



**UNIVERSIDAD MICHOACANA  
DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO**



**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“FABRICACIÓN DE MATERIAL COMPUESTO  
DE RESINA TIPO UF Y FIBRA DE COCO”**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS EN  
INGENIERÍA MECÁNICA**

**PRESENTA:**

**VÍCTOR HUGO OCHOA AVILÉS**

**ASESOR:**

**DR. MIGUEL VILLAGÓMEZ GALINDO**

**COASESORA:**

**DRA. ANA BEATRIZ MARTINEZ  
VALENCIA**



**Morelia Michoacán, Diciembre 2023.**



## DEDICATORIAS

*Al padre santo, que Yo como ser humano y por naturaleza, creo en un ser supremo por la esperanza, fe y fortaleza que pueda brindar y al cual dedico un sincero momento de mi día a día.*

*A mi madre, insuficiente el agradecimiento, considero que el único agradecimiento eterno que puedo brindar es a ella, formadora de buenos sentimientos y valores, siempre impulsando bajo el ejemplo la superación personal.*

*A toda persona con la cual he tenido la oportunidad de cruzarme en el camino y aprender siempre algo, aprendo que cada persona es superior a mí en algún sentido y en ese sentido, aprendo de esa persona.*

*Al Dr. Luis Béjar Gómez †, por su apoyo, confianza y motivación para la materialización de este proyecto, a él, con respeto y admiración abrazo al cielo.*

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi asesor de tesis de origen de proyecto, Dr. Luis Béjar Gómez † lamentablemente en ausencia física, quien confió en el proyecto y brindó su apoyo incondicional, fuerte abrazo hasta el cielo.

Mi asesor Dr. Miguel Villagómez Galindo, sincero agradecimiento de corazón por tomarme en el camino incierto en el que me encontraba y brindarme su confianza, apoyo, entusiasmo y conocimiento, por aportar en todo sentido al proyecto, sincero agradecimiento.

Mi coasesora, Dra. Ana Beatriz Martínez Valencia, agradecimiento de corazón, su confianza plena desde el inicio del proyecto y que por gracia de Dios, se dio la oportunidad de incorporarse de forma integra al proyecto, su aportación, conocimiento, entusiasmo, inspiración, en verdad gracias.

A mis profesoras y profesores quienes, con sus palabras, conocimientos, ideas, aportaciones y paciencia para este proyecto, invaluable agradecimiento deseándoles todo lo bonito de esta vida para ellos por ser parte de esta profesión tan bendecida.

Mi pareja de vida, Angy, hermoso agradecimiento por tu paciencia, apoyo, tiempo que compartimos y nos hemos brindado, de corazón gracias por todo.

Amigos y compañeros, quienes son para mí un parámetro de calidad de vida, los cuales dan de la misma forma una razón de vida en todo momento.

Agradecimiento a la beca CONACYT, bajo el proyecto “Fabricación de material compuesto de resina UF y fibra de coco” 1082909, por su apoyo durante el año de pandemia sin precedentes en el cual recibí el beneficio económico, difícil para todos.

## RESUMEN

En el presente trabajo se planteó la fabricación de un material compuesto de una resina sintética Urea Formaldehído (UF) mezclada con una fibra de coco. Para lograrlo, se consideró determinar la cantidad de cada uno de los elementos de manera conveniente, bajo un procedimiento de conformado con factores de presión, temperatura y tiempo adecuados, se hizo caracterización mecánica y caracterización física de las muestras obtenidas para una calificación de las mismas, se obtuvo un mínimo de 52 muestras bajo mismas condiciones operativas del proceso, de las cuales el 50% se utilizaron para caracterización física y mecánica y el 50% restante, para determinación cualitativa de la calidad de la fabricación de las muestras. Los resultados obtenidos, califican a las muestras fabricadas en una categoría de dureza blanda y ligera resistencia a la flexión, presenta una propiedad de resistencia a la deformación por hinchamiento por acción del agua factible del 6.99%, donde es mínima la deformación del material, respecto al cálculo de densidad, cae en la categoría de media densidad  $0.4898 \text{ kg/cm}^3$ . Lo que convierte al material compuesto fabricado, en una posibilidad de poder usar y competir con tableros comerciales estándar.

Palabras claves: Material compuesto, urea formaldehído, fibra de coco, caracterización mecánica, caracterización física.

## ABSTRACT

In the present work, the manufacture of a composite material of a Urea Formaldehyde (UF) synthetic resin combined with a coconut fiber was proposed. To achieve this, it was considered to determine the amount of each of the elements in a convenient way, under a forming procedure with adequate pressure, temperature and time factors, mechanical and physical characterization of the samples were obtained for their qualification. A minimum of 52 samples were obtained under the same process operating conditions, of which 50% were used for physical and mechanical characterization and the remaining 50%, for qualitative determination of the manufacturing quality of the samples. The results obtained, they qualify fabricated samples in a category of soft hardness and slight flexibility, It presents a property of resistance to deformation to swelling due to the action of water, feasible of 6.99%, where material deformation is minimal, Regarding the density calculation, it falls into the category of medium density of  $0.4898 \text{ gr/cm}^3$ , that makes the manufactured composite material, in a possibility to be able to use and compete with standard commercial boards.

Keywords: Composite material, urea formaldehyde, coconut fiber, mechanical characterization, physical characterization.

# CONTENIDO

## Contenido

LISTA DE FIGURAS .....	7
LISTA DE TABLAS .....	8
NOMENGLATURA .....	9
CAPITULO 1. GENERALIDADES.....	10
1.1 INTRODUCCIÓN.....	10
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	13
1.4 HIPOTESIS.....	14
1.5 OBJETIVO GENERAL.....	14
1.5.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	14
CAPITULO 2. MARCO TEORICO .....	15
2.2 ANTECEDENTES.....	22
CAPITULO 3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
3.1 MATERIALES Y EQUIPO.....	25
3.1.1. FIBRA DE COCO.....	25
3.1.2. RESINA UREA FORMALDEHIDO (UF).....	25
3.1.3. PRENSA HIDRAULICA EKA-60.....	26
3.1.4. EQUIPO PARA ENSAYO DE DUREZA Y FLEXIÓN.....	27
3.1.5. EQUIPO PARA ENSAYO DE ABSORCIÓN DE AGUA.....	29
3.2 METODOLOGIA.....	29
3.2.1 Obtención de la fibra del coco.....	29
3.2.2 PREPARACIÓN DE LA RESINA UF.....	31
3.2.3 MÉTODO DE OBTENCIÓN DE DATOS DSC-TGA PARA FIBRA DE COCO Y RESINA UF PREPARADA.....	32
3.2.4 PREPARACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO.....	33
3.2.5 EJECUCIÓN DEL PROCESO DE TERMO-PRENSADO DEL MATERIAL COMPUESTO.....	34

3.2.6 ENSAYO DE DUREZA JANKA.....	38
3.2.7 ENSAYO DE FLEXIÓN.....	40
3.2.8 ABSORCIÓN DE AGUA E HINCHAZÓN DE ESPESOR ASTM D1037-12 SECCIÓN 23. ....	46
3.2.9 CÁLCULO DE DENSIDAD.....	49
CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	50
4.1 ANÁLISIS DSC-TGA.....	50
4.1.1 ANÁLISIS DSC-TGA DE LA FIBRA DE COCO. ....	50
4.1.2 ESTUDIO TÉRMICO DSC-TGA DE LA RESINA UREA FORMALDEHIDO. ....	51
4.1.3 ESTUDIO TÉRMICO DSC-TGA DEL MATERIAL COMPUESTO. ....	52
4.2 ESTUDIO DE REPETITIVIDAD DEL PROCESO DE TERMOPRENSADO. ....	53
4.3 ENSAYO DE DUREZA. ....	54
4.4 ENSAYO DE FLEXIÓN.....	56
4.5 ABSORCIÓN DE AGUA E HINCHAMIENTO DE ESPESOR.....	58
4.6 CÁLCULO DE DENSIDAD.....	61
CONCLUSIÓN.....	63
1.6. APORTACIONES DERIVADAS DE LA PRESENTE TESIS .....	63
REFERENCIAS.....	64

## LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Tablero aglomerado partículas de madera. Fuente: Elaboración propia.</i>	16
<i>Figura 2. Representación de material mesocarpio. Fuente: Elaboración propia.</i>	19
<i>Figura 3. Fibra de coco utilizada. Fuente: Elaboración propia.</i>	25
<i>Figura 4. Prensa hidráulica EKA-60. Fuente: Elaboración propia.</i>	27
<i>Figura 5. Máquina universal Shimadzu. Fuente: Elaboración propia.</i>	28
<i>Figura 6. Malla tipo gallinero. Fuente: Elaboración propia.</i>	29
<i>Figura 7. Cubeta capacidad 10L. Fuente: Elaboración propia.</i>	29
<i>Figura 8. Procesado del mesocarpio para obtener la fibra. Fuente: Elaboración propia.</i>	30
<i>Figura 9. Caracterización dimensional de la fibra de coco. Fuente: Elaboración propia.</i>	30
<i>Figura 10. Preparación de la resina UF. Fuente: Elaboración propia.</i>	31
<i>Figura 11. Instrumento para DSC-TGA SDT-600 [20].</i>	32
<i>Figura 12. Preparación de compuesto resina UF - fibra de coco. Fuente: Elaboración propia.</i>	34
<i>Figura 13. Colocación del material compuesto en contenedor. Fuente: Elaboración propia.</i>	35
<i>Figura 14. Proceso de prensado del material compuesto. Fuente: Elaboración propia.</i>	36
<i>Figura 15. Muestras finales obtenidas del material compuesto. Fuente: Elaboración propia.</i>	36
<i>Figura 16. Defectos internos por proceso incorrecto. Fuente: Elaboración propia.</i>	37
<i>Figura 17. Defectos externos por proceso incorrecto. Fuente: Elaboración propia.</i>	37
<i>Figura 18. Especificación dimensional para dureza. Fuente: Elaboración propia.</i>	38
<i>Figura 19. Caracterización dimensional para ensayo de dureza. Fuente: Elaboración propia.</i>	38
<i>Figura 20. Aproximación del penetrador de dureza. Fuente: Elaboración propia.</i>	39
<i>Figura 21. Calibración del penetrador de dureza. Fuente: Elaboración propia.</i>	39
<i>Figura 22. Muestras del material compuesto con prueba de dureza. Fuente: Elaboración propia.</i>	40
<i>Figura 23. Caracterización dimensional para ensayo de flexión. Fuente: Elaboración propia.</i>	41
<i>Figura 24. Ajuste de dispositivo de apoyo. Fuente: Elaboración propia.</i>	41
<i>Figura 25. Obtención de probetas para flexión. Fuente: Elaboración propia.</i>	42
<i>Figura 26. Caracterización dimensional de probetas para flexión. Fuente: Elaboración propia.</i>	42
<i>Figura 27. Probetas a disposición para flexión. Fuente: Elaboración propia.</i>	43
<i>Figura 28. Representación de dispositivo de doble apoyo. Fuente: Elaboración propia.</i>	43
<i>Figura 29. Ejecución flexión probeta T4. Fuente: Elaboración propia.</i>	44
<i>Figura 30. Ejecución flexión probeta T7. Fuente: Elaboración propia.</i>	45
<i>Figura 31. Obtención de valor de la fuerza de rompimiento. Fuente: Elaboración propia.</i>	45
<i>Figura 32. Especificación dimensional de muestras para absorción de agua. Fuente: Elaboración propia.</i>	46
<i>Figura 33. Proceso de inmersión para absorción de agua. Fuente: Elaboración propia.</i>	47
<i>Figura 35. Resultado DSC - TGA de la resina UF. Fuente: Elaboración propia.</i>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<i>Figura 36. Resultado DSC - TGA del material compuesto. Fuente: Elaboración propia.</i>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

## LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Proporción para una muestra del material compuesto. ....</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 2. Porcentaje por elemento del material compuesto. ....</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 3. Características del contenedor. ....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 4. Parámetros operativos del termo-prensado.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 5. Características del equipo y muestras para ensayo de dureza. ....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 6. Características operativas para prueba de flexión. ....</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 7. Cálculo de material para probetas de flexión.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 8. Identificación y peso de las muestras secas y húmedas.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 9. Registro de medición de espesor inicial de las muestras de material compuesto. ....</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 10. Resultado del ensayo de dureza Janka. ....</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 11. Interpretación de escalas de acuerdo al valor obtenido [21].....</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 12. Resultados obtenidos del ensayo de flexión.....</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 13. Resultados de absorción de agua. ....</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 14. Resultado hinchamiento de espesor del material compuesto.....</i>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<i>Tabla 15. Resultado de cálculo de densidad del material compuesto. ....</i>	<i>61</i>



## **NOMENGLATURA**

UF	Urea Formaldehido
MDF	Tablero de Fibra de Densidad Media
HDF	Tablero de Fibra de Alta Densidad
FITECMA	Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera
HPL	Laminado de Alta Presión
CPL	Laminado de Presión Continua
DSC	Differential Scannig Calorimetry
TGA	Thermogravimetry Analisis

## **CAPITULO 1. GENERALIDADES**

### **1.1 INTRODUCCIÓN.**

En el tema de materiales compuestos, hoy en día existe la necesidad de hacer uso de materiales que se puedan reciclar, más aún cuando son derivados de elementos naturales y que posterior a su primer uso, como lo es el coco, un fruto de origen natural de gran abundancia en las costas o regiones de alta humedad, al consumir su fruto y el agua que proporciona, el residuo de la materia que queda, es considerado como desperdicio, siendo de alto riesgo de contaminación ambiental por la cantidad generada, el comportamiento de la producción de coco a lo largo de una década se ha triplicado, mostrando un interesante desarrollo registrado en los años 2003, 2008 y 2013.

En el año 2003, 5 entidades federativas representativas en la producción de coco fueron:

Oaxaca con el 33.91% (21,700 toneladas), Veracruz 15.79% (10,104 toneladas), le siguen Jalisco, Sinaloa y Yucatán. Teniendo un rendimiento promedio de 5.97 ton/ha, registrando una producción de 63,995 toneladas anual nacional[1].

Michoacán no destaca para este año en producción, ya que registra una producción mínima de 68 toneladas en una superficie sembrada de 7.5ha.

En el año 2008, 5 entidades federativas representativas en la producción de coco fueron:

Michoacán con el 27.57% (28,190 toneladas), le sigue Jalisco, Oaxaca, Yucatán y Nayarit, sumando entre estos 5 estados el 87% de la producción nacional anual, registrando un rendimiento de 7.72 ton/ha, registrando una producción de 102,239 toneladas anual nacional [1].

