (15.24 cm x 12.7 cm x 1.27 cm), Volumen total: 245.81 cm³			
Concentración de volumen de fibra (%)	Volumen de poliéster (grs)	Masa de la fibra (grs)	Masa del catalizador (grs) al 2%
30 %	206.48 (70%)	8.85	2.1
40 %	176.98 (60%)	11.80	1.8
50 %	147.48 (50%)	14.75	1.5

Tabla 3.3 Cantidades para la probeta de ensayo para prueba de flamabilidad

Fuente: Propio

Probeta con dimensiones en centímetros (15 cm x 12.5 cm x 1.27 cm) Volumen total: 238.13 cm³			
Concentración de volumen de fibra (%)	Volumen de poliéster (grs)	Masa de la fibra (grs)	Masa del catalizador (grs) al 2%
30 %	200.03 (70%)	8.57	2.0
40 %	171.45 (60%)	11.43	1.7
50 %	142.88 (50%)	14.29	1.4

Tabla 3.4 Cantidades para la probeta de ensayo para prueba de absorción de agua y densidad.
Fuente: Propio

Probeta con dimensiones en centímetros (22.8 cm x 15.3 cm x 1.27 cm) Volumen total: 443.03 cm³			
Concentración de volumen de fibra (%)	Volumen de poliéster (grs)	Masa de la fibra (grs)	Masa del catalizador (grs) al 2%
30 %	372.14 (70%)	15.95	3.7
40 %	318.98 (60%)	21.27	3.2
50 %	265.82 (50%)	26.58	2.7

Para las probetas de flamabilidad, densidad y absorción fueron hechas placas en una sola pieza que después fueron cortados de forma manual, de acuerdo a la cantidad y dimensión de probetas que especifica su correspondiente norma ASTM de referencia a seguir, las dimensiones fueron ya antes mencionadas. Esto con el fin de usar las mismas piezas de espécimen para dos diferentes pruebas, mismas que no llegan a ser destructivas.

3.4 Moldeo de especímenes

Existen diferentes métodos de moldeo para resinas poliméricas como lo serían el moldeo por compresión, por inyección, por transferencia y por último el moldeo por estratificación o colocación manual, este último permite que sea de fabricación artesanal y de auto construcción, ya que en los otros casos se necesitaría del uso de equipos mecánicos e industrializados. La técnica de moldeo por contacto aprovecha las ventajas de los sistemas de matrices poliéster en su procedimiento de curado, mismas que no necesitan la aportación de calor para su polimerización al completo ni alta presión de moldeo para su estratificación.

3.4.1 Fabricación de Moldes

La composición del molde se realizó en material de aluminio y se compone de tres piezas desmontables, una base, una tapa y un bastidor que permite la medida del espécimen según lo requerido por tipo de ensayo, las medidas se pueden consultar en las Tablas 3.2, 3.3 y 3.4. La tapa es la que ejerce presión al sellarlo por medio de cuatro roscas tipo mariposa.

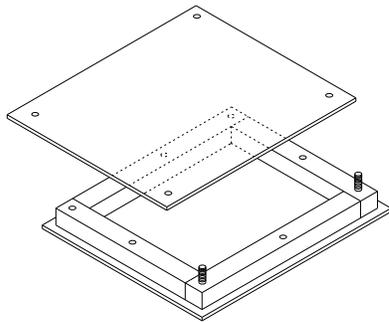


Figura 3.11 Esquema de molde de aluminio

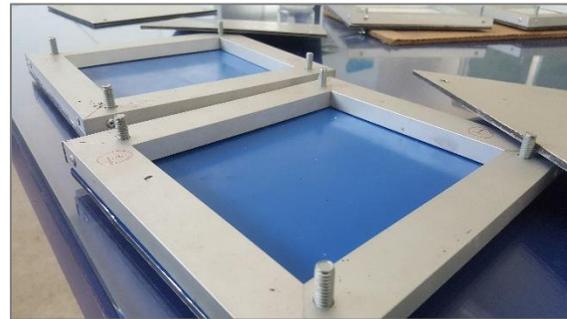


Figura 3.12 Molde realizado en aluminio

3.4.2 Elaboración de probetas

Una vez definida las cantidades de los materiales a mezclar, como se había establecido en tres grupos denominados A, B y C. Continúa el procedimiento para la fundición de los especímenes en sus respectivos moldes, teniendo como base los cuatro pasos de la estratificación manual.

Impregnación: La fibra es pesada de forma exacta, así como la resina. En un recipiente por separado se vierte la resina poliéster junto con la cantidad necesaria de catalizador, se mezcla por aproximadamente un minuto, para después colocar la fibra en un contenedor por separado, para luego verterle una tercera parte de la resina, mezclando con una espátula se busca impregnar toda la fibra.

Estratificación: como se observa en la imagen de la Figura 3.13, en este paso se ha de iniciar el moldeado principal, por cual primero se procede a impregnar el molde con cera desmoldante que permitirá que el espécimen sea retirado con facilidad.



Figura 3.13 Proceso de impregnación y estratificación de moldeo manual

Luego se vierte otra tercera parte de resina como una pequeña capa de base en el molde y extenderla con una espátula, inmediatamente se deposita la resina ya impregnada y con la ayuda de las mismas espátulas hacer una suave compactación, por último, verter una última tercera parte de resina.

Consolidación. Las imágenes de la Figura 3.14, muestran el tercer paso que contempla la colocación de la tapa superior del molde para sellar el molde bajo la presión mínima que permite el molde por medio de las roscas mariposa, y para mejorar la estabilidad se le colocaron prensas manuales tipo “C”

Solidificación. El espécimen permanecerá bajo la sombra y con las prensas colocadas durante 24 horas y de forma estable, como se observa el material ya desmoldado en la Figura 3.14.



Figura 3.14 Proceso de consolidación y solidificación de moldeo manual

3.5 Caracterización física del compósito

3.5.1 Densidad

Se usa como ejemplo el método aplicado por el autor (Gomez Pacheco, 2014) y como norma de referencia el ASTM D792, en donde primero se obtuvo la densidad absoluta del material, que contempla sus dimensiones y su peso con la Ecuación 4

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde: ρ Densidad Absoluta m : masa V : volumen

El procedimiento consistió en tomar medidas lo más exactas posibles con ayuda de un instrumento de medición tipo Vernier, tomándose de 3 a 4 lecturas en cada lado y varias partes del espesor y medir el peso mediante una balanza digital de precisión 0.0001 gramos.

Los cambios en la densidad de un material polimérico se deben a diferencias localizadas en la cristalinidad, pérdida de plastificante, absorción del disolvente u otras causas. Es posible que las porciones de una muestra difieran en densidad debido a sus diferencias en su historial térmico, porosidad y composición (Kalustian , 2016) debido a este comportamiento es necesario considerar la densidad relativa del material, que se calcula con la Ecuación 5.

$$\rho_r = \frac{\rho}{\rho_0} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde: ρ_r Densidad relativa ρ : densidad absoluta ρ_0 : sustancia de referencia



Figura 3.15 Probetas de ensayo Densidad/Absorción

Para esta prueba la norma ASTM D792 “Densidad y Gravedad específica de plásticos”, recomienda la probeta como una pieza del material de cualquier medida, pero con la condición de que su volumen no sea menor a 1.0 cm^3 . En este caso se analizaron seis probetas de $3 \times 3 \times 1/2$ pulgadas como se observa en la imagen de la Figura 3.15.

3.5.2 Absorción de agua

Esta prueba toma como referencia la norma internacional ASTM C272, esta norma está orientada a varios tipos de materiales estructurales con configuración sándwich. Para ello se ocupa una balanza analítica de 0.0001 g. , además de un depósito de agua donde las muestras puedan ser sumergidas. Se recomienda la cantidad de 5 especímenes como mínimo, con dimensiones de 75 mm por $75 \text{ mm} \times 12.7 \text{ mm}$ ($3 \times 3 \times 0.5$ pulg), según menciona la norma ASTM. Existiendo una condición en la que para materiales que son afectados por temperaturas mayores a $110 \text{ }^\circ\text{C}$, se pondrá al horno durante 24 hrs a una temperatura de $50 \text{ }^\circ\text{C}$, inmediatamente registrar su peso seco, para después colocarlo en un disecador.

El procedimiento consistió en la inmersión de los especímenes en un contenedor con agua, durante 24 horas, mientras se verificaba tener una temperatura inicial de $23^\circ\text{C} \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$. Finalizada las 24 horas se removió el exceso de agua en la superficie de los especímenes e inmediatamente se registró el nuevo peso que tuvo después de la absorción. En la siguiente tabla se registra el peso inicial a temperatura ambiente y la disminución de humedad después puesto en el horno durante 24 horas y se calcula el incremento de peso con la Ecuación 6.

$$\text{Incremento en pes, \%} = \frac{W-D}{D} \times 100 \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde W= Peso mojado D= Peso seco



Figura 3.16 Muestras de absorción sumergidas

Fuente: Propio

3.5.3 Flamabilidad

Esta prueba está acotada de forma indirecta a la Norma ASTM D635, como método para la tasa de combustión y / o la extensión y el tiempo de quemado de los plásticos en una posición horizontal. Aplicado por otros autores a placas de matrices de poliéster.

