

**PRODUCCIÓN DE EMULSIONES POLIMÉRICAS A PARTIR DE
POLIMETILMETACRILATO POST-CONSUMO, CON POSTERIOR APLICACIÓN
EN LA PRODUCCIÓN DE AGLOMERADOS.**

**DIANA MARCELA GALLEGO CIPAMOCHA
SANDRA MILENA MORENO OLAYA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2014

**PRODUCCIÓN DE EMULSIONES POLIMÉRICAS A PARTIR DE
POLIMETILMETACRILATO POST-CONSUMO, CON POSTERIOR APLICACIÓN
EN LA PRODUCCIÓN DE AGLOMERADOS.**

**DIANA MARCELA GALLEGO CIPAMOCHA
SANDRA MILENA MORENO OLAYA**

Trabajo presentado como requisito para optar el título de Ingeniero Químico

**Director
JOSÉ CARLOS GUTIÉRREZ GALLEGO
Químico, M.Sc.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2014

DEDICATORIA

A mi madre quien con su ejemplo, valentía y tenacidad me ha enseñado que siempre se pueden superar las dificultades, gracias Lilita por ese apoyo y amor incondicional.

A mi padre, por darme las bases para seguir el camino. A él le debo mis convicciones, sin duda alguna sus enseñanzas fueron su mejor herencia.

A mis hermanas por los momentos en los que me brindaron su apoyo.

A mis amigos, personas excepcionales con quienes compartí momentos inolvidables, gracias por estar ahí siempre en los momentos de gloria y en situaciones difíciles las cuales fueron mucho más fáciles de sobrellevar con ustedes, su apoyo fue fundamental para culminar este sueño.

Muchas gracias.

Sandra Milena Moreno Olaya.

DEDICATORIA

A mi abuelita Inés quien me cuidó la mayor parte de la vida, la que me acompañó hombro a hombro hasta cuando pudo estar de pie, quien consoló mis tristezas y acompañó mis alegrías, gracias por su sabiduría y amor por siempre toda mi admiración y mi cariño.
A mi mamá, la persona que hizo todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, a ella por siempre mi agradecimiento.

Gracias a Gustavo y Camilo, mis hermanos los que siempre estuvieron listos para brindarme toda su ayuda, ahora me toca regresar un poquito de todo lo que me han otorgado.

Alex a tu paciencia, comprensión, y constante compañía, gracias.

A mis maestros y amigos que en este andar por la vida, influyeron con sus lecciones y experiencias en formarme como una persona de bien y preparada para los retos que pone la vida, a todos y cada uno de ellos les dedico cada una de estas páginas.

Diana Marcela Gallego Cipamocha.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darnos la paciencia, fortaleza y sabiduría para saber afrontar cada dificultad.

A la Universidad Industrial de Santander por darnos la oportunidad de formarnos como profesionales.

Al profesor José Carlos Gutiérrez por la confianza que depositó en nosotras y por su orientación para el desarrollo de esta investigación.

A don Eduardo y don Wilson por facilitarnos los recursos para llevar a cabo este proyecto, el desempeño en su trabajo es una muestra de humildad y profesionalismo.

A todas las personas que de algún modo nos colaboraron durante esta investigación especialmente a Alex y al ingeniero Diego.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	18
1. MARCO TEÓRICO	20
1.1 POLIMETILMETACRILATO (PMMA)	20
1.2 ESTROPAJO (LUFFA CYLINDRICA)	21
1.3 TABLEROS AGLOMERADO O TABLEROS DE MADERA PLÁSTICA	22
1.4 EMULSIONES	22
1.5 NONILFENOL	24
2. METODOLOGÍA	25
2.1 ACONDICIONAMIENTO DE LAS MATERIAS PRIMAS	25
2.1.1 Identificación de las materias primas	25
2.1.2 Limpieza de la materia prima	26
2.1.3 Preparación de la solución polimérica	26
2.1.4 Concentración de la solución polimérica	26
2.2 CARACTERIZACIÓN DE POLIMETILMETACRILATO.	27
2.2.1 Densidad	27
2.2.2 Test de llama	27
2.2.3 Espectroscopia de infrarrojo	27
2.3 PROCESO DE EMULSIFICACIÓN	27
2.4 CLASIFICACIÓN DE LA EMULSIÓN	28
2.5 ELABORACIÓN DE LOS TABLEROS	28
2.5.1 Impregnado de las fibras de luffa con la solución polimérica.	28
2.5.2 Secado	28
2.5.3 Adhesión de polímero a la fibra	29

2.5.4 Prensado	29
2.6 CARACTERIZACIÓN DE LOS AGLOMERADOS	29
2.6.1 Determinación de la densidad	29
2.6.2 Absorción de humedad e hinchamiento en espesor (ASTM D570).	29
2.6.3 Test de llama (ASTM D1692).	30
2.6.4 Ensayo de tracción perpendicular al plano (ASTM D1037-91)	30
2.6.5 Prueba de dureza (ASTM D2240)	31
2.6.6 Degradación química	31
2.6.7 Resistencia a agentes bióticos	31
3. ANÁLISIS DE RESULTADOS	32
3.1 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DEL PMMA.	32
3.2 TEST DE LLAMA DEL PMMA	32
3.3 ESPECTROSCOPIA DE INFRARROJO	33
3.4 PROCESO DE EMULSIFICACIÓN	35
3.5 CARÁCTER DE LAS EMULSIONES	36
3.6 ADHESIÓN DE POLÍMERO EN LA FIBRA	37
3.7 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD NORMAL (ASTM D 1037-91)	37
3.8 ABSORCIÓN DE HUMEDAD E HINCHAMIENTO EN ESPESOR (ASTM D570)	39
3.9 TEST DE LLAMA DEL AGLOMERADO	40
3.10 PRUEBA DE TRACCIÓN	41
3.11 PRUEBA DE DUREZA	42
3.12 DEGRADACIÓN QUÍMICA	42
3.13 RESISTENCIA A AGENTES BIÓTICOS	43
4. CONCLUSIONES	44
5. RECOMENDACIONES	45

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
BIBLIOGRAFÍA	50
ANEXOS	54

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Reacción de polimerización de polimetilmetacrilato (PMMA).	20
Figura 2. Estropajo (Luffa cylindrica).....	21
Figura 3. Esquema de una emulsión	23
Figura 4. Fases y tipos de Emulsiones.	24
Figura 5. Metodología utilizada para la elaboración y caracterización de aglomerados.....	25
Figura 6. Prueba de llama del residuo polimérico.	33
Figura 7. Estructura química del monómero de PMMA.	33
Figura 8. Resultados de la prueba de espectroscopia infrarroja.	34
Figura 9. Elaboración de las emulsiones	35
Figura 10. Prueba para la clasificación de la emulsión	36
Figura 11. Prueba de humedad e hinchamiento	39
Figura 12. Prueba de tracción.....	41
Figura 13. Prueba de degradación química.	42

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Propiedades Físico-Químicas del Polimetilmetacrilato	21
Tabla 2 Resultados obtenidos en la determinación de la densidad del residuo de PMMA.....	32
Tabla 3 Concentración de las emulsiones obtenidas	35
Tabla 4 Polímero adherido a las fibras de luffa.	37
Tabla 5 Resultados de la determinación de la densidad.	37
Tabla 6 Resultados de la prueba de humedad e hinchamiento.....	39
Tabla 7 Resultados de la prueba de tracción.	41
Tabla 8 Resultados de la prueba de dureza.	42

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A GRAFICOS OBTENIDOS DURANTE LA PRUEBA DE TRACCION	54

RESUMEN

TITULO: PRODUCCIÓN DE EMULSIONES POLIMÉRICAS A PARTIR DE POLIMETILMETACRILATO POST-CONSUMO, CON POSTERIOR APLICACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE AGLOMERADOS¹

AUTORES: GALLEGO CIPAMOCHA, Diana Marcela.
MORENO OLAYA, Sandra Milena^{**}

PALABRAS CLAVE: Polimetilmetacrilato (PMMA), post-consumo, fibras de luffa cylindrica, matriz polimérica, aglomerados.