Michoacán destaca en primer lugar con una producción de 28,190 toneladas en una superficie sembrada de 3,319ha.

En al año 2013, 5 entidades federativas representativas en la producción de coco fueron:

Jalisco con el 28.92%, Sinaloa 26.39%, Michoacán con el 13.35% (25,269 toneladas), le sigue Quintana Roo, Oaxaca y Nayarit, entre todos los estados sumando el 93% de la producción nacional anual, registrando un incremento en el rendimiento de 13.42 ton/ha registrando una producción de 189,312 toneladas anual nacional [1].

Michoacán destaca en tercer lugar con una producción de 25,269 toneladas en una superficie sembrada de 3,362 ha.

Destaca la zona costera de Lázaro Cárdenas Michoacán como principal zona productora de coco y material de estudio de interés.

La fibra de coco, en complemento con una resina sintética como lo es la Urea formaldehído (UF). Las resinas UF son clases de polímeros de condensación que se emplean como resinas sintéticas obtenidas a través de la reacción entre la urea (un cristal sólido que se obtiene a partir del amoníaco) y del formaldehído (un gas altamente reactivo obtenido a partir del metanol), que suele ser catalizado por cloruro de amonio, las resinas UF se utilizan principalmente como adhesivo para el encolado de madera contrachapada, tableros de partículas y otros productos de madera estructurada [2], se utiliza de forma comercial en la fabricación de tableros para sustitución de la madera, brindan la posibilidad de obtener un material compuesto con propiedades físicas y mecánicas viables y producir tableros como los que existen hoy en día de uso comercial, como los son los tableros de fibras de densidad media o Médium Density Fibreboard (MDF) o los tableros de aglomerado, que ofrecen menos propiedades físicas y mecánicas que el mismo MDF, como por mencionar una, la resistencia a la humedad, donde se sabe que este tipo de tableros con base madera, son propensos a la deformación al ser sometidos al contacto con el agua.

Primeras referencias a la resina UF datan de 1884, en décadas siguientes comienza el uso masivo de este tipo de resinas, con un crecimiento exponencial a partir de 1930, se puede decir que es uno de los polímeros empleados desde hace más tiempo, se utiliza en enormes cantidades y se trata de resinas más baratas [2].

La química relacionada con el proceso de producción de la resina UF es muy compleja, no se encuentra bien caracterizada, su producción se basa en conocimientos adquiridos a través de la experiencia, hecho que limita su mejora tanto como la misma fabricación de las resinas, como la mejora de la producción de tableros aglomerados de madera que se fabrican con ellas, materiales compuestos extremadamente complejos en los que se dan reacciones químicas de las resinas (acabados térmicos), reacciones térmicas entre la resina y la madera, reacciones entre el agua de la madera y las resinas, etc. [2]

Para el procedimiento de caracterización físico mecánica de este tipo de tableros se hace uso de las normas internacionales ASTM bajo la designación D1037-12 Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials<sup>1</sup>[3] a modo experimental y de investigación para tableros similares a los aglomerados comerciales se hace uso del manual de prácticas del laboratorio de tableros a base de madera [4] Utilizado en el laboratorio de física y mecánica de la madera, de la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera (FITECMA) de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, manual que está elaborado bajo misma norma ASTM D1037-12 y acondicionado conforme a posibilidades que ofrece el equipo con el que cuentan para caracterización de los materiales que ahí someten a investigación.

## **1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Tanto materiales de elementos naturales como lo son los tableros de media densidad Médium Density Fibreboard (MDF), tableros de alta densidad, High Density Fibreboard (HDF) como fibras sintéticas (fibra de vidrio), han sido utilizados en diferentes aplicaciones debido a sus buenas propiedades mecánicas y sus considerables propiedades físicas como por ejemplo, bajo peso frente a otros materiales. Sin embargo, se sabe también que la mayoría de estos productos tiene un impacto ecológico negativo, ya que los componentes fabricados con estos materiales provienen de recursos naturales que su uso excesivo, acaba con ecosistemas o el producto final demandan grandes cantidades de energía calorífica para su producción.

En la actualidad, existen fibras naturales que se consideran residuos en el sector alimenticio que aportan al incremento de niveles de contaminación. Algunas de estas fibras naturales, como la fibra de coco, tiene posibilidad de ser utilizadas como elemento para fabricar materiales compuestos, para reducir o evitar el uso de elementos que acaban con ecosistemas y se utilizan en la fabricación de tableros con base madera comerciales.

Si bien es cierto, ha crecido de manera considerable la demanda de la fibra de coco en el ramo industrial, una cantidad considerable es destinada al consumo como combustible para hornos en la fabricación de tabique, lo que genera una contaminación atmosférica importante y otro porcentaje se sigue desechando como basura. Por lo cual existe la oportunidad de destinarle otra utilidad.

Sin embargo, de la fibra de coco, no se tiene conocimiento amplio de sus propiedades mecánicas y físicas, lo que puede dificultar su aplicación en el sector productivo, una vez estandarizado y estudiado este tipo de material podría ser utilizado en diferentes sectores industriales entre ellos para la fabricación de muebles decorativos, sector automotriz y el de la construcción.

Por otra parte, el procedimiento de fabricación de tableros requiere maquinaria especializada que trabaje bajo condiciones operativas de presión y temperatura combinadas. Para lo cual, se requiere definir condiciones operativas efectivas que demuestren la posibilidad de producir el material compuesto, cuantificar los materiales bajo los cuales será elaborado y caracterizar el material compuesto.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN**

El desarrollo sostenible y la posibilidad de utilizar materiales alternativos en los sectores productivos, de construcción, transporte de productos, energía, por mencionar algunos, permiten reducir el uso de materiales convencionales, es por ello que buscar materiales naturales que proporcionen propiedades mecánicas similares o superiores a los materiales convencionales sería una gran apuesta para la conservación del medio ambiente, la sustentabilidad y viabilidad económica, considerar a la fibra de coco que hoy en día se vislumbra como un desperdicio y problema de contaminación ambiental, en un agregado de un material compuesto sustituto de la madera que contribuya a la preservación de la biosfera.

Los materiales compuestos con fibras naturales se están convirtiendo en una alternativa viable económicamente en comparación con la fabricación de materiales compuestos con fibra de vidrio, fibra de carbono, fibra de madera o partículas de la misma.

En la actualidad en la República Mexicana se identifican 13 estados cocoteros los cuales cultivan en 148 mil hectáreas.

El comportamiento de la producción de coco registrado en los años 2003, 2008 y 2013 ha mostrado un interesante crecimiento a nivel nacional, mostrando un desarrollo significativo, la zona costera de Lázaro Cárdenas en Michoacán, de tener una producción de coco de 68 toneladas en el 2003, se incrementó su producción a 25,269 toneladas en el 2013 [1].

De acuerdo a investigación de campo, realizada solo en la zona de Lázaro Cárdenas Michoacán y zonas aledañas, se puede obtener una cantidad mínima viable de recolección de coco de 7.5 toneladas semanales en promedio.

Tomando como base lo anterior, la fibra de coco se podría utilizar en diversos sectores, por ejemplo, en la industria de la construcción como material de refuerzo en el concreto, en la fabricación de paneles, en la industria de la transformación de energía como material de refuerzo en palas de aerogeneradores de pequeña potencia por mencionar algunos ejemplos.

Existen inconvenientes hoy en día, como lo es la dificultad para incorporar estas fibras en el sector industrial, ya que se desconocen sus comportamientos y propiedades mecánicas para ser usados como refuerzos, es por ello que este trabajo busca a través de métodos experimentales, estandarizar el proceso de fabricación del producto, para así, poder ser incorporadas de manera sistemática en algunas áreas del sector industrial o de servicio.

## **1.4 HIPOTESIS**

Es posible obtener un material compuesto, mezclando una resina sintética Urea Formaldehído (UF), con una fibra natural como lo es la fibra de coco, mediante un proceso de prensado en caliente, obteniéndose un material compuesto con propiedades mecánicas y físicas viables para aplicación comercial.

## **1.5 OBJETIVO GENERAL**

Fabricar y caracterizar un material compuesto, elaborado a partir de una matriz polimérica Urea Formaldehído, en combinación con la fibra de coco, determinando la composición ideal con las mejores propiedades mecánicas y físicas.

### **1.5.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Definir la composición del material compuesto, UF y la fibra de coco
- Definir los parámetros operacionales mediante estudios de DSC/TGA.
- Desarrollar muestras representativas del material compuesto
- Determinar la fiabilidad del proceso de elaboración de las muestras.
- Caracterización de propiedades mecánicas y físicas de las muestras representativas del material compuesto.

## CAPITULO 2. MARCO TEORICO

La demanda de uso de materiales compuestos hoy en día es primordial en el uso de las áreas ingenieriles, sabemos que áreas que siempre han ido a la vanguardia en el uso de este tipo de materiales son la aeroespacial, la industria automotriz por mencionar algunos.

Los materiales compuestos de matriz polimérica despiertan mucho interés para su aplicación por su baja densidad, elevada resistencia a la corrosión y su versatilidad de propiedades mecánicas, los materiales compuestos, son los llamados a sustituir parcialmente al extendido uso del acero y del aluminio, ya que el cambio de un material de acero por uno compuesto puede presentar un ahorro de un 60 hasta un 80% en el peso, convirtiendo a los materiales compuestos, en una elección correcta en el área de la ingeniería. Un ejemplo a tener en cuenta es la empresa fabricante de aviones para uso civil Airbus, la aeronave civil Aerobus A350, contiene hasta un 52% en peso de materiales compuestos (carbono, vidrio, materiales híbridos metal-compuestos) usados en alas, superficies sustentadoras e incluyendo secciones de fuselaje fabricadas íntegramente con ellos, mediante tecnologías avanzadas [5].

El uso de material compuesto en la industria automotriz presenta una gran área de oportunidad, hoy en día no se hay llegado a su utilización total. El motivo por el que el acero todavía domina la fabricación de automóviles, es la inercia tecnológica que a generado la enorme inversión hecha a lo largo del tiempo en diseñar, mecanizar y terminar en este material de acero, miles de tipos de vehículos, recuperar la inversión lleva varios años y rentabilizarla obliga a una enorme producción en serie que a veces se ve sorprendida por varios cambios en las preferencias de los mercados [6]

Cuando se aligera el peso de ciertas partes del automóvil, se genera un “efecto domino” sobre el resto de las piezas del vehículo, ya que al reducirse la carga o tensión que soportan, pueden ser aligeradas sin menos cabo de su funcionalidad, pero lo más importante de esto es que, esta fuerte reducción del peso total, permite instalar un motor de menor potencia para conseguir el mismo desempeño. Con la fibra de carbono es posible conseguir una robustez similar a la del acero, pero con la mitad o una tercera parte del peso de este [6]

Se define a un material compuesto como el tipo de material que se obtiene cuando dos o más materiales se utilizan de manera conjunta para obtener una combinación de propiedades que de otra manera estos materiales no pueden alcanzar de manera individual, siendo una característica importante la base de la construcción que está constituida por dos elementos, normalmente una Matriz y un Refuerzo o fibra. Ofrecen una infinidad de características que pueden obtener si se elige correctamente lo materiales ya que el éxito de la obtención de las características específicas, dependerá en gran medida de su

composición, proporción distribución, morfología e interfaz generada entre otros [7] El Material compuesto tiene como objetivo, tanto obtener propiedades que no pueden ser alcanzadas por los constituyentes actuando aisladamente, como aunar las propiedades individuales de dichos constituyentes en un solo material [8].

Para el caso de materiales compuestos constituidos de partículas de maderas, que son los que impactan de manera social-comercial y más comúnmente utilizados en la actualidad.

#### Tableros Aglomerados.

Son elementos fabricados a partir de partículas o fibras homogenizadas, las cuales son aglomeradas con diferentes resinas que brindan diferentes propiedades dependiendo del tipo de conformado al que son sometidos, han sido utilizados como sustitutos de elementos de madera en muchas aplicaciones debido a las ventajas que pueden ofrecer, como por ejemplo bajo costo de fabricación, características relevantes que ofrecen los tableros aglomerados comerciales pueden ser: Resistencia a los golpes, a la suciedad lo cual es atribuido a la capa del recubrimiento que proporciona el elemento. Existe una clasificación para tableros aglomerados de acuerdo a la forma de los elementos (macroscópica) conformados.

#### Clasificación.

Los tableros aglomerados se pueden clasificar en dos grandes grupos de acuerdo a la procedencia del material: Tableros de partículas y tableros de fibras.

#### Tablero de Partículas.

Son elementos elaborados a partir de partículas de madera aglomerada con diferentes tipos de adhesivos a altas temperaturas y presiones (Figura 1).



Figura 1. Tablero aglomerado partículas de madera. Fuente: Elaboración propia.



Dependiendo del tamaño, orientación y disposición de las partículas, este tipo de tableros tienen una sub-clasificación como el tablero de fibra orientada OSB (Oriented Strand Board) que es un material elaborado a partir de virutas de gran tamaño orientadas paralelamente a la superficie del tablero, normalmente consta de varias capas homogéneas.

Como aglutinantes, se emplean resinas sintéticas o naturales, siendo las sintéticas las más utilizadas debido a las propiedades físico-mecánicas que estas le brindan a los tableros, los tableros son prensados de forma que la densidad oscile alrededor de  $0.65 \text{ g/cm}^3$  [9].

Tableros de fibras.

Son obtenidos mediante la compresión de fibras de madera que han sido refinadas previamente, Existen tableros que están constituidos por partículas más pequeñas, siendo que estos se pueden también configurar de una a tres capas, como los son los tableros MDF (Medium Density Fibreboard) o los HDF (High Density Fibreboard) el proceso de conformado con adhesivos, altas presiones y temperaturas. Las propiedades de estos tipos de tableros dependen propiamente de las fibras utilizadas y los adhesivos de unión empleados.

Estos tableros son utilizados generalmente en aplicaciones como recubrimientos, pisos laminados, muebles, posters, cocinas integrales, etc. [9].

Se consideró como una gran área de oportunidad el poder trabajar en la fabricación de un material compuesto tipo fibroso en combinación con una resina sintética que proporcione iguales o mejores propiedades físico - mecánicas a lo ya establecido por los materiales comerciales anteriormente mencionados.

Se tiene conciencia de que los materiales compuestos siempre han sido de beneficio para las diferentes actividades industriales, productivas, sociales.

De la misma forma, sabemos que un material compuesto es creado con la idea de mejorar u optimizar factores ya sea para su aprovechamiento de recursos, mejoramiento en el proceso a utilizar, etc. siempre siendo de gran utilidad en el desarrollo ingenieril.

