

**ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICO-MECÁNICA DE
AGLOMERADOS, A PARTIR DE PREPREGS A BASE DE POLIESTIRENO
POSTCONSUMO Y FIBRAS DEL COCO ENTERAS**

NIDIA MARÍA DEL ROSARIO REINA DÍAZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2012

**ELABORACION Y CARACTERIZACIÓN FÍSICO-MECÁNICA DE
AGLOMERADOS, A PARTIR DE PREPREGS A BASE DE POLIESTIRENO
POSTCONSUMO Y FIBRAS DEL COCO ENTERAS**

NIDIA MARÍA DEL ROSARIO REINA DÍAZ

Trabajo de grado para optar el título de
INGENIERO QUÍMICO

M.SC. JOSÉ CARLOS GUTIÉRREZ GALLEGO

DIRECTOR

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2012

DEDICATORIA

Sin amor nada me sirve, sin amor nada soy. Partiendo de esta premisa quiero dedicarle este logro a las personas que siempre han esta ahí, a ese ser amado que se ha dedicado a la tarea más vital, la más importante de todas, la de llenar mi vida de cuidados y de amor. A Mi madre que con su esfuerzo y ejemplo me enseñó a alcanzar nuestros sueños, siempre guiados por la voluntad de Dios...

...Mami Te Amo.

A mi tía Gloria, quien siempre creyó en mí y nunca me abandonó en los momentos más difíciles. Y con su tenzón y disciplina ha sido siempre como una segunda madre para mí...

...Tía Glodis eres y serás mi apoyo, escudo y fortaleza.

A mi Padre, que gracias a su ausencia me ayudo a crecer de una forma independiente y fuerte. Papi te dedico este logro, porque sé que algún día Dios me dará la posibilidad de compartir a tu lado todos esos momentos que siempre esperé...

...Papi gracias a ti soy la mujer de hoy.

A Javi, porque a pesar de que las circunstancias no me permitieron compartir esta enorme alegría a su lado, siempre fue mi mano amiga, mi guía, mi confidente y gran amante...

...Cosita gracias por no dejarme desfallecer. Te quiero Mucho.

A mis primos Juan Pablo, Jorge Iván y David Fernando. Mis tres amores, gracias por ser mis hermanos, gracias por cuidarme y aguantarme. A pesar de que Juancho ya no este entre nosotros, sé que desde algún lugar estuvo siempre acompañándome y mirándome con su inigualable dulzura...

...Siempre serán como mis hermanos. Los adoro.

A mis amigos, los cuales siempre me acompañaron en la lucha, esta lucha que a veces parece sin sentido, pero que una vez has alcanzado la meta, no puedes sino dar gritos de felicidad por no sólo el deber, sino el sueño cumplido...

...Siempre los llevare en mis oraciones.

Y a quien llegó a mi vida, para llenarla de alegría, a mi gran amiga fiel. La Mayita.

Nidia María Reina Díaz

AGRADECIMIENTOS

Primero debo agradecerle a Dios, por darme esta oportunidad de vida tan maravillosa, por proporcionarme día a día todas las herramientas para cumplir mis objetivos: sabiduría, paciencia, amor y confianza.

A mi familia: Mi madre, mi tía, Mis primos, mis tíos y mis chiquis casi sobrinos, Juampis y Paula; por su apoyo y amor incondicional.

Al gran amor que amor que me acompañó en la mayor parte de este sueño. Javi gracias.

A la familia Murcia: Señora Dora, Señora Nubia, Don Alberto, Don Orlando, Julian, Alejandra, y Sandra; gracias por su dedicación y sus esfuerzos para el logro de mis metas. Dios los Bendiga.

A mis compañeros y amigos: Milena García, Mónica Naranjo, Luis Miguel, José Miguel, Johana Rocha, Yohanna Barrera, Lina Buitrago, Diego Niño, Carolina Sánchez, Mariel González, Karel Núñez, Arcadio Cuy, Norida González, Leidy Gelvez, Mariana Galvis, Fredy Herrera, Camilo Andrés, Clara López, Andres sin tilde; a todos mil y mil gracias por los momentos compartidos y por todo el cariño que me brindaron.

A mis cuatro princesas: Yuly Camacho, Catherine Almendrales, Juliana Caicedo y Sofía Salamanca; niñas michas gracias por estar siempre cuando las necesite, por las lagrimas y sonrisas compartidas, son el más hermoso recuerdo que me llevo de las universidad. Las Adoro.

A la experiencia en CORPOICA, de la mano de mi queridísimo Co-director el Ingeniero Zamir Sánchez Castro, que además de ser mí guía, se ha convertido en mi amigo y Doctor Corazón. Ex-codi gracias por los momentos compartidos, porque así como se sufrió también se gozó.

Al profesor José Carlos, por depositar su confianza en mí y permitirme realizar este maravillo proyecto, que más que eso fue una experiencia de vida. Gracias profe por compartir conmigo todo su conocimiento.

A don Eduardo, por darme y facilitarme todos los recursos necesarios para la ejecución de este proyecto, gracias por ser un ejemplo de humildad y profesionalismo.

A la Universidad Industrial de Santander y en especial a la Facultad de Ingeniería Química por permitirnos ser parte de una generación de triunfadores y gente productiva para el país. La universidad, será algo irremplazable en mi vida será mi tesoro para siempre.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	12
1.1 POLIESTIRENO.....	15
1.1.1 POLIESTIRENO POSTCONSUMO	17
1.2 FIBRA DE COCO	17
1.3 MATERIALES COMPUESTOS	19
1.4 MATERIALES COMPUESTOS PREIMPREGNADOS Ó PREPREGS	19
1.5 MATERIAL COMPUESTO AGLOMERADO	19
2. METODOLOGÍA	20
2.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	20
2.2 PRUEBAS PRELIMINARES.....	21
2.2.1 SELECCIÓN CONCENTRACIÓN DE INHIBIDORES DE FLAMA.....	21
2.2.2 DETERMINACIÓN DE LA PROPORCIÓN PS/XILENO, FIBRA/POLÍMERO Y DEL MÉTODO DE IMPERGNACIÓN DE LAS FIBRAS DE COCO ENTEREAS...	22
2.2.3 CONDICIONES DE OPERACIÓN PARA EL PENSADO	25
2.3 DISEÑO EXPERIMENTAL.....	26
2.4 ELABORACIÓN DE AGLOMERADOS.....	27
2.5 CARACTERIZACIÓN FÍSICO-MECÁNICA	30
2.5.1 DETERMINACIÓN ESPESOR DE LOS AGLOMERADOS.....	30
2.5.2 CÁLCULO DE LA DENSIDAD DE LOS AGLOMERADOS	31
2.5.3 PRUEBA DE ABSORCIÓN DE AGUA. ASTM 570	32
2.5.4 TEST DE LLAMA. ASTM D1692.....	33
2.5.5 PRUEBA DE DUREZA. ASTM D2240	34

2.5.6 PRUEBA DE IMPACTO	35
2.5.7 ENSAYO DE TRACCIÓN	36
3. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	37
3.1 EFECTO DE LAS VARIABLES DE ESTUDIO SOBRE LA DENSIDAD.....	37
3.2 ANÁLISIS PRUEBA DE ABSORCIÓN DE AGUA.....	38
3.3 ANÁLISIS PRUEBA DE DUREZA	39
3.4 ANÁLISIS PRUEBA DE IMPACTO.....	40
3.5 ANÁLISIS PRUEBA DE TRACCIÓN	42
CONCLUSIONES	44
RECOMENDACIONES.....	45
BIBLIOGRAFÍA	46
ANEXO A. MANEJO DEL DIAGRAMA DE PERDIDAS TOTALES DE ENERGÍA PARA LA MAQUINA IZOD SCOTT TESTER	40
ANEXO B. HOJA DE GRAFICACIÓN DEFORMACIÓN VS DESPLAZAMIENTO, PARA MAQUINA ENSAYO DE TRACCIÓN MODEL CC TWO SPEED DRIVE. .	51

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. UNIDADES REPETITIVAS DE ESTIRENO. POLIESTIRENO.....	16
FIGURA 2. ESQUEMA DEL FRUTO DEL COCOTERO.	17
FIGURA 3. FIBRAS DEL COCO	18
FIGURA 4. METODOLOGÍA PARA ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE AGLOMERADOS...	20
FIGURA 5. DIAGRAMA DE PROCESO PARA LA ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE AGLOMERADOS A BASE DE FIBRA DE COCO Y POLIESTIRENO POSTCONSUMO.	21
FIGURA 6. MUESTRAS DE SILICATO DE SODIO Y ÁCIDO BÓRICO.....	22
FIGURA 7. POLIESTIRENO DILUIDO EN XILENO.....	23
FIGURA 8. IMPREGNACIÓN DE FIBRAS DE COCO ENTERAS POR EL MÉTODO DE INMERSIÓN.	23
FIGURA 9. MÉTODO DE ASPERSIÓN, PARA IMPREGNADO DE FIBRAS DE COCO ENTERAS...	24
FIGURA 10. CONDICIONES PARA EL PENSADO DE AGLOMERADOS A BASE DE POLIESTIRENO POSTCONSUMO Y FIBRAS DE COCO ENTERAS.....	26
FIGURA 11. DISEÑO EXPERIMENTAL	27
FIGURA 12. IGNIFUGADO DE FIBRAS DE COCO ENTERAS, DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD TOTAL Y CONTENIDO DE CENIZAS.	28
FIGURA 13. PREPREGS A BASE DE POLIESTIRENO POSTCONSUMO Y FIBRAS DEL COCO ENTERAS	29
FIGURA 14. PENSADO DE PREPREGS PARA ELABORACIÓN DE AGLOMERADOS A PARTIR DE POLIESTIRENO POSTCONSUMO Y FIBRAS DE COCO ENTERAS.....	30
FIGURA 15. DETERMINACIÓN DEL ESPESOR DE LOS AGLOMERADOS DE FIBRA DE COCO ENTERA Y POLIESTIRENO POSTCONSUMO.....	31
FIGURA 16. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE LOS AGLOMERADOS DE FIBRA DE COCO ENTERA Y POLIESTIRENO POSTCONSUMO.....	32
FIGURA 17. PRUEBA DE ABSORCIÓN DE AGUA	32
FIGURA 18. TEST DE LLAMA DE AGLOMERADOS DE FIBRA DE COCO ENTERA Y POLIESTIRENO POSTCONSUMO.....	34
FIGURA 19. PRUEBA DE DUREZA DE AGLOMERADOS DE FIBRA DE COCO ENTERA Y POLIESTIRENO POSTCONSUMO.....	34
FIGURA 20. PRUEBA DE IMPACTO TIPO IZOD.....	35