DESCRIPCIÓN: A partir de polimetilmetacrilato (PMMA) post-consumo previamente acondicionado y dispersado en tolueno, se prepararon emulsiones polímero-disolvente-agua-emulsificante; en el proceso de emulsificación se prepararon varias muestras variando las proporciones de dispersión polimérica y manteniendo constante la cantidad de solución de nonilfenol hasta obtener emulsiones estables, disminuyendo al máximo la cantidad de solvente apolar y emulsificante para obtener un proceso amigable con el medio ambiente. Posteriormente se fabricaron tableros aglomerados a partir de fibras de luffa cylindrica cortadas en láminas como matriz de refuerzo y usando la emulsión con mayor cantidad de polímero como agente de pegado; se elaboraron tableros con composiciones diferentes de polímero/fibra y diferente número de capas; los tableros obtenidos correspondieron a una relación polímero fibra de 35/65 de una capa, 49/51 de una capa y 49/51 de dos capas estos se caracterizaron mediante prueba de densidad, prueba de absorción de humedad e hinchamiento, test de llama, ensayo de tracción, prueba de dureza, prueba de degradación química y prueba de resistencia a los agentes bióticos. Dichos tableros fueron evaluados mediante las normas ASTM (American Society for Testing and Materials), los resultados obtenidos evidencian que los tableros cumplen con la NTC (norma técnica colombiana) 2261, se encontró que para las diferentes composiciones y número de capas en los tableros obtenidos hay aplicabilidad comercial en diferentes industrias principalmente como aislante térmico y sustituto de la madera, con lo que se puede afirmar que el uso de fibra de luffa cylindrica como materia prima en la fabricación de aglomerados resulta ser prometedora por sus buenas propiedades fisicomecánicas.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: M.Sc. José Carlos Gutiérrez Gallego

ABSTRACT

TITLE: PRODUCTION OF POLYMER EMULSIONS FROM POLYMETHYLMETHACRYLATE POST-CONSUMER WITH SUBSEQUENT APPLICATION IN THE PRODUCTION OF AGGLOMERATES*

AUTHORS: GALLEGO CIPAMOCHA, Diana Marcela.
MORENO OLAYA, Sandra Milena**

KEYWORDS: Polymethylmethacrylate (PMMA) post-consumer, luffa cylindrica fibers, polymer matrix, agglomerates.

DESCRIPTION: From polymethylmethacrylate (PMMA) previously conditioned post consumer and dispersed in toluene, polymer-solvent-emulsifier-water were prepared emulsion; emulsification in the process of several samples were prepared by varying the proportions of polymer dispersion and keeping constant the quantity of solution to obtain stable emulsions nonylphenol, reducing the maximum quantity of apolar solvent and emulsifier to obtain a friendly process environment. Subsequently agglomerated boards were manufactured from fibers of Luffa cylindrica and cut into sheets and reinforcement matrix using the emulsion polymer with more bonding agent; Boards were prepared with various compositions of polymer / fiber and different number of layers; boards obtained polymer corresponded to a fiber ratio of 35/65 of a layer, 49/51 of one layer and 49/51 these two layers were characterized by testing density, moisture absorption test and swelling test of flame, tensile test, hardness test, test and test chemical degradation resistance to biotic agents. These boards were evaluated by the ASTM (American Society for Testing and Materials) standards, the results show that the boards meet the NTC (technical standard Colombian) 2261, it was found that for different compositions and number of layers on the boards obtained no commercial applicability in different industries mainly as thermal insulation and wood substitute, so we can say that the use of luffa cylindrica fiber as raw material in the manufacture of agglomerates turns out to be promising for good physicomechanical properties.

* Project of degree

** Physicochemical Engineering Faculty, Chemical Engineering. Director: M.Sc. José Carlos Gutiérrez Gallego.

INTRODUCCIÓN

La producción de tableros de madera o tableros aglomerados ha venido creciendo de manera importante, gracias a la diversidad de uso que se les puede dar principalmente en construcción y en la industria de los muebles.

Los tableros aglomerados de partículas, presentan ventajas frente a la utilización de madera sólida por su bajo costo y porque contribuyen a la preservación de este recurso natural; la producción tradicional de estos tableros ha sido ampliamente estudiada arrojando buenos resultados, sin embargo los materiales compuestos a partir de polímeros post-consumo y fibra vegetal son recientes y sus ventajas económicas y ambientales son el atractivo que invita a la investigación.

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y la Comisión de las Naciones Unidas para la Economía de Europa (CEE), celebraron una consulta internacional sobre tableros de fibra y tableros de madera aglomerada en Ginebra, Suiza del 21 de enero al 4 de febrero de 1957 (FAO, 1968), publicando en su informe definitivo: método de ensayo; diferencias de los materiales; producción, consumo y comercio mundiales; materias primas; proceso y equipo; aspectos económicos de la producción y comercialización; propiedades, aplicaciones y usos; así como la necesidad de realizar investigación en todos los países, pugnando por conseguir resultados de sus productos[13].

En la presente investigación se lleva a cabo la producción y posterior caracterización de aglomerados a partir de materias primas como polimetilmetacrilato (PMMA) post-consumo y refuerzo celulósico de fibra vegetal de estropajo (*Luffa cylindrica*), con el objetivo de recopilar información y aportar a la investigación de nuevos materiales en la categoría de aglomerados.

ESTADO DEL ARTE

El crecimiento de la contaminación ambiental causada por los residuos poliméricos ha llevado la atención investigativa hacia el aprovechamiento de estos residuos para la creación de nuevos materiales; los plásticos más fabricados son el polietilén-tereftalato (PET), el polipropileno, el policloruro de vinilo, el poliestireno, los derivados acrílicos y los cauchos; este tipo de productos pueden ser reciclados, fundidos y utilizados como fase matriz en la elaboración de materiales compuestos.

Para reforzar la matriz polimérica se han usado fibras naturales de coco, plátano, lino, yute, cáñamo, cascarilla de arroz, entre otros; las cuales presentan ventajas comparativas con otros materiales (fibra de vidrio, acero, etc.) debido a su bajo costo, baja densidad, altos valores de resistencia a la tracción, buenas propiedades térmicas, variedad, bajo consumo de energía, entre otras (Aragón, 2004).

Estudios realizados con diferentes fibras de plátano, yute y lino como refuerzo de una matriz de polipropileno, dieron como resultado un incremento en la rigidez y la flexión al aumentar el contenido de fibras (Oksman 1996).

Una investigación en la que se usó luffa cylindrica como refuerzo en concreto polimérico reportó una disminución en la resistencia a la compresión, sin embargo aumentó la deformación en el punto de máximo esfuerzo (Martínez, Barrera 2013).

Los materiales reforzados con fibras naturales representan una alternativa para reducir el uso de materiales plásticos difíciles de reciclar, sustituyendo además fibras sintéticas como las de vidrio, que son una seria amenaza ecológica.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 POLIMETILMETACRILATO (PMMA)

El PMMA es un polímero formado por polimerización vinílica de radicales libres a partir del monómero metil metacrilato, es un homopolímero termoplástico [20], comúnmente producido por polimerización en emulsión, polimerización en solución y polimerización a granel, aunque también puede ser empleada la polimerización aniónica[5]; para producir 1 Kg de PMMA, se necesitan alrededor de 2 Kg de petróleo crudo[1].