En la actualidad hay una tendencia necesaria de utilizar materias primas que de principio y de forma social se ha considerado como desperdicio y forman parte de un problema de contaminación ambiental, en el campo de los materiales, se vigencia la utilización de materiales compuestos reforzados con fibras como respuesta a la necesidad de mejorar las prestaciones de los materiales tradicionales y aprovechar materiales que en algún momento fueron considerados como desechos.

Se requiere trabajar incesantemente en el desarrollo de nuevos materiales que sean capaces de competir con los existentes y que tengan características iguales o superiores a estos. En estos momentos es totalmente posible desarrollar nuevos materiales compuestos, combinando diferentes recursos. Es factible combinar, agro-fibras con materiales como el plástico, resinas epoxidicas, etc., con un único objetivo, el de obtener nuevos compuestos con buenas propiedades mecánicas, físicas, estéticas, etc., que los ya existentes en su forma simple.

Para esto se debe determinar las características de los materiales a sustituir, ejemplo: fibras convencionales. El estudio de fibras naturales como fibras vegetales principalmente de residuos agroindustriales, ofrecen una solución a problemas y al mismo tiempo ayuda al medio ambiente, por lo que su uso sería una solución alternativa.

Trabajando sobre esta línea y teniendo en cuenta el área de oportunidad que existe en la recolección de la fibra de coco que nuestra zona geográfica ofrece, en cuanto a la recolección de las fibras naturales con las que contamos.

## FIBRA DE COCO

El coco es un fruto obtenido principalmente de la especie tropical cocotero (*Cocos nucifera*) que puede llegar a pesar 2.5 kilogramos y está cubierto de fibras que van desde los 20 a 30 cm. de longitud (Figura 2). La fibra pertenece a la familia de las fibras duras, tales como el "sisal", el "henequén" y "abaca". Es una fibra multicelular que tiene como componentes la celulosa, el leño, tiene un alto contenido de lignina, lo cual da como resultado fibras resistentes, fuertes y muy duraderas, además de otras características como la baja conductividad al calor, la resistencia al impacto, a las bacterias y al agua [10]. La composición del coco es un 35% de cáscara con fibra, el casco o mejor conocido como hueso en un 12%, carne en un 28% y agua en un 25%. Con poca variación de porcentaje en contenido debido a que son dependientes del tamaño o estado de maduración del coco. Se caracteriza por tener un color café después de secarse [11].

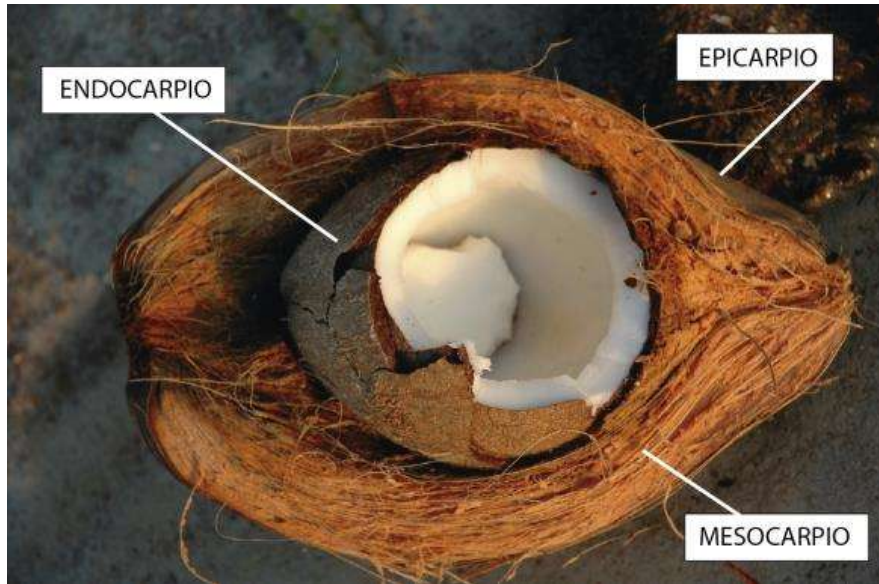


Figura 2. Representación de material mesocarpio. Fuente: Elaboración propia.

Propiedades que se reconocen presenta la fibra del coco.

- Capacidad de protección frente al calor, al frío o al agua.
- Resistencia a diferentes agentes.
- Durabilidad al uso.

Ventajas que ofrece la fibra del coco.

- Resistente a la humedad - amplia difusión.
- No atacable por roedores o termitas
- No electrostática.
- Imputrescible
- Difusión del vapor de agua.

## RESINA UREA FORMALDEHIDO

Para la década de 1960 los adhesivos naturales tomaron gran importancia, más sin embargo fueron desplazados por adhesivos sintéticos (derivados del petróleo) debido a que comenzaron a dominar el mercado con costos favorables, además demostrar mejores propiedades físicas como la resistencia a la humedad y ser mucho más fuertes.

A partir de ese momento en la industria de los tableros aglomerados se han utilizado tradicionalmente adhesivos a base de formaldehidos , tales como urea – formaldehído (UF), melanina – formaldehído (MF), fenol – formaldehído (PF), que se utilizan principalmente por las propiedades químicas que presentan, ya que al entrar en contacto con materiales a

base de madera le brindan a estos una disminución en la afinidad por el agua, incrementando de esta manera las propiedades físico – mecánicas de los mismos [10].

En el campo de adhesivos termo-fraguantes basados en resinas de poli-condensación, adhesivos de resina urea formaldehído (UF) son el grupo de productos más significativos. Son ampliamente utilizados en la producción general de muebles debido a las ventajas importantes tales como bajo costo de fabricación, tiempos de fijación cortos (endurecimiento) y altas fuerzas de unión. La urea – formaldehído también conocido como urea – metanal, llamado así por su vía de síntesis y estructural general es un plástico termoestable, se calienta en presencia de una base débil, tales como amoníaco o piridina [12].

Las resinas de urea – formaldehído se obtiene por condensación de la urea (diamida del ácido carbónico) y el formaldehído obtenidos del amonio y el metanol respectivamente, ambos pueden ser sintetizados del gas natural [12].

Los atributos de las resinas UF incluyen alta resistencia a la tracción, módulo de flexión y la temperatura de distorsión por calor, baja absorción de agua y contracción de moldeo, alta dureza superficial, alargamiento a la rotura y resistencia de volumen. No tiene adecuada propiedad como formadora de películas ya que éstas son duras y quebradizas, en consecuencia, se combinan con resinas alquídicas, acrílicas, poliésteres o epoxis para generar sistemas termoestables o termo convertibles (curado químico a alta temperatura, es decir horneables) [12].

La resina tipo UF para el curado en caliente, es especialmente destinada para chapeado de madera clásica y para laminación plana con los laminados de presión tales como HPL (High Pressure Laminates / Laminados de Alta Presión) o CPL (Continuous Pressure Laminates / Laminados de Presión Continua). Debido a un endurecedor integrado, el adhesivo de formaldehído se prepara simplemente mezclando el polvo con agua, principal razón que lleva a la elección de esta resina.

#### CONFORMADO DE TABLEROS DE AGLOMERADO COMERCIAL

Este tipo de tableros se fabrican con partículas de madera como la viruta, hojuelas, astillas, las cuales se combinan con una resina sintética u otro tipo de adhesivo, la mezcla formada se coloca en moldes a altas temperaturas para un proceso de prensado y aumentar la densidad del producto, la alta temperatura sirve para acelerar el endurecimiento (curado) del adhesivo. Las partículas se pueden colocar de cierta forma, con el fin de darle alguna orientación a las propiedades de resistencia del producto. El principal factor que permitió el rápido desarrollo de este proceso fue la aparición de los adhesivos termoestables como el UF y el fenol – formaldehído. Los tableros se fabrican sometiendo a presión y temperatura las partículas de madera previamente rociadas con resina sintética, las partículas utilizadas pueden ser los residuos de un proceso productivo previo [13].

Los tableros pueden tener de 3 a 5 capas con partículas de distintos gruesos, dispuestas que las partículas de mayor grueso, queden al centro del elemento y las partículas más finas queden a las caras, proporcionando mejor apariencia y obteniendo mejores propiedades mecánicas. En la práctica las partículas utilizadas varían de tamaño de 1.25 a 2.25 cm de largo y de 0.025 a 0.038 cm de grueso. Los pasos para la fabricación de tablero son los que se describen a continuación.

Preparación de partículas: posible recorte le materia prima para tenerla al tamaño deseado y reducir su variación.

Secado de partículas: Existen dos principales equipos para el secado de la materia prima, en forma de tambor o de tubo, donde se alcanzan temperaturas de hasta 870 °C cuando las partículas están muy húmedas, para más secas se utilizan temperaturas de hasta 260 °C. El contenido de humedad final del producto es por lo regular del 10%, las partículas deben estar secas a un 3 o 4%, para considerar un aumento del contenido de humedad debido al agua proveniente del adhesivo que se utilice, contenidos incorrectos de humedad puede provocar imperfecciones en el producto o pegado ineficiente del adhesivo manifestándose en las propiedades mecánicas del producto final [13].

Separación de partículas por tamaño: Se tamiza para separar remover el polvo y separa por tamaño, de tal manera que las más pequeñas puedan utilizarse para las superficies del tablero y las más grandes para los centros, de no ser retirado el polvo, este puede llegar absorber una gran cantidad de resina.

Mezclado de partículas y adhesivo: generalmente el consumo de adhesivo se encuentra entre un 2.5 y 10% del peso del tablero.

Formación del colchón: las capas de las partículas se van colocando una sobre de otra, con un grosor lo más uniforme posible (es común la formación de tableros de 3 capas).

Prensado del tablero: existe un pre-prensado para tener una consolidación previa del producto, esto para garantizar el fácil manejo del elemento, posteriormente pasa a la placa de prensado final donde se consolida el tablero por medio de presión y calor proporcionado mediante vapor, agua caliente o aceite, puede ser un proceso de prensado continuo o discontinuo, donde el proceso continuo se utiliza en tableros de espesor delgado, aproximadamente de 3mm de espesor, para tableros de 12 mm de espesor, el tiempo de prensado oscila entre 5 y 8 minutos y alrededor de 15 minutos para espesores de 19 mm, tiempo suficiente para que el calor penetre hasta el centro permitiendo que fragüe el adhesivo. La prensa es el equipo más costoso para la fabricación de tableros aglomerados [13].

Acondicionamiento e igualamiento: Se retira inmediatamente el tablero de las platinas de la prensa y se colocan para su posterior enfriamiento una sobre de otra por varios días, para

que se adapte a las condiciones ambientales que los rodean, se requiere permitir el enfriamiento gradual, ya que al controlar esto, el contenido de humedad se distribuye en todo su interior uniformemente, lo cual permite la máxima eficiencia del adhesivo [13].

Acabado: Se recortan para obtener dimensiones deseadas, se lijan las caras para obtener el grosor final, en algunas ocasiones son requeridas aplicaciones de pintura, barnices, chapa de madera, películas de plástico o de vinilo.

## **2.2 ANTECEDENTES.**

El descubrimiento de nuevos materiales y de nuevos procesos para su elaboración datan de hace más de 3000 años, cuando los egipcios introdujeron la paja como material de refuerzo para los ladrillos de arcilla. Al mismo tiempo los egipcios que trabajaban con el oro (material maleable en su forma pura) para la elaboración de joyas, encontraron un desafío mucho mayor con el descubrimiento del cobre en donde se ven obligados a introducir proceso de manufactura como la fundición [14]. En el año 1950, una firma automotriz (VEB) produjo un automóvil de bajo costo llamado Trabant, cuya carrocería representaba uno de los típicos ejemplos para la aplicación de fibras naturales (algodón) embestidas en una matriz de poliéster [15]. En los últimos años se han buscado nuevas alternativas que sustituyan los materiales convencionales sintéticos por otros de origen natural en las aplicaciones actuales, y para suplir otras necesidades de ingeniería, e incluso estéticas, decorativas y arquitectónicas.

En 1908 la industria de los materiales poliméricos reforzados, inició con fenólicos y con fibras de celulosa. Posteriormente se usaron Urea y melanina como matrices, y en 1940 se logró reforzar poliésteres insaturados con fibras de vidrio, pero debido a la contaminación se está dejando a un lado el proceso con las fibras tradicionales para darle cabida a materiales amigables con el medio ambiente. Los materiales tradicionales después de cumplir su ciclo de vida útil se vuelven un objeto crítico y costoso, ya que estos materiales compuestos no son fáciles de reciclar y las soluciones más comunes es la incineración o desecharlos y con el paso del tiempo esperar años para que haga su trabajo en estos materiales [16].

En la fabricación de materiales compuestos de origen vegetal, hay incertidumbre en la selección de tipos de fibras a utilizar ya que se considera no se deben mezclar distintos tipos de fibra. A causa de esta problemática por mencionar algún ejemplo el tamaño de la fibra, se han iniciado numerosas investigaciones para adaptar procesos que mejoren las propiedades al momento de combinar este tipo de materiales. Algunos de estos estudios se mencionan para el uso de la fibra del coco [17].

Se han presentado evaluaciones del uso de fibras vegetales para el diseño y fabricación de materiales compuestos. Las fibras naturales de la investigación fueron el bagazo de la caña de azúcar, el tronco de la planta de banano, y la fibra de coco extraída del mesocarpio de coco. Estas fibras fueron sometidas a ensayos para determinar sus características físicas y químicas. con base en sus resultados, proponen un uso potencial de fibras celulósicas para el refuerzo de materiales por tener la ventaja de poseer atributos ambientales y de bajo costo, además de prometer un desarrollo regional en la explotación de estos recursos agrícolas [18].

Se han hecho investigaciones sobre la influencia mecánica de las fibras de coco tratadas químicamente para reforzar una matriz de polietileno de alta densidad (HDPE). Para mejorar la compatibilidad matriz-fibra, ellos utilizaron tres diferentes tratamientos químicos y estudiaron el comportamiento mecánico del nuevo material, silano, hidróxido de sodio y dodecano bromuro (C12). El HDPE fue reforzado hasta un 20% en masa de fibra de coco en todos los materiales. Los resultados mostraron que el módulo de elasticidad para los materiales reforzados con las fibras tratadas con silano y C12 incrementó significativamente comparado con el HDPE sin refuerzo, correspondientes a 120 y 70 % respectivamente [10]

En la India, el investigador Mominul, elaboró un material de polipropileno reforzado con fibra de coco y lo compararon con la misma matriz sin refuerzo. Fueron manufacturados mediante una máquina de moldeo por inyección. Evaluaron también la influencia de las fibras si son tratadas químicamente o no y la concentración de fibra de coco en la matriz (15, 20, 25, 30 y 35 % en masa). Él encontró que el polipropileno reforzado con 30 % en masa de fibra de coco obtuvo un óptimo rendimiento mecánico en cuanto a la resistencia a la tracción, flexión e impacto con valores de 26 MPa ; 57,5 MPa y 56,5 J/m , respectivamente; en comparación con las propiedades anteriores de la misma matriz sin refuerzo con valores de 27 MPa ; 43,5 MPa y 22 kJ/m , respectivamente. Se observó que las fibras de coco tratadas químicamente obtienen mejor rendimiento que las fibras no tratadas debido al mejoramiento de la compatibilidad fibra/matriz [19]

Las fibras de refuerzo o fase dispersa en una matriz polimérica tienen como objeto soportar tanto como sea posible el esfuerzo aplicado al conjunto, mientras que a la matriz polimérica le corresponde transmitir de forma efectiva las sollicitaciones al refuerzo.