Para realizar esta prueba se ocuparon 10 probetas de ensayo con dimensiones de 125 ± 5 mm x 13 ± 0.5 mm y espesor no mayor a 13 mm. Para el presente proyecto se usaron dimensiones de 125 mm x 12.5 mm x 12.0 mm.

Este procedimiento consistió en colocar de forma horizontal la barra de prueba en una base con pinza universal, y se marcó una distancia específica de 25 mm y 75 mm, iniciando en el extremo libre, después por medio de un mechero de alcohol situado a un ángulo de 45° con respecto a la barra del espécimen se inició el quemado por únicamente 20 segundos, cuando la llama continúe después de los 25 mm se retira el fuego y se inicia el cronómetro, el cual se detendrá cuando la llama ya haya alcanzado la línea segunda de 75 mm. Se registra el tiempo en que se consumió la barra hasta llegar a los 100 mm como se muestra en el esquema de la Figura 3.17.

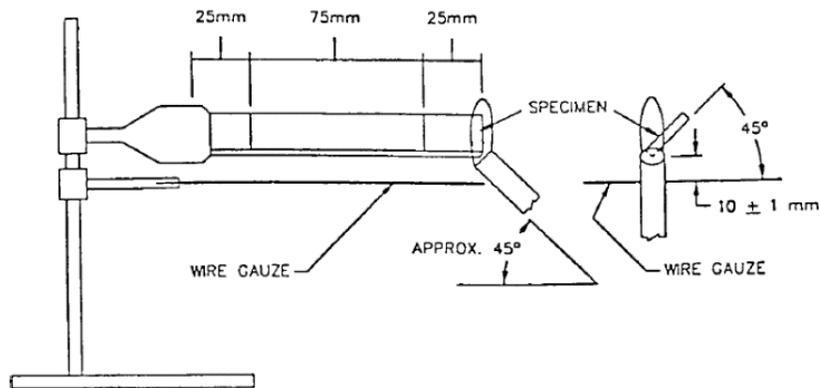


Figura 3.17 Esquema de la prueba de flamabilidad Fuente: ASTM D635



Figura 3.18 Desarrollo experimental de pruebas de flamabilidad

Fuente: Propio

3.6 Caracterización térmica del compuesto

3.6.1 Conductividad Térmica

Para el estudio de conductividad térmica, se requirió del uso de un conductímetro de placa caliente con guarda (Figura 3.19), fabricado y funcionando en el laboratorio de Ingeniería en Sistemas de Energía de la Universidad de Quintana Roo de acuerdo con la norma ASTM C177-97.



Figura 3.19 Conductímetro de placa caliente con guarda

Para esta prueba se trabajaron especímenes con dimensiones de 12.7 cm x 15.24 cm x 1.27cm, del compósito en sus diferentes proporciones de relación fibra-resina. En su modo general la prueba consiste en registrar a través de los termopares la lectura de la temperatura en cada espécimen estando en contacto con cuatro placas de temperatura diferente, siendo registrado hasta lograr una estabilidad térmica entre ambas placas.

Como primer paso, se registraron las dimensiones desde 4 puntos diferentes de las probetas, usándose 2 pares de probetas, a los cuales después se le realizó una ranura de 7.6 cm de largo y 5mm de profundidad en la parte central de ambas caras (Figura 3.20, para que en la ranura se pueda recibir el termopar).



Figura 3.20 Ranuras en probeta para recibir termopares

Fue llevado al horno durante 24 horas, a 60°C para eliminar cualquier tipo de humedad en su superficie, cumplido el tiempo se extrajo e inmediatamente fue registrado su peso seco (Figura 3.21). La colocación del termopar en la ranura fue sellada con silicón para altas temperaturas y después se dejó secar, para luego ser llevado a su colocación en el equipo de conductividad térmica. (Figura. 3.22)



Figura 3.21 peso seco de probeta



Figura 3.22 Colocación de termopar, sellado con silicón alta temperatura



Figura 3.23 Montaje en conductímetro

El siguiente paso es el montaje del par de probetas dentro del conductímetro, colocando entre las probetas las placas de cobre, como se muestra en la Figura 3.23, hay verificar que exista un buen contacto entre las caras interiores de las probetas y las placas de cobre, debido a que una de las placas esta provista de una resistencia eléctrica, mediante la cual se proporciona calor en la cara interna de cada probeta , el flujo de calor va de la cara interna a la externa, la cara exterior de cada probeta está protegida por una placa de aluminio, una vez colocadas las probetas en el conductímetro se selló con silicón y se dejó secar.

El siguiente paso es el proceso de lectura, por lo cual se conectaron los cuatro termopares de los especímenes a un monitor de termopares de 16 canales Stanford Research System modelo SR630 (Figura 3.24), las dos placas interiores de guarda con una temperatura alta, originando por el calor de una resistencia eléctrica controlado por un *variac* hasta alcanzar un estado permanente, contrario a estas, las dos placas exteriores están en constante enfriamiento a consecuencia de un ventilador fijo integrado. Los datos de voltaje se registran a través de un

amperímetro y un voltímetro, la lectura es automática a través de un monitor de termopares tipo K que envía los datos de las lecturas de forma automática a una computadora de escritorio con una interfaz especializada como se muestra en la imagen de la Figura 3.25, el proceso de prueba concluye cuando se haya logrado una estabilidad en las últimas cuatro lecturas, eso es cuando las diferencias de temperaturas consecutivas con intervalos de quince minutos, no varían en más de 0.1 °C.

Cada espécimen sometido a prueba tuvo una semana de trabajo, entre montajes, lecturas y desmontaje. Se ocupó 4 días consecutivos de lectura, con diferente voltaje: 20, 25, 30 y 35 volts, con lecturas periódicas cada 15 minutos (puede consultar ANEXOS).



Figura 3.24 Mecanismos de lectura, multímetros, Variac y monitor de termopar

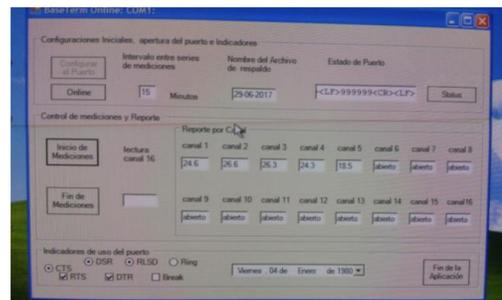


Figura 3.25 Interfaz de lectura de temperaturas, monitor termopar

La conductividad térmica se calculó de acuerdo con la norma ASTM C 518 98 mediante la ecuación de Fourier modificada:

$$K \frac{Q(L1+L2)}{2A(\Delta T1+\Delta T2)} \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

K = conductividad térmica (W/m °C)

Q= calor suministrado (W)

L1, L2 = espesor de cada probeta (m)

A= área promedio de las probetas (m2)

Δ T1, Δ T2 = diferencial de temperatura de cada probeta (°C)

CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Propiedades físicas

Los resultados obtenidos en el estudio se muestran en el siguiente capítulo a través de datos en tablas y graficas de comparación. Además de tomar consideración de la forma de reporte según las ASTM tomadas como referencia.

4.1.1 Densidad

En la Tabla 4.1 se registraron las dimensiones que tienen los especímenes ensayados para densidad, en total fueron 18 muestras y se puede observar las variaciones en las medidas.

Tabla 4.1 Dimensiones y peso inicial de espécimen grupo A, B y C Fuente: Elaboración propia

Especímen	Largo (cm)		Ancho (cm)		Espesor (cm)				Peso (grs)
DA-01	7.39	7.34	7.39	7.34	1.24	1.29	1.20	1.25	90.969
DA-02	7.47	7.44	7.55	7.78	1.16	1.18	1.20	1.26	85.686
DA-03	7.47	7.49	7.59	7.59	1.28	1.14	1.17	1.13	84.365
DA-04	7.84	7.87	7.54	7.53	1.15	1.13	1.15	1.16	91.385
DA-05	7.41	7.37	7.54	7.55	1.26	1.22	1.16	1.19	80.711
DA-06	7.47	7.49	7.54	7.51	1.22	1.17	1.19	1.17	79.538
DB-01	7.59	7.58	7.46	7.59	1.40	1.55	1.42	1.37	78.812
DB-02	7.85	7.96	7.40	7.44	1.18	1.40	1.15	1.24	80.323
DB-03	7.49	7.40	7.39	7.56	1.50	1.29	1.21	1.32	79.734
DB-04	7.71	7.65	7.59	7.57	1.26	1.43	1.44	1.34	77.804
DB-05	7.51	7.49	7.44	7.54	1.16	1.32	1.37	1.25	78.264
DB-06	7.52	7.65	7.45	7.57	1.22	1.11	1.38	1.16	79.412
DC-01	7.86	7.84	7.56	7.62	1.25	1.12	1.16	1.06	79.723
DC-02	7.53	7.62	7.71	7.67	1.09	1.12	1.07	1.04	72.289
DC-03	7.85	7.90	7.32	7.21	1.10	1.11	1.09	1.02	70.543
DC-04	7.26	7.50	7.64	7.61	1.14	1.16	1.03	1.02	71.750
DC-05	7.49	7.50	7.78	7.68	1.06	1.06	1.17	1.18	75.676
DC-05	7.42	7.51	7.67	7.89	1.11	1.10	1.06	1.06	72.496

El procedimiento continuó con el cálculo de la densidad absoluta, con la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde: ρ = la densidad; m =masa; V = Volumen de la sustancia

En la Tabla 4.2 se muestra el promedió las medidas de las probetas y el resultado de las densidades individuales de los especímenes ensayados, según su grupo y aplicando la Ecuación 7, además de calcular el promedio de los resultados obtenidos.