Todo el PMMA comercial es atáctico y completamente amorfo [15], es rígido, con buenas características mecánicas y cuenta con una excepcional capacidad de transmisión de la luz, superior a la de los vidrios inorgánicos, de ahí sus principales aplicaciones que son: la construcción, muebles, señalizaciones, partes de automóviles, electrodomésticos, aparatos de laboratorio, entre otros [8].

Figura 1. Reacción de polimerización de polimetilmetacrilato (PMMA).



Tabla 1. Propiedades Físico-Químicas del Polimetilmetacrilato [17]

PROPIEDAD	VALOR
Peso Molecular, g/mol	Variable
Punto de ebullición, °C	200,0
Punto de fusión, °C	160
Densidad a 25°C, g/m ³	1,18

1.2 ESTROPAJO (LUFFA CYLINDRICA)

El estropajo, también conocido como *Luffa cylindrica*, es una enredadera de la familia de las cucurbitáceas, es de carácter fibroso, tiene una región central y capas externas en la cual las fibras están colocadas en arreglos multidireccionales formando una red, con la presencia de micro-canales y poros con diámetros de 10-20 μm ; consiste principalmente de celulosa (54%), hemi-celulosa (20%) y lignina (15%) [14]. En el plano industrial, la fibra de la luffa tiene múltiples aplicaciones, como materia prima en la elaboración de filtros para agua y aceite, así como para calderas y destilerías, rellenos para muebles y embalajes, planchas acústicas, fabricación de papel, cartón, de las semillas se extrae un aceite de alta calidad, comparable al aceite de oliva, mientras que los tallos y hojas tienen diversos usos medicinales [7].

Figura 2. Estropajo (*Luffa cylindrica*).



1.3 TABLEROS AGLOMERADO O TABLEROS DE MADERA PLÁSTICA

Son materiales compuestos estables, resultado de la asociación de uno o varios materiales reforzantes (generalmente en forma de fibras) y un ligante o matriz; de consistencia uniforme, pueden estar hechos por una o varias capas del mismo material, adheridas entre sí; las propiedades resultantes dependen de las características de sus componentes y del número de capas que lo compongan [2][18].

Los tableros de madera plástica tienen características físicas muy similares a la madera natural, resistente a la corrosión, agua, ácido, al ataque bioquímico y a la intemperie y presenta ventajas respecto a esta por la abundancia y bajo costo de la materia prima, no presentan problemas de ataques de insectos y hongos, ya que las colas y resinas empleadas en su elaboración actúan como fungicidas, sus características permiten múltiples usos y aplicaciones en productos para la construcción como muelles, terrazas, ventanas, molduras, pisos, partes y piezas de muebles[6][9].

1.4 EMULSIONES

Una emulsión es un sistema disperso en el cual las fases son líquidos inmiscibles o parcialmente miscibles; razón por la que se introduce en su formulación emulsionantes o emulgentes que faciliten la dispersión y mantengan la emulsión durante cierto tiempo. La selección de estas sustancias suele hacerse de forma empírica o intuitiva basándose en la experiencia o pruebas posteriores [3][8].

La fase que se encuentra discontinua dentro de la emulsión se conoce como fase dispersa y la otra como fase continua, ver Figura 2. una de las fases es acuosa y la otra es aceitosa; si la fase dispersa es la fase aceitosa, la emulsión se

denomina O/W (oil in water). Si en cambio la fase acuosa es la fase dispersa, se denomina W/O (wáter in oil), ver Figura 3, los glóbulos en la emulsión se encuentran entre 1nm a 1µm[10].

La estabilidad de las emulsiones vendrá determinada especialmente por la cinética de los procesos de floculación y de coalescencia. Los principales parámetros involucrados son la distribución del tamaño de gotas, la temperatura, la viscosidad de la fase continua y su variación con la temperatura, la naturaleza de la película interfacial y la existencia de barreras eléctricas o estéricas superficiales [3].

La preparación de una emulsión requiere la formación de una gran cantidad de área interfacial entre los líquidos inmiscibles, para esto se ingresa energía al sistema como la agitación mecánica. El uso de tensoactivos que son compuestos anfífilicos de peso molecular medio o bajo, es importante ya que tienen la capacidad de aumentar la viscosidad de la fase continua [12].

Figura 3. Esquema de una emulsión

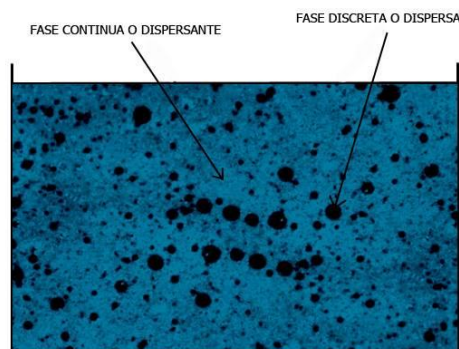
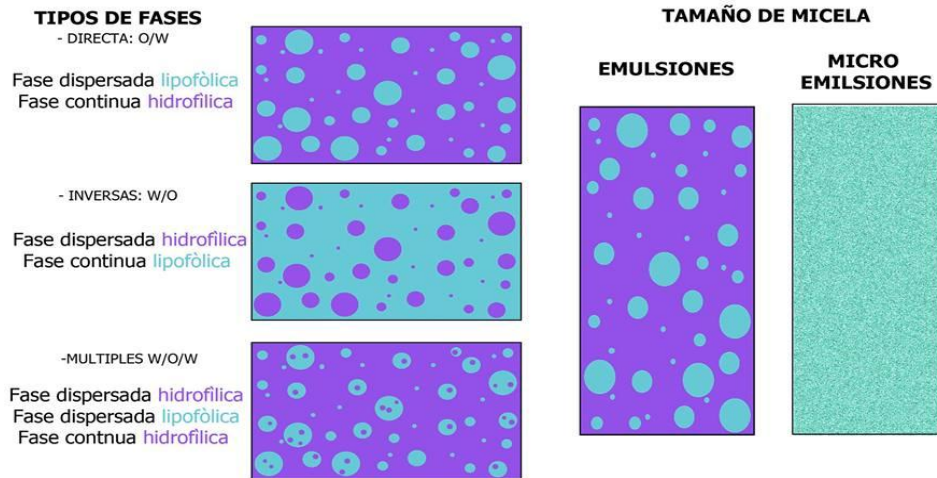


Figura 4. Fases y tipos de Emulsiones.