La Determinación e identificación de variables y parámetros óptimos del proceso con los cuales operarán los mecanismos, esto se verá reflejado en la calidad del producto y el proceso, además de los tiempos para obtener el producto.

El secreto de los materiales compuestos reside en la elección de un sistema de matriz adecuado y su asociación con fibras de refuerzo, obteniéndose como resultado un nuevo

material con cualidades diferentes, que no son alcanzables por cada uno de los materiales predecesores de manera aislada.

El reto actual de los materiales compuestos, en cualquiera de sus variantes, consiste en dar con las mejores asociaciones de fibra-matriz, para proporcionar cada vez materiales con mejores prestaciones para el fin que son concebidos.



## CAPITULO 3. MATERIALES Y METÓDOS

### 3.1 MATERIALES Y EQUIPO.

#### 3.1.1. FIBRA DE COCO

La recolección del material de fibra de coco que se utilizó para el desarrollo del material compuesto, se realizó mediante un negocio ubicado en la región del municipio de Pátzcuaro Michoacán, que tiene convenio para el procesado (trituración) de la materia prima, este negocio consigue la fibra de la región costera de Lázaro Cárdenas, Michoacán y zonas aledañas. Donde tiene oportunidad de recolección de hasta 7.5 toneladas semanales de fibra de coco como mínimo. Fibra de coco que se utilizó en la elaboración del material compuesto (Figura 3).

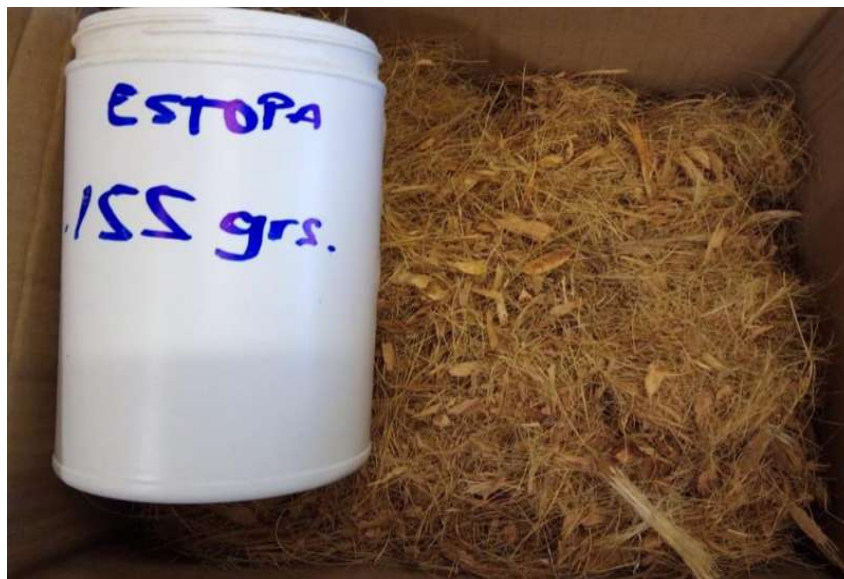


Figura 3. Fibra de coco utilizada. Fuente: Elaboración propia.

#### 3.1.2. RESINA UREA FORMALDEHIDO (UF).

La resina urea formaldehído utilizada, se adquirió en negocio establecido donde comercializan pinturas, impermeabilizantes, económicamente viable, se tuvo la capacidad de adquirir hasta 4 kilos para todo el proceso experimental siendo esta cantidad suficiente.

La resina tipo UF se utiliza para el curado en caliente, es especialmente destinada para chapeado de madera y para laminados de presión tales como HPL (High Pressure Laminates / Laminados de Alta Presión) o CPL (Continuous Pressure Laminates / Laminados de Presión Continua). Con endurecedor integrado, el adhesivo de formaldehído se prepara simplemente mezclando el polvo con agua, principal razón que lleva a la elección de esta resina.

Característica técnica de la resina.

Adhesivo en polvo, bajo en formaldehído, con endurecedor integrado y aglutinante orgánico en dosis exactas, casi sin exudación.

Recomendaciones de uso del fabricante.

El adhesivo debe ser diluido en agua tibia (18-22°C) con una proporción de aproximadamente 2:1 (agua : polvo), ejemplo: 2L agua: 1kg polvo . Dependiendo de la viscosidad deseada, la cantidad de agua a agregar puede variar. Puede ser utilizado con los sistemas aplicadores estándar (espátula, rodillo de mano, y esparcidora de adhesivo). Si desea, el adhesivo puede ser colorado con tintes a base de agua o con colores minerales libres de álcali.

Datos Técnicos:

Densidad de polvo [g/L]: Aprox. 610

Contenido de resina [%]: Aprox. 68

Apariencia: Beige

### **3.1.3. PRENSA HIDRAULICA EKA-60**

El proceso de conformado que se consideró utilizar es un termo-prensado, a conocimiento que se tiene, de que es la forma en como se elabora los tabloncillos comerciales y aprovechando maquinaria especializada con la que cuenta la FIM que combina la operación de inducción de energía calorífica, con una alta potencia de prensado, equipo mecánico a utilizar es una prensa hidráulica de 60 toneladas marca EKA, que se recibió a donación por parte de una empresa del sector productivo privado a finales del mes de febrero del 2020, sus características operativas relevantes son, la potencia de prensado y su módulo para proporcionar energía calorífica hasta de 400°C.

La prensa hidráulica (Figura 4) demandó considerables acciones para su puesta en marcha tratándose de infra-estructura civil, eléctrica, hidráulica, neumática, de la misma forma requirió tanto de mantenimiento correctivo como preventivo, además de insumos considerables para poder habilitar.



Figura 4. Prensa hidráulica EKA-60. Fuente: Elaboración propia.

Este equipo se encuentra instalado en el edificio J perteneciente al área de automatización junto con más equipos como los son máquinas inyectoras de plástico, troqueladoras, otras dos prensas de alta capacidad, una rectificadora; Dichos equipos requieren corriente eléctrica trifásica de 220 volts, además para la prensa se requirieron 160 L de aceite hidráulico, un molde para la transformación de energía eléctrica a energía calorífica y herramental para su posterior montaje.

### **3.1.4. EQUIPO PARA ENSAYO DE DUREZA Y FLEXIÓN.**

Bajo apoyo del manual de prácticas del laboratorio de tableros a base de madera que utilizan para prueba de materiales en la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera FITECMA [4], donde dicho manual está elaborado bajo especificación de norma ASTM

D1037-12 [3], sección 17 para la dureza y sección 9 para la flexión, donde el equipo que se utiliza es una máquina universal especializada para estos tipos de materiales y se encuentra ubicada en las instalaciones de la FITECMA (Figura 5).

El equipo utilizado para caracterizar la dureza y flexión, fue facilitado por el Dr. Raúl Espinoza Herrera, encargado del laboratorio de físico mecánica de la madera en mencionada institución.

Equipo identificado como:

<b>Máquina Universal</b>
Marca: Shimadzu Mod. 1976
Capacidad de 10,000 Kg de carga.
V = 6 mm/min
<b>Para Ensayo de Dureza</b>
Penetrador de diámetro 11.3mm (0.444 in) requerido para dejar una huella equivalente a 1cm <sup>2</sup> , Metodo: Janka ball
<b>Para Ensayo de Flexión</b>
Distancia entre apoyos: 210mm



Figura 5. Máquina universal Shimadzu. Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.5. EQUIPO PARA ENSAYO DE ABSORCIÓN DE AGUA.

El equipo requerido para realizar el ensayo de absorción de agua utilizando la norma ASTM D1037-12 Sección 23 [3], como lo marca en manual de prácticas del laboratorio de tableros a base de madera de la FITECMA, el cual consta de un recipiente de al menos una capacidad de 10L de agua (Figura 7), además de una malla tipo gallinero (Figura 6).

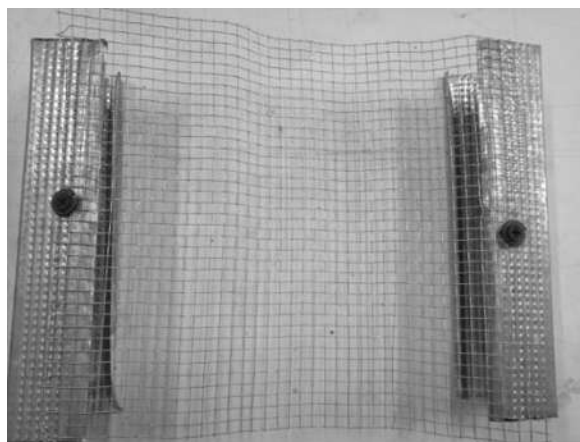


Figura 6. Malla tipo gallinero. Fuente: Elaboración propia.



Figura 7. Cubeta capacidad 10L. Fuente: Elaboración propia.

## 3.2 METODOLOGIA.

### 3.2.1 Obtención de la fibra del coco.

La fibra coco utilizada en el desarrollo de la presente tesis fue proporcionada por un negocio aserradero de la región de Pátzcuaro, quienes tienen el convenio de triturado de la fibra de mesocarpio para poder procesarla a manera de dejarlo en fibras tipo estopa de características posteriormente a mencionar, se consigue el convenio con este negocio para

poder recibir cantidades mínimas significativas. La separación de la fibra del mesocarpio se obtiene en un equipo diseñado para dicha tarea (Figura 8).



Figura 8. Procesado del mesocarpio para obtener la fibra. Fuente: Elaboración propia.

La fibra obtenida es sometida dos veces a proceso de molienda y tamizada para obtener en promedio las siguientes características: longitud de la fibra de 3cm, diámetro con valores en un rango de 0.05 a 0.4 mm (Figura 9).



Figura 9. Caracterización dimensional de la fibra de coco. Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente la fibra es sometida a secado expuesto a la intemperie en el transcurso del día mientras se cuenta con la exposición a la luz del sol por un lapso de 24 horas.



### 3.2.2 PREPARACIÓN DE LA RESINA UF.

El fabricante recomienda que el adhesivo debe ser diluido en agua tibia (18-22 °C) con una proporción de aproximadamente 2:1 (agua : polvo), dependiendo de la viscosidad deseada, la cantidad de agua a agregar puede variar. Puede ser utilizado con los sistemas aplicadores estándar (espátula, rodillo de mano, y esparcidora de adhesivo). Si se desea, el adhesivo puede ser colorado con tintes a base de agua o con colores minerales libres de álcali. Además recomienda que la temperatura de prensado sea de 70 °C en con un tiempo mínimo de prensado de 5 min; temperatura de prensado sea de 80 °C en con un tiempo mínimo de prensado de 3 min; temperatura de prensado sea de 100 °C en con un tiempo mínimo de prensado de 1 min; y temperatura de prensado sea de 120 °C en con un tiempo mínimo de prensado de 0.5 min.

Para el compuesto de la fibra de coco, se hizo una mezcla de la resina en polvo con 100 ml de agua purificada con 11 gr de resina UF, se agitó rigurosamente por un lapso de 4 minutos para garantizar el mezclado completo de los elementos, posteriormente se vertió la mezcla a un atomizador para poder en su momento utilizar el contenido, se recomienda estar oscilando la mezcla contenida en el atomizador para mantenerla libre de posible endurecimiento parcial por causa del secado de la mezcla trabajada (Figura 10).



Figura 10. Preparación de la resina UF. Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.3 MÉTODO DE OBTENCIÓN DE DATOS DSC-TGA PARA FIBRA DE COCO Y RESINA UF PREPARADA.

Se analizó el comportamiento térmico de la fibra de coco y resina UF, mediante calorimetría diferencial DSC (Differential Scanning Calorimetry), así como análisis termogravimétrico TGA (Thermogravimetry Analysis). Dichos estudios se realizaron en el Instituto de Investigaciones Metalúrgicas de la UMSNH con un equipo Instrument SDT Q600 V20.9 Build 20. Las muestras fueron identificadas respectivamente como FC para la fibra de coco y RR-1 para la resina UF y se colocaron en canastillas de alúmina. Se ejecuta estudio con la finalidad de comprender el comportamiento térmico de la fibra de coco de manera individual, la resina y para el compuesto, sometidos al efecto de la temperatura. El método utilizado se denomina Ramp, donde el material se calienta a una velocidad constante 10.00 °C/min de 25 °C hasta 600 °C en una atmósfera de gas Argón con un flujo de 100.0 ml/min (Figura 11).



Figura 11. Instrumento para DSC-TGA SDT-600 [20].



### 3.2.4 PREPARACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO.

Una vez teniendo a disposición la fibra del coco y la resina preparada, se procedió a mezclar los elementos principales para someterlo al proceso de prensado, con base a diversas pruebas en diferentes proporciones en contenido de los elementos, se determinó la relación de composición de cada uno de los elementos como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Proporción para una muestra del material compuesto.

Mezcla de elementos para obtención de una muestra	
Elemento	Contenido
Fibra de coco	70 g.
Agua pura	100 ml.
Resina en polvo	11 g.
Resina preparada	111 g.

El proceso de mezclado consistió en humedecer los 70g de la fibra con los 111g de contenido de la resina preparada, revolviendo constantemente la fibra humedecida procurando impregnar la mayor cantidad posible para una correcta distribución de la resina en todo el contenido de material fibroso por un lapso de 4 minutos como mínimo (Figura 12).



Figura 12. Preparación de compuesto resina UF - fibra de coco. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se definió que la relación porcentual entre la cantidad de fibra utilizada y la cantidad de resina en polvo requerida es de 84% y 16% respectivamente (Tabla 2). Siendo así la composición estandarizada del material compuesto que se utilizará a lo largo del desarrollo experimental sin importar el tamaño y peso de la pieza, se puede utilizar en los diversos ensayos establecidos para el desarrollo de la presente investigación.