FIGURA 21. ENSAYO DE TRACCIÓN.....	36
FIGURA 22. VARIACIÓN DE LA DENSIDAD RESPECTO A LAS VARIABLES DE ESTUDIO.	37
FIGURA 23. ANÁLISIS PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DE AGUA DE LOS AGLOMERADOS DE FIBRA DE COCO ENTERA Y PS POSTCONSUMO	39
FIGURA 24. ANÁLISIS DE RESULTADOS PRUEBA DE DUREZA.	40
FIGURA 25. VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA AL IMPACTO, RESPECTO A LAS VARIABLES DE ESTUDIO.	41
FIGURA 26. EFECTO DEL AGENTE IGNÍFUGO, EN ANÁLISIS PRUEBA DE TRACCIÓN.	42
FIGURA 27. EFECTO CONTENIDO DE FIBRA EN AGLOMERADO FINAL, EN ANÁLISIS PRUEBA DE TRACCIÓN.	43
FIGURA 28. EFECTO NÚMERO DE CAPAS DE AGLOMERADO FINAL, EN ANÁLISIS PRUEBA DE TRACCIÓN.	43

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. PROPIEDADES MECÁNICAS, TÉRMICAS, ÓPTICAS Y ELÉCTRICAS DEL POLIESTIRENO CRISTAL.	16
TABLA 2. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA FIBRA DE COCO.	18
TABLA 3. PRUEBA DE HUMEDAD TOTAL FIBRAS DE COCO IGNIFUGAS ENTERAS. ASTM D2231	28
TABLA 4. PRUEBA DE CENIZAS FIBRAS DE COCO IGNIFUGAS ENTERAS. ASTM D1102-5628	
TABLA 5. PRENSADO DE PREPREGS PARA ELABORACIÓN DE AGLOMERADOS A PARTIR DE POLIESTIRENO POSTCONSUMO Y FIBRAS DEL COCO ENTERAS	30
TABLA 6. RESULTADOS DE LA MEDICIÓN DEL ESPESOR DE LOS AGLOMERADOS DE FIBRA DE COCO ENTERA Y POLIESTIRENO POSTCONSUMO.	31
TABLA 7. RESULTADOS DEL CÁLCULO DE LA DENSIDAD DE LOS AGLOMERADOS DE FIBRA DE COCO ENTERA Y POLIESTIRENO POSTCONSUMO.	32
TABLA 8. RESULTADOS PRUEBA DE ABSORCIÓN DE AGUA.....	33
TABLA 9. RESULTADOS PRUEBA DE DUREZA.....	34
TABLA 10. RESULTADOS PRUEBA DE IMPACTO IZOD PARA AGLOMERADOS DE FIBRA DE COCO ENTERA Y POLIESTIRENO POSTCONSUMO	35
TABLA 11. RESULTADOS ENSAYO DE TRACCIÓN.....	36

ABSTRACT

TITLE: PREPARACIÓN AND CHARACTERIZATION PHYSICAL-MECHANICAL AGGLOMERATED, FROM PREPREGS BASED ON POST CONSUMO POLYSTIRENE AND FIBER WHOLE COCONUT.*

AUTHOR: NIDIA MARIA DEL ROSARIO REINA DIAZ**

KEYWORDS: fiber whole coconut, fiber-reinforced, postconsumer polystyrene, prepregs, preparation of prepregs, characterization physical-mechanics, Agglomerates.

DESCRIPTION:

Agglomerates were prepared, based on waste materials such as coconut fiber and the whole crystal polystyrene recycled from the spray technique of prepreg. Where the eight configurations proposed in the design of experiments, provide new options for obtaining composite materials with specific physical and mechanical characteristics. Extending the life of raw materials and adding value to the use of natural fibers in polymer matrix composites. We evaluated the effects the use of flame-inhibiting agents in composite materials on the physic-mechanical properties of briquettes from coconut fiber and whole post-consumer polystyrene, being the solution of 3.5% w / w of silicate sodium, which generated better results. There were testing the hardness, tensile and impact to determine the proportion best suited to the development of clusters of whole coconut fiber and resulting post-consumer polystyrene 60/40, where as much is fiber, and lower post-consumer polystyrene glass. We also evaluated the number of layers in the final pellet was found that this factor exerted a considerably in structure and physical-mechanical properties of the material. Was concluded then that the agglomerate of a single layer, which has better physical and mechanical properties. This is because the stability that occurred during the process.

*Graduate Project- Thesis

** Faculty of Physic-Chemical Engineering. Chemical Engineering School.

Director M.Sc. José Carlos Gutiérrez Gallego.

RESUMEN

TITULO: ELABORACION Y CARACTERIZACIÓN FÍSICO-MECÁNICA DE AGLOMERADOS, A PARTIR DE PREPREGS A BASE DE POLIESTIRENO POSTCONSUMO Y FIBRAS DEL COCO ENTERAS*

AUTOR: NIDIA MARÍA DEL ROSARIO REINA DÍAZ **

PALABRAS CLAVE: Poliestireno postconsumo, Fibras del coco enteras, Matriz polimérica, Elaboración de Prepregs, caracterización físico-mecánica, aglomerados.

DESCRIPCION:

Se elaboraron aglomerados, a base de materiales de desecho, como la fibra de coco entera y el Poliestireno cristal reciclado, a partir de la técnica de preimpregnado por aspersión. Donde las ocho configuraciones propuestas en el diseño de experimentos, aportan nuevas opciones para la obtención de materiales compuestos con características físico-mecánicas específicas. Alargando la vida útil de las materias primas y dando valor agregado a la utilización de fibras naturales en materiales compuestos de matriz polimérica. Se evaluaron los efectos que tiene la utilización de agentes inhibidores de flama en materiales compuestos, sobre las características físico-mecánicas de los aglomerados a partir de fibra de coco entera y poliestireno postconsumo, siendo la solución de 3,5 %P/p de silicato de sodio, la que generó mejores resultados. Se realizaron ensayos de dureza, tensión e impacto para conocer la proporción más adecuada para la elaboración de aglomerados de fibra de coco entera y poliestireno postconsumo dando como resultado 60/40, donde la mayor cantidad es fibra, y la menor es poliestireno cristal postconsumo. También se evaluó el número de capas en aglomerado final encontrándose que este factor influyó de manera considerablemente en la estructura y propiedades físico-mecánicas del material. Concluyéndose entonces que el aglomerado de una sola capa, es el que presenta mejores propiedades físico-mecánicas. Esto se debe a la estabilidad que presentaron durante el proceso de elaboración.

*Trabajo de Grado

** Facultad de ingenierías Físico- Químicas. Ingeniería Química

Director M.Sc. José Carlos Gutiérrez Gallego.

1. INTRODUCCIÓN

En Colombia existen 13.677 hectáreas destinadas al cultivo de coco, principalmente en los departamentos de Nariño, Cauca y Córdoba [1]. Luego del aprovechamiento de la pulpa y agua de coco, quedan las fibras y la corteza como residuos, generalmente no se les da ningún uso, salvo el ser utilizados como combustible una vez se han secado. Estos residuos son de interés por su naturaleza fibrosa, por lo que tienen potencial para ser utilizados como material de relleno y soporte en un material compuesto, particularmente de matriz polimérica. Nuestro país dispone de variadas especies de fibras vegetales, tales como: algodón, cáñamo, fique, bagazo de caña de azúcar, guadua, bambú, cabuya, mimbre, caña flecha, fibras de la palma de cumare, marice, iraca, y del coco [21]; su uso se limita a una explotación artesanal lo que incorpora poco valor agregado. El uso de estas fibras como refuerzo en materiales compuestos es muy reducido.

Los polímeros, actualmente se encuentran en grandes cantidades en vertederos de basura, ríos, parques y casi en cualquier lugar, contaminando y provocando focos de infección al servir en algunos casos, como criadero de insectos dañinos para la salud de los humanos. Aprovechar el poliestireno reciclado, mediante la mezcla de éste con fibras de coco, otro material de desperdicio totalmente biodegradable, es una buena opción para mitigar los efectos de la contaminación por sólidos en el planeta, ya que es un material con buenas características físicas, lo que nos da la pauta de funcionalidad, además el poliestireno es un material de consumo diario, por encontrarse en envases de alimentos, divisiones de baños, accesorios para el hogar, entre otros; lo que nos garantiza un volumen de materia prima constante.

Actualmente existen numerosas investigaciones, sobre el desarrollo de materiales poliméricos reforzados con fibra de coco; por ejemplo compuestos de matriz elastomérica [8, 9], materiales a base de polietileno [10, 24], polipropileno [7, 25, 31], además matrices de polímeros reciclados como el polietileno de alta densidad y poliestireno [16, 20, 23] estos compuestos se caracterizan por su destacada resistencia al impacto, capacidad de aislamiento acústico y térmico. Este tipo de materiales ya se comercializa en países como Brasil con una buena acogida por el consumidor final y aun así es materia de investigación por la variedad de matrices poliméricas en las que puede ser mezclada la fibra del coco. También se tienen estudios de la utilización de diversas fibras lignocelulosas para ser usadas como reforzantes en materiales poliméricos [13], tales como el eucalipto [11], el bagazo de caña [14], la fibra de tetera [6], abacá [19] y sisal [12] dichos estudios han demostrado que el uso de fibras naturales en materiales compuestos es mas económico, debido al bajo procesamiento de energía en comparación con las fibras sintéticas como la del vidrio o de carbón; además presentan características físicas mejores a las de sus componentes individuales [16].

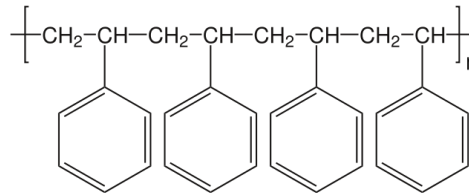
1.1 POLIESTIRENO

El poliestireno (PS) es un polímero termoplástico que se obtiene de la polimerización del estireno. Existen cuatro tipos principales: el PS cristal, que es transparente, rígido y quebradizo; el poliestireno de alto impacto, resistente y opaco, el poliestireno expandido, muy ligero, y el poliestireno extrusionado, similar al expandido pero más denso e impermeable.

El peso molecular promedio del poliestireno cristal varía entre 200.000 y 300.000 g/gmol. Cuanto menor es el peso molecular, mayor es la fluidez y por tanto la facilidad de uso del material, pero menor es su resistencia mecánica. Las

moléculas de poliestireno formadas en los procesos industriales actuales son muy lineales, como se muestra en la figura 1.

Figura1. Unidades repetitivas de estireno. POLIESTIRENO



Fuente: Nexant. PERP Report Polystyrene May 2006. [17]

En la tabla 1 se muestran las propiedades mecánicas, térmicas, ópticas y eléctricas del poliestireno cristal, se considera uno de los plásticos de mayor transparencia y brillo en la superficie. Sin embargo también presenta alta rigidez y fragilidad. Es considerado también como uno de los plásticos de más fácil procesamiento. No requiere secado y presenta mínimas contracciones de moldeo, de baja densidad, duro, transparente, con buenas propiedades ópticas, mínima absorción de agua, buena estabilidad dimensional y aislamiento eléctrico. Tiene baja resistencia al impacto y estabilidad térmica. Es resistente a ácidos orgánicos e inorgánicos concentrados y diluidos (excepto los altamente oxidantes), alcoholes, sales y álcalis. No resiste a los ésteres, cetonas, hidrocarburos aromáticos, clorados y aceites etéreos [2].