Tabla 4.2 Densidad absoluta de especímenes.

Fuente: Elaboración propia

Espécimen	Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Peso (grs)	volumen	Densidad Absoluta
DA-01	7.39	7.39	1.24	90.969	67.53	1.35
DA-02	7.47	7.55	1.16	85.686	68.57	1.25
DA-03	7.47	7.59	1.28	84.365	66.99	1.26
DA-04	7.84	7.54	1.15	91.385	67.92	1.35
DA-05	7.41	7.54	1.26	80.711	67.33	1.20
DA-06	7.47	7.54	1.22	79.538	66.84	1.19
DB-01	7.59	7.46	1.40	78.812	81.91	0.96
DB-02	7.85	7.40	1.18	80.323	72.88	1.10
DB-03	7.49	7.39	1.50	79.734	74.02	1.08
DB-04	7.71	7.59	1.26	77.804	79.61	0.98
DB-05	7.51	7.44	1.16	78.264	71.62	1.09
DB-06	7.52	7.45	1.22	79.412	69.35	1.15
DC-01	7.86	7.56	1.25	79.723	68.37	1.17
DC-02	7.53	7.71	1.09	72.289	62.91	1.15
DC-03	7.85	7.32	1.10	70.543	61.79	1.14
DC-04	7.26	7.64	1.14	71.750	61.20	1.17

DC-05	7.49	7.78	1.06	75.676	64.74	1.17
DC-05	7.42	7.67	1.11	72.496	62.87	1.15

En la gráfica de la Figura 4.1 se muestra una comparación entre los valores de densidad resultantes de los tres grupos, de acuerdo al número de especímenes de ensayo, la densidad permanece en un rango de entre 1.0 gr/cm³ y 1.40 gr/cm³.

Según la norma de referencia usada, es importante realizar un promedio de cada grupo, se obtiene para el **grupo A: 1.25 grs/cm³**, **grupo B con 1.18 grs/cm³** y el **grupo C con 1.14 grs/cm³**, presenta la menor densidad, el valor resultante habría se convierte a kg/m³, resultando en una densidad **1,140 kg/m³**, el mismo puede considerarse de densidad **ACEPTABLE**, cuando se compara con un otro material del mercado compuesto de resina poliéster y fibra de vidrio que supera los **1600 kg/m³**.

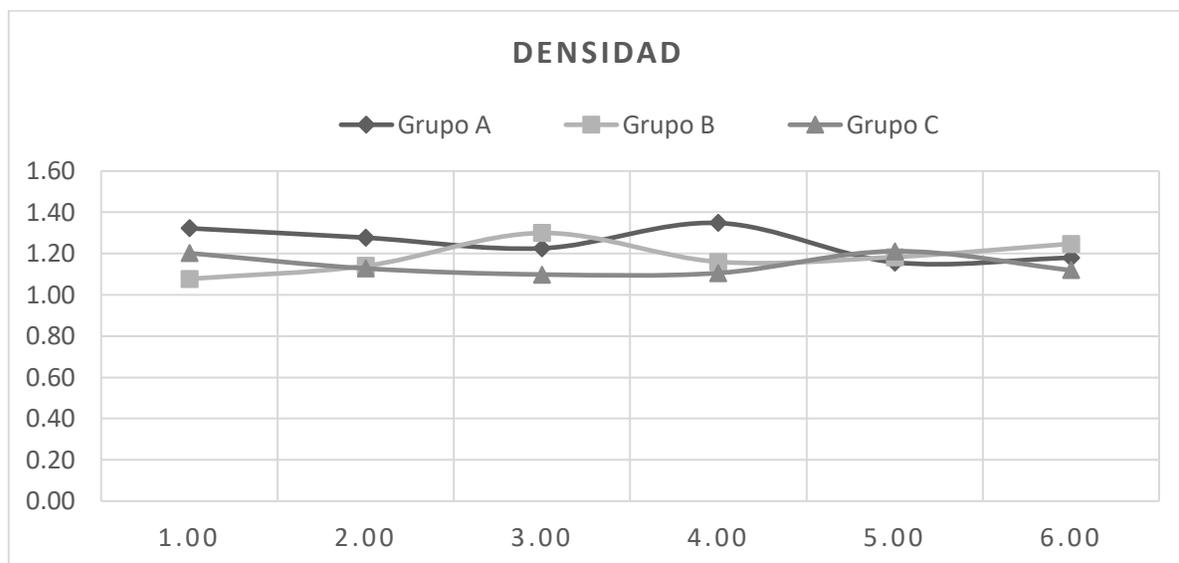


Figura 4.1 Grafica comparativa de densidad

Fuente: Propio

4.1.2 Absorción

En el estudio sobre la absorción, según la norma de referencia ASTM C272, es necesario reportar principalmente el aumento porcentual de peso que se obtiene por medio de la *Ecuación 8*, así como la descripción del material, las condiciones de la muestra antes y después, así como sus dimensiones y peso, además de los valores estadísticos de promedio, desviación estándar, todos estos datos se pueden observar en la Tabla 4.3. y 4.4.

Tabla 4.3 Peso húmedo ambiente y peso seco de horno, especímenes de absorción

Fuente: Propio

Espécimen	Peso ambiente (grs)	Peso seco horno (grs)	Dif.	Espécimen	Peso ambiente (grs)	Peso seco horno (grs)	Dif.
AA-01	90.969	90.754	0.215	AC-01	79.723	79.543	0.180
AA-02	85.686	85.382	0.304	AC-02	72.289	72.125	0.164
AA-03	84.365	84.189	0.176	AC-03	70.543	70.394	0.149
AA-04	91.385	90.972	0.413	AC-04	71.75	71.551	0.199
AA-05	80.711	80.581	0.130	AC-05	75.676	75.514	0.162
AA-06	79.538	79.360	0.178	AC-06	72.496	72.357	0.139
AB-01	78.812	78.700	0.112				
AB-02	80.323	80.191	0.132				
AB-03	79.734	79.564	0.170				
AB-04	77.804	77.675	0.129				
AB-05	78.264	78.111	0.153				
AB-06	79.412	79.241	0.171				

$$\text{Incremento en pes, \%} = \frac{W-D}{D} \times 100 \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde: W= Peso mojado D= Peso seco

Tabla 4.4 Resultados de pruebas de absorción

Fuente: propio

GRUPO A	PESO				Incremento
MUESTRA	NATURAL	HORNO	ABSORBIDO		de peso (%)
AA-01	90.969	90.754	91.243	0.489	0.54
AA-02	85.686	85.382	86.014	0.632	0.74
AA-03	84.365	84.189	84.747	0.558	0.66
AA-04	91.385	90.972	91.728	0.756	0.83
AA-05	80.711	80.581	80.881	0.300	0.37
AA-06	79.538	79.360	79.898	0.538	0.68
				0.55	0.64
GRUPO B	PESO				Incremento
MUESTRA	NATURAL	HORNO	ABSORBIDO		de peso (%)
AB-01	78.812	78.700	78.91	0.21	0.27
AB-02	80.323	80.191	80.448	0.257	0.32
AB-03	79.734	79.564	79.86	0.296	0.37
AB-04	77.804	77.675	77.93	0.255	0.33
AB-05	78.264	78.111	78.41	0.299	0.38
AB-06	79.412	79.241	79.429	0.188	0.24
				0.25	0.32
GRUPO C	PESO				Incremento
MUESTRA	NATURAL	HORNO	ABSORBIDO		de peso (%)
AC-01	79.723	79.543	79.960	0.417	0.52
AC-02	72.289	72.125	72.495	0.37	0.51
AC-03	70.543	70.394	70.795	0.401	0.57
AC-04	71.75	71.551	71.975	0.424	0.59
AC-05	75.676	75.514	75.825	0.311	0.41
AC-06	72.496	72.357	72.641	0.284	0.39
				0.37	0.50

Se tiene un promedio de Incremento de peso (%)

- Grupo A: 0.64%
- Grupo B: 0.32%
- Grupo C: 0.50%

Se puede observar en la Tabla 4.4 que las probetas pertenecientes al **Grupo B** son las que presentan menor absorción en un promedio de incremento de peso de solo **0.32%**.