1.5 NONILFENOL

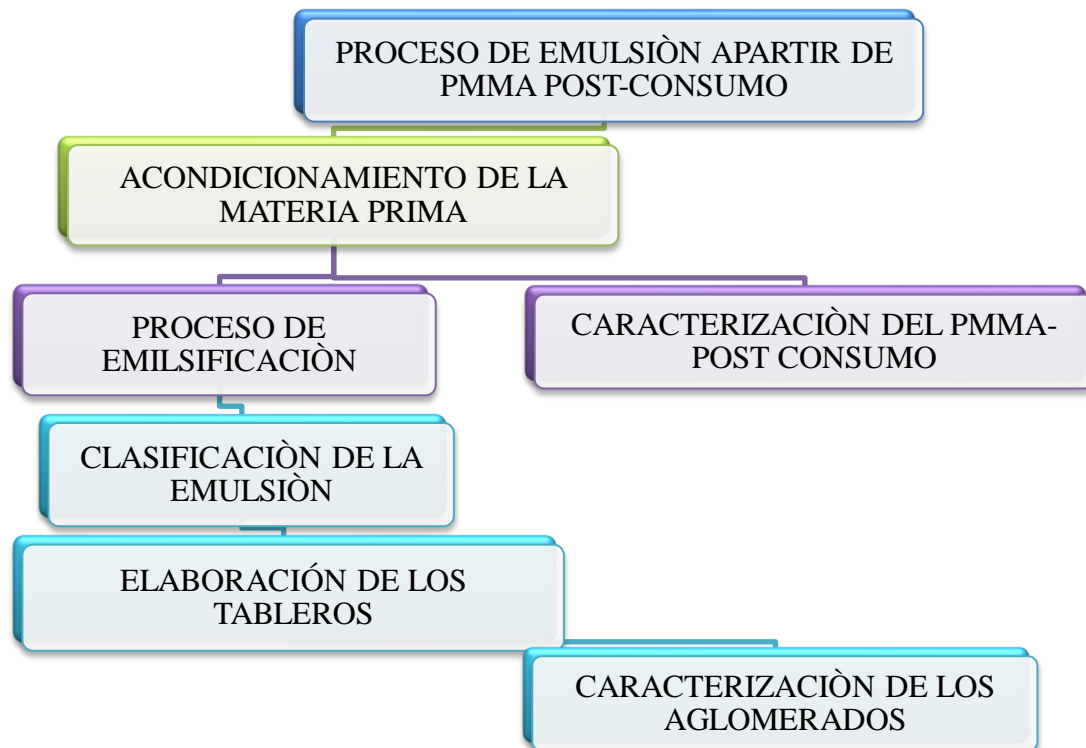
Pertenece a una familia de compuestos orgánicos, subconjunto de los alquilfenoles; empleándose como precursor útil para ciertos detergentes. Adicionalmente presenta poca solubilidad en agua y moderada en alcohol [4].

Los alquilfenoles sometidos a etilación, producen alquilfenoles etoxilados, los cuales son utilizados como tensoactivos industriales. Entre sus aplicaciones se encuentra como agente emulsionante y útil en la polimerización por emulsión y en laboratorio para la fabricación de detergentes y pesticidas. Adicionalmente se utiliza como surfactante en la limpieza y productos cosméticos [4].

2. METODOLOGÍA

La metodología usada para la elaboración y caracterización del polímero post-consumo y del aglomerado se muestra en la Figura 5.

Figura 5. Metodología utilizada para la elaboración y caracterización de aglomerados



2.1 ACONDICIONAMIENTO DE LAS MATERIAS PRIMAS

2.1.1 Identificación de las materias primas Se realizó la búsqueda y posterior recolección de las materias primas:

- El polímero polimetilmetacrilato (PMMA) post-consumo se obtuvo de maquetas desechadas en la escuela de Diseño Industrial de la Universidad Industrial de Santander.
- El estropajo (*Luffa cylindrica*) se obtuvo en la plaza de mercado en su presentación comercial.

2.1.2 Limpieza de la materia prima

- El proceso de limpieza del PMMA post-consumo consistió en un lavado con agua y detergente para eliminar la suciedad y todos los componentes que no formaran parte del material.
- En cuanto al luffa se le retiraron las semillas presentes en las cámaras de fibra y se cortó en tiras a lo largo del fruto.

2.1.3 Preparación de la solución polimérica Posteriormente el PMMA se redujo de tamaño y se mezcló con Tolueno como solvente orgánico volátil (VOC). A medida que se agregaban los trozos y se agitó mecánicamente para disolver las partículas, hasta obtener una mezcla homogénea y formar una emulsión estable.

2.1.4 Concentración de la solución polimérica Para saber la proporción de solvente y soluto presentes en la solución polimérica, se inicia pesando un vidrio de reloj seco, a este se le adicionó una muestra de solución polimérica, se pesó, se llevó al horno a una temperatura de 60°C, hasta obtener una película plástica, posteriormente se pesó, al obtener estos datos se halló la cantidad de sólidos disueltos de PMMA en la solución, que fue de 0,16 gr PMMA/gr de dispersión.

2.2 CARACTERIZACIÓN DE POLIMETILMETACRILATO.

La caracterización de polímeros abarca, desde su estructura microscópica, hasta sus propiedades útiles como materiales. Al polímero se le realizaron una serie de pruebas para confirmar su naturaleza.

2.2.1 Densidad Para obtener la densidad aparente de un material polimérico, se utiliza el principio de Arquímedes, este nos permite conocer la relación entre masa y volumen ocupado.

2.2.2 Test de llama El polímero fue sometido a una llama por medio de un mechero FISHER, donde se observó el comportamiento de la muestra en contacto con la llama.

2.2.3 Espectroscopia de infrarrojo Se analizó una muestra del polvo del polímero en el FTIR-84005.

2.3 PROCESO DE EMULSIFICACIÓN

El uso de agentes tensoactivos ha mostrado ser muy eficiente al mejorar el efecto de dispersión del reforzante, reduciendo la interacción fibra-fibra, aumentando el enlace interfacial fibra-matriz y promoviendo la compatibilidad entre el polímero y la fibra [11-23].

Para encontrar la emulsión con mayor estabilidad, se agregó a 100 mL de solución de nonilfenol al 5% diferentes masas de dispersión polimérica, sin variar la velocidad de agitación del Ultra-turrax modelo CHOTT DI-148 digital (4000 rpm). El objetivo principal de ésta etapa era obtener una emulsión que presentara adecuadas características y máxima estabilidad, se realizaron 6 muestras, con el fin de ver la influencia del polímero en cada emulsión.

2.4 CLASIFICACIÓN DE LA EMULSIÓN

Se realizó una prueba sencilla y eficaz que consistió en tomar 1 mL de la emulsión en cuatro tubos de ensayo y se agregó 1 mL de agua al primero, 2 mL al segundo, 3 mL al tercero y 4 mL al cuarto, esto con el fin de observar si presentaba afinidad con el agua o de lo contrario si ocurría rompimiento de la emulsión al aumentar la cantidad de agua de esta forma se podía percibir el carácter hidrófobo o hidrófilo.

2.5 ELABORACIÓN DE LOS TABLEROS

Según Maloney (1993), los tableros de partículas son paneles manufacturados de materiales lignocelulósicos (usualmente madera), en forma de piezas discretas o partículas, combinadas con resinas sintéticas –u otros adhesivos– sometidos a presión y calor en una prensa hidráulica. Es un proceso en el cual los enlaces entre partículas son creados por el adhesivo o aglutinante añadido (AITIM, 1994).

Se decidió hacer un aglomerado elaborado a partir de una solución polimérica y fibra de luffa; producción que se divide en tres etapas: impregnar las láminas de luffa, secado y prensado.

2.5.1 Impregnado de las fibras de luffa con la solución polimérica. Para la obtención del aglomerado se impregnaron las fibras de luffa con la emulsión polimérica.

2.5.2 Secado Posterior al proceso de impregnado se dejaron secar las láminas a temperatura ambiente y al aire libre. Con este proceso se obtienen los pre-pregs o laminas impregnadas de polímero termoplástico.

2.5.3 Adhesión de polímero a la fibra Los pre-pregs fueron pesados para conocer la cantidad de polímero adherido, se encontró una relación polímero-fibra de 35/65, a fin de obtener otra relación se realizó un segundo impregnado a algunas de las muestras.

2.5.4 Prensado El aglomerado se realiza por medio de un molde y de un contramolde, los cuales se presionan a través de una prensa hidráulica marca Berstor referencia 59-50131, del laboratorio de operaciones unitarias y procesos de Ingeniería Química, donde el prensado fue aplicado por 15 min. En primera instancia las condiciones de prensado fueron; una presión de 50 Kg/cm² y una temperatura de 160°C, el uso del parámetro de temperatura se mantuvo constante pero se varió la presión hasta 100 Kg/cm², con el fin de observar si mejoraban las características de las láminas prensadas. Las condiciones durante el proceso se mantuvieron constantes.