Tabla 2. Porcentaje por elemento del material compuesto.

Cantidad requerida para el material compuesto	
Elemento	Porcentaje %
Fibra de coco	84
Resina Urea Formaldehído en polvo	16

### 3.2.5 EJECUCIÓN DEL PROCESO DE TERMO-PRENSADO DEL MATERIAL COMPUESTO.

Ya obtenida la mezcla resina UF - fibra de coco, se procedió a colocar en un contenedor esa cantidad de material compuesto (Figura 13), las dimensiones del contenedor están definidas como se especifica en la Tabla 3, para obtención de las muestras representativas.

Tabla 3. Características del contenedor.

Forma Geométrica	Circular
Diámetro	10cms
Altura	6cms



Figura 13. Colocación del material compuesto en contenedor. Fuente: Elaboración propia.

Una vez contenida la cantidad de material compuesto en el molde, se procedió a realizar el proceso de termo-prensado en la máquina hidráulica, con condiciones operativas definidas en la Tabla 4. Para lo cual, se consideró un tiempo de prensado inicial de 2 min, posterior a eso, se retira la presión por un lapso de 7 s para permitir liberación de aire caliente que previamente era el generador de defectos internos, se prensa nuevamente y se concluye con presión continua de la muestra por los restantes 6 min del proceso (Figura 14).

Tabla 4. Parámetros operativos del termo-prensado.

Condiciones Operativas para obtención de una muestra	
Presión	50 Kgs/cm <sup>2</sup>
Temperatura	100 °C
tiempo	2 min + 6 min



Figura 14. Proceso de prensado del material compuesto. Fuente: Elaboración propia.

La prensa esta calibrada para permitir un espesor de la muestra de 1.27 cm, ya que cuenta con el dispositivo que permite el paro automático para lograr dicho espesor. Cumplido el tiempo de prensado (8 min en total), se procedió a retroceder la platina superior para la liberación de la presión y extracción de la pieza de la máquina y dejar enfriar a temperatura ambiente, por un lapso de 5 min, tiempo suficiente para poder identificar el adecuado trabajado de la pieza en cuestión de apariencia, dureza al tacto y localización de posibles defectos (Figura 15).



Figura 15. Muestras finales obtenidas del material compuesto. Fuente: Elaboración propia.

Una vez identificados los parámetros operativos bajo los cuales, las muestras presentan apariencia satisfactoria, dureza al tacto prometedora, se consideró continuar con un proceso

de repetitividad (realizar muestras en cantidad ascendente) para garantizar la confiabilidad del proceso.

Es importante mencionar que los parámetros antes mencionados deben seguirse con tiempos, temperatura y acción especificados, ya que de otra manera pueden ocurrir defectos internos y externos en el material como grietas o mala apariencia (superficie quemada) como se muestra en las Figuras 16 y 17.



Figura 16. Defectos internos por proceso incorrecto. Fuente: Elaboración propia.



Figura 17. Defectos externos por proceso incorrecto. Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.6 ENSAYO DE DUREZA JANKA.

Las dimensiones requeridas para el ensayo de dureza Janka de acuerdo a la norma ASTM D1037-12 Sección 17 son 50 \* 50 \* 25 mm (Figura 18).

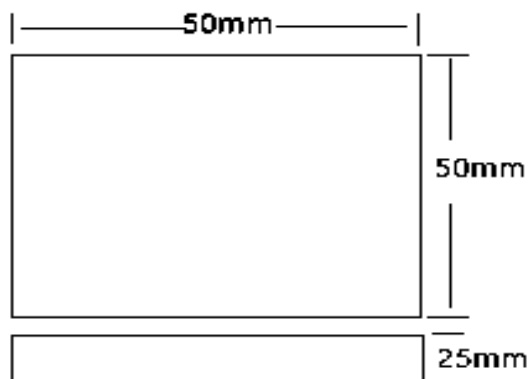


Figura 18. Especificación dimensional para dureza. Fuente: Elaboración propia.

A partir de las dimensiones originales, se procedió a cortar los tableros del material compuesto para obtener las muestras para realizar el ensayo de dureza Janka (Figura 19). Posteriormente se instaló un penetrador de bola de 11.3mm de diámetro en una máquina universal, se montaron las muestras y se estableció una velocidad de penetración de 6 mm/min (Figura 20 - 22), como se resume en la Tabla 5.



Figura 19. Caracterización dimensional para ensayo de dureza. Fuente: Elaboración propia.



Tabla 5. Características del equipo y muestras para ensayo de dureza.

Ensayo de dureza	Janka
Diámetro de la bola	11.3mm (0.444")
Velocidad de penetración	6 mm/min
Dimensión de las muestras	50 * 50 * 25 mm



Figura 20. Aproximación del penetrador de dureza. Fuente: Elaboración propia.



Figura 21. Calibración del penetrador de dureza. Fuente: Elaboración propia.



Figura 22. Muestras del material compuesto con prueba de dureza. Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.7 ENSAYO DE FLEXIÓN.

Las dimensiones requeridas para el ensayo de flexión de acuerdo a la norma ASTM D1037-12 sección 9 son 351 \* 51 \* 12.5 mm. Sin embargo, el proceso de fabricación de la pieza está limitado a obtener una pieza de una longitud de 300 mm por ser la longitud del área de trabajo del molde, también considerando un recorte de 1.5cm por cada extremo para garantizar trabajar con piezas totalmente compactas y libres de defectos a las orillas a lo cual, que da una longitud de 270 mm real (Figura 23). Se consideró factible aún la realización del proceso, solo se hizo un ajuste en la longitud de los puntos de apoyo del dispositivo (Figura 24) de la máquina universal, compensando el cambio con una mayor cantidad de ensayos de los que especifica la norma. Las condiciones operativas del ensayo a flexión se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Características operativas para prueba de flexión.

Ensayo	Flexión en 2 apoyos
Velocidad de aplicación de la fuerza	6 mm/min
Dimensión de las muestras	270 * 51 * 12.5 mm



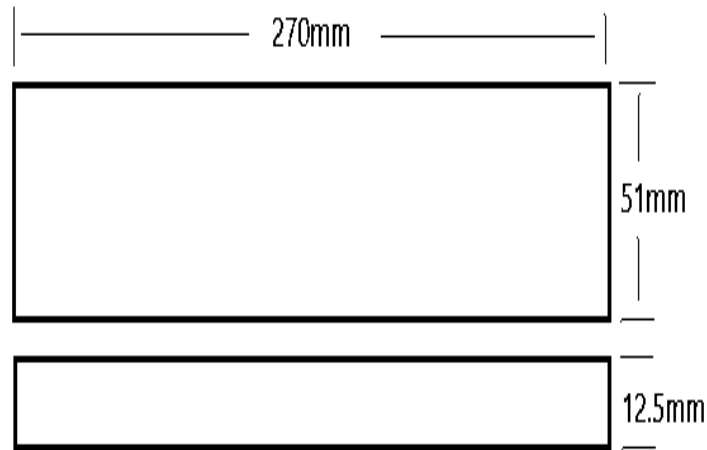


Figura 23. Caracterización dimensional para ensayo de flexión. Fuente: Elaboración propia.



Figura 24. Ajuste de dispositivo de apoyo. Fuente: Elaboración propia.

Al variar las dimensiones de la muestra bajo especificación, se requiere hacer recalcu de cantidad de fibra y resina a utilizar para obtener las piezas, a lo cual requiere también un rediseño del molde que se estaba usando. Determinando los cálculos como se muestra en la Tabla 7.

**Tabla 7. Cálculo de material para probetas de flexión.**

Mezcla de elementos para obtención de una muestra	
Elemento	Contenido
Fibra de coco	210 g.
Agua pura	120 ml

Resina en polvo	34 g.
Resina preparada	154 g.

Bajo mismo procedimiento y parámetros operativos que se mostraron en la Tabla 3 se ejecuta la operación para la obtención de las piezas en el proceso de prensado. Cabe mencionar que por cada corrida de termoprensado se da la posibilidad de obtener dos muestras requeridas para el ensayo de flexión (Figura 25 y 26).



Figura 25. Obtención de probetas para flexión. Fuente: Elaboración propia.



Figura 26. Caracterización dimensional de probetas para flexión. Fuente: Elaboración propia.

En total, se procesaron 7 corridas, de las cuales se obtuvieron 14 muestras para la realización del ensayo a flexión (Figura 27). Solo fueron requeridas y utilizadas 8 piezas las cuales, la caracterización dimensional de cada una de las muestras para ensayo de flexión se encuentran identificadas y mencionadas en la Tabla 12.



Figura 27. Probetas a disposición para flexión. Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.7.1 EJECUCIÓN DE ENSAYO DE FLEXIÓN.

El dispositivo de los dos puntos de apoyos de la máquina universal, requiere un ajuste dimensional, dado que la posición original, la distancia entre los apoyos es de 290 mm, al tener la longitud de la pieza más corta, se recomienda el ajuste a 210 mm de distancia entre los apoyos (Figura 28).



Figura 28. Representación de dispositivo de doble apoyo. Fuente: Elaboración propia.

El cálculo analítico que se realiza conforme a especificación de la norma ASTM D1037-12 sección 9. Haciendo uso de los datos conocidos, se aplicando la fórmula para la resistencia a la flexión.

$$RF = \frac{3 * F * Cl}{2 * a * e^2} = \frac{N}{mm^2} = \frac{Kg}{cm^2}$$

RF = Resistencia a la flexión cálculo analítico  $\frac{N}{mm^2}$  ,  $\frac{Kg}{cm^2}$

F = Fuerza de rompimiento definido en máquina universal Kg.

Cl = Distancia entre apoyos del dispositivo de la maquina universal cm.

a = ancho de la probeta cm.

e = espesor de la probeta cm.

En la Figura 29 se hace representación del ensayo a flexión en cuanto a la aproximación de la carga sobre la muestra del material compuesto durante el proceso.



Figura 29. Ejecución flexión probeta T4. Fuente: Elaboración propia.

Representación de flexión durante la ejecución del ensayo sobre la muestra del material compuesto (Figura 30), además de representación del registro del valor de la fuerza de rompimiento obtenido de una de las muestras en un indicador de caratula de la máquina universal utilizada (Figura 31).



Figura 30. Ejecución flexión probeta T7. Fuente: Elaboración propia.



Figura 31. Obtención de valor de la fuerza de rompimiento. Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.8 ABSORCIÓN DE AGUA E HINCHAZÓN DE ESPESOR ASTM D1037-12 SECCIÓN 23.

#### 3.2.8.1 ABSORCIÓN DE AGUA

Para determinación de las características de absorción de agua e hinchamiento del espesor del panel, se hace uso de la Sección 23 de la norma ASTM D1037-12, bajo el Método B, el objetivo de este procedimiento es identificar en porcentaje, un cambio dimensional y de peso en las muestras por efecto de estar inmersa en agua por un tiempo determinado (24hrs. en total).

La especificación dimensional de las muestras para realizar el ensayo de absorción de agua se realizó acondicionando los tableros del material compuesto producidos por termoprensado con dos tipos de muestras, las muestras tipo 1 consistieron en 5 especímenes de 5 cm \* 5 cm y un espesor de 2.5 cm, por lo que respecta a las muestras tipo 2 se fabricaron 3 especímenes con dimensiones de 7.6 cm \* 5 cm con un espesor de 2.5 cm (Figura 32).

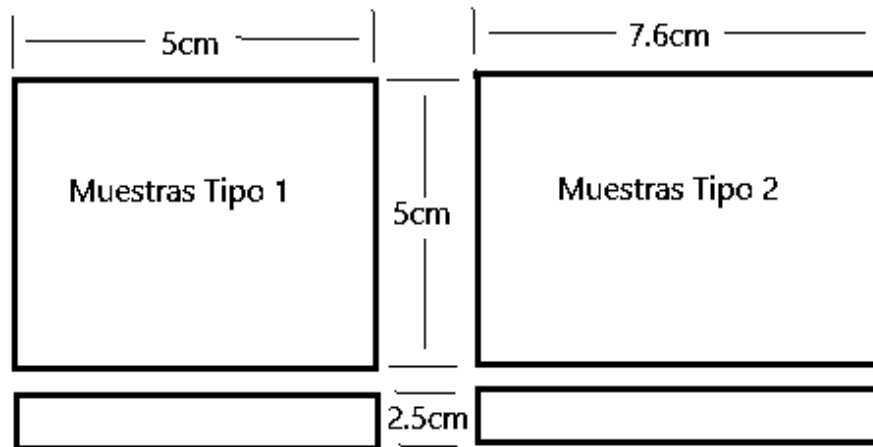


Figura 32. Especificación dimensional de muestras para absorción de agua. Fuente: Elaboración propia.

Se identificaron y registraron las muestras utilizadas como se menciona en la Tabla 8 para el cálculo de absorción de agua, donde se requirió pesar las muestras secas ( $M_s$ ) antes de sumergirlas en agua y posteriormente las piezas húmedas ( $M_h$ ).

Tabla 8. Identificación y peso de las muestras secas y húmedas.

Dimensión (cm)	No. de pieza	Ms (g)	Mh (g)
Tipo 1			
5 * 5	4	24	48
	18	27	51
	19	29	55
	20	29	52
	21	27	54
Tipo 2			
7.6 * 5	3	39	75
	17	45	85
	18	45	85

Una vez definidas las características dimensionales iniciales, se procedió aplicar el método B de la norma ASTM D1037-12 sección 23, el cuál especifica someter la pieza 24 hrs. continuas al agua pura, en posición horizontal, manteniendo una temperatura de 20°C y a una profundidad mínima de inmersión de 25 mm las muestras (Figura 33). Cumplidas las horas especificadas, se retiran las piezas del agua, se liberan de exceso de agua superficial a las piezas e inmediatamente se procede a pesar y medir conforme al procedimiento definido.



Figura 33. Proceso de inmersión para absorción de agua. Fuente: Elaboración propia.



El cálculo de la absorción del agua se realizó mediante la siguiente fórmula.

$$Ab = \frac{Mh - Ms}{Ms} * 100$$

Dónde:

Ab = Absorción de agua %

Ms = Peso de la muestra seca (g)

Mh = Peso de la muestra humedad (g)

### 3.2.8.2 HINCHAMIENTO DE ESPESOR.

Para la evaluación del hinchamiento de espesor se midió el espesor en el punto medio de cada uno de los lados y de cada una de las muestras antes de ser sometidas al procedimiento de evaluación de la absorción de agua mediante el método B de la norma ASTM D1037-12 sección 23. Con datos iniciales registrados se obtuvo la Tabla 9.

Tabla 9. Registro de medición de espesor inicial de las muestras de material compuesto.