Lo que representa ser un material de casi nula absorción de agua, a diferencia del panel de yeso de absorción de más del 50% en su peso (Gomez Pacheco, 2014).

La grafica de la Figura 4.2 muestra el comportamiento de las muestras ensayadas y la relación que tuvieron entre ellas. La media y las medidas de dispersión son requerimientos que la norma de referencia ASTM C272 sugiere deban ser mostrados en el reporte de las pruebas realizadas.

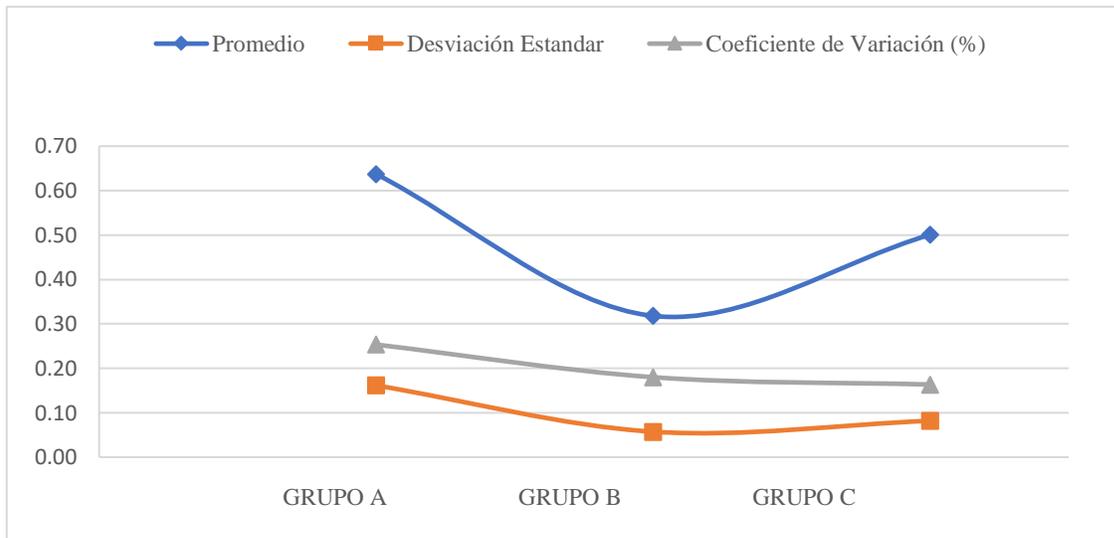


Figura 4.2 Resultados de la prueba de absorción

Fuente: Propia

Esta prueba permitió comprender el comportamiento del compósito ante el contacto prolongado con el agua, dejando manchas blancas superficialmente, como se puede observar en la **Figura 4.3**, este comportamiento es de consideración cuando se trate de alguna aplicación que considere partir de la cuestión estética del material.

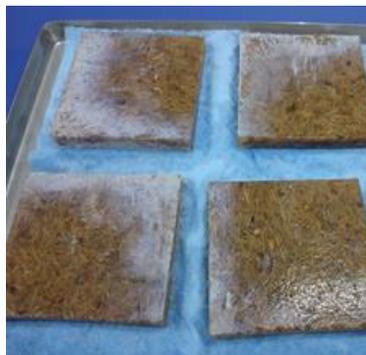


Figura 4.3 Comportamiento superficial en contacto prolongado con el agua
[58]

4.1.3 Flamabilidad

Se determinó la flamabilidad a través de la tasa de combustión. Se registró el tiempo en que se consumió la barra hasta llegar a los 100 mm. Se calculó mediante la **fórmula 4.3** y en la tabla **4.5** se muestra el comportamiento del quemado.

$$V = 60L/t \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde: L= Longitud quemada en mm t= tiempo en seg

Tabla 4.5 Registro de dimensiones y tiempo de quemado

Fuente: Propio

GRUPO A	DIMENSIONES			QUEMADO		Tasa de Combustión Lineal	
	LARGO	ANCHO	ESPEJOR	DISTANCIA (mm)	TIEMPO (seg)		
FA-01	12.51	1.44	1.42	75	236	19.07	mm/min
FA-02	12.5	1.39	1.38	75	244	18.44	mm/min
FA-03	12.52	1.39	1.41	75	299	15.05	mm/min
FA-04	12.56	1.36	1.41	75	336	13.39	mm/min
FA-05	12.51	1.32	1.4	75	261	17.24	mm/min
FA-06	12.51	1.38	1.36	75	287	15.68	mm/min
FA-07	12.49	1.45	1.41	75	225	20.00	mm/min
FA-08	12.52	1.33	1.3	75	271	16.61	mm/min
FA-09	12.53	1.27	1.33	75	275	16.36	mm/min
FA-10	12.48	1.41	1.37	75	295	15.25	mm/min
					Promedio	15.18	
GRUPO B	DIMENSIONES			QUEMADO		Tasa de Combustión Lineal	
	LARGO	ANCHO	ESPEJOR	DISTANCIA (mm)	TIEMPO (seg)		
FB-01	12.49	12.36	1.28	75	227	19.82	mm/min
FB-02	12.45	1.37	1.33	75	295	15.25	mm/min
FB-03	12.51	1.41	1.31	75	202	22.28	mm/min
FB-04	12.48	1.45	1.31	75	215	20.93	mm/min
FB-05	12.53	1.57	1.34	75	260	17.31	mm/min
FB-06	12.51	1.4	1.31	75	249	18.07	mm/min
FB-07	12.45	1.52	1.3	75	272	16.54	mm/min
FB-08	12.45	1.5	1.33	75	228	19.74	mm/min
FB-09	12.46	1.39	1.26	75	288	15.63	mm/min
FB-10	12.48	1.41	1.27	75	236	19.07	mm/min

					Promedio	16.56	
GRUPO C	DIMENSIONES			QUEMADO		Tasa de	
	LARGO	ANCHO	ESPESOR	DISTANCIA (mm)	TIEMPO (seg)	Combustión Lineal	
FC-01	12.46	1.45	1.42	75	272	16.54	mm/min
FC-02	12.51	1.45	1.44	75	229	19.65	mm/min
FC-03	12.54	1.31	1.4	75	212	21.23	mm/min
FC-04	12.51	1.48	1.44	75	234	19.23	mm/min
FC-05	12.45	1.4	1.41	75	254	17.72	mm/min
FC-06	12.52	1.41	1.37	75	195	23.08	mm/min
FC-07	12.55	1.5	1.4	75	216	20.83	mm/min
FC-08	12.53	1.51	1.39	75	203	22.17	mm/min
FC-09	12.48	1.52	1.38	75	208	21.63	mm/min
FC-10	12.51	1.35	1.41	75	207	21.74	mm/min
					Promedio	20.38	

Las probetas del **Grupo C** presentaron la más alta tasa de combustión con 20.38 mm/min en promedio y los valores de 15.18 mm/min y 16.56 mm/min, para el grupo A y B respectivamente, el comportamiento de cada probeta se puede observar en el **Figura 4.4** Se logra observar que el material es de alta flamabilidad en todas sus proporciones, pero cuando se tiene alto contenido de fibra se aumenta la rapidez de quemado, logrando identificar que la cantidad de material vegetal, si influye de forma directa en el comportamiento de la tasa de quemado, es importante mencionar que aunque este material no se derrite, al ser termoestable, es consumido por alta flama y desechado en forma de gas y con residuos de ceniza.

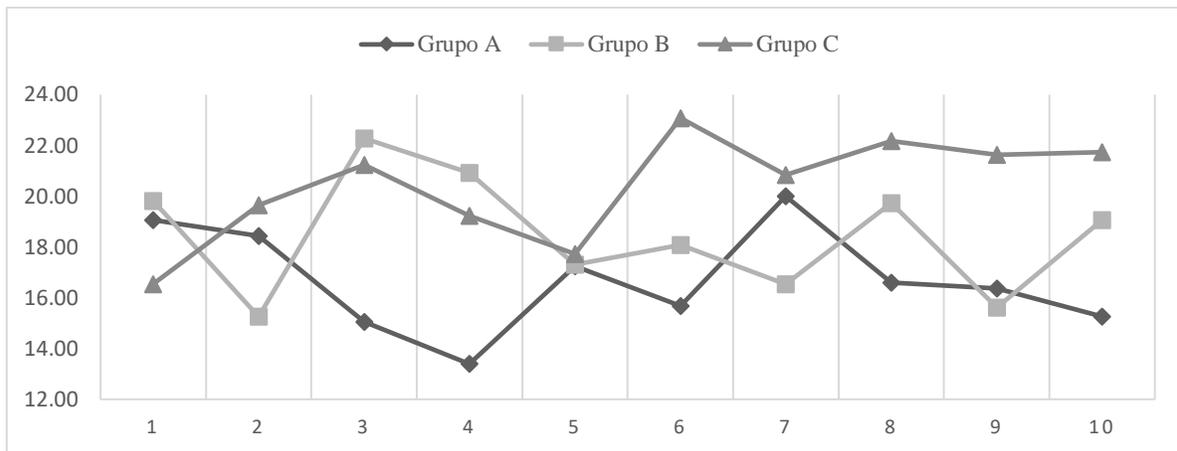


Figura 4.4 Comparativa de la tasa de inflamabilidad

Fuente: Propia

4.2 Propiedades térmicas

4.2.1 Conductividad Térmica

En esta prueba se hicieron 6 pares de especímenes, en la **Tabla 4.6** se observa el resumen de los resultados con el promedio de las dimensiones, valor de conductividad térmica. En el apartado **ANEXOS** se podrá observar un ejemplo de las lecturas diarias según voltaje.