Tabla 1. Propiedades mecánicas, térmicas, ópticas y eléctricas del poliestireno cristal.

PROPIEDAD	VALOR
Modulo elástico en tracción	3,0 a 3,4 GPa
Alargamiento de rotura en tracción	1 a 4 %
Carga de rotura en tracción	40 a 60 MPa
Módulo de flexión	3,0 a 3,4 GPa
Resistencia al impacto Charpy	2 kJ/m ²
Dureza	85 a 90 Shore D
Índice de refracción	1,57
Conductividad eléctrica	10 ⁻¹⁶ S m ⁻¹
Conductividad térmica	0,15 W K ⁻¹ m ⁻¹

Fuente: BIRON, Michel. Propriétés des thermoplastiques. [2]

1.1.1 POLIESTIRENO POSTCONSUMO

Es todo el poliestireno ya usado, disponible para ser limpiado, transformado y reutilizado, mediante técnicas para reciclar plásticos, tales como: Reciclado mecánico: Recuperación de plásticos sin variar su composición química original. Reciclado químico: En este método se agregan algunos polímeros modificados, materiales de refuerzo (fibras, rellenos) que modifican la composición original del plástico [20].

1.2 FIBRA DE COCO

El coco está constituido por una parte blanda interior y un líquido, a los cuales se les realizan procesos industriales para la obtención de grasas, aceites comestibles, confites y copra; sin embargo también está constituido por la estopa o mesocarpo, que se encuentra entre el exocarpio duro o cubierta externa, y el endocarpio o envoltura dura, que encierra la semilla [20], como se muestra en la figura 2. La fibra de coco es un material natural renovable extraído de la capa externa del coco con alto contenido de lignina resistente a la putrefacción y no requiere tratamientos químicos, con una durabilidad y tensión alta frente a otras fibras naturales [21].

Figura 2. Esquema del fruto del cocotero.



Fuente: GALLEGOS, Idrobo. Obtención de un material compuesto de matriz elastomérica y fibra de coco. Escuela politécnica nacional. Quito Ecuador 2011[8]

La fibra de coco varía entre 15 y 35 cm de longitud, en vez de promedios de 110 cm como en el caso del henequén, 140 cm el sisal. La fibra de coco tiene una capacidad de estiramiento de 29.04%, con un módulo de rigidez de 1.8924 dinas/cm². Es importante la facultad que tiene de estirarse más allá de su límite elástico sin romperse, así como su capacidad de absorber un estiramiento permanente cuando soporta esta carga; Se afirma que su flotabilidad extrema y su resistencia a la acción de bacterias y agua salada son únicas. Es, además, una fibra económica, el rendimiento obtenido de esta varía según el tamaño de los cocos, la madurez, la variedad y el método de preparación, pero para cálculos generales puede considerarse un promedio de 130 kg de fibra por 1,000 cáscaras.

Figura 3. Fibras del coco



Fuente: Autor

Su composición química está formada por cuatro principales elementos, además de otros no tan significativos en concentración, tal como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Composición química de la fibra de coco.

COMPONENTE		PORCENTAGE %
Lignina		42.5
Celulosa		32.3
Pentanososa		14.7
Grasas saponificables		5.1
Grasas insaponificables		0.7
Cenizas	%	3.5
MnO*	0.195	
K ₂ O*	0.059	
Na ₂ O*	0.003	
SiO ₂ *	0.701	
Proteínas		1.2

*referidos al % total

Fuente: Novoa Carrillo Martha. Elaboración y evaluación de tableros aglomerados a base de fibra de coco y cemento. Universidad de Colima. México. 2005. [18]

1.3 MATERIALES COMPUESTOS

Se consideran materiales compuestos a los constituidos por dos o mas componentes químicamente distintos, en escala macroscópica y que poseen una interface distintiva separándolos entre si. Se puede identificar dos fases: una continua, constituida por la matriz, y otra fase discontinua, denominada refuerzo. Los componentes de un material compuesto no deben disolverse ni fusionarse completamente unos con otros. La identificación de los materiales y la de su interface debe ser posible de distinguir por medios físicos. Las propiedades del nuevo material dependen, entonces, del tipo de interface y de las características de los componentes [8].

1.4 MATERIALES COMPUESTOS PREIMPREGNADOS Ó PREPREGS

Es la mezcla de refuerzos fibrosos y poliméricos, generalmente estos últimos son la matriz del material compuesto final. Su forma puede ser laminar, en cinta o estopa. Para matrices termoestables, deben ser curadas parcialmente a una presión y temperatura controladas.

1.5 MATERIAL COMPUESTO AGLOMERADO

Los aglomerados son materiales compuestos estables y 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 [22].

2. METODOLOGÍA

La metodología usada para la elaboración y caracterización de aglomerados a base poliestireno postconsumo y fibras de coco, se muestra en la figura 4. La cual comprende desde la revisión bibliográfica, desarrollo del diseño experimental, análisis de resultados y las conclusiones.

Figura 4. Metodología para elaboración y caracterización de aglomerados

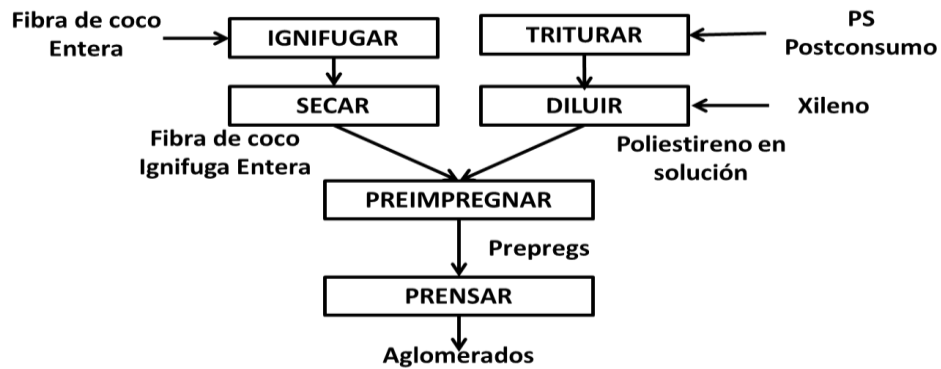


2.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Dentro de esta etapa se recolecto toda la información disponible sobre las propiedades físicas y químicas de la fibra de coco y el poliestireno, además se establecieron las características que deben presentar los aglomerados para sus posibles usos según clasificaciones dadas por otros estudios y por normas estandarizadas. También se analizaron métodos para fabricar los prepregs y los aglomerados, con lo cual se generó el diagrama de proceso que se muestra en la

figura 5. Finalmente se buscaron las normas para la caracterización de plásticos fibro-reforzados.

Figura 5. Diagrama de proceso para la elaboración y caracterización de aglomerados a base de fibra de coco y poliestireno postconsumo.



2.2 PRUEBAS PRELIMINARES

Antes de elaborar el diseño de experimentos adecuado para la elaboración y caracterización de aglomerados, se realizaron pruebas preliminares en las principales fases del proceso de producción de los mismos; esto con el fin de reducir la matriz de estudio de las variables de entrada del proceso.

2.2.1 SELECCIÓN CONCENTRACIÓN DE INHIBIDORES DE FLAMA

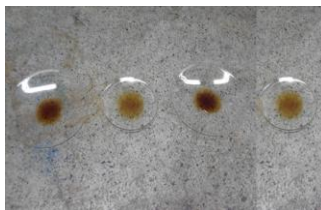
Se experimentó con dos inhibidores de flama: silicato de sodio y ácido bórico, según lo reportado por Neves Monteiro et. al. (2008), Quienes en su estudio sobre la elaboración de composites a partir de fibras de coco y resina poliéster, encuentran que el tratamiento de las fibras con estos compuestos da valor agregado al resultado final, ya que además de sus altas propiedades mecánicas respecto a la madera, también posee ésta propiedad.

Por separado se diluyeron el silicato de sodio y el ácido bórico en agua en cuatro concentraciones diferentes. Para conocer el porcentaje de sólidos presentes en las soluciones. El procedimiento se describe a continuación:

Se pesaron los crisoles en balanza analítica. Se tomó un mililitro de cada solución. Ver figura 6. Y se pesó el conjunto crisol- muestra, para cada caso. Se llevaron las muestras a un horno a 100°C, hasta obtener muestras secas, las cuales fueron pesada y con los datos obtenidos se calculó el porcentaje de sólidos con la ecuación (1).

$$\% \text{ sólidos} = \left[\frac{(P_{\text{total}} - P_{\text{vidrio de reloj}})}{P_{\text{muestra seca}}} \right] \times 100 \quad (1)$$

Figura 6. Muestras de silicato de sodio y ácido bórico.



Después de conocer las concentraciones de las cuatro soluciones se sumergió una pequeña muestra de fibra y se hizo una prueba preliminar de inflamabilidad, para determinar las dos configuraciones que mejor comportamiento presentaban. Estas fueron, 3,5 %P/p de silicato de sodio y 3,13 %P/p de ácido bórico.

2.2.2 DETERMINACIÓN DE LA PROPORCIÓN PS/XILENO, FIBRA/POLÍMERO Y DEL MÉTODO DE IMPERGNACIÓN DE LAS FIBRAS DE COCO ENTEREAS

En esta prueba se troceó todo el poliestireno disponible para el desarrollo del proyecto. A éste se le agregó xileno y agito hasta lograr una contextura líquida y

homogénea de la mezcla, como se muestra en la figura 7. Es importante aclarar que se utilizó xileno debido a la restricción en la adquisición de acetato de etilo en Colombia, (LEY 30 DE 1986).

Figura 7. Poliestireno diluido en xileno.



Para determinar la concentración de poliestireno y xileno en la solución final, se hicieron pruebas preliminares en donde se varió la proporción de ambos, y se buscó el mejor método de impregnación de las fibras.

Primero se evaluó el método de inmersión, el cual consiste en sumergir las fibras en la solución de poliestireno/xileno (ver figura 8), escurrirlas, dejar secar a temperatura ambiente, y registrar el peso, tanto inicial de las fibras ignifugas, como final de las fibras preimpregnadas secas, esto para conocer la cantidad de poliestireno que se alcanzó adherir a la fibra.

Figura 8. Impregnación de fibras de coco enteras por el método de inmersión.



Debido a la baja eficiencia del método anterior, y con base a la revisión bibliográfica que se realizó, se procedió a impregnar las fibras, haciendo una modificación al método propuesto por Walter E. Driver [32], para moldeado con

pistola de aspersión y pistola cortadora de fibras de vidrio. Generando un mecanismo como el que se muestra en la figura 9.

Figura 9. Método de aspersión, para impregnado de fibras de coco enteras.



El método de aspersión, consiste en un tambor que gira a 1680 rpm, mientras con una pistola de aspersión de 0.5 mm de diámetro, va impregnando las fibras con la solución poliestireno/xileno, este mecanismo resulta muy eficiente, ya que al girar las fibras se garantiza una total adherencia del polímero, secado rápido, además de evitar la aglomeración de las fibras de coco, característica principal de los preimpregnados.