Dimensión de pieza	Muestra número	Espesores				
		e1	e2	e3	e4	ei promedio
5 * 5						
	4	2.66	2.88	2.5	2.6	2.66
	18	1.96	1.97	2.08	1.96	1.99
	19	2.1	1.98	2	2.1	2.05
	20	2.04	2.05	2	2	2.02
7.6 * 5	21	2.1	2.06	2.12	2.08	2.09
	3	2.32	2.2	2.2	2.3	2.26
	17	2.2	2.15	2.2	2.29	2.21
	18	2.2	2.23	2.24	2.3	2.24

El cálculo del hinchamiento de espesor de las muestras se hace mediante la siguiente fórmula de acuerdo a especificación de la norma antes mencionada.



Fórmula para calcular el hinchamiento de espesor.

$$h = \frac{(ef - ei)}{ei} * 100$$

Dónde:

h = hinchamiento a 24hrs.

ei = espesor promedio inicial.

ef = espesor promedio final.

### 3.2.9 CÁLCULO DE DENSIDAD.

Para el cálculo de la densidad, se utilizó la relación que existe entre la masa de las muestras en seco y el volumen de cada una de las muestras de cada tipo. Para obtener un promedio más acertado se consideró utilizar 10 muestras de tipo 1 y 5 muestras de tipo 2. Cabe mencionar que el cálculo de la densidad, es relevante en la identificación y especificaciones técnicas del composito propuesto para su potencial desarrollo como un producto a comercializar.

$$\rho = \frac{Masa (g)}{Volumen (cm^3)}$$

Dónde:

$\rho = Densidad$

## **CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.**

En este capítulo se muestran los resultados derivados de los procedimientos y métodos descritos en el capítulo anterior y que dan sustento a la presente tesis.

### **4.1 ANÁLISIS DSC-TGA.**

En esta sección se presentan los resultados así como la interpretación de la calorimetría diferencial de barrido y la termogravimetría de los elementos que componen el material compuesto desarrollado en la presente tesis.

#### **4.1.1 ANÁLISIS DSC-TGA DE LA FIBRA DE COCO.**

Respecto al análisis termogravimétrico de la fibra de coco. Se puede apreciar en la Figura 34 que conforme se va calentando la fibra el agua contenida en la misma comienza a tener un cambio de fase que se ve como un pico en la gráfica DSC en la esquina inferior izquierda de color verde, que corresponde a las temperaturas de 32.18 °C y 62.30 °C, que al alcanzar la temperatura de 107.63 °C comienza a ebulir y al llegar a 120.72 °C se evapora completamente, lo que implica una pérdida en peso de 9.58% con respecto al peso total de la muestra. A partir de este punto comienza la degradación de la fibra de coco hasta reducir su porcentaje en peso a un valor cercano a 28% correspondiente a carbón más algunas otras cenizas a una temperatura de 600 °C. La degradación del componente orgánico inicia de acuerdo al gráfico en el punto indicado con 221.5 °C, por otra parte se puede deducir que la correspondiente degradación de la mayoría de los componentes orgánicos finaliza a los 333.4 °C. Lo anteriormente descrito concuerda con el comportamiento de la curva del flujo de calor, donde hay un cambio en la curva al presentarse cada uno de los fenómenos descritos.

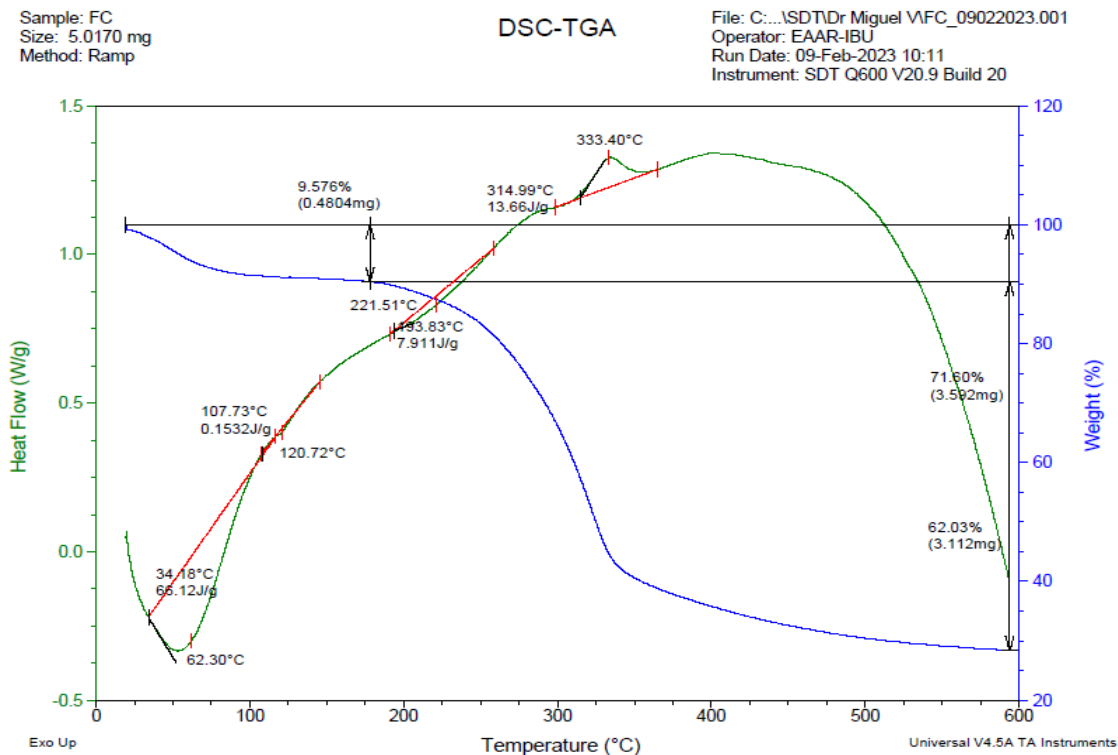


Figura 34. Resultado estudio térmico DSC-TGA para la fibra de coco. Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.2 ESTUDIO TÉRMICO DSC-TGA DE LA RESINA UREA FORMALDEHIDO.

Para la realización del análisis DSC-TGA de la resina urea formaldehido, se colocó una muestra de 5.999 mg en un porta muestras de alúmina para posteriormente establecer la prueba con una temperatura inicial de 25.15 °C y una temperatura final de 600 °C con una rampa de 10.00 °C/min hasta 600.00 °C, el comportamiento termo-gravimétrico se muestra en la Figura 35 y se describe a continuación: Se comienza a presentar la degradación de material a la temperatura de 29.65 °C, dónde se observa una pronunciada pérdida de peso a lo cual se le atribuye al proceso evaporación de agua contenida. Alrededor de los 81.98 °C la muestra ya cuenta con un peso de 2.39 mg. Posteriormente, se reduce la perdida pronunciada del peso de la resina UF, mostrándose una meseta con un comportamiento lineal continuo a los 125 °C, momento en el cual la muestra ya tiene un peso de 1.95 mg; a partir de dicho punto y alrededor de los 234.91 °C. la pérdida de peso es pequeña y se presenta la transición de un estado vítreo a un estado de fluencia mostrando una pérdida de peso pronunciada nuevamente, representando pérdida significativa hasta la temperatura de los 300.04 °C, que es la temperatura de fusión de la resina. Finalmente al alcanzar los 600 °C la resina prácticamente ya se ha degradado registrándose un peso de 0.92 mg correspondiente a cenizas. Lo anteriormente descrito concuerda con el comportamiento de

la curva del flujo de calor presente en la Figura 35, donde hay un cambio en la curva al presentarse cada uno de los fenómenos descritos.

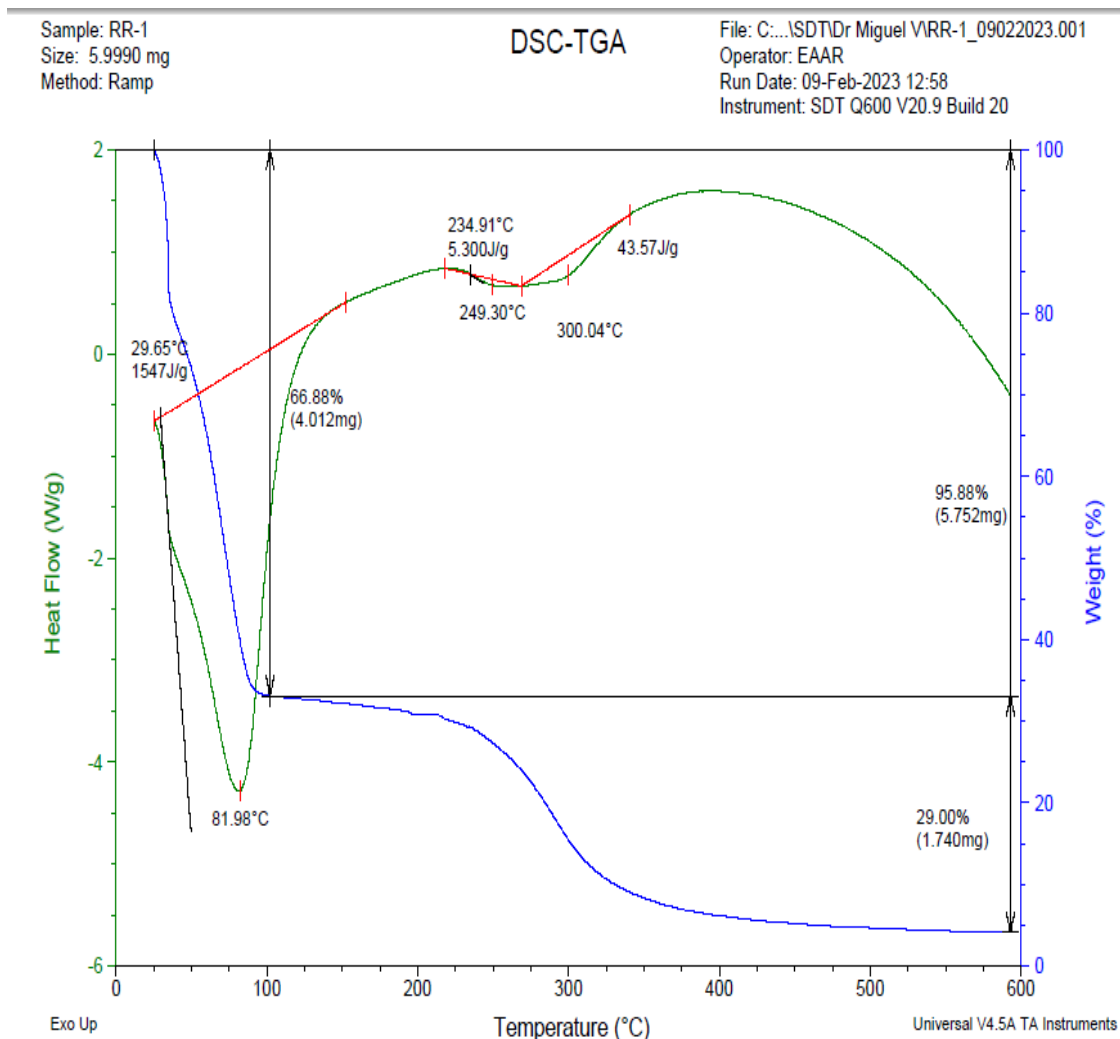


Figura 35. Resultado estudio término DSC-TGA de la resina UF. Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.3 ESTUDIO TÉRMICO DSC-TGA DEL MATERIAL COMPUESTO.

Con un peso inicial de la muestra de 5.85 mg, comienza el proceso de ensayo por DSC-TGA con una rampa de 10.00 °C/min de temperatura ambiente hasta 600.00 °C. Se presenta una pérdida de peso del material compuesto comenzando alrededor de los 33.14 °C hasta aproximadamente llegar a los 175 °C donde se identifica una pérdida de material no significativa manteniendo a esa temperatura un peso de 5.56 mg del material. A los 188.02 °C, se identifica un punto donde se presenta un retención de agua por la fibra de

coco debido a la acción de desprendimiento de agua evaporada contenida en la resina para posteriormente liberarse. Sobrepasada la temperatura de 225 °C comienza la degradación del compuesto, es decir tanto de la resina como de la fibra de coco, visualizándose una pronunciada pérdida de peso hasta los 358 °C, finalmente se observa la calcinación de los últimos componentes quedando un peso de 1.66 mg a la temperatura de 592 °C. Lo anteriormente descrito concuerda con el comportamiento de la curva del flujo de calor presente en la Figura 36, donde hay un cambio en la curva al presentarse cada uno de los fenómenos descritos.

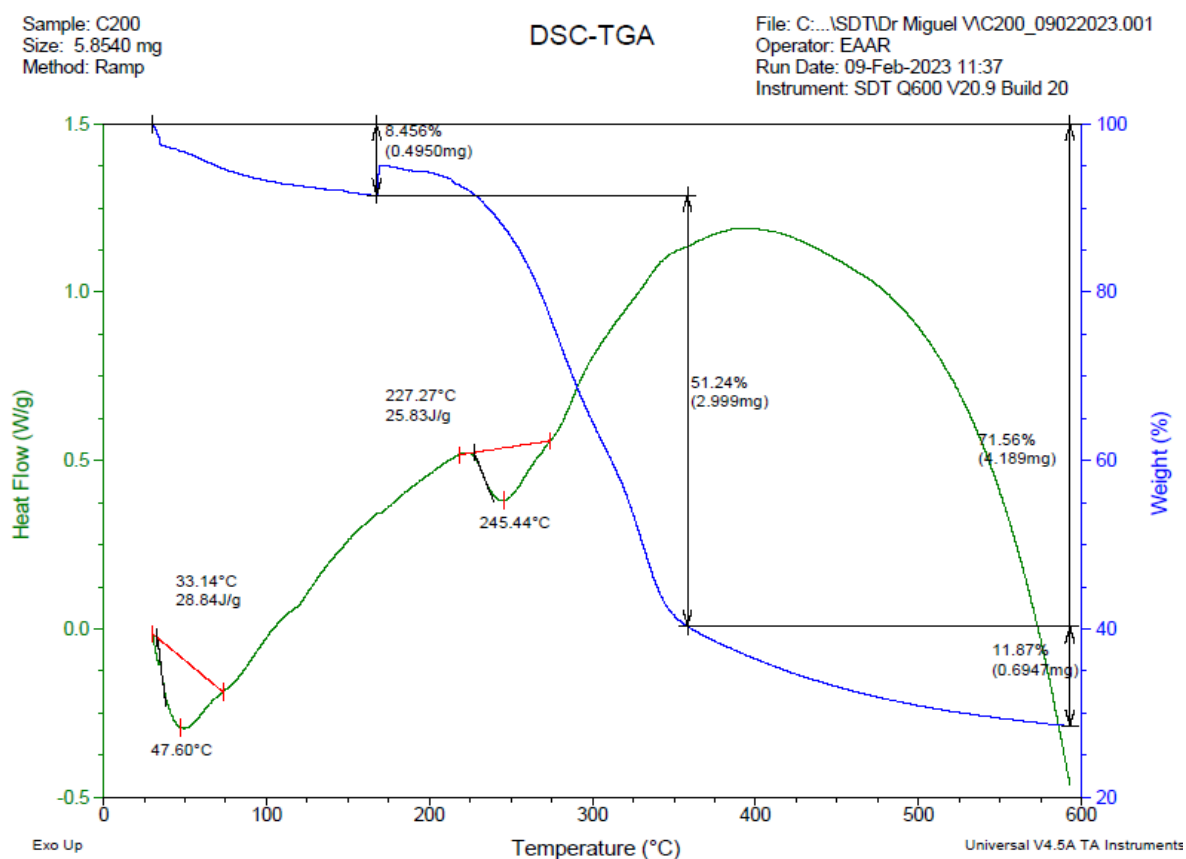


Figura 36. Resultado estudio térmico DSC-TGA del material compuesto. Fuente: Elaboración propia.