Tabla 4.6 Promedio de Pruebas de Conductividad

Fuente. Propio

PROBETA	DIMENSIONES (METROS)				CONDUCTIVIDAD TÉRMICA k=(W/m°C)
	LARGO	ANCHO	ESPESOR	PESO (GRS)	
CA-01	0.1518	0.1265	0.0123	271	0.2912
CA-02	0.1516	0.1257	0.0125	275	
CA-03	0.1512	0.126	0.0128	287	
CA-04	0.1509	0.1251	0.0129	292	
CB-01	0.1518	0.1255	0.0139	307	0.2820
CB-02	0.1533	0.1273	0.0142	318	
CB-03	0.152	0.126	0.0117	287	
CB-04	0.1512	0.126	0.0116	284	
CC-01	0.1516	0.1255	0.0131	287	0.2521
CC-02	0.1516	0.1263	0.0127	276	
CC-03	0.1513	0.126	0.0131	288	
CC-04	0.1522	0.1267	0.0124	275	

La comparativa de los valores de coeficiente de conductividad térmica resultantes, se han promediado, en este mismo sentido se logra observar que la relación del Grupo C es el que tiene una menor conductividad respecto al resto, con un valor de $k=0.2521 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$.

Se logra determinar que este material no cuenta con características para poder ser considerado aislante térmico pues su valor es superior a $0.08 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, el cual es valor máximo de los aislantes térmicos. Lo que si se logra comprobar es que la fibra logra aportar al compósito sus propiedades de aislamiento.

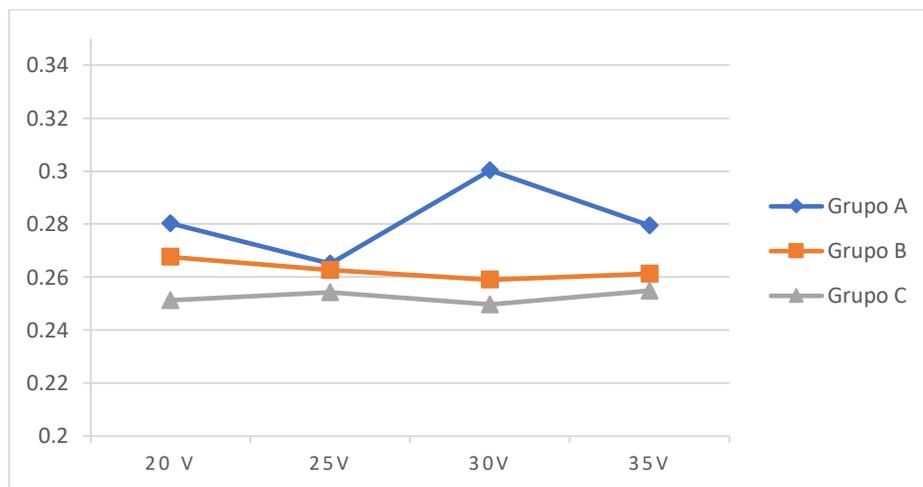


Figura 4.5 Comportamiento de la conductividad según voltaje

Fuente: Propio

En la gráfica de la Figura 4.5 se observa el comportamiento de los especímenes conforme a las pruebas hechas en conductímetro, con diferentes voltajes. El grupo C mostró una transferencia de calor casi continua en todos los voltajes en un rango de 0.249 y 0.254 con una mínima variación de 0.005 en su valor k. Mientras que el comportamiento de las proporciones media e inferior, tuvieron una variación de 0.0413, en un rango de 0.259-0.300 valor k.

5.1 PROPUESTA DE APLICACIÓN

Limitados por los resultados de las pruebas físicas, se define que estamos frente a un material de casi nula absorción de agua y de buenas características estéticas, se puede recomendar su aplicación en la construcción, en interiores en forma de placas, como revestimientos o muros divisorios simples.

Aunque no se podría garantizar su comportamiento mecánico, se puede usar como marco de referencia la norma **ASTM C 208**, sobre la especificación estándar para tablero aislante de fibra celulósica, los materiales compuestos que se basan en este tipo de materiales son del tipo de aislante de fibras celulósicas, usualmente derivadas de papel, cartón, o madera con o sin aglutinantes para su unión. Estos términos que la norma relaciona, llegan a poder compartir el sentido del compósito estudiado y que se compone de fibras y aglutinante polimérico.

La norma ASTM C 208 establece que un tablero aislante de este tipo de fibras es un panel de textura fibrosa, homogéneo, hecho de fibras lignocelulósicas (por lo general madera). Estableciendo características y **condicionantes generales** que se enlistan a continuación:

- a. Esta limitado por tener una unión integral, producida por el entrelazamiento de las fibras.
- b. No consolidado bajo calor y presión en una etapa separada en la fabricación.
- c. Pueden agregarse otro tipo de materiales durante el proceso para mejorar algunas de sus propiedades, como su dureza, resistencia al agua, estética y resistencia al fuego.
- d. Se pueden agregar otros materiales para mejorar su dureza y resistencia al agua.
- e. Los tableros deben ser manufacturados de fibras refinadas por procesos de entrelazado o moldeado en paneles homogéneos.

Tomando consideración de lo estandarizado se podrá definir un uso indicado y aunque aún no se tendría completas las características, poder conocer el comportamiento mecánico al que tiene que estar orientado, para poder ser considerado en futuros estudios al mismo material.

PROPUESTA

Existen 6 tipos de paneles aislantes en los comprendidos, para este proyecto se considera tomar referencia del Tipo III- **Tableros y paneles para cielo raso**; Grado 1. No acústico, **para uso como muros decorativos o recubrimiento de cielo raso**. Y el tipo IV - **Recubrimiento en muros**; Grado I. Regular- **Para uso como recubrimiento de muros en construcciones de marcos**.

Las propiedades físicas deseables según la norma ASTM, en tableros aislantes se muestran en la Tabla 4.7

Tabla 4.7 Propuestas: Tableros aislantes, ASTM

Fuente: ASTM C 208

Requerimientos físicos	Tablero para cubierta Grado I	Aislamiento de muro Grado I	Compósito Grupo C	Cumple el rango
Para espesor (in)	½"	½"	½"	Si
Densidad kg/m ³	497-160	497-160	1140	No
Conductividad (k) Max	0.38	0.40	0.25	Si
Resistencia Transversal, min, lbf	7	14	Sin datos	-
Resistencia a la tensión paralela, min, lbf/in ²	50	150	Sin datos	-
Resistencia a la tensión perpendicular, lbf/in ²	500	600	Sin datos	-
Absorción de agua por volumen Max, %	10	7	0.32	Si
Expansión linear, 50-90% HR, Max, %	0.5	0.5	Sin datos	-
Módulo de ruptura, min., lbf/in ² (kPa)	141	275	Sin datos	-
Contenido de humedad por peso, max., %	10	10	Sin datos	-

Se puede determinar que el compuesto *cocos nucifera* del Grupo C, está en el rango de las características de conductividad, espesor y absorción, mencionadas en la ASTM C 208, aunque no cumple con la densidad deseada, no podemos descartar su potencial aplicación propuesta, ya que los valores mecánicos aún no se han puesto en estudio y el único dato que se deberá tener en consideración es la reducción de su densidad en un 50% del valor obtenido.

Por consiguiente, si es bueno mencionar que para llegar a la densidad deseada se necesita de una nueva relación de proporciones en las mezclas, esto no demerita que el presente estudio pues viene a ser un buen precedente que sirva de punto de inicio para estudio del mismo tipo de compuesto, pero con diferentes valores de relación.

CAPITULO V. CONCLUSIONES

5.2 CONCLUSIONES

El proyecto comprueba la hipótesis en donde mayor fibra en el compuesto se mejoran las propiedades térmicas, en cuanto a conductividad. Si bien no se obtiene un material 100% sustentable al menos se ha logrado disminuir el impacto en modo sustancial, sustituyendo materiales sintéticos por los de origen vegetal, esto mismo abre las posibilidades para seguir aprovechando este tipo de recursos para ser aplicados en el sector de la construcción.

Se considera que el Grupo C, donde la relación fibra-resina es de 50-50 v/v, es la que comprueba de forma sustancial la anterior conclusión.

Tanto la amplia gama de fibras vegetales, como la fibra de cocos nucifera están constituidas como materiales versátiles en sus posibles aplicaciones, reciclable, bajo costo y baja conductividad térmica, como bien lo ha documentado la comunidad científica y que de igual manera en el presente proyecto se logra comprobar parte de sus beneficios.