2.6 CARACTERIZACIÓN DE LOS AGLOMERADOS

Una vez obtenidos los aglomerados de una y dos capas, se hizo la respectiva caracterización físico-mecánica con ayuda de las normas ASTM, de tableros de fibra-partículas y plásticos, para que los resultados obtenidos y las posibles sugerencias estén acorde con los lineamientos internacionales.

2.6.1 Determinación de la densidad. Para determinar la densidad se usó el principio de Arquímedes, se utiliza el principio de Arquímedes, este nos permite conocer la relación entre masa y volumen ocupado.

2.6.2 Absorción de humedad e hinchamiento en espesor (ASTM D570). Se realizó prueba de absorción de agua, y para esto fue necesario cortar nueve probetas de 3x8cm y 2,5x12 cm sumergirlos en agua destilada a temperatura ambiente, por un periodo de 24 horas.

Para determinar la absorción de humedad se aplicó la siguiente expresión:

$$A = [(P_f - P_i) / P_i] * 100$$

Dónde:

A = Absorción de humedad, en % del peso inicial

P_f = Peso final, en gramos

P_i = Peso inicial, en gramos

Por otro lado, el hinchamiento correspondió al incremento en espesor, por acción de la absorción de humedad a las 24 horas aplicando la expresión:

$$\alpha = [(E_f - E_i) / E_i] * 100$$

Dónde

α = Hinchamiento en espesor en %

E_i = Espesor inicial, en mm

E_f = Espesor final, en mm

Con ayuda de un calibrador se realizaron las mediciones de espesor.

2.6.3 Test de llama (ASTM D1692). Los aglomerados obtenidos fueron sometidos a una llama por medio de un mechero FISHER, donde se observó el comportamiento de la muestra en contacto con la llama.

2.6.4 Ensayo de tracción perpendicular al plano (ASTM D1037-91) Para la prueba de tracción se cortaron 6 probetas de 3 muestras, que fueron sometidas a una fuerza gradualmente aplicada, esto a fin de determinar cuál relación de polímero-fibra presenta mayor resistencia al esfuerzo. Se llevó a cabo en la máquina de prueba de materiales modelo 25 kN H25K-S la cuál a medida que se aplicaba la fuerza iba proporcionando una gráfica de la relación esfuerzo y deformación, hasta la fractura de la probeta. La evaluación de la resistencia de las probetas se hizo mediante la norma ASTM D 1037.

2.6.5 Prueba de dureza (ASTM D2240) La prueba de dureza se realizó con el fin de observar la resistencia que tenía el aglomerado al desgaste. Esta prueba se realizó a seis muestras, en cuatro puntos diferentes por cara, con la ayuda de un durómetro Shore tipo B, para materiales duros.

2.6.6 Degradación química Se tomaron muestras de aglomerado utilizando 100 ml de solución al 10% de diversos agentes químicos y aceite mineral a temperatura ambiente por un periodo de 10 días, las sustancias utilizadas fueron hidróxido de sodio, ácido nítrico, ácido sulfúrico y aceite mineral.

2.6.7 Resistencia a agentes bióticos Las muestras fueron expuestas a la intemperie por un periodo de 4 semanas a una temperatura en el día de aproximadamente de $26^{\circ}\text{C} \pm 2$ y en la noche a $20^{\circ}\text{C} \pm 2$ y a presión atmosférica.

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DEL PMMA.

Tabla 2. Resultados obtenidos en la determinación de la densidad del residuo de PMMA.

Peso del material [g]	Volumen desplazado [ml]	Densidad [g/ml]
0,58	0,5	1,16
0,94	0,8	1,18
1,5	1,3	1,15
Promedio de la densidad 1,163 g/ml		

De acuerdo a las pruebas realizadas la densidad del residuo es 1,163g/ml, cuyo valor está dentro del rango reportado para el PMMA que es de 1,16-1,20 g/ml [19].

3.2 TEST DE LLAMA DEL PMMA

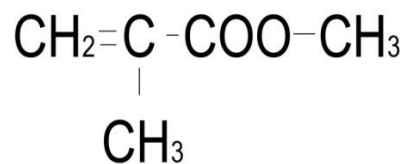
Para realizar esta prueba se tomó una pieza de PMMA con una pinza, y se sometió directamente a la llama, se observó una llama amarilla brillante con chispeo y sin formación de gotas; lo cual es una llama típica de PMMA [16]; esto indica que entre los aditivos del residuo de PMMA no está presente un retardante de llama pues esto habría alterado las características de la llama al afectar la inflamabilidad del polímero.

Figura 6. Prueba de llama del residuo polimérico.



3.3 ESPECTROSCOPIA DE INFRARROJO

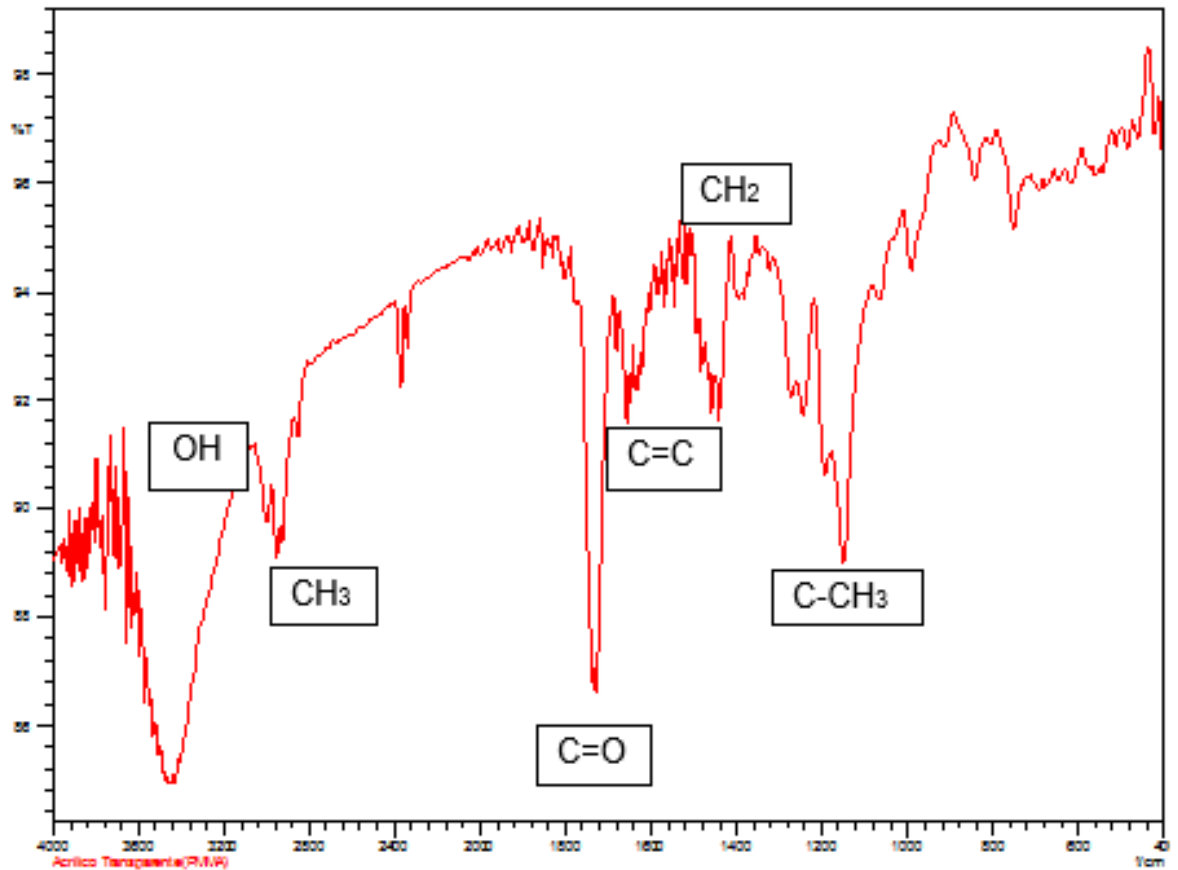
Figura 7. Estructura química del monómero de PMMA.