Después de seleccionar el segundo método para impregnar las fibras se buscó la concentración apropiada, de poliestireno/xileno, teniendo como parámetros de selección, la viscosidad, comportamiento adecuado en el sistema de aspersión, es decir que no presentara taponamientos en la pistola y adherencia total del polímero, esto se rectificó, con el aumento sustancial del peso de las fibras de coco enteras a medida que se exponían al chorro de la solución en el mecanismo.

Finalmente se determino la relación en peso de fibra de coco y poliestireno postconsumo presente en el preimpregnado. Para esto se evaluaron relaciones de 40/60, 50/50, 60/40, 70/30 y 80/20, de las cuales se escogieron para el diseño de

experimentos las relaciones 40/60 como valor mínimo en relación a la cantidad de fibra y como máximo 60/40, ya que la configuración 50/50 daba resultados muy parecidos a los de 40/60 y las relaciones 70/30 y 80/20 no favorecían a la elaboración de los aglomerados, por su bajo contenido de polímero, lo cual provocaba rupturas al momento del prensado. Según lo reportado en la literatura, para materiales compuestos a base de elastómeros y fibras de coco el aumento del contenido de fibra, genera un aumento en el esfuerzo aplicado para que se rompa el material [8]; sin embargo en otros estudios como en el caso de materiales a partir de polietilenos y fibras naturales los valores por encima de 60 % de fibra en el material final, genera rupturas por la porosidad que generan los espacios entre las fibras y con ello un porcentaje de dureza muy bajo.

2.2.3 CONDICIONES DE OPERACIÓN PARA EL PRENSADO

En esta etapa, se fijaron las variables más relevantes a la hora de elaborar los aglomerados. Primero se estableció la temperatura y la presión a la cual operaría la prensa, además del tiempo de exposición, basándonos de lo propuesto por Caicedo y Salamanca [3], en su trabajo de investigación sobre la elaboración de composites a base de poliestireno postconsumo y aserrín. La temperatura de operación podía estar entre un rango de 140 y 170°C, valores en los que ni las fibras ni el poliestireno se degradarían por el calor y el poliestireno logra endurecerse; la presión debía estar en mínimo 711, 17 psi. El tiempo de prensado se estableció según el dato reportado por Rodríguez [23], en su estudio sobre materiales compuestos por polietileno de alta densidad y fibra de coco.

Dentro de esta fase también se determinó el contenido de preimpregnado por molde, el número de capas por aglomerado, y las dimensiones de los mismos. Este procedimiento se hizo según la norma ASTM D3171-11, de acuerdo a lo

especificado por el método dos de la misma. También se tuvo en cuenta los datos reportados por Rodríguez [23], en donde se recomendaba no exceder el espesor por capa de aglomerado de 5 milímetros, ya que a espesores mayores, el calor es interrumpido hacia el centro de la muestra por el espacio que hay entre las fibras, haciendo que la temperatura no alcance a endurecer el poliestireno contenido en el interior, dando como resultado un aglomerado con bajas características físico-mecánicas.

Después de realizar las pruebas preliminares, y con base a los resultados obtenidos, se estableció 160°C y $80 \text{ Kg}_f/\text{cm}^2$, como las condiciones de operación. Y un tiempo de exposición de 10 minutos para placas de 3 mm y 15 minutos para el aglomerado de las mismas. También se implementó el uso de un papel desmoldante, ya que las fibras de pegaban a las placas metálicas, generando ruptura de los aglomerados, como se muestra en la figura 10.

Figura 10. Condiciones para el prensado de aglomerados a base de poliestireno postconsumo y fibras de coco enteras.



2.3 DISEÑO EXPERIMENTAL

Para la elaboración y caracterización de los aglomerados a partir de poliestireno postconsumo y fibras del coco enteras; se planteó un diseño experimental, el cual comprende las variables de entrada, tales como: inhibidor de flama, relación fibra de coco/poliestireno, y número de capas en aglomerado final, como se muestra en

la figura 11. El desarrollo experimental se da de acuerdo al diagrama de proceso descrito en la figura 5. Teniendo como base los resultados de las pruebas preliminares.

Figura 11. Diseño experimental



Donde:

AI 1: Silicato de Sodio [3,5 %P/p]

AI 2: Ácido Bórico [3,13 %P/p]

F/P 1: Relación fibra de coco/ (Solución poliestireno/xileno) [40/60]

F/P 2: Relación fibra de coco/ (Solución poliestireno/xileno) [60/40]

N1: Número de capas del aglomerado final [una capa]

N2: Número de capas del aglomerado final [dos capas]

2.4 ELABORACIÓN DE AGLOMERADOS

Inicialmente se pesaron e ignifugaron 1000 g de fibra de coco virgen, repartidos equitativamente en un Litro de silicato de sodio y ácido bórico, diluidos a las concentraciones ya especificadas en el diseño experimental, por separado durante 48 horas. Posteriormente se secaron las fibras en estufa Lab-Line Instruments serie 0975, a 60°C durante 24 horas. Para calcular el grado de absorción de los inhibidores de flama en las fibras, se determinó la humedad total y el contenido de

cenizas de acuerdo a la norma ASTM D2231 y ASTM D1102-56 respectivamente, los resultados de muestran en las tablas 3 y 4. Y el procedimiento en la figura 12.

Figura 12. Ignifugado de fibras de coco enteras, determinación de la humedad total y contenido de cenizas.



Tabla 3. Prueba de humedad total fibras de coco ignifugas enteras. ASTM D2231

TIEMPO [Horas]	PESO [g]	HUMEDAD [%]
0	1,79	
1	1,5	16,2
2	1,48	17,32
3	1,48	17,32

Tabla 4. Prueba de cenizas fibras de coco ignifugas enteras. ASTM D1102-56

ACONDIOAMIENTO CRISOLES Y MUETRAS T= 106 °C 1 HORA		
MUESTRA	CRISOL-MUESTRA PESO INICIAL [g]	CRISOL- MUESTRA PESO FINAL [g]
FIBRA VIRGEN	62,70	62,49
FIBRA-SILICATO	67,48	67,28
FIBRA-ACIDO BORICO	40,48	60,25

PRUEBA DE CENIZAS T= 600°C 5 HORAS				
MUESTRA	PESO CRISOL [g]	CRISOL- MUESTRA PESO FINAL [g]	PESO CENIZAS [g]	% CENIZAS
FIBRA VIRGEN	60,70	60,73	0,03	1,5
FIBRA-SILICATO	65,48	65,52	0,04	2,0
FIBRA-ACIDO BÓRICO	58,48	58,59	0,11	5,5

Se troceó 300g de poliestireno en pedazos de 2X2 cm aproximadamente y se sumergió en xileno, hasta cuando el polímero se empezó a hinchar, luego se homogenizó con un agitador de hélice, hasta alcanzar una concentración de 44,4 %P/p de poliestireno en la solución final, tal como se describió en las pruebas preliminares.

Ya con las fibras ignifugas y el poliestireno diluido, se procedió a impregnar las fibras, según el método de aspersión, la metodología para este procedimiento consistía en pesar 12 g de fibra y exponer a el chorro de solución poliestireno xileno, hasta alcanzar 30 g de preimpregnado final, esto para la relación 40/60, para la configuración 60/40 se pesaron inicialmente 24 g de fibra y se impregnaba hasta alcanzar los mismos 30 g de preimpregnado final. Se establecieron estos pesos, teniendo como parámetro principal, la movilidad de las fibras dentro del tambor, esto con el fin de que estas no se aglomeraran entre si. De este procedimiento se tiene un prepregs como el que se muestra en la figura 13.

Figura13. Prepregs a base de poliestireno postconsumo y fibras del coco enteras



Finalmente se prensaron los prepregs de 40/60 y 60/40 en relación al contenido de fibra, en prensa Bestor A.F 59-50131. Con moldes de acero provistos de dos placas y un bastidor, en la tabla 5, se encuentran las condiciones de operación para cada aglomerado propuesto en el diseño experimental de una y dos capas. En la figura 14 se puede observar imagines del procedimiento como tal.

Tabla 5. Prensado de prepregs para elaboración de aglomerados a partir de poliestireno postconsumo y fibras del coco enteras

RELACIÓN FIBRA/SOLUCIÓN POLIMÉRICA 40/60 Y 60/40					
NUMERO DE CAPAS	FORMA	MOLDE [cm]	PRESIÓN [Kgf/cm ²]	TEMPERATURA [°C]	PESO PREPREG [g]
1	AGLOMERADO	15X15X0,5	80	160	40
2	LAMINA	10X10X0,3	50	160	20
	AGLOMERADO	10X10X0,4	80	160	40

Figura 14. Prensado de prepregs para elaboración de aglomerados a partir de poliestireno postconsumo y fibras de coco enteras.



2.5 CARACTERIZACIÓN FÍSICO-MECÁNICA

Ya obtenidos los aglomerados de una y dos capas, se hizo la respectiva caracterización físico-mecánica de acuerdo a las normas ASTM para plásticos, ya que el objetivo de este trabajo era reforzar con fibras de coco enteras el poliestireno postconsumo clasificado como plástico tipo seis.

2.5.1 DETERMINACIÓN ESPESOR DE LOS AGLOMERADOS

Se tomaron ocho muestras a las cuales se les midió el espesor en sus cuatro aristas, con la ayuda de un calibrador, como se muestra en la figura 15. Finalmente se saco un promedio de las mediciones, los resultados se muestran en la tabla 6.

Figura 15. Determinación del espesor de los aglomerados de fibra de coco entera y poliestireno postconsumo.



Tabla 6. Resultados de la medición del espesor de los aglomerados de fibra de coco entera y poliestireno postconsumo.

AGLOMERADO	NUMERO DE CAPAS	ESPESOR [mm]
Silicato de sodio 60/40	1	4,2
	2	3,8
silicato de sodio 40/60	1	4,8
	2	3,6
Ácido Bórico 60/40	1	4,8
	2	4,2
Ácido Bórico 40/60	1	4,9
	2	3,8

2.5.2 CÁLCULO DE LA DENSIDAD DE LOS AGLOMERADOS

Para determinar la densidad de los aglomerados, fue necesario realizar ocho probetas de 15 centímetros de largo y dos centímetros de ancho, con bordes rectos, y limpios. El cálculo se realizó con base al principio de Arquímedes, el cual consiste en medir un volumen conocido de un liquido con densidad conocida, para este caso se usó agua destilada, luego se sumerge el solido de masa también conocida, y se observa la variación del volumen, el procedimiento se observa en la figura 16, y los resultados en la tabla 7.

Figura 16. Determinación de la densidad de los aglomerados de fibra de coco entera y poliestireno postconsumo.



Tabla 7. Resultados del cálculo de la densidad de los aglomerados de fibra de coco entera y poliestireno postconsumo.