El método de extracción denominado retting, fue satisfactorio, sin embargo, es importante señalar las dificultades en el tiempo de extracción y el uso excesivo de agua para su limpieza, hay que considerar que se puede intensificar la dificultad dependiendo de la edad de corte y madurez de la copra.

El tratamiento alcalino por medio de NaOH, es un método de fácil realización, siendo solo necesario de las correctas medidas de seguridad para su trabajabilidad, este procedimiento considera mejorar la adherencia entre fibra-matriz y por consiguiente era necesario comprobarla por medio de prueba, pero no pudo ser posible por falta de equipo disponible para la realización de la prueba. Se consideró viable los datos comprobados que la literatura entrega, sobre la concentración correcta de la solución y lograr la buena compatibilidad.

El método de moldeo manual y la accesibilidad de los materiales, referente a su costo y facilidad de uso de los componentes, permite que el compósito pueda ser fabricado por cualquier persona únicamente con la seguridad y conocimientos básicos, aunado a que se puede usar el método de extracción manual para obtener la fibra vegetal.

El material está condicionado por su comportamiento ante el fuego en flama directa, demostrado por la prueba de flamabilidad.

La aplicación que se propone está condicionada por los únicos resultados obtenidos, visuales y físicos (absorción y densidad), por lo cual no se puede garantizar estabilidad ante cuestiones mecánicas u otro tipo de situaciones no consideradas en el estudio. Para que pueda cumplir con lo deseado en la norma ASTM es necesario un estudio de su comportamiento mecánico y una variación en las proporciones de sus componentes para poder alcanzar la densidad deseable.

No se puede llegar a considerar esta innovación de compósito, como un aislante térmico, pero si abre una puerta para tomar en cuenta una posibilidad de que los materiales cien por ciento sintéticos sean de menor impacto ambiental si pueden ser sustituidos en parte, por elementos naturales. Los valores de conductividad térmica se consideran aceptables, en comparación con otros materiales sólidos que se usan en la envolvente de la edificación, como el concreto y morteros, lo cual podría significar un punto a favor del compósito en sus otras posibles aplicaciones.

RECOMENDACIONES

La resina poliéster es un material totalmente sintético, lo que hace necesario encontrar otras alternativas como lo serían resinas naturales o la obtención de polímeros biodegradables a partir de almidón, celulosa, lignina o bacterias.

Es necesario poder comprobar la adherencia que existe en fibras tratadas al 2% de solución NaOH, ya sea aplicando el método de prueba *pull-out* o de impacto *charpy*. Ambos materiales podrían ser observado en barrido MEB y así determinar visualmente la adherencia existente.

Con respecto a la flamabilidad se recomienda un estudio donde pueda ser usado otro tipo de resina o aglutinante como matriz, el cual tenga características de flamabilidad mínima.

Se considera que antes de poder aplicar algún uso en la construcción, se puede conocer las propiedades mecánicas (compresión, flexión), así como su trabajabilidad en la perforación, atornillado, corte y montaje, pues esto abriría más posibilidades en la aplicación del compuesto, como lo serían muros exteriores, pisos y superficies, incluso mueblería.

Si se llegase a considerar su uso en exteriores es importante que el material pueda estar respaldado por un monitoreo durante un periodo considerable de tiempo y dependiendo de su comportamiento comprobar o recomendar nuevas aplicaciones.

BIBLIOGRAFIAS

1. ASTM, A. S. f. T. a. M., 2013. "*C 177- Standard Test Method for steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus*". s.l.:s.n.
2. ASTM, A. S. f. T. a. M., 2014. "*D 635- Standard Test Method for Rate of Burning and/or Extent and Time of Burning of Plastics in a Horizontal Position*". s.l.:s.n.
3. ASTM, A. S. f. T. a. M., 2016. "*C 271-Standard Test Method for Density of Sandwich Core Material*". s.l.:s.n.
4. ASTM, A. S. f. T. a. M., 2016. "*C 272 – Standard Test Method for Water Absorption of Core Materials for Sandwich Constructions*". s.l.:s.n.
5. Belen, P. y otros, 2013. "*Degradación térmica de fibras de coco con tratamiento químico provenientes de mezclas de concreto (estudio cinético)*". Valencia, Venezuela : Universidad de Carabobo.
6. Beltran Rico, M. & Marcilla Gomis, A., 2012. *Tecnología de polímeros: Procesado y propiedades*. 1ra Edición ed. Alicante, España: Publicaciones Universidad de Alicante.
7. Benjakul, S. & Patil, U., 2018. *Coconut Milk and Coconut Oil: Their Manufacture Associated with Protein Functionality*. Tailandia: Journal of food Science.
8. Caldera Briseño, C. A., Miramoentes de León, D., Hernandez Guerrero, A. & Trujillo Barragan, M., 2012. *CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE MATRIZ POLIMÉRICA CON FIBRA DE IXTLE*. Zacatecas: MEMORIAS DEL XVIII CONGRESO INTERNACIONAL ANUAL DE LA SOMIM.
9. Calderon Freire, E. F., 2016. *Comparativa del módulo de elasticidad de materiales biocomposites entre el ensayo dinámico y estático*. Valencia: Universitat Politècnica de València.

10. Chavez Hernandez, P. E. & Lopez Sanchez , M. V., 2008. *Evaluación de propiedades físicas y mecánicas de aislantes térmicos fabricados con polvo de la estopa de coco*. San Salvador: Universiada del Salvador Centro America.
11. CMIC, 2018. Ciudad de Mexico: Centro de Estudios Económicos del Sector de la Construcción.
12. Conde rito, S., 2010. *"Estudio de la fibra de coco con resina poliéster para la manufactura de palas de aerogeneradores de pequeña potencia"*. Santo Domingo Tehuantepec: Universidad del Istmo.
13. Cristaldi, G., Latteri, A., Recca, G. & Cicala , G., 2010. *Composites based on natural fibre fabrics*. Catania, Italia: University Cristaldia.
14. da Silva, E. J. y otros, 2015. Degradação da fibra de coco imersa em soluções alcalinas de cimento e NaOH. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Vol. 19(No. 10), p. p.981–988.
15. EITC, 2007. *Materiales II*. s.l.: Escuela de Ingeniería Técnica Civil. Arquitectura Técnica..
16. Escudero Siosi, . A. J. & Aristizabal Restrepo, J. C., 2016. *Caracterización mecánica de fibras de coco como refuerzo de materiales compuestos poliméricos*. Bogota: Universidad Libre de Colombia.
17. Fernandez Perez, M., 2010. *EVALUACION DE SUSTRATOS DE FIBRA DE MADERA DE PINO FRENTE A SUSTRATOS CONVENCIONALES EN CULTIVO DE TOMATE*. Pamplona: Nafarroako Unibersitate Publikoa.
18. Ghoreishi Karimi, K., 2011. *Ecomateriales y Construcción: Gestión de las Industrias*. Madrid: Escuela de Organización Industrial.
19. Gil, A., 2012. *Guia de manejo "Resinas Poliester"*. Medellin : Universidad EAFIT.
20. Gomez P. , J. S., 2009. *Diseño de un material compuesto de con fibra natura para sustituir la utilización de fibra de vidrio*. Medellin: Universidad EAFIT.

21. Graciani García, A., 26-28. *Actas del Tercer Congreso Nacional de Historia de la Construcción*. Sevilla(Granada): CEHOPU.
22. Guemez Pacheco, D. B., 2014. "*Estudio preliminar para plan de negocios y pruebas físico térmicas a panel fabricado con envases multicapa reciclado*". s.l.: Tesis de Grado, Maestría en Construcción. Instituto Tecnológico de Chetumal.
23. Guemez Pacheco, D. B., 2014. *ESTUDIO PRELIMINAR PARA PLAN DE NEGOCIOS Y PRUEBAS FÍSICO TÉRMICAS A PANEL FABRICADO CON ENVASES MULTICAPA RECICLADO..* Chetumal: Instituto Tecnológico de Chetumal.
24. Hernandez, M. S., 2007. "*Emision de contaminantes de materiales de construcción en el interior de los edificios. Caso de los tableros de yeso*". Toluca, México: Universidad Autonoma del Estado de Mexico. .
25. Kabir, M. M., Wang, H., Lau, A. K. T. & Cardona, F., 2012. Chemical treatments on plant-based natural fibre reinforced polymer composites: An overview. *Elsevier: Composites Part B: Engineering*, 43(7), pp. 2883-2892.
26. Kalustian , H. D., 2016. *Desarrollo de un modelo de incertidumbre para la determinación de la densidad de materiales poliméricos, según el estándar internacional ASTM D792*. Santo Domingo, República Dominicana: Instituto Tecnológico de Santo Domingo (INTEC).
27. Krishpersad et al, M. D. R. G. K. S. H., 2010. "*Biodegradable Fibrous Thermal Insulation*". Trinidad, West Indies: Dept. of Mechanical and Manufacturing The University of the West Indies.
28. Luz, T., 2013. *Natureza das resinas poliéster*. Lima: Universidad Federal de Santa Maria.
29. Mercader , M., Ramirez d. Arellano, A. & Olivares, M., 2012. *Informes de la Construcción*. Sevilla, España: s.n.