Se muestran las bandas de absorción referentes a los grupos funcionales de CH_3 en la región de 2949 cm^{-1} , las bandas del grupo carbonilo del éster $\text{C}=\text{O}$ en la

región de 1726 cm^{-1} y las bandas de vibración del grupo aromático CH_2 en la región de 1437 cm^{-1} confirmando que el compuesto corresponde a polimetilmetacrilato.

Figura 8. Resultados de la prueba de espectroscopia infrarroja.



3.4 PROCESO DE EMULSIFICACIÓN

Figura 9. Elaboración de las emulsiones



Tabla 3. Concentración de las emulsiones obtenidas

Emulsión	Concentración [g dispersión polimérica/ml sln de nonilfenol]
1	0,2172
2	0,1575
3	0,2695
4	0,3878
5	0,4497
6	1,27

Después de realizar las 6 emulsiones, se observó su comportamiento sin agitación, la estabilidad se definió como la perseverancia que poseía el sistema para mantener sus propiedades a través del tiempo ya que el motivo por el cual el sistema tiende a desestabilizarse, es debido a que los glóbulos o partículas que conforman la fase dispersa, se mueven y chocan entre ellos formando

aglomerados, basados en este criterio todas las emulsiones presentaron estabilidad, se elige la emulsión 6 como la mejor debido a que favorece la adhesión del polímero a la fibra por su mayor contenido en polímero.

3.5 CARÁCTER DE LAS EMULSIONES

La emulsión presentó carácter hidrófilo en la prueba realizada, ya que se dispersó fácilmente al adicionársele agua en diferentes cantidades a cada muestra sin presentarse desestabilidad en la emulsión.

Figura 10. Prueba para la clasificación de la emulsión



3.6 ADHESIÓN DE POLÍMERO EN LA FIBRA

Tabla 4. Polímero adherido a las fibras de luffa.

Muestra	Peso fibra [g]	Polímero absorbido [g]	
		1 impregnada	2 impregnada
1	2,72	1,94	
2	4,54	1,93	
3	3,90	1,19	4,34
4	5,44	1,68	5,01
5	5,10	1,97	6,19
6	3,49	1,39	3,83
7	2,73	1,09	3,37
8	4,91	2,10	4,52
9	10,94	1,91	7,34

La presencia de micro canales con anchuras que van de 4 a 12 μm [3], en la superficie de la luffa no pueden ser llenados por completo con la emulsión; los resultados son evidencia de esto, en la primera impregnada muestran una adhesión de 34,8% dando como resultado una relación de polímero-fibra de 35/65, fue necesaria una segunda impregnación; en la que la adhesión se incrementó a 94,8%, y su relación polímero-fibra a 49/51.

3.7 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD NORMAL (ASTM D 1037-91)

Tabla 5. Resultados de la determinación de la densidad.

Número de capas	Polímero/fibra	Peso [g]	Volumen [cm^3]	Densidad [g/cm^3]	Densidad promedio
1	49/51	1,21	1,78	0,68	0,67
		4,27	6,57	0,65	
1	35/65	1,24	2,82	0,44	0,48
		2,35	4,52	0,52	
2	49/51	3,6	6,10	0,59	0,61
		4	6,35	0,63	

De acuerdo a la clasificación de los tipos de tableros aglomerados de la norma técnica colombiana NTC 2261 los tableros obtenidos con la relación polímero-fibra de 49/51 son de densidad media o semiduros ya que se encuentran en el rango de 500 a 800 Kg/m³, presentan buena resistencia mecánica. Es un buen sustituto de la madera sólida ya que permite obtener acabados y terminaciones excepcionales usando las mismas técnicas y herramientas a un menor costo ya que los aglomerados no requieren el tratamiento de la madera además de la disminución en costos de transporte debido a su carácter liviano; entre sus aplicaciones se encuentran carpintería, mobiliario, decoración, fabricación de puertas, muebles de cocina, divisiones interiores, prefabricados, bases de suelos, molduras estructurales, muebles de baño, entre otros.

Por otro lado los tableros de una capa con relación polímero-fibra 35/65 son de densidad baja o tipo aislante ya que están por debajo de 500 Kg/m³, según la NTC 2261. Se fabrican con la finalidad especial de que resulten ligeros para dedicarlos a paneles, cuando sea necesario amortiguar los ruidos o aislar el calor, o bien en piezas o construcciones en que sea importante reducir el peso.

Finalmente se observó el comportamiento de la densidad respecto al número de capas y a la relación polímero-fibra, viéndose que un aumento en el número de capas, hace que el material sea más liviano o menos denso, esto se debe a que las capas en que está compuesto el material son más livianas al apilarlas por la presencia de espacios llenos con aire que no generan un peso igual al de los aglomerados de una sola capa; respecto a la relación polímero-fibra, además es evidente que en el aglomerado al aumentar el contenido de polímero aumenta la densidad ya que el polímero es más denso que la fibra vegetal.

3.8 ABSORCIÓN DE HUMEDAD E HINCHAMIENTO EN ESPESOR (ASTM D570)

Figura 11. Prueba de humedad e hinchamiento



Tabla 6. Resultados de la prueba de humedad e hinchamiento.

Muestra	Espesor 1	Espesor 2	Peso 1	Peso 2	% Absorción	% Hinchamiento
1	0,43	0,52	3,46	4,56	31,79	20,93
(49/51)	0,48	0,57	4,27	5,49	28,57	18,75
2	0,72	1,20	1,24	3,80	206,45	66,67
(35/65)	0,74	1,43	1,90	4,82	153,68	93,78
3	1,27	1,43	3,60	4,61	28,06	12,28
(49/51)	1,42	1,90	4,00	5,60	40,00	33,80

Las muestras con relación polímero-fibra de 35/65 presentan mayor absorción de humedad a causa del contenido de lignina lo que le proporciona carácter hidrófilo a la fibra; mientras que las muestras con relación polímero-fibra de 49/51 presentan una mayor resistencia al agua, esto se debe a que el polímero aporta impermeabilidad, manteniendo en buen estado el material.

Kollman (1959) supone que con buena aproximación, la cantidad de agua admitida en los tableros es inversamente proporcional al peso específico aparente y dice que las propiedades higroscópicas de los tableros de fibras de madera de distintas

densidades, más comunes en el mercado, son inferiores a las correspondientes en la madera natural, ya que toman menos humedad a causa del tratamiento a que son sometidas , principalmente en el proceso de prensado, las fibras son calentadas a 160° C y en algunos casos a temperaturas aún mayores. Además agrega que los tableros de fibra, no se recuperan completamente del espesor hinchado por una subsiguiente deshidratación, puesto que las fibras aplastadas durante la fabricación, se recuperan durante el hinchamiento, y adoptan más o menos su primitiva forma tubular.

El mismo autor menciona que los ensayos para determinar el hinchamiento superficial son más importantes en espesor, ya que en longitud la medición es complicada y el coeficiente de hinchazón es relativamente pequeño (menor al 1%) de ahí que la longitud no es relevante en esta prueba.

3.9 TEST DE LLAMA DEL AGLOMERADO

El ensayo de inflamabilidad se hizo según la norma ASTM D1692, se observó inicialmente una llama fuliginosa que crepitaba, se prolongó por un periodo de 15 segundos aproximadamente y luego se extinguió dejando cenizas de la fibra de luffa, los olores desprendidos del proceso de combustión mayormente fueron del PMMA; el aglomerado presenta inflamabilidad debido a los compuestos que al quemar se volatizan, se debe agregar en la formulación un inhibidor de llama.