## 4.2 ESTUDIO DE REPETITIVIDAD DEL PROCESO DE TERMOPRENSADO.

A modo de aseguramiento de calidad del proceso para obtener el material compuesto, se procedió a realizar una repetitividad del proceso iniciando con un promedio de tres muestras por corrida y duplicando la cantidad de muestras elaboradas, bajo las mismas

condiciones operativas, sin variar el método, los parámetros y las cantidades de componentes utilizados (Figura 37).

Después de haber realizado las pruebas de repetitividad se hizo un análisis cualitativo encontrándose que se presenta aceptable calidad del material compuesto durante las corridas realizadas, mostrando apariencias similares a lo requerido, dureza al tacto similares, sin defectos internos visibles, de las 45 piezas obtenidas, se destinaron el 70% de las piezas para seccionar por mitad y tratar de identificar defectos internos generados, sin localizar alguno en todas las muestras destinadas para este fin.

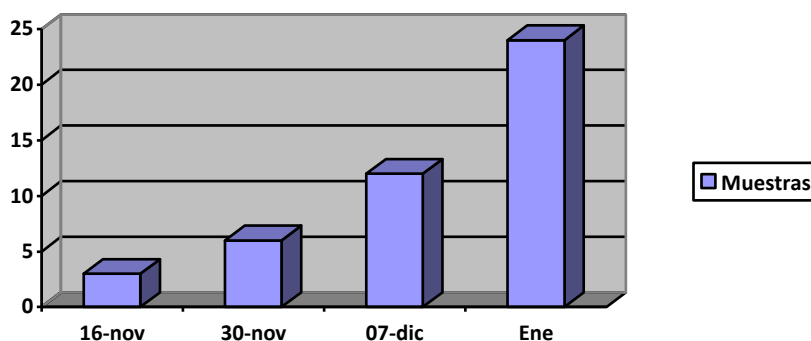


Figura 37. Histograma de repetitividad del proceso. Fuente: Elaboración propia.

### 4.3 ENSAYO DE DUREZA.

Los resultados obtenidos del ensayo dureza bajo el método de Janka, muestran que, existe una gran dispersión entre el menor y el mayor valor obtenido, más sin embargo el cálculo promedio de los valores ( $154.6 \text{ Kp/mm}^2$ ), identifica a las muestras obtenidas en una categoría de dureza blanda, de acuerdo a ficha técnica comercial [21] para tipos de materiales similares y comparado para un aglomerado comercial que ofrece una dureza de  $158 \text{ Kp/mm}^2$ , indicando que el material compuesto desarrollado en la presente tesis presenta valores muy similares a los de un material comercial deduciéndose que puede ser un sustituto de dichos materiales. Los datos registrados del ensayo de dureza se muestran en la Tabla 10.

**Tabla 10. Resultado del ensayo de dureza Janka.**

Dureza	Janka	
Número de pieza	Espesor (mm)	Dureza (Kp/mm <sup>2</sup> )
1	22.5	180
2	22.5	155
3	25	98
4	25	148
7	25	240
8	25	200
18	23.5	110
19	23.5	125
20	25	140
21	24	150
	Dureza Promedio	154.6

Interpretando los datos obtenidos (Figura 38), se observa una amplia variabilidad del proceso, dos muestras fuera del límite máximo y mínimo respectivamente, dos muestras en el borde de los mismos límites mencionados, dos muestras colocadas en el valor promedio calculado, más sin embargo, la mayoría de las piezas se observan dentro de los límites establecidos cumpliendo con la especificación de la interpretación de escalas (Tabla 11). Los resultados anteriores denotan que el proceso de fabricación requiere un mejor control, que de implementarse ofrece la posibilidad y factibilidad de tener un producto comercializable.

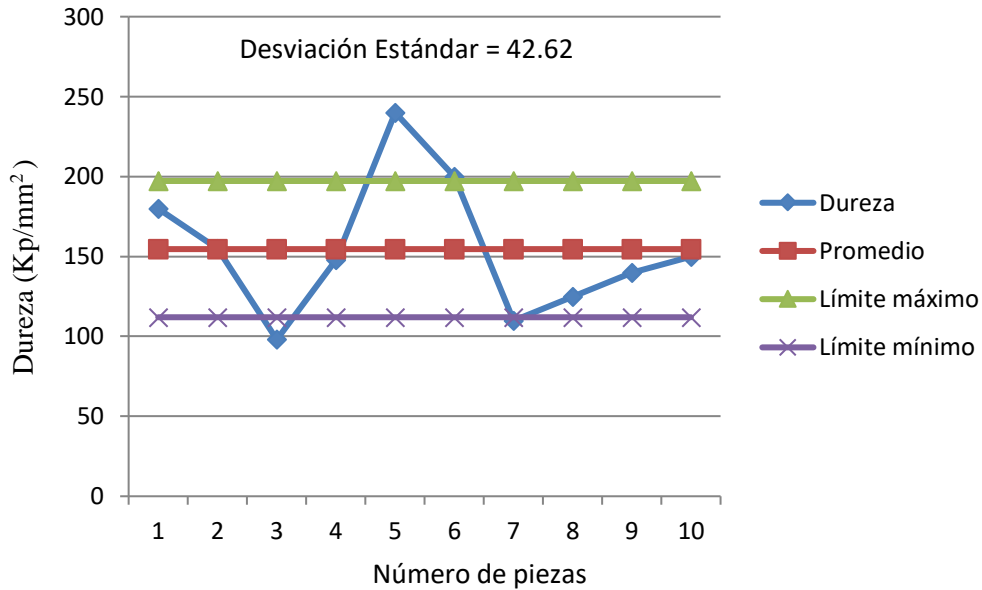


Figura 38. Cálculo de la desviación estándar para valores de dureza. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11. Interpretación de escalas de acuerdo al valor obtenido [21].

Calificación	Dureza Janka (Kp/mm <sup>2</sup> )
Muy Blanda	< 150
<b>Blanda</b>	<b>150 – 350</b>
Semidura	350 – 650
Dura	650 – 900
Muy dura	> 900

#### 4.4 ENSAYO DE FLEXIÓN.

De acuerdo con datos registrados en el procedimiento de aplicación de la fuerza para el ensayo de flexión y posteriormente el cálculo realizado bajo especificación de la norma, los resultados por pieza se muestran en la Tabla 12. Encontrándose que la resistencia a la flexión para el material compuesto es de 95.34 kg/cm<sup>2</sup> o 9.35 Mpa.



Tabla 12. Resultados obtenidos del ensayo de flexión.

No. de Pieza	Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Fuerza aplicada (Kg)	RF (kg/cm <sup>2</sup> )
T1	26.7	5.1	1.5	42	115.29
T1'	26.8	5.2	1.5	51	137.3
T4	26.5	5.1	1.6	38	91.68
T4'	26.1	5.1	1.65	33	79.62
T6	26.9	5.1	1.7	26	56.67
T6'	27	5.1	1.7	32	68.57
T7	26.6	5.3	1.53	42	106.69
T7'	26.6	5.1	1.52	40	106.96
				Flexión Prom.	95.34

Dentro de la interpretación de datos, se observa que la variabilidad de los valores es alto (Figura 39), la dispersión es amplia, colocando 2 de las 8 muestras fuera de los límites establecidos calculados, una muestra en el límite mínimo, una muestra cerca aún que dentro del límite máximo, mostrando un área de oportunidad para continuar mejorando el proceso de fabricación del material compuesto. La variación de los resultados es debido a la alta variabilidad que se presenta en la distribución y orientación de las fibras de coco del material compuesto, pudiéndose mejorar si durante el proceso se orientaran dichas fibras.

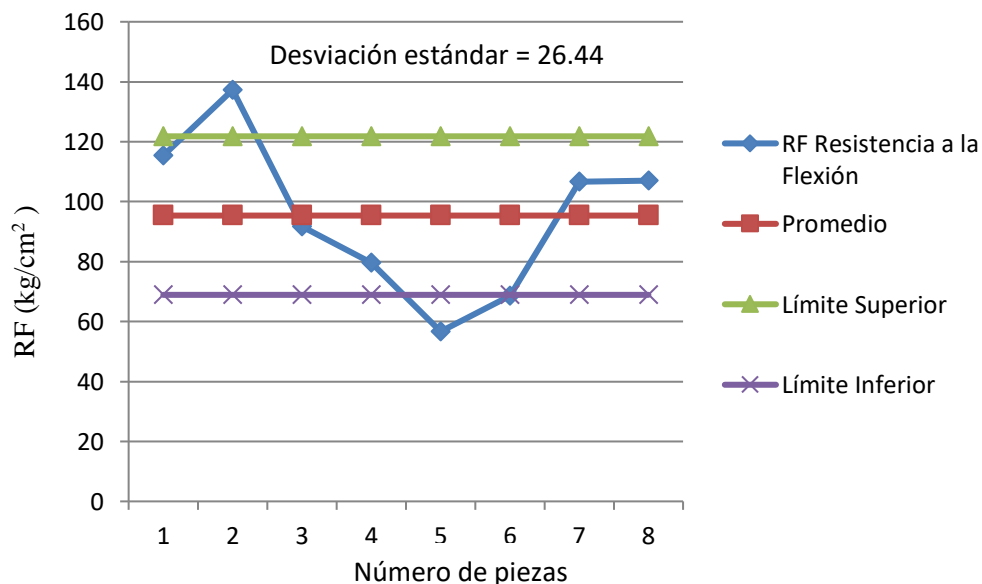


Figura 39. Cálculo de la desviación estándar para la resistencia a la flexión. Fuente: Elaboración propia.

#### 4. 5 ABSORCIÓN DE AGUA E HINCHAMIENTO DE ESPESOR.

En el procedimiento de absorción de agua se observó que el material compuesto absorbe el agua en un 90.88% en promedio de su peso original (Tabla 13), corroborando que la fibra de coco tiene por naturaleza una alta capacidad de retención de agua, sin mostrar deformación física aparente.

Tabla 13. Resultados de absorción de agua.

Dimensión (cm)	No. de pieza	Pesos de la muestra seca (Ms), gramos	Peso de la muestra húmeda (Mh), gramos	Absorción de agua (%)
Tipo 1				
5 * 5	4	24	48	100
	18	27	51	88
	19	29	55	89.65
	20	29	52	79.31
	21	27	54	100
Tipo 2				
7.6 * 5	3	39	75	92.3
	17	45	85	88.88
	18	45	85	88.88
			Promedio =	90.88

Conforme a la lectura de los datos obtenidos en el ensayo (Figura 40), se identifica una dispersión mínima de los valores obtenidos. La mayoría de los datos se encuentran muy próximos al valor promedio calculado (90.88%), interpretándose una fiabilidad aceptable tratándose de la absorción de agua del material compuesto, identificándose que aun que es alta la absorción de agua, el material no presenta deformación física, sin muestras de putrefacción después de dejarse secar a la intemperie, conservando su aspecto original.

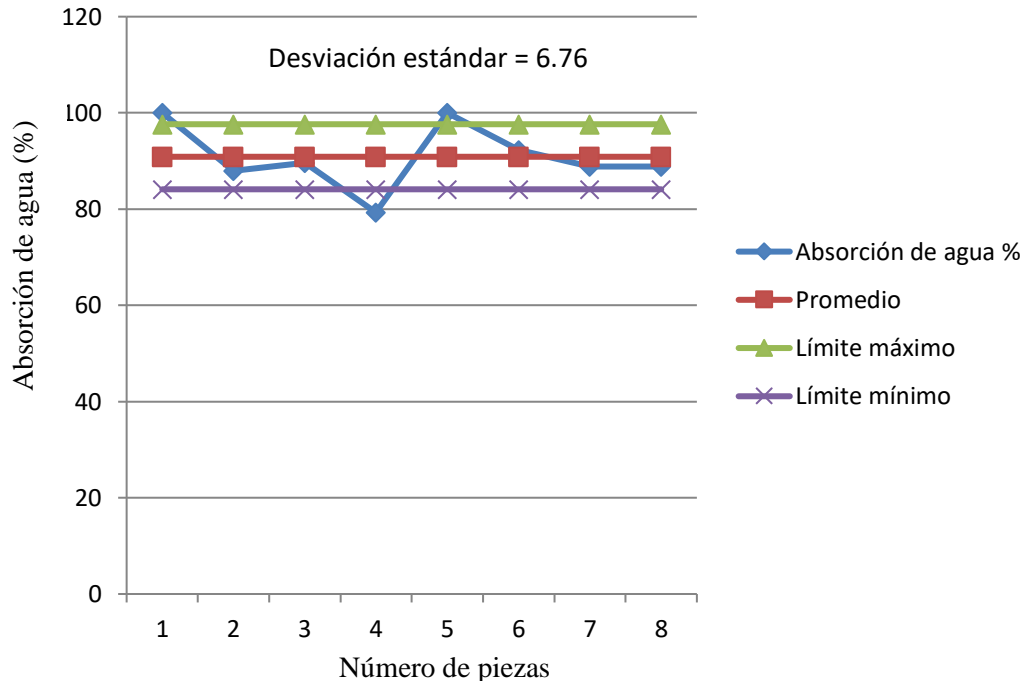


Figura 40. Cálculo de la desviación estándar para absorción de agua. Fuente: Elaboración propia.