AGLOMERADO	NUMERO DE CAPAS	DENSIDAD [g/ml]
silicato de sodio 60/40	1	1,37
	2	1,44
silicato de sodio 40/60	1	1,12
	2	1,27
Ácido Bórico 60/40	1	1,4
	2	0,94
Ácido Bórico 40/60	1	1,07
	2	0,98

2.5.3 PRUEBA DE ABSORCIÓN DE AGUA. ASTM D570

Se realizo prueba de absorción de agua, y para esto fue necesario cortar ocho probetas de 5X5 cm y sumergirlos en agua destilada a temperatura ambiente, por un periodo de 24 horas, según la norma ASTM D570, como se muestra en la figura 17. Los resultados se exponen en la tabla 8.

Figura 17. Prueba de absorción de agua

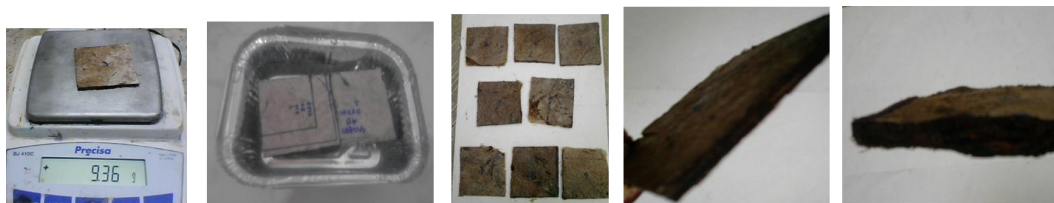


Tabla 8. Resultados prueba de absorción de agua

AGLOMERADO	NÚMERO DE CAPAS	PESO INICIAL [g]	PESO FINAL [g]	ESPESOR INICIAL [mm]	ESPESOR FINAL [mm]	% ABSORCIÓN
silicato de sodio 60/40	1	10.21	20.47	4.2	5.86	10.26
	2	11.27	19.17	3.8	4.65	7.9
silicato de sodio 40/60	1	10.91	17.12	4.8	5.22	6.21
	2	11.53	16.57	3.6	5.36	5.04
Ácido Bórico 60/40	1	5.66	13.71	4.8	5.06	8.05
	2	11.53	20.18	4.2	6.64	8.65
Ácido Bórico 40/60	1	7.02	14.63	4.9	5.34	7.61
	2	9.36	14.17	3.8	4	4.81

2.5.4 TEST DE LLAMA. ASTM D1692

El ensayo de inflamabilidad de los aglomerados finales, se hizo según la norma ASTM D1692. Para los especímenes de silicato de sodio, se observó inicialmente una llama fuliginosa que se propaga por un periodo de 10 segundos aproximadamente y luego se extingue dejando, solo las cenizas de la fibra de coco. En el caso del ácido bórico, se presenta la misma llama fuliginosa, pero en este caso el tiempo de propagación es de aproximadamente 20 segundos, al igual que los especímenes ignifugados con silicato de sodio, la llama se extingue dejando solo la ceniza de la fibra. En la figura 18, se observan las imágenes de la prueba. Es importante aclarar que durante la quema se desprende un olor leve de poliestireno, y se observa un hilo de dióxido de carbono, debido a la combustión incompleta. Finalmente se evaluó cuál de los dos agentes era más provechoso usar teniendo en cuenta, los resultados de las otras pruebas, ya que la naturaleza de los inhibidores de flama, puede afectar la estructura interna de las fibras y con ello las propiedades mecánicas de los aglomerados finales.

Figura 18. Test de llama de aglomerados de fibra de coco entera y poliestireno postconsumo.



2.5.5 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 ocho muestras, en cuatro puntos diferentes por cara, con la ayuda de un durómetro Shore tipo B, para materiales duros, siguiendo la norma ASTM D2240, como se muestra en la figura 19. Los resultados se observan en la tabla 9.

Figura 19. Prueba de dureza de aglomerados de fibra de coco entera y poliestireno postconsumo.



Tabla 9. Resultados prueba de dureza

AGLOMERADO	NUMERO DE CAPAS	% DUREZA
silicato de sodio 60/40	1	56.25
	2	69.75
silicato de sodio 40/60	1	67.65
	2	72.25
Ácido Bórico 60/40	1	47.50
	2	72.75
Ácido Bórico 40/60	1	66.25
	2	74.25

2.5.6 PRUEBA DE IMPACTO

Se realizo prueba de impacto Izod, como se muestra en la figura 20. Para este ensayo se cortaron 24 probetas, según norma ASTM D256. Con la ayuda del manual de la maquina se reportaron los datos de la tabla 10. Los cuales se determinaron sacando un promedio del ángulo de desplazamiento del martillo para cada configuración de aglomerado de acuerdo a lo planteado en el diseño de experimentos, de la misma forma se promediaron los datos registrados para la resistencia al impacto en la maquina. Finalmente con el diagrama de perdidas totales de energía para la maquina tipo Izod (ver Anexo A), se determino la resistencia al impacto real del aglomerado ensayado.

Figura 20. Prueba de impacto tipo Izod.



Tabla 10. Resultados prueba de impacto Izod para aglomerados de fibra de coco entera y poliestireno postconsumo

AGLOMERADO	NUMERO DE CAPAS	Angulo β	Energía absorbida [Lb-ft]	Energía Total Perdida [Lb-ft]	Resistencia al Impacto [Lb-ft]
silicato de sodio 60/40	1	68.17	5.35	0.514	4.836
	2	93.33	2.63	0.6	2.03
silicato de sodio 40/60	1	65.67	5.6	0.511	5.089
	2	72.67	4.83	0.532	4.298
Ácido Bórico 60/40	1	96.00	2.4	0.611	1.789
	2	74.33	4.63	0.533	4.097
Ácido Bórico 40/60	1	94.33	2.53	0.615	1.915
	2	103.00	1.37	0.631	0.739

2.5.7 ENSAYO DE TRACCIÓN

El ensayo de tracción se realizó, con el fin de conocer la resistencia del aglomerado al someterlo a una fuerza gradualmente aplicada. Para esta prueba fue necesario elaborar 24 probetas según norma ASTM D638. Los ensayos se llevaron a cabo en máquina modelo TWO SPEED DRIVE, como se muestra en la figura 21, la cual proporcionaba una gráfica donde se relacionaba el desplazamiento de las mordazas y la deformación de la probeta, con ayuda del manual de la máquina de ensayo, se calculó el esfuerzo (ver anexo B), y posteriormente se hizo el diagrama de esfuerzo Vs deformación, para cada configuración de aglomerado según el diseño de experimentos planteado inicialmente. Finalmente se determinó el módulo de Young para los aglomerados, como se muestra en la tabla 11.

Figura 21. Ensayo de tracción.



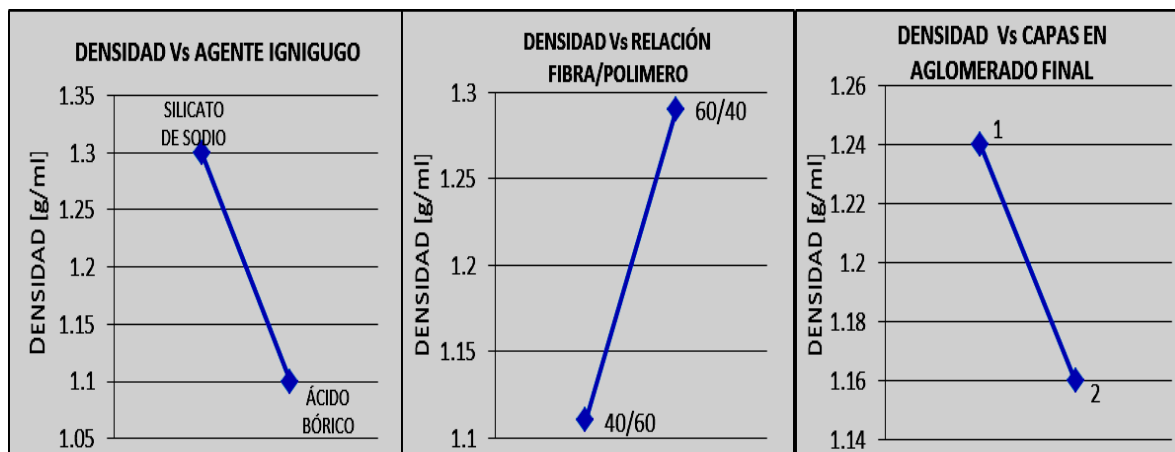
Tabla 11. Resultados ensayo de tracción.

AGLOMERADO	NUMERO DE CAPAS	DEFORMACIÓN [in/in]	ESFUERZO [Psi]	MODULO DE YOUNG [Psi]
silicato de sodio 60/40	1	0.7	667.28	766.99
	2	0.4	312.97	417.3
silicato de sodio 40/60	1	0.8	707.34	906.85
	2	0.3	117.16	390.53
Ácido Bórico 60/40	1	1.1	806.15	839.74
	2	0.5	336.67	420.85
Ácido Bórico 40/60	1	0.6	508.51	726.4
	2	0.4	225.72	480.25

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 EFECTO DE LAS VARIABLES DE ESTUDIO SOBRE LA DENSIDAD

Figura 22. Variación de la densidad respecto a las variables de estudio.



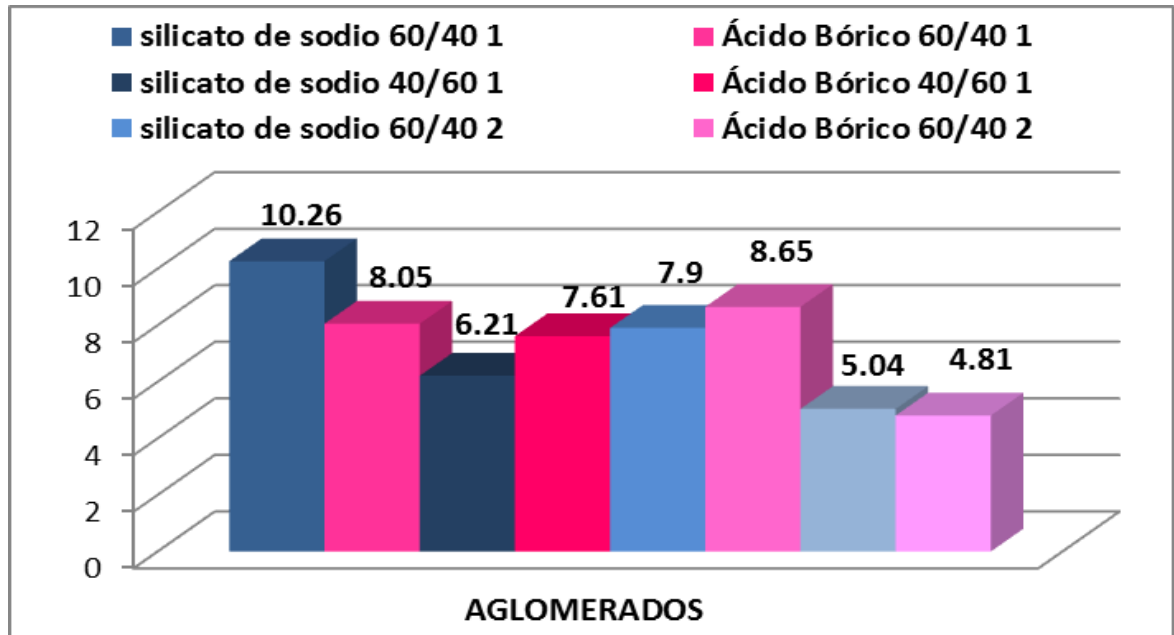
En la figura 22, se muestra la variación de la densidad respecto a las tres variables de estudio. Si observamos el comportamiento de los aglomerados en relación al agente ignífugo, vemos que el silicato de sodio por su naturaleza química, aporta peso a los aglomerados y por ende se presenta un aumento en la densidad de los aglomerados, por el contrario el ácido bórico entra en la estructura interna de las fibras generando desgaste, por la dilución de sus componentes en el ácido [16]. Respecto al contenido de fibra y polímero en el aglomerado final, es uno de los aspectos más importantes en este estudio, ya que esto además de aportar propiedades mecánicas, influye sustancialmente en el peso final de los aglomerados y por ende en la densidad, como era de esperarse, un aumento en el contenido de fibra en el material compuesto, genera un aumento en su densidad.