30. Mercedes, L., Gil, I. & Bernat, E., 2018. *Comportamiento mecánico de compuestos de matriz cementicia y tejidos de fibras vegetales*. Valencia: UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA.
31. Miravete, A., 2002. *"Los nuevos materiales en la construcción"*. España: Reverté, S.A. .
32. Molinar Higuera, S., Jordan Hernandez, R. & Munive, G. T., Mayo, 2010. *"Evaluación Térmica de un Material Natural Atípico para uso como aislante termico en construcciones civiles"*. Sonora, México : s.n.
33. Morton, J. D., 1993. *Procesamiento de Plásticos*. Mexico: Limusa Noriega Editores.
34. Olivares Santiago, M., Galan Marin, C. & Roa Fernandez, J., 2003. Los composites: Características y aplicaciones en la edificación. *Informes de Construcción Vol.54 No. 484*, pp. 45-64.
35. Páez Moscoso, J. C., 2007. *Obtención de compuestos de polipropileno reforzado con fibra de abacá mediante moldeo por compresión. Trabajo de grado de Ingeniero Mecánico..* Quito: Escuela Politécnica Nacional. Escuela de Ingeniería.
36. Parra Paez, D. A. & Sanchez Zarate, M. A., 2012. *DESARROLLO MATERIAL POLIMÉRICO REFORZADO CON FIBRAS NATURALES*. Bogota, Colombia: Universidad EAN.
37. Peñaloza Nieblas, J. A., 2015. *Elaboración de materiales compuestos a base de fibras orgánicas con posibles aplicaciones aeronáuticas*. Guanajuato: Instituto Politecnico Nacional.
38. Pinilla, A. M. & Veloza, L. T., 2010. *FIBRAS NATURALES Y BIOCOSMOSITES*. Tunja: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Facultad de Ciencias Básicas .
39. Rodríguez Godínez, J. P., 2005. *"Diseño y caracterización del material compuesto por polietileno de alta densidad y fibra de coco"*. Coquimatlan(Colima): Universidad de Colima. Fac. de Arquitectura y Diseño.

40. Rwawiire, S. y otros, 2015. Development of a biocomposite based on green epoxy polymer and natural cellulose fabric (bark cloth) for automotive instrument panel applications. *Composites Part B-Engineering*, Volumen 81, pp. 149-157.
41. Soumitra Biswas, G. y. S. S. N., 2012. "*Development of Natural Fibre Composites in India*". Bangalore: Symposium on the Global Natural Fibres Forum (GNFF),.
42. Suppen Reynaga, N., Arista Gonzalez, G. J. & Aguillon Robles, J., 2011. "*Analisis de ciclo de vida y ecodiseño para la construcción en mexico*". San Luis Potosí : Aniversidad Autonoma de San Luis Potosí.
43. Trejos T., J. D., 2014. "*Propiedades mecánicas de una matriz de poliéster reforzada con fibra de coco comparadas con la misma matriz reforzada con fibra de vidrio*". Pereira: Universidad Tecnologica de Pereira. Facultad de ingenieria mecanica.
44. Vargas Robles, L. A., 2007. *USO DE FIBRAS DE PAPEL PERIÓDICO, CAL HIDRATADA Y ALUMBRE, EN LA ELABORACIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO*. Coquimatlan, Colima: Universidad de Colima- Facultad de Aquitectura y Diseño.
45. Vargas Tapia, P. y otros, 2008. *CARACTERIZACIÓN FÍSICA, QUÍMICA Y BIOLÓGICA DE SUSTRATOS DE POLVO DE COCO*. Estado de Mexico : Fitotec.
46. Zapata Flores, J. C., 2017. *Desarrollo y Evaluación Mecánica de un compósito de Resina Epoxi Reforzada con Fibra de Coco*. Ciudad de Mexico : Universidad Autónoma de México. Facultad de Ingenieria .
47. Zarate Altamirano, G., 2008. *CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN AGRONOMICA DE MATERIALES ORGANICOS POTENCIALES PARA UTILIZARSE COMO SUSTRATO EN CULTIVOS SIN SUELO DE MELON*. Oxaca: Instituto Politectono Nacional .

ANEXOS

Anexo A1. Tabla de datos sobre lectura de probetas de conductividad

CLAVE	DIMENSIONES (metros)				PESO (grs)	TEMPERATURAS				CALOR			DIFEREN		COEF k
	L	A	AREA	ESP		T1	T2	T3	T4	A	V	POT	ΔT1	ΔT2	
CA-01	0.159	0.127	0.0196	0.0123	271	32.575	35.850	36.425	32.075	0.16	20.60	3.296	3.275	4.350	0.2741
						33.075	38.125	39.125	32.375	0.19	25.40	4.826	5.050	6.750	0.2594
CA-02	0.152	0.126		0.0125	275	36.925	43.975	45.250	35.950	0.25	30.30	7.575	7.050	9.300	0.2938
						39.225	48.850	50.475	38.000	0.27	35.30	9.531	9.625	12.475	0.2735
CA-03	0.151	0.126	0.0190	0.0128	287	34.325	37.450	38.000	33.650	0.15	20.31	3.0465	3.125	4.350	0.2762
						35.150	39.925	40.725	34.175	0.19	25.25	4.7975	4.775	6.550	0.2870
CA-04	0.151	0.125		0.0129	292	38.175	44.850	46.150	36.875	0.25	30.30	7.575	6.675	9.275	0.3218
						40.950	50.075	51.700	39.350	0.31	35.14	10.8934	9.125	12.350	0.3437
															0.2912
CLAVE	DIMENSIONES (metros)				PESO (grs)	TEMPERATURAS				CALOR			DIFEREN		COEF k
	L	A	AREA	ESP		T1	T2	T3	T4	A	V	POT	ΔT1	ΔT2	
CB-01	0.152	0.126	0.0193	0.0139	307	33.675	38.075	38.050	33.475	0.16	20.60	3.296	4.400	4.575	0.2673
						33.350	40.250	40.150	32.950	0.20	25.43	5.086	6.900	7.200	0.2625
CB-02	0.153	0.127		0.0142	318	36.350	45.925	45.700	35.725	0.23	30.23	6.9529	9.575	9.975	0.2588
						38.650	51.600	51.250	37.700	0.27	35.20	9.504	12.950	13.550	0.2610
CB-03	0.152	0.126	0.0190	0.0117	287	32.925	37.425	37.625	33.225	0.18	20.27	3.6486	4.500	4.400	0.2510
						35.275	42.300	42.600	35.825	0.26	25.36	6.5936	7.025	6.775	0.2926
CB-04	0.151	0.126		0.0116	284	36.950	46.850	47.225	37.725	0.32	30.19	9.6608	9.900	9.500	0.3049
						38.725	52.250	52.775	39.825	0.44	35.13	15.4572	13.525	12.950	0.3575
															0.2820
CLAVE	DIMENSIONES (metros)				PESO (grs)	TEMPERATURAS				CALOR			DIFEREN		COEF k
	L	A	AREA	ESP		T1	T2	T3	T4	A	V	POT	ΔT1	ΔT2	
CC-01	0.152	0.126	0.0191	0.0131	287	31.100	34.975	35.425	31.150	0.15	20.17	3.0255	3.875	4.275	0.2509
						35.100	41.150	41.800	35.225	0.19	25.02	4.7538	6.050	6.575	0.2545
CC-02	0.152	0.126		0.0127	276	36.600	45.600	46.475	36.800	0.23	30.02	6.9046	9.000	9.675	0.2499
						35.425	47.625	48.775	35.775	0.27	35.20	9.504	12.200	13.000	0.2549
CC-03	0.151	0.126	0.0192	0.0131	288	33.200	37.325	35.425	31.150	0.15	20.50	3.075	4.125	4.275	0.2434
						34.025	40.125	40.575	33.525	0.21	25.10	5.271	6.100	7.050	0.2665
CC-04	0.152	0.127		0.0124	275	36.575	45.275	45.875	35.825	0.23	30.29	6.9667	8.700	10.050	0.2471
						40.275	52.100	52.825	39.250	0.27	35.30	9.531	11.825	13.575	0.2495
															0.2521