Respecto al cálculo de hinchamiento de espesor, de acuerdo a las mediciones obtenidas como se muestran en la Tabla 14, se evidencia una deformación física mínima del material compuesto (6.98%), lo cual puede ofrecer una cierta ventaja sobre materiales similares que al ser sometidos al contacto con agua, suelen presentar una deformación evidente hasta llegar al grado de ser inservibles.

Tabla 14. Resultado del ensayo de hinchamiento de espesor del material compuesto.

a 24 hrs.		Promedio medición en seco	Medición de espesor en húmedo				Promedio medición en húmedo	
Dimensión de pieza	No. muestra	ei	e1	e2	e3	e4	ef	h (%)
5 * 5								
	4	2.66	2.82	2.81	2.57	2.74	2.74	4.59
	18	1.99	2.19	2.11	2.29	2.18	2.19	10.05
	19	2.05	2.23	2.3	2.24	2.24	2.25	9.22
	20	2.02	2.17	2.19	2.14	2.16	2.17	6.93
	21	2.09	2.24	2.22	2.25	2.22	2.23	6.69
7.6 * 5								
	3	2.26	2.43	2.35	2.26	2.45	2.37	5.33
	17	2.21	2.35	2.27	2.36	2.39	2.34	5.88
	18	2.24	2.41	2.36	2.41	2.43	2.40	7.14
							h promedio	6.98

Nota: e es el espesor (cm).

Se identifica una dispersión mínima para la deformación física en el caso del espesor del material compuesto de las piezas sometidas a inmersión de agua, con el cálculo respectivo de la desviación estándar que resultó ser en pequeño rango (1.86), esto comprueba el hecho de que a pesar de tener una alta absorción de agua el material, tiene la capacidad de mantener su origen dimensional, sin mostrar deformación mayor preocupante, siendo calculado un promedio de 1.5 décimas de mm de deformación presente (Figura 41).

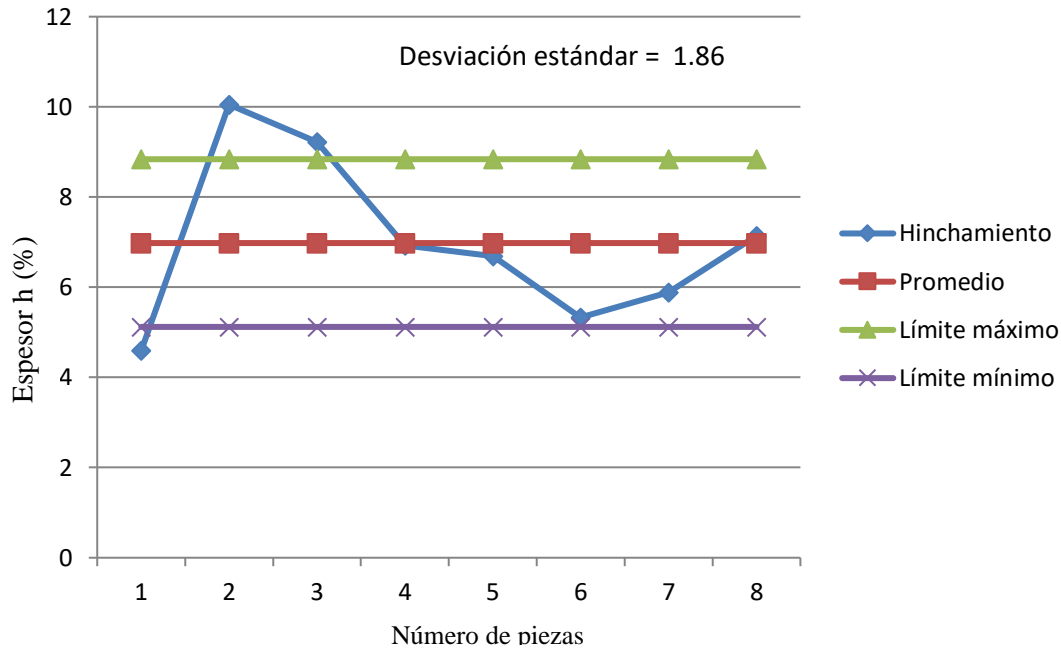


Figura 41. Cálculo de la desviación estándar para el hinchamiento de espesor. Fuente: Elaboración propia.

#### 4.6 CÁLCULO DE DENSIDAD.

Para la determinación de la densidad del material, se utilizaron las mismas muestras para determinación de absorción de agua e hinchamiento de espesor, además de 7 piezas adicionales con las mismas características dimensionales a las mencionadas. Encontrándose como resultado un material con una densidad de  $0.4898 \text{ g/cm}^3$ , lo que la cataloga como un material de baja densidad (Tabla 15), como lo clasifican fichas técnicas comerciales, donde se relaciona que un material similar de baja densidad, suele presentar bajas propiedades mecánicas[22].

Tabla 15. Resultado de cálculo de densidad del material compuesto.

Dimensión de la muestra (cm)	No. de muestra	Masa (g)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )
5 * 5	1	25	52	0.481
	2	26	54	0.481
	3	25	65	0.385
	4	24	57.6	0.416
	7	27	61.25	0.439
	8	26	60	0.433
	18	27	49	0.551

	19	29	53.6	0.541
	20	27	48	0.562
	21	29	48	0.604
7.6 * 5				
	1	43	91.48	0.47
	2	38	83.4	0.456
	3	39	85.1	0.458
	17	45	84.15	0.535
	18	45	84.15	0.535
			$\rho$ Promedio	0.4898

La interpretación de datos obtenidos de cálculo de la densidad, destaca un valor reducido de la desviación estándar (0.062), más sin embargo, la dispersión de los datos de acuerdo a los límites establecidos presentan variabilidad pronunciada.

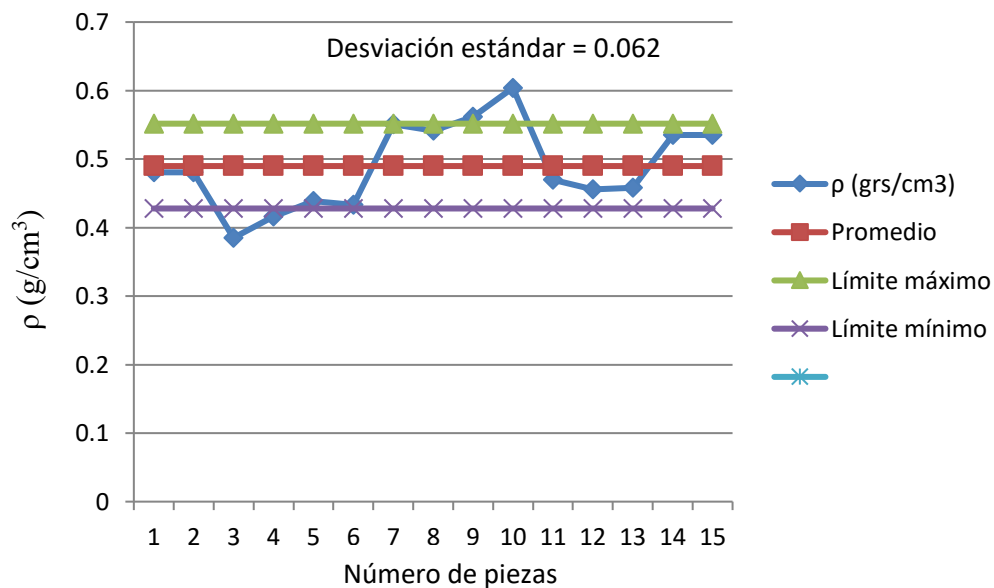


Figura 42. Cálculo de la desviación estándar para la densidad del material compuesto. Fuente: Elaboración propia.

## **CONCLUSIÓN.**

El material compuesto de fibra de coco con un resina urea formaldehído, fue exitosamente fabricada bajo el procedimiento propuesto en la presente tesis, además se encontraron las condiciones operativas del proceso de fabricación. El material muestra ser de media resistencia para una aplicación práctica, con una dureza promedio de 154.6 Kp/mm<sup>2</sup>, lo que indica que es un material viable de ser fabricado a un bajo costo por estar constituido en mayor porcentaje de un material reciclable. Por otra parte, la pieza fabricada muestra ser de baja densidad (0.4898 g/cm<sup>3</sup>) comparada con un material comercial usado hoy en día, además de ser altamente resistente al agua, ya que presenta una mínima deformación física (6.98%) al estar en contacto pronunciado con el agua.

## **APORTACIONES DERIVADAS DE LA PRESENTE TESIS**

Dentro de las aportaciones derivadas del presente trabajo de esta tesis fueron:

- Se definieron los parámetros operativos y productivos efectivos para hacer posible la fabricación de tableros similares a los aglomerados comerciales existentes, mediante un material compuesto de fibra coco reciclada combinada con resina urea formaldehído.
- Se obtuvo un proceso que hace uso de la fibra de coco que hoy en día se desaprovecha en otros procesos industriales, para producir un material factible de competir con materiales comerciales.
- Se logró el aprovechamiento de maquinaria y equipo especializado con el que cuenta la Facultad de Ingeniería Mecánica para nuevos trabajos experimentales en el conformado de materiales considerados reciclables.
- Se estableció un convenio y transferencia tecnológica con un productor de materiales para la construcción de la ciudad de Morelia.

## REFERENCIAS.

- [1] R. Detallado, "Contenido: reporte detallado folio: 211pp047 fecha: octubre 2015," 2015.
- [2] S. Vallejos, "Estudio De La Reducción De Emisión De Formaldehído En Las Resinas De Urea Formaldehído," pp. 1–32, 2009, [Online]. Available: [https://riubu.ubu.es/bitstream/handle/10259.1/97/Vallejos\\_Calzada.pdf;jsessionid=BE8B361D971869D386F69F0892B68F65?sequence=2](https://riubu.ubu.es/bitstream/handle/10259.1/97/Vallejos_Calzada.pdf;jsessionid=BE8B361D971869D386F69F0892B68F65?sequence=2)
- [3] ASTM, "ASTM D1037-13 Standard test methods for evaluating properties of wood-base fiber and particle," *Annu. B. ASTM Stand.*, no. July, pp. 1–30, 2013, doi: 10.1520/D1037-12.1.
- [4] E. H. Raúl, "Manual de prácticas del laboratorio de tableros a base de madera."
- [5] applynano, "Materiales Compuestos, una solución en la industria aeronáutica," 2020. <https://applynano.com/materiales-compuestos-una-solucion-en-la-industria-aeronautica/>
- [6] J. A. Islas Mascareñas, "Estudio de aleación de aluminio reforzada con materiales compuestos para reducción de peso en la industria automotriz," p. 134, 2014.
- [7] L. Maya *et al.*, "Tema A1 Materiales : Materiales Compuestos medición de ángulos de deflexión de rudder "," 2020.
- [8] M. V. J. C. Paris Carballo Federico, Cañas Delgado José, *Introducción al análisis y diseño con materiales compuestos*. Sevilla, 2006. [Online]. Available: <https://www.coursehero.com/file/31490444/Materiales-Compuestospdf/>
- [9] M. Domínguez and C. Londoño, "Elaboración de tableros aglomerados empleando diferentes formulaciones adhesivas a partir de proteína de soya.," *Univ. Pontif. Boliv.*, 2014.
- [10] B. Menéndez Fernández, "Estudio de las propiedades físico mecánicas de la fibra de coco como refuerzo de Material Compuesto Matriz Polimérica (MCMP).," pp. 1–76, 2009, [Online]. Available: [https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/3079/Beatriz Menéndez Fernández.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/3079/Beatriz%20Men%C3%A9ndez%20Fern%C3%A1ndez.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [11] K. M. F. Hasan, P. G. Horváth, M. Bak, and T. Alpár, "A state-of-the-art review on coir fiber-reinforced biocomposites," *RSC Adv.*, vol. 11, no. 18, pp. 10548–10571, 2021, doi: 10.1039/d1ra00231g.
- [12] Mariano, "Tecnología de los plásticos, Resinas Urea - Formaldehídos," *Materiales plásticos, características, usos, fabricación.*, 2012. <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2012/11/resinas-urea-formaldehido.html>
- [13] M. Chan, O. Araujo, M. . García, and R. Solís, "Tableros de madera de partículas," *Ingeniería*, vol. 8, no. 3, pp. 39–46, 2004, [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/pdf/467/46780304.pdf>
- [14] SRIKANTH PILLA, *Handbook of Bioplastics and Biocomposites Engineering Applications*.



2011.

- [15] JÖRG MÜSSIG, "Industrial Applications of Natural Fibres," 2010.
- [16] M. de las M. Pablo, "Física y Química de las Fibras Textiles," 1976.
- [17] N. Alex and J. Escudero, "Tesis Coco (Final)," p. 18, 2017, [Online]. Available: [https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/10374/tesis coco %28final%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y%0Afile:///C:/Users/HP CORE I3/Desktop/rut repositoio de tesis/tesis coco \(final\).pdf%0Afile:///C:/Users/HP CORE I3/Downloads/tesis coco \(fin](https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/10374/tesis%20coco%28final%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y%0Afile:///C:/Users/HP%20CORE%20I3/Desktop/rut%20repositorio%20de%20tesis/tesis%20coco%20(fin).pdf%0Afile:///C:/Users/HP%20CORE%20I3/Downloads/tesis%20coco%20(fin).pdf)
- [18] V. H. Guerrero, P. Pontón, A. Tamayo, H. Villacís, F. Delgado, and S. Galeas, "Materiales compuestos de matriz poliéster reforzados con fibras naturales y sintéticas," *Espe*, pp. 70–74, 2013.
- [19] M. A. Hidalgo-Salazar, J. P. Correa-Aguirre, S. García-Navarro, and L. Roca-Blay, "Injection molding of coir coconut fiber reinforced polyolefin blends: Mechanical, viscoelastic, thermal behavior and three-dimensional microscopy study," *Polymers (Basel)*, vol. 12, no. 7, pp. 1–20, 2020, doi: 10.3390/polym12071507.
- [20] H. Yun, "Surface Properties of Advanced Materials and Their Applications in Ballistics," 2010. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/profile/Huisung-Yun/publication/275953723/figure/fig7/AS:669469366042673@1536625343859/5-TA-Instrument-SDT-Q600-DSC-TGA.png>
- [21] F. Bermejo, "La dureza de la madera." [Online]. Available: <https://tmolduras-fbermejo.es>
- [22] N. Neitzel, R. Hosseinpourpia, T. Walther, and S. Adamopoulos, "Alternative Materials from Agro-Industry for Wood Panel Manufacturing—A Review," *Materials (Basel)*, vol. 15, no. 13, pp. 1–27, 2022, doi: 10.3390/ma15134542.