Finalmente se observó el comportamiento de la densidad respecto al número de capas en el aglomerado final, viéndose que un aumento en el número de laminas, hace que el material sea mas liviano o menos denso, esto se debe a que las capas en que esta compuesto el material son mas livianas y al apilarlas no generan un peso igual al de los aglomerados de una sola capa. Al revisar la norma técnica colombiana NTC 2261, donde se establecen características que deben cumplir los tableros de partículas aglomeradas de madera u otros materiales lignocelulósicos, los aglomerados tanto de una como de dos capas están dentro de la clasificación de tableros de baja densidad, por estar por debajo de los 500 kg/m^3 , esto les da una gran ventaja sobre otros materiales, ya que presentan iguales o mejores propiedades mecánicas y además son livianos, característica que actualmente se busca en los materiales compuestos, por la facilidad tanto de transporte, como de manufactura y sobre todo confort para el uso domestico.

3.2 ANÁLISIS PRUEBA DE ABSORCIÓN DE AGUA

Para analizar el porcentaje de absorción de agua en los aglomerados de fibra de coco y poliestireno postconsumo, se hizo un comparativo de los resultados, como se muestra en la figura 23. Este análisis muestra una superioridad en cuanto a la resistencia al agua de la configuración 40/60 en relación al contenido de fibra en el aglomerado final, pues como era de esperarse un aumento en el contenido de poliestireno protegerá a la fibra de la humedad y la deformación por hinchamiento de la muestra, ya que el polímero aporta permeabilidad, manteniendo así intacto el material. Haciendo un comparativo con el trabajo realizado por Rodríguez Godínez [23], en su estudio sobre la elaboración de materiales compuestos a partir de fibra de coco y polietileno de alta densidad, se puede decir que los aglomerados 40/60 de dos capas de fibra de coco y poliestireno postconsumo, superan en un 50% la resistencia al agua que los obtenidos por ellos.

Figura 23. Análisis porcentaje de absorción de agua de los aglomerados de fibra de coco entera y PS Postconsumo

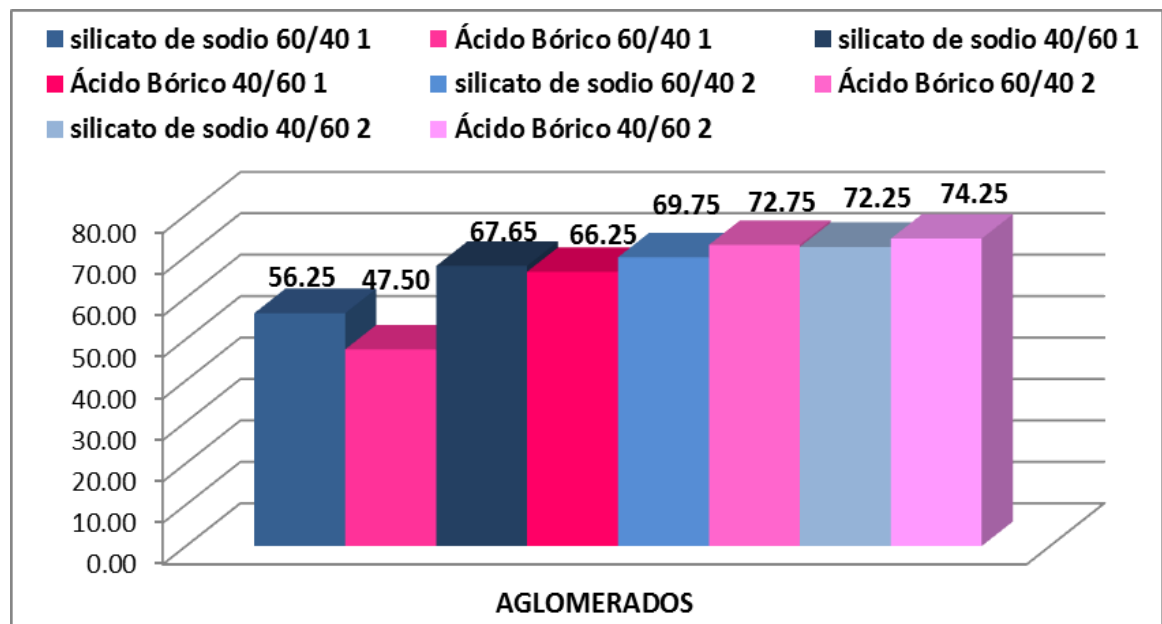


3.3 ANÁLISIS PRUEBA DE DUREZA

Para el análisis del ensayo de dureza se realizó un comparativo de los resultados obtenidos en el presente trabajo, y los revisados en el trabajo de Caicedo et. al. (2011) [3], quienes elaboraron y caracterizaron madera plástica a partir de resina poliéster pre acelerada, teniendo porcentajes de dureza del 77 %. Para los aglomerados de fibra de coco y poliestireno postconsumo, los mejores porcentajes de dureza se alcanzaron en las configuraciones: silicato de sodio 40/ 60 de dos capas (72.25 %) y ácido bórico 40/60 de dos capas (74.25 %), como se muestra en la figura 24. Este resultado es un poco mas bajo que para el de madera plástica, esto se debe a la porosidad que generan los espacios entre las fibras y por la matriz polimérica utilizada. En el caso de la madera plástica el porcentaje de

dureza es mayor por lo compactas que se encuentran las partículas dentro del material compuesto y por la dureza que aporta la resina poliéster.

Figura 24. Análisis de resultados prueba de dureza.

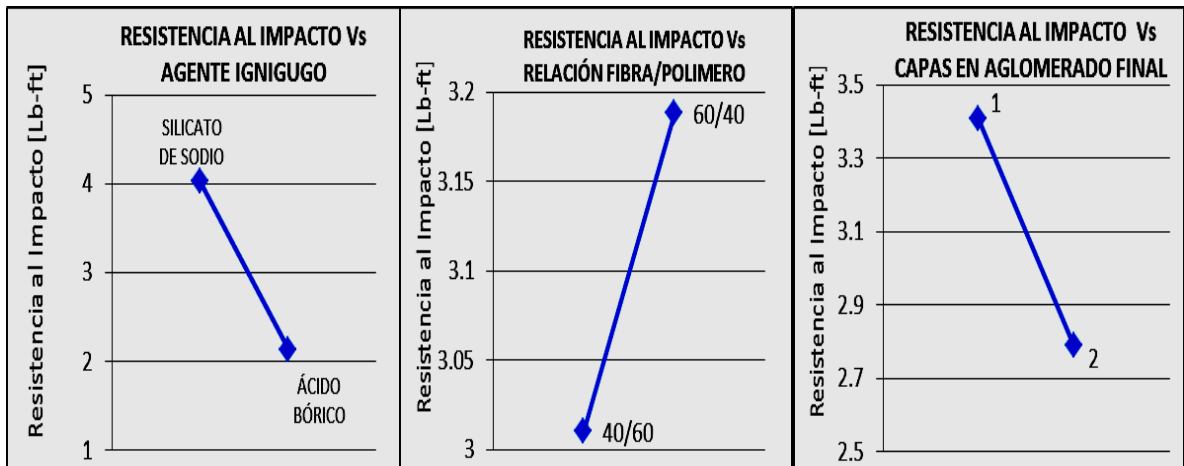


3.4 ANÁLISIS PRUEBA DE IMPACTO

El análisis de resultados de la prueba de impacto para los aglomerados de fibra de coco entera y poliestireno postconsumo, no se confrontó con otros datos, ya que en anteriores estudios este ensayo no fue aplicado, sin embargo se analizó el comportamiento de la resistencia al impacto, respecto a las variables de estudio, como se muestra en la figura 25. Observando la respuesta del material, respecto al agente ignífugo, se puede apreciar claramente el aporte que le da el silicato de sodio a los aglomerados finales, teniendo como base el concepto de que las sales son bastante afines con las fibras, y por ende no afectan su estructura interna, sino que por el contrario, ayudan a reforzar de alguna forma las imperfecciones

que puedan tener desde su origen. La relación fibra de coco/poliestireno, es un factor relevante en el análisis de las variables de estudio, en el ensayo de impacto, la configuración 60/40 fue la que presento mejor comportamiento, partiendo de esta observación se puede decir que reforzar el poliestireno con fibras de coco enteras, cambia sustancialmente la respuesta frágil del polímero en su estado natural, a una respuesta mas dúctil en casi un 40%. Sin embargo los aglomerados 40/60 no se pueden descartar, ya que comparándolos con los datos reportados inicialmente para el poliestireno cristal, también aumenta su resistencia al impacto al reforzarlos en un 20%, siendo estos resultados muy provechosos para la búsqueda de nuevos materiales. El efecto del número de capas en el aglomerado final, sobre la resistencia al impacto, es el factor que tiene mayor relevancia, ya que al estar conformado por varias laminas, el material se desestabiliza al someterlo a esta clase de ensayos, es por eso que para los aglomerados de dos capas la resistencia al impacto es menor.

Figura 25. Variación de la resistencia al impacto, respecto a las variables de estudio.



3.5 ANÁLISIS PRUEBA DE TRACCIÓN

Como se ha podido observar en anteriores pruebas, el agente ignífugo, influye linealmente en las propiedades físico-mecánicas del aglomerado final, en el ensayo de tracción los compuestos con ácido bórico requieren un mayor esfuerzo para ser deformados, y presentaron un modulo de elasticidad menor, rectificando, el carácter frágil que le aporta dicho agente ignífugo al material, debido a la influencia que tiene sobre las estructura de las fibras.