Anexo A2. Dimensiones de probetas de conductividad por Grupo

GRUPO A	LARGO	ANCHO	ESPEJOR	
CA-01	0.1516	0.1271	0.0117	PESO
	0.1517	0.1265	0.0123	271
	0.1521	0.1266	0.0128	AREA
	0.1520	0.1261	0.0124	0.0192
	0.1519	0.1266	0.0123	
CA-02	0.1518	0.1251	0.0128	PESO
	0.1518	0.1258	0.0124	275
	0.1519	0.1259	0.0122	AREA
	0.1511	0.1261	0.0128	0.0191
	0.1517	0.1257	0.0126	
CA-03	0.1508	0.1263	0.0128	PESO
	0.1510	0.1263	0.0123	287
	0.1517	0.1258	0.0131	AREA
	0.1513	0.1256	0.0131	0.0191
	0.1512	0.1260	0.0128	
CA-04	0.1518	0.1251	0.0128	PESO
	0.1512	0.1251	0.0132	292
	0.1506	0.1252	0.013	AREA
	0.1501	0.125	0.0129	0.0189
	0.1509	0.1251	0.0130	
GRUPO A	LARGO	ANCHO	ESPEJOR	
CB-01	0.1514	0.1249	0.0139	PESO
	0.1522	0.1259	0.0140	307
	0.1516	0.1256	0.0139	AREA
	0.1520	0.1258	0.0139	0.0191
	0.1518	0.1256	0.0139	
CB-02	0.153	0.1279	0.0142	PESO
	0.1536	0.1268	0.0142	318
	0.1532	0.1276	0.0142	AREA
	0.1536	0.1272	0.0142	0.0195
	0.1534	0.1274	0.0142	
CB-03	0.1520	0.1255	0.0121	PESO
	0.1518	0.1261	0.0115	287
	0.1522	0.1250	0.0116	AREA
	0.1520	0.1253	0.0115	0.0191
	0.1520	0.1255	0.0117	
CB-04	0.1509	0.1250	0.0112	PESO
	0.1512	0.1256	0.0120	284
	0.1500	0.1260	0.0115	AREA
	0.1525	0.1255	0.0118	0.0190
	0.1512	0.1255	0.0116	

GRUPO C	LARGO	ANCHO	ESPESOR	
CC-01	0.1508	0.1256	0.013	PESO
	0.1523	0.1254	0.0132	287
	0.1513	0.1256	0.0132	AREA
	0.1523	0.1255	0.013	0.0190
	0.1517	0.1255	0.0131	
CC-02	0.1513	0.1257	0.0122	PESO
	0.152	0.1266	0.0128	276
	0.1513	0.1262	0.0129	AREA
	0.1518	0.127	0.0129	0.0192
	0.1516	0.1264	0.0127	
CC-03	0.1509	0.1253	0.0131	PESO
	0.1514	0.1264	0.0131	288
	0.1516	0.1257	0.0132	AREA
	0.1513	0.1262	0.013	0.0190
	0.1513	0.1259	0.0131	
CC-04	0.1519	0.1262	0.0124	PESO
	0.1525	0.1273	0.0126	275
	0.1521	0.127	0.0123	AREA
	0.1525	0.1266	0.0124	0.0193
	0.1523	0.1268	0.0124	

Anexo A3. Lectura de conductímetro a 20 V Prueba Grupo C; CC1-CC2

Datos de los 16 canales del Termo Par SR630				
canal 1	canal 2	canal 3	canal 4	canal 5
Fecha y Hora de inicio de las mediciones 23/03/2018 12:26:41 a.m.				
26.7	27.9	28.3	26.8	26.7
27.2	29.9	30.3	27.5	26.6
28.3	31.1	31.6	28.6	26.5
29.1	32.2	32.6	29.3	26.9
29.6	32.9	33.4	29.8	26.9
30	33.4	33.9	30.1	27
30.2	33.8	34.3	30.3	27.1
30.3	34.1	34.6	30.5	27.1
30.5	34.3	34.8	30.7	27.3
30.7	34.5	35	30.8	27.4
30.7	34.7	35.2	30.8	26.4
30.4	34.6	35.1	30.6	26.2
30.2	34.4	34.8	30.3	26.7
30.2	34.3	34.7	30.4	27
30.4	34.3	34.8	30.5	26.9
30.5	34.4	34.9	30.6	26.7
30.5	34.4	34.9	30.6	27.1
30.7	34.6	35.1	30.8	27.2
30.8	34.7	35.1	30.9	27.4
31	34.8	35.3	31.1	27.6
31.1	35	35.4	31.1	27.6
31.2	35	35.5	31.2	27.6
31.1	35.1	35.5	31.2	27.6
31.2	35.1	35.6	31.3	27.8
31.3	35.2	35.6	31.3	27.7
31.4	35.3	35.8	31.5	27.9
31.4	35.4	35.8	31.5	27.8
31.5	35.5	35.9	31.6	28
31.7	35.5	36	31.7	28

Anexo A4. Lectura de conductímetro a 25 V Prueba Grupo C; CC1-CC2

Datos de los 16 canales del Termo Par SR630					
Fecha y Hora	canal 1	canal 2	canal 3	canal 4	canal 5
	09/04/2018 10:18				
10:18	30.5	31	31	30.6	30.1
10:33	31.5	34.5	35.3	31.8	30.1
10:48	32.7	36.9	37.5	33	30.2
11:03	33.6	38.4	39	34	30.3
11:18	34.2	39.4	40	34.4	30.4
11:33	34.6	40	40.7	34.7	30.4
11:48	34.9	40.5	41.1	35.1	30.4
12:03	35.1	40.9	41.5	35.3	30.2
12:18	34.9	41	41.7	35.2	30.1
12:33	35	41	41.7	35.2	30.2
12:48	35.1	41	41.6	35.2	30.3
13:03	35.2	41.2	41.8	35.3	30.1
13:18	35.1	41.2	41.8	35.2	30.1
13:33	35	41.1	41.8	35.2	30
13:48	35.1	41.1	41.8	35.2	30.2
14:03	35	41.1	41.8	35.2	30
14:18	35	41.1	41.8	35.2	30.1
14:33	35.1	41.1	41.8	35.2	30
14:48	35.1	41.1	41.8	35.2	30
15:03	35	41.1	41.8	35.2	30
15:18	35	41	41.7	35.1	30
15:33	35	41	41.7	35.1	30
15:48	35.2	41.1	41.7	35.3	30.2
16:03	35.4	41.3	41.9	35.6	30.2
16:18	35.3	41.3	42	35.4	30
16:33	35.3	41.4	42.1	35.5	30
16:48	35.2	41.4	42	35.4	30
17:03	35.1	41.2	41.9	35.3	30
17:18	35.1	41.2	41.9	35.2	30
17:33	35	41.1	41.8	35.1	29.9

Anexo A5. Lectura de conductímetro a 30 V Prueba Grupo C; CC1-CC2

Datos de los 16 canales del Termo Par SR630				
canal 1	canal 2	canal 3	canal 4	canal 5
Fecha y Hora de inicio de las mediciones			10:43 AM 10/04/2018	
29.3	30	30.4	29.5	28.9
30.9	35.3	36.2	31.2	29
32.6	38.6	39.5	32.8	29.1
33.8	40.8	41.5	34.1	29.3
34.7	42.1	43	34.9	29.3
35.3	43.1	44	35.5	29.4
35.6	43.7	44.6	35.8	29.4
36	44.2	45.1	36.2	29.5
36.2	44.6	45.5	36.4	29.5
36.5	44.9	45.8	36.6	29.6
36.4	45	45.9	36.6	29.5
36.7	45.2	46.1	36.8	29.6
36.8	45.3	46.2	36.9	29.6
36.8	45.5	46.3	37	29.7
36.9	45.5	46.3	37	29.5
37	45.6	46.5	37.2	29.7
37.1	45.7	46.5	37.2	29.6
36.7	45.7	46.6	36.9	29.5
36.6	45.6	46.5	36.8	29.4
36.6	45.6	46.4	36.8	29.3
36.5	45.5	46.4	36.7	29.4
36.5	45.4	46.3	36.7	29.4
36.5	45.4	46.3	36.8	29.5
36.6	45.5	46.4	36.7	29.3
36.2	45.3	46.3	36.4	29.1
35.9	45	45.9	36.1	29
35.7	44.7	45.6	35.9	28.9
35.4	44.5	45.4	35.7	28.7
35.3	44.3	45.2	35.5	28.7

Anexo A5. Lectura de conductímetro a 35 V Prueba Grupo C; CC1-CC2

Datos de los 16 canales del TermoPar SR630				
canal 1	canal 2	canal 3	canal 4	canal 5
Fecha y Hora de inicio de las mediciones 10:19 am 11/04/2018				
29.1	32.4	33.5	29.4	28.3
31.4	38.4	39.7	31.9	29
33.1	42.1	43.3	33.5	29.1
34	44.1	45.3	34.4	29.3
34.9	45.5	46.7	35.2	29.7
35.6	46.6	47.7	35.9	30
36	47.2	48.4	36.2	30.2
36.4	47.8	49	36.6	30.3
36.6	48.2	49.4	36.9	30.5
36.8	48.5	49.6	37.1	30.6
37	48.7	49.8	37.2	30.7
37	49	50.2	37.3	30.3
36.8	49	50	37	30
36.4	48.7	49.9	36.7	29.7
36.1	48.5	49.7	36.5	29.5
36	48.3	49.5	36.3	29.3
35.8	48.1	49.2	36.1	29.2
35.8	48	49.2	36.1	29.2
35.5	47.7	48.9	35.9	28.9
35.4	47.6	48.8	35.8	28.8
35.4	47.6	48.7	35.7	28.9
35.4	47.6	48.7	35.7	28.8