3.10 PRUEBA DE TRACCIÓN

Figura 12. Prueba de tracción.



Tabla 7. Resultados de la prueba de tracción.

Capas	Muestra	Espesor [mm]	$P_{m\acute{a}x}$ [N]	$\Delta P/\Delta Y$ [N/mm]	Rt_{prom} [Mpa]	Et_{prom} [N/mm ²]
1 (49/51)	1	0,43	180,75	259,11	1,32	142,3
	2	0,48	123,25	220,41		
1 (35/65)	3	0,72	302,40	471,58	1,40	144,2
	4	0,74	201,67	404,75		
2 (49/51)	5	1,27	159,25	258,78	0,50	44,92
	6	1,42	175,75	242,24		

De acuerdo a los resultados obtenidos se pudo evidenciar que la matriz reforzada con una relación polímero-fibra de 35/65 soportó una carga máxima significativamente mayor a las de la relación polímero-fibra de 49/51, con esto podemos concluir que la fibra ofrece resistencia al material; cuanto mayor cantidad de fibra se adicione en el aglomerado, este presenta mejores propiedades mecánicas.

El módulo de elasticidad está íntimamente relacionado con la energía de enlace de los átomos; es la medida de la tenacidad y dureza del material, mientras mayor es el valor (módulo), más duro y más frágil es el material presentando una mayor

resistencia a la deformación, en este caso el módulo de elasticidad fue mayor para las probetas de una sola capa que para las probetas de 2 capas, dicho comportamiento se presentó debido a que las probetas de 1 capa presentan mejor estabilidad durante el proceso (ver anexo A).

3.11 PRUEBA DE DUREZA

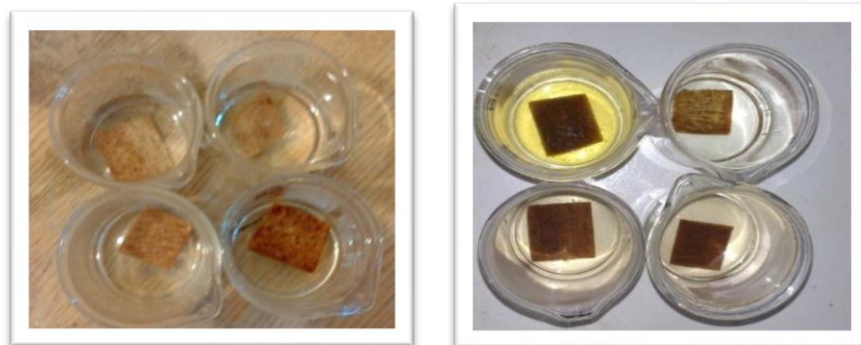
Tabla 8. Resultados de la prueba de dureza.

Muestra	%					PROMEDIO [%]
1	65	40	50	60	40	51
	50	65	60	60	40	55
2	50	55	60	60	55	56
	50	65	60	65	70	62
3	50	65	70	65	65	63
	55	65	70	70	60	64

Se evidenció que la relación que tiene mayor cantidad de polímero presenta mayor dureza, de esta manera se observa la resistencia que tiene el aglomerado al desgaste.

3.12 DEGRADACIÓN QUÍMICA

Figura 13. Prueba de degradación química.



Se observa que los aglomerados sufren un leve hinchamiento sin desprendimiento de las fibras. En la solución de H_2SO_4 se observa una coloración amarilla esto se debe a que la luffa utilizada en la elaboración de los aglomerados contiene un compuesto llamado lignina presente en las paredes celulares, el cual se desprende. Con excepción del aceite mineral se presenta un oscurecimiento debido a la foto-oxidación de las muestras.

3.13 RESISTENCIA A AGENTES BIÓTICOS

Los resultados obtenidos frente a los factores atmosféricos fueron muy favorables, no se observa ningún deterioro físico apreciable, no se evidencia presencia de moho ni de insectos que causen daño al aglomerado, esto se debe a la presencia del PMMA que es un polímero con baja biodegradabilidad.

4. CONCLUSIONES

1. La cantidad de polímero presente en los tableros es determinante en el número de capas del tablero observándose que para la menor relación de polímero-fibra 35/65, al unir dos capas no se presentó compactación; a diferencia de la mayor relación polímero-fibra 49/51 cuya compactación permitió realizar tableros de doble capa.
2. Se encontró que para las diferentes composiciones y número de capas en los tableros obtenidos hay aplicabilidad comercial, con lo que se puede afirmar que el uso de fibra de luffa cylindrica como materia prima en la fabricación de aglomerados resulta ser prometedora por sus buenas propiedades.
3. El uso de un agente de acoplamiento es importante para mejorar el enlace interfacial entre la matriz y el reforzante; para el caso se utilizó una solución al 5% de nonilfenol, y 95% de agua lo que lo hace diferente al proceso comercial disminuyendo la cantidad de residuos tóxicos generados al medio ambiente; haciendo de la producción de aglomerados a partir de luffa cylindrica un mecanismo de desarrollo limpio.
4. Es de gran importancia resaltar que, la matriz polimérica post-consumo proporciona un ahorro de energía y quizá lo más importante para la industria es que contribuye a la disminución de costo frente a materiales tradicionales aportando las mismas prestaciones; por otra parte la fibra vegetal de la Luffa cylindrica mostró buenos resultados físicos, químicos y mecánicos, es un aporte significativo en el campo de nuevos materiales.

5. RECOMENDACIONES

1. Llevar a cabo un estudio económico a fin de analizar la factibilidad de la producción de aglomerados con PMMA post consumo y fibras de Luffa Cylindrica.
2. Estudiar el uso de otros agentes tensoactivos para la preparación de la emulsión tales como la lecitina de soya.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AL-SULAIMAN F. Evaluation of the performance of local fibers in evaporative cooling. *Energy conversion and Management* . 2002. Vol.43. p. 2267-2273.
- [2] ARAGÓN C. Caracterización de plásticos reforzados con fibras naturales (PRFN) procesados por moldeo rotacional. Tesis de grado. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima. Perú.2004.
- [3] ARANBERRI I., BINKS B., CLINT P. Elaboración y caracterización de emulsiones estabilizadas por polímeros y agentes tensoactivos. *Revista Iberoamericana de Polímeros*. 2006. Vol.7 (3). p. 211-231.
- [4] BENGTTSSON M., OKSMAN K. Silane crosslinked wood plastic composites: Processing and properties. *Composites Science and Technology*. 2006. Vol. 66. p. 2177–2186.
- [5] CASTILLO C., ANDRADE J., RIVERA J., MORALES A.Castillo, C. Copolimerización de poli(metacrilato de metilo) sobre fibras de celulosa vía transferencia de átomos. *Revista Iberoamericana de Polímeros*. 2009.Vol. 10(1). p. 28-39.
- [6] DELGADO F., MEDINA J. Extrusión de perfiles espumados de madera plástica. Maestría ingeniería mecánica. Centro de investigación en procesamiento de polímeros. Departamento de ingeniería mecánica. Universidad de los Andes. Bogotá Colombia p. 56-57.