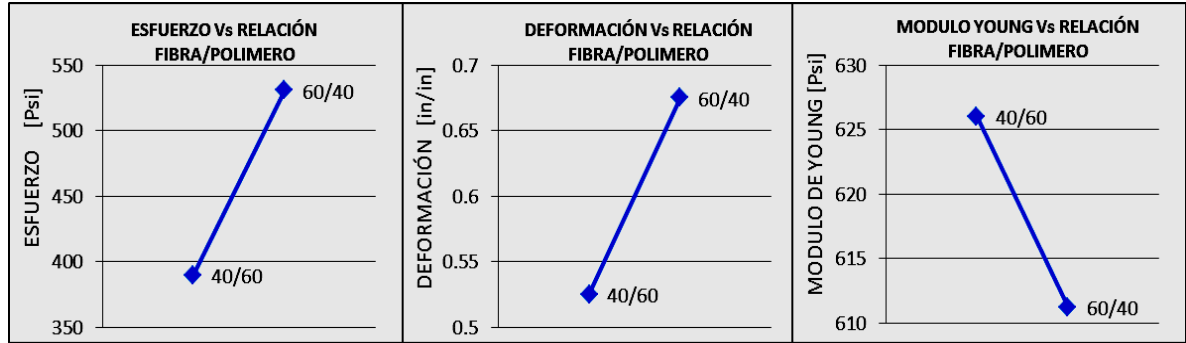
Figura 26. Efecto del agente ignífugo, en análisis prueba de tracción.



Se hizo análisis del efecto del contenido de fibra en aglomerado final, respecto al diagrama de esfuerzo-deformación, como se muestra en la figura 27. Se puede observar que a mayor cantidad de fibra mayor es el esfuerzo que se requiere para que la probeta de material compuesto se fracture. Esto se debe a que la fibra ofrece una resistencia al material, especialmente a la tracción, sin embargo esta resistencia también depende de la cantidad de polímero que se utiliza, en el caso del poliestireno a mayores cantidades en la matriz polimérica final, el material se hace mas frágil, caso contrario a los aglomerados de naturaleza elastomérica, según el estudio realizado por Gallegos Idrobo [8], sobre la elaboración de

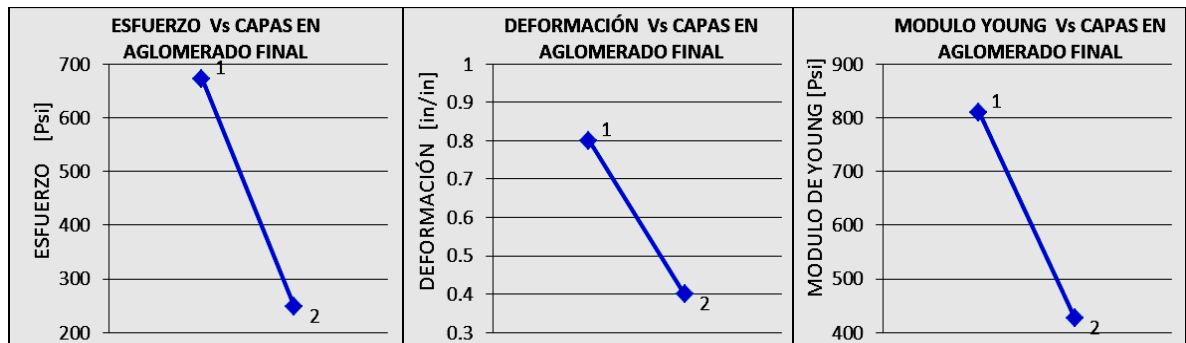
materiales compuesto a base de látex y fibras de coco, ya que el elastómero aporta elasticidad al material.

Figura 27. Efecto contenido de fibra en aglomerado final, en análisis prueba de tracción.



Finalmente se analizó la prueba de tracción, respecto al número de capas en el aglomerado final, como se muestra en la figura 28. Se puede observar que los aglomerados de una sola capa presentaron mejor comportamiento, debido a la estabilidad que presentaban las probetas. Los aglomerados de dos capas, presentaron un comportamiento frágil, sin embargo los resultados de esta prueba, son aceptables, ya que según la norma técnica colombiana NTC 2261, los aglomerados obtenidos en este trabajo, estarían en la clasificación de tableros de grado bajo, siendo aplicable en múltiples usos industriales y domésticos.

Figura 28. Efecto número de capas de aglomerado final, en análisis prueba de tracción.



CONCLUSIONES

Se logró obtener aglomerados, a base de materiales de desecho, como la fibra de coco entera y el Poliestireno cristal reciclado, a partir de la técnica de preimpregnado por aspersión. Donde las ocho configuraciones propuestas en el diseño de experimentos, aportan nuevas opciones para la obtención de materiales compuestos con características físico-mecánicas específicas. Alargando la vida útil de las materias primas y dando valor agregado a la utilización de fibras naturales en materiales compuestos de matriz polimérica.

Se evaluaron los efectos que tiene la utilización de agentes inhibidores de flama en materiales compuestos, sobre las características físico-mecánicas de los aglomerados a partir de fibra de coco entera y poliestireno postconsumo, siendo la solución de 3,5 %P/p de silicato de sodio, la que generó mejores resultados, en cuanto a los ensayos de inflamabilidad, densidad, impacto y tracción. Se atribuye este resultado a su naturaleza química.

La proporción más adecuada para la elaboración de aglomerados de fibra de coco entera y poliestireno postconsumo es 60/40, donde la mayor cantidad es fibra, y la menor es poliestireno cristal postconsumo.

El número de capas en aglomerado final influyó de manera considerablemente en la estructura y propiedades físicas y mecánicas del material. Concluyéndose entonces que el aglomerado de una sola capa, es el que presenta mejores propiedades físico-mecánicas. Esto se debe a la estabilidad que presentaron durante el proceso de elaboración.

RECOMENDACIONES

Evaluar el método de preimpregnado y prensado, para facilitar el proceso, y con ello reducir tiempo de elaboración de aglomerados, aumentar volumen de producción, mejorar la eficiencia del proceso, tener mejor control de las variables, y mejorar la calidad del producto final.

Hacer un estudio, sobre el efecto del tamaño de la fibra en las propiedades físico-mecánicas de los aglomerados, para mejorar las propiedades del material compuesto final.

Evaluar las propiedades térmicas y químicas de los aglomerados, para ampliar el rango de posibilidades de uso a nivel industrial y domestico.

Realizar un análisis de factibilidad, con el fin de producir y comercializar aglomerados a partir de fibra de coco y poliestireno postconsumo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Anuario estadístico del sector agropecuario y pesquero. Ministerio de agricultura y desarrollo rural. 2009
- [2] BIRON MICHEL. Propriétés des thermoplastiques - Tableaux comparatifs
- [3] CAICEDO MORENO, SALAMANCA VIANCHÀ. Elaboración De Composites A Base De Resina Poliéster, Poliestireno Postconsumo Y Aserrín. . Trabajo de grado (Ingeniería Química). Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 2011
- [4] CAPPARELLI MATTOSO, PEREIRA, SOUZA, AGNELLI. Utilização De Fibras Vegetais Para Reforço De Plásticos. Pesquisa Em Andamento. N°3. Brasil. 1996
- [5] COLLI Andreia. Caracterização Da Madeira de Pariacá (*Schyzolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) E propriedades de chapas de partículas aglomeradas com diferentes proporções de fibras de coco (*Cocos nucifera* L.). Trabajo de grado. (post grado en Ciencia Forestal). Universidade Federal de Viçosa. Brasil. 2007.
- [6] CÓRDOBA, MERA, MARTINEZ, RODRIGUEZ. Materiales reforzados. Aprovechamiento De Polipropileno Y Polietileno De Alta Densidad Reciclados, Reforzados Con Fibra Vegetal, Tetera (*Stromanthe Stromathoides*). Revista Iberoamericana de Polímeros. Universidad de Nariño. Pasto. 2010.
- [7] FOMSECA DOS SANTOS Evelise. Efeito de agentes de acoplamiento em compósitos de polipropileno com fibras de coco. Trabajo de grado (Postgrado en química). Universidad Federal Do Rio Grande Do Sul. Porto Alegre. 2007.
- [8] GALLEGOS IDROBO Sylvia. Obtención de un material compuesto de matriz elastomérica y fibra de coco. Trabajo de grado (Ingeniería Agroindustrial). Escuela Politécnica Nacional. Quito. 2011.
- [9] GEETHAMMA, KALAPRASAD, GROENINCKX, THOMAS. Composites: Part A. Dynamic mechanical behavior of short coir fiber reinforced natural rubber composites. Elsevier. India. 2005.
- [10] HERRERA FRANCO, VALADEZ GONZÁLEZ. Composites: Part B. A study of the mechanical properties of short natural-fiber reinforced composites. Elsevier. Mexico. 2005.
- [11] JERÁSIO BIANCHE Juliana. Propiedades de aglomerado fabricado com partículas de eucalipto, pariacá e vassoura. (post grado en Ciencia Forestal). Universidade Federal de Viçosa. Brasil. 2009.

- [12] KAPULSKIS, DE JESUS, MEI. Modificação Química De Fibras De Coco E De Sisal Visando Melhorar Suas Interações Interfaciais Com Matrizes Poliméricas Biodegradáveis. Memórias: VI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica. UNICAMP. Brasil. 2005.
- [13] MARINELLI, MONTEIRO, AMBROSIO, BRANCIFORTI. Desenvolvimento de Compósitos Poliméricos com Fibras Vegetais Naturais da Biodiversidade: Uma Contribuição para a Sustentabilidade Amazônica. Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 18, nº 2, p. 92-99. Brasil. 2008.
- [14] MÜLLER,WAGNER, MÄHLMANN, RODRÍGUEZ, KIPPER. Obtenção E Caracterização De Compósitos De Polipropileno Pós-Consumo Com Fibras De Cana-De-Açúcar Com E Sem Tratamento Químico. Memórias. 17º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Foz do Iguaçu, PR, Brasil. 2006.
- [15] NEVES MONTEIRO, LOPES, FERREIRA, NASCIMENTO. Natural-Fiber Polymer-Matrix Composites: Cheaper, Tougher, and Environmentally Friendly. Polymer-Matrix Composites. Overview. P 17-22. Brasil. 2009.
- [16] NEVES MONTEIRO, TERRONES, ALMEIDA. Material Properties. Mechanical performance of coir fiber/polyester composites. Polymer Testing 27 p.591– 595. Brasil. 2008.
- [17] NEXANT. Perp Report Polystyrene May 2006.
- [18] NOVOA CARRILLO Angélica. Elaboración y evaluación de tableros aglomerados a base de fibra de coco y cemento. Trabajo de grado (posgrado Arquitectura). Universidad de Colima. Coquimatlan. 2005.
- [19] PAEZ MOSCOSO Juan Carlos. Obtención de compuestos de polipropileno reforzado con fibras de abacá mediante moldeo por compresión. Trabajo de grado (Título de ingeniero). Escuela Politécnica Nacional. Quito. 2007.
- [20] PÉREZ ESCOBAR Milton Adolfo. Elaboración De Matrizes De Polímeros Reciclados Reforzados Con Fibras De La Estopa Del Coco Y Determinación De Sus Propiedades Físicas Y Mecánicas. Trabajo de grado (Ingeniería Civil). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 2008.
- [21] QUINTERO, GONZÁLEZ. Uso De Fibra De Estopa De Coco Para Mejorar Las Propiedades Mecánicas Del Concreto. Ingeniería & Desarrollo Vol 20. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. Valle del Cauca. 2006.
- [22] QUIÑONEZ DE LA CRUZ Francisco. Evaluación experimental de matrices fibro-reforzadas con desechos del fruto del coco y de paneles para construcción de vivienda económica. Proyecto FODECYT N° 075-06. Guatemala. 2009.