- [7] DEMIR H., BALKOSE D., TOP A. Dye adsorption behavior of *Luffa cylindrica* fibers. *Journal of Hazardous Materials*. 2008. Vol. 153. p. 389-394.
- [8] Emulsiones propiedades y formulación cuaderno FIRP No. 231 p. 1-11. Disponible en: depa.pquim.unam.mx/amyd/archivero/FirpEmuls1_5374.pdf. *Acceso el 23 de febrero de 2014.*
- [9] GREEN PLAST. Madera plástica. Disponible en: <http://www.greenplast.cl/htm/productos.htm>. *Acceso el 15 de enero de 2014.*
- [10] KATIME J., QUINTANA R., VILLACAMPA M. The hydrophobic effect formation of micelles and biological membranes. *Revista Iberoamericana de polímeros*. 2ed New York. 1981
- [11] KEENERJ., STUART R., BROWN K. (2004). Maleated coupling agents for natural fibre composites *Composites, Part. A*. 2004. Vol. 35. p. 357-362.
- [12] LÓPEZ C. Modelo de estabilidad de emulsiones poliméricas. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de ingeniería. Departamento de ingeniería química y ambiental. Bogotá Colombia. 2011.
- [13] MANZANO A. Propiedades físico-mecánicas de tableros aglomerados de partículas de 12, 16 y 19 mm de una empresa del estado de Durango. 2000. p. 10.
- [14] MARTÍNEZ G., MARTÍNEZ M., MARTÍNEZ E., Concreto polimérico reforzado con fibras de luffa. Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Materiales Avanzados (LIDMA). Facultad de Química. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México. 2013. Vol. 24(4). p. 67-74.

- [15] MOHANTY S., VERMA.K., NAYAK K., TRIPATHY S. Influence of fiber treatment on the performance of sisal-polypropylene composites. *Journal of Applied Polymer Science*. 2004. Vol. 94. p. 1336-1345.
- [16] OKSMAN K. Improved interaction between wood and synthetic polymers in wood polymer composites. *Wood Sci. and Technology*. 1996. Vol. 30.p. 197-205.
- [17] PANTALEÓN R. Nanocomposites de sílice y polimetilmetacrilato, caracterización por espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier. Tesis pregrado. España. Universidad Carlos III de Madrid. Departamento de ciencia e ingeniería de materiales e ingeniería química. 2009.
- [18] QUIÑONEZ F. Evaluación experimental de matrices fibro-reforzadas con desechos del fruto del coco y de paneles de construcción de vivienda económica. Proyecto FODECYT N 075-06. Guatemala. 2009.
- [19] SORENSON W. *Preparative methods of polymer chemistry*. Londres: interscience publishers, 1961, p 17-35.
- [20] VÁSQUEZ B., ELVIRA C., SAN ROMAN J. Cementos óseos acrílicos: treinta años contribuyendo al desarrollo de la cirugía y odontología moderna. *Ciencia y tecnología de polímeros*. 1999. p. 80-89.
- [21] American Society for Testing and Materials. *Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials*. ASTM D1037-91.
- [22] American Society for Testing and Materials. *Standard Test Method for Water Absorption of Plastics*. Pensylvania. ASTM D570.

[23] American Society for Testing and Materials. Method of Test for Rate of Burning or Extent and Time of Burning of celular plastics Using a Specimen Horizontal. ASTM D1692.

[24] American Society for Testing and Materials. Standard Test Method for Rubber Property-Durometer Hardness. ASTM D2240.

BIBLIOGRAFÍA

Al-SULAIMAN F. Evaluation of the performance of local fibers in evaporative cooling. Energy conversion and Management . 2002. Vol.43. p. 2267-2273.

American Society for Testing and Materials. Method of Test for Rate of Burning or Extent and Time of Burning of celular plastics Using a Specimen Horizontal. ASTM D1692.

American Society for Testing and Materials. Standard Test Method for Water Absorption of Plastics. Pensylvania. ASTM D570.

American Society for Testing and Materials. Standard Test Method for Rubber Property-Durometer Hardness. ASTM D2240.

American Society for Testing and Materials. Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials. ASTM D1037-91.

ARAGÓN C. Caracterización de plásticos reforzados con fibras naturales (PRFN) procesados por moldeo rotacional. Tesis de grado. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima. Perú.2004.

ARANBERRI I., BINKS B., CLINT P. Elaboración y caracterización de emulsiones estabilizadas por polímeros y agentes tensoactivos. Revista Iberoamericana de Polímeros. 2006. Vol.7 (3). p. 211-231.

BENGTSSON M., OKSMAN K. Silane crosslinked wood plastic composites: Processing and properties. *Composites Science and Technology*. 2006. Vol. 66. p. 2177–2186.

CASTILLO C., ANDRADE J., RIVERA J., MORALES A. Castillo, C. Copolimerización de poli(metacrilato de metilo) sobre fibras de celulosa vía transferencia de átomos. *Revista Iberoamericana de Polímeros*. 2009. Vol. 10(1). p. 28-39.

DELGADO F., MEDINA J. Extrusión de perfiles espumados de madera plástica. Maestría ingeniería mecánica. Centro de investigación en procesamiento de polímeros. Departamento de ingeniería mecánica. Universidad de los Andes. Bogotá Colombia p. 56-57.

DEMIR H., BALKOSE D., TOP A. Dye adsorption behavior of *Luffa cylindrica* fibers. *Journal of Hazardous Materials*. 2008. Vol. 153. p. 389-394.

Emulsiones propiedades y formulación cuaderno FIRP No. 231 p. 1-11. Disponible en: depa.pquim.unam.mx/amyd/archivero/FirpEmuls1_5374.pdf. *Acceso el 23 de febrero de 2014.*

GREEN PLAST. Madera plástica. Disponible en: <http://www.greenplast.cl/htm/productos.htm>. *Acceso el 15 de enero de 2014.*

KATIME J., QUINTANA R., VILLACAMPA M. The hydrophobic effect formation of micelles and biological membranes. *Revista Iberoamericana de polímeros*. 2ed New York. 1981

KEENERJ., STUART R., BROWN K. (2004). Maleated coupling agents for natural fibre composites *Composites, Part. A*. 2004. Vol. 35. p. 357-362.

LÓPEZ C. Modelo de estabilidad de emulsiones poliméricas. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de ingeniería. Departamento de ingeniería química y ambiental. Bogotá Colombia. 2011.

MANZANO A. Propiedades físico-mecánicas de tableros aglomerados de partículas de 12, 16 y 19 mm de una empresa del estado de Durango. 2000. p. 10.

MARTÍNEZ G., MARTÍNEZ M., MARTÍNEZ E., Concreto polimérico reforzado con fibras de luffa. Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Materiales Avanzados (LIDMA). Facultad de Química. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México. 2013. Vol. 24(4). p. 67-74.

MOHANTY S., VERMA.K., NAYAK K., TRIPATHY S. Influence of fiber treatment on the performance of sisal-polypropylene composites. *Journal of Applied Polymer Science*. 2004. Vol. 94. p. 1336-1345.

OKSMAN K. Improved interaction between wood and synthetic polymers in wood polymer composites. *Wood Sci. and Technology*. 1996. Vol. 30.p. 197-205.

PANTALEÓN R. Nanocomposites de sílice y polimetilmetacrilato, caracterización por espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier. Tesis pregrado. España. Universidad Carlos III de Madrid. Departamento de ciencia e ingeniería de materiales e ingeniería química. 2009.

QUIÑONEZ F. Evaluación experimental de matrices fibro-reforzadas con desechos del fruto del coco y de paneles de construcción de vivienda económica. Proyecto FODECYT N 075-06. Guatemala. 2009.

SORENSEN W. Preparative methods of polymer chemistry. Londres: Interscience publishers, 1961, p 17-35.

VÁSQUEZ B., ELVIRA C., SAN ROMAN J. Cementos óseos acrílicos: treinta años contribuyendo al desarrollo de la cirugía y odontología moderna. Ciencia y tecnología de polímeros. 1999. p. 80-89.

ANEXOS

ANEXO A GRAFICOS OBTENIDOS DURANTE LA PRUEBA DE TRACCION