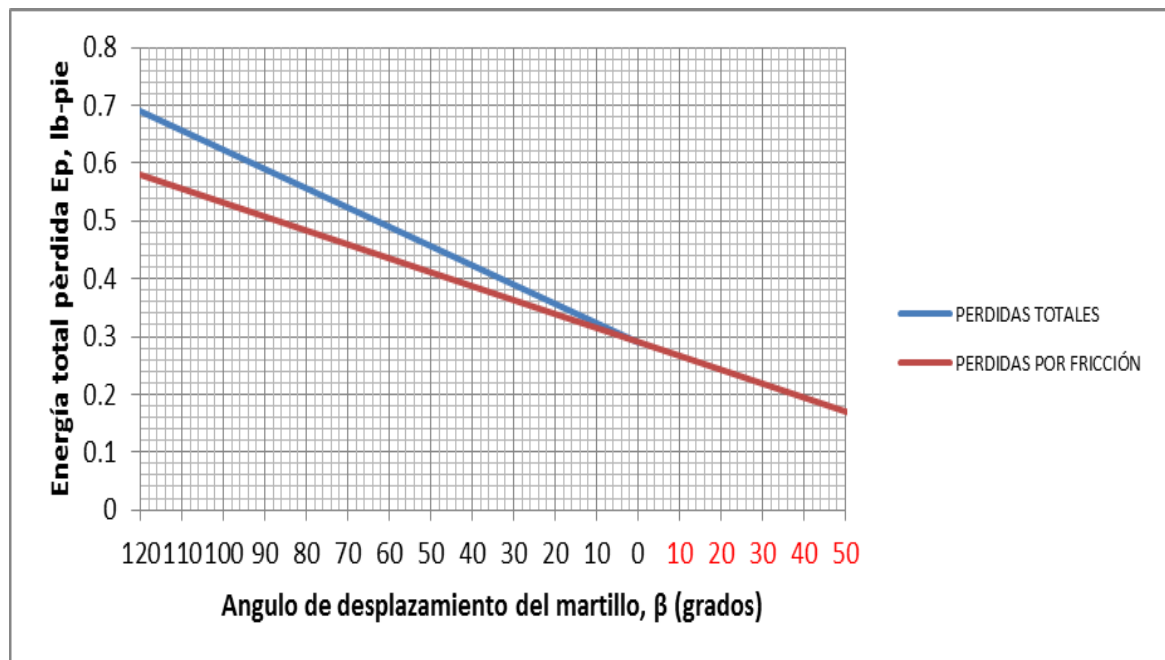
- [23] RODRIGUEZ GODÍNEZ Juan Pablo. Diseño y caracterización del material compuesto por polietileno de alta densidad y fibra de coco. Trabajo de grado (posgrado Arquitectura). Universidad de Colima. Coquimatlan. 2005.
- [24] ROZMAN, TAN, KUMAR, ABUBAKAR, MOHD. ISHAK, ISMAIL. The Effect Of Lignin As A Compatibilizer On The Physical Properties Of Coconut Fiber-Polypropylene Composites. European Polymer Journal 36. Malaysia. 2000.
- [25] SANTOS, ARMICO, SYDENSTRICKER. Desenvolvimento De Compósito Híbrido Polipropileno / Fibras De Vidro E Coco Para Aplicações De Engenharia. Memórias. 17º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Foz do Iguaçu, PR, Brasil. 2006.
- [26] SATYANARAYANA, GUIMARAES, WYPYCH. Studies on lignocellulosic fibers of Brazil. Part I: Source, production, morphology, properties and applications. Composites: Part A: applied science and manufacturing N° 38. P 1694-1709. Brasil 2007.
- [27] SATYANARAYANA, SYDENSTRICKER, TOMCZAK. Studies on lignocellulosic fibers of Brazil. Part II: Morphology and properties of Brazilian coconut fibers Composites: Part A: applied science and manufacturing N° 38. P 1710-1721. Brasil. 2007.
- [28] SATYANARAYANA, SYDENSTRICKER, TOMCZAK. Studies on lignocellulosic fibers of Brazil. Part III: Morphology and properties of Brazilian curauá fibers Composites: Part A: applied science and manufacturing N° 38. P 2227-2236. Brasil. 2007.
- [29] SENHORAS Martins Elói. Oportunidades da Cadeia Agroindustrial do Coco Verde Do coco verde nada se perde, tudo se desfruta. Revista Uutágua. N° 05. Recurso electrónico: http://www.urutagua.uem.br/005/22eco_senhoras.htm.
- [30] SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÓN CULTURAL. SINIC. Ministerio de Cultura. Recurso electrónico: <http://www.sinic.gov.co/sinic/colombiacultural/PaginaColCultural.aspx?AREID=3&SECID=8>
- [31] VISCNTE, ISHISAKI, FURTADO, LEITE, LEBLANC. Caracterização Mecânica e Morfológica de Compósitos de Polipropileno e Fibras de Coco Verde: Influência do Teor de Fibra e das Condições de Mistura. Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 16, n° 3, p. 182-186. Brasil. 2006.
- [32] WALTER E. DRIVER. Plastics chemistry and technology. Litton Educational Publishing, INC. Austin Texas. 1989.

- [33] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Test Methods for Constituent Content of Composite Materials. Pennsylvania. ASTM D3171-11
- [34] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Test Method for Water Absorption of Plastics. Pennsylvania. ASTM D570.
- [35] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Method of Test for Rate of Burning or Extent and Time of Burning of Cellular Plastics Using a Specimen Horizontal. ASTM D1692.
- [36] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Test Method for Rubber Property—Durometer Hardness. ASTM D2240.
- [37] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics. ASTM D256.
- [38] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. ASTM D638.
- [39] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Tableros De Partículas Aglomeradas Para Aplicaciones Interiores No Estructurales. 2ª Edición. Bogotá D.C. ICONTEC. 2003. NTC 2261.

ANEXO A. MANEJO DEL DIAGRAMA DE PERDIDAS TOTALES DE ENERGÍA PARA LA MAQUINA IZOD SCOTT TESTER

- Hecho el ensayo, leer la energía (E) y el ángulo (β) correspondiente.
- Con el valor del ángulo, ir al diagrama de perdidas, cortar la curva de perdidas totales y proyectar el punto de corte sobre la ordenada.
- Leer el valor de energía perdida (E_p).
- Restar el valor E_p de E , obteniéndose así la resistencia real del material ensayado.

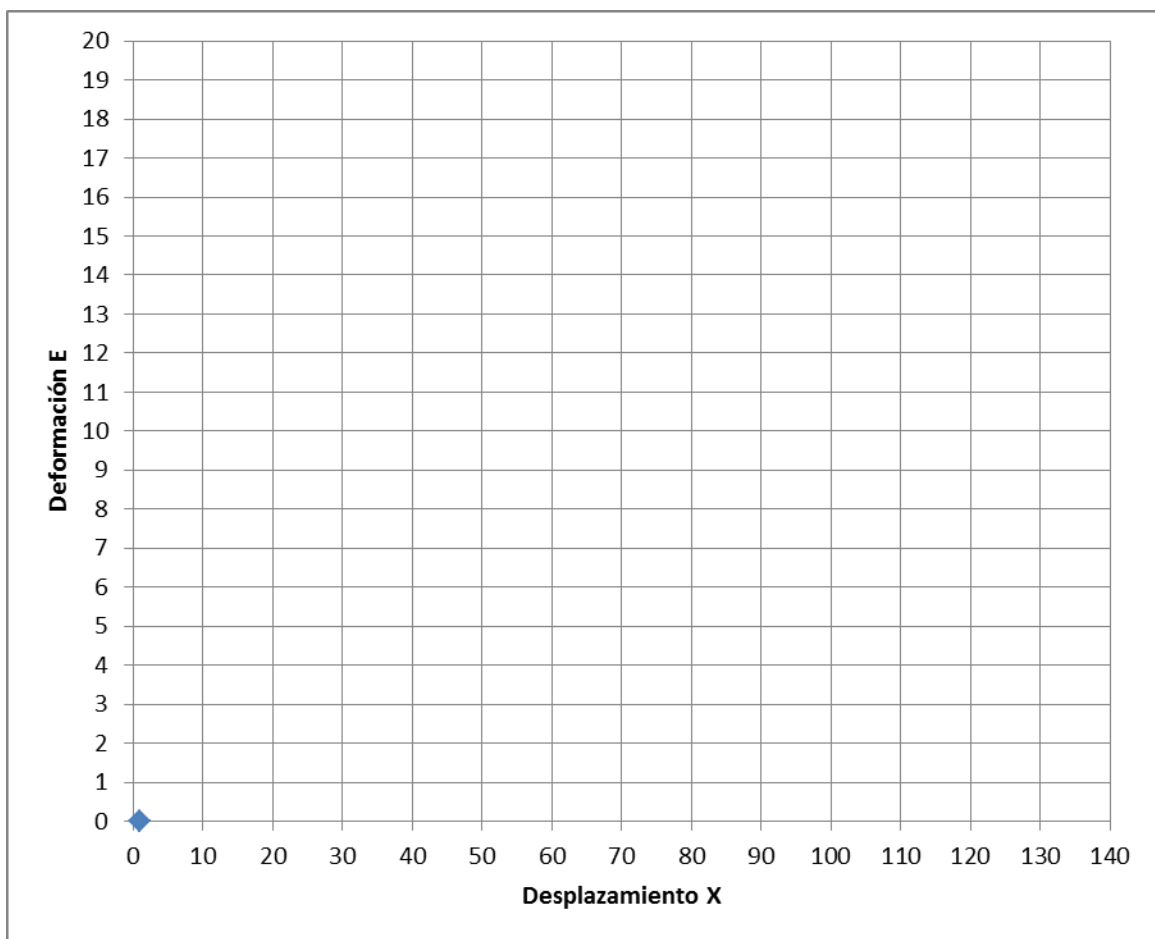
DIAGRAMA DE PÉRDIDAS TOTALES DE ENERGÍA PARA LA MAQUINA IZOD SCOTT TESTER



Fuente: A.L. ARENAS. INGENIERÍA MECÁNICA UIS. *DISEÑO MÁQUINA IZOD*. BUCARAMANGA, 1980, págs. 155-157.

ANEXO B. HOJA DE GRAFICACIÓN DEFORMACIÓN Vs DESPLAZAMIENTO, PARA MAQUINA ENSAYO DE TRACCIÓN MODEL CC TWO SPEED DRIVE.

MUESTRA	1	2	3	4
Contrapeso W [N]				
Desplazamiento X				
Área transversal A [mm]				
Deformación E [in]				
Esfuerzo σ [Lbf/in]				



$$\sigma = [(81.90277 + 6.14814 * W) * X] / A \quad [Lbf/in]$$

Fuente: ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA. UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER. MAQUINA ENSAYO DE TRACCIÓN MODEL CC TWO SPEED DRIVE.