



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERIA

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA
MECÁNICA Y ELÉCTRICA**

**“EFECTO DEL REEMPLAZO POR FIBRAS DE PLÁTANO EN
RESINA POLIESTER CON FIBRA DE VIDRIO, SOBRE SU
RESISTENCIA AL IMPACTO, TRUJILLO”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

AUTOR:

GIAN FRANCO SILVESTER ROJAS BRIONES

ASESOR:

LUIS FERNANDO CHAPOÑÁN RIMACHI

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

ESTRUCTURAS METAL MECÁNICAS

CHICLAYO – PERÚ

2017

PÁGINA DEL JURADO

ING. FREDY DÁVILA HURTADO
PRESIDENTE

ING. Mg. EDILBRANDO VEGA CALDERÓN
SECRETARIO

ING. JOSÉ LUIS ADANAQUÉ SÁNCHEZ
VOCAL

DEDICATORIA

El presente estudio lo dedico a toda mi familia especialmente a mis padres Hussein Rojas y Enma Briones, a mis hermanos Luzmila, Damaris y Luis, quienes me apoyaron en todo momento siendo participes de mis logros y fracasos, dándome ánimos para poder alcanzar mis metas

Gian Franco Rojas Briones

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, a mis padres y hermanos por apoyarme siempre y en todo momento, por inculcarme buenos valores. Gracias por sus consejos y sus regaños. Nunca terminaré de agradecerles por todo lo que han hecho por mí y decirles lo mucho que los quiero.

A mis profesores quienes me brindaron sus conocimientos en las aulas y a nuestro asesor Ing. Luis Fernando Chapoñán Rimachi, por su asesoría permanente en esta investigación.

También agradezco a mi Alma Mater, la Universidad César Vallejo, a la escuela de Ingeniería Mecánica y eléctrica, al brindarme la oportunidad de seguir nuestros estudios.

DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Gian Franco Silvester Rojas Briones con DNI N° 46229599, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería Escuela de Académico Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y auténtica.

Así mismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Chiclayo, 22 Abril del 2017

Gian Franco Silvester Rojas Briones
DNI N° 46229599

PRESENTACIÓN

En el presente trabajo tiene como título “**EFECTO DEL REEMPLAZO POR FIBRAS DE PLÁTANO EN RESINA POLIÉSTER CON FIBRA DE VIDRIO, SOBRE SU RESISTENCIA AL IMPACTO, TRUJILLO**”, el cual está constituido por IV capítulos que a continuación se describen:

Capítulo I: Como primer punto se presenta la realidad problemática del presente trabajo y que incentivo al desarrollo de este, teniendo en cuenta un campo de visión a nivel internacional, nacional y de nuestra localidad, así mismo se realizó para los trabajos relacionados con el que se presenta, con el fin de comparar y reforzar el nuestro, por último se desarrolló una investigación de los temas relacionados con el tema en cuestión, y que sirven de base teórica de los fenómenos, procesos variables involucrados en el presente trabajo. Asimismo, se plantean el problema, objetivos e hipótesis.

Capítulo II: en el presente capítulo, se detalla toda la metodología aplicada en el desarrollo del presente trabajo, como el diseño de investigación en la cual se tiene en cuenta a los niveles de estudio de las variables independientes y de su operacionalización, así mismo se describe el universo muestral, población y muestras sometidas al ensayo por impacto.

En el Capítulo III: se presentan los resultados en primer lugar y de su interpretación respectiva y en orden respecto a los objetivos específicos planteados en el capítulo I, y luego se aborda a los resultados con una breve y precisa discusión en el Capítulo IV, explicando, exponiendo, comparando y concluyendo el porqué de nuestros resultados.

Como últimos puntos se detallan las conclusiones, recomendaciones, como capítulos V y VI respectivamente que son como respuesta a nuestros objetivos planteados. En el Capítulo VII se muestran las referencias bibliográficas obtenidas para la investigación de la presente tesis.

El autor

ÍNDICE

| | |
|--|--------------------|
| PÁGINA DEL JURADO | <i>i</i> |
| DEDICATORIA | <i>ii</i> |
| AGRADECIMIENTO | <i>iii</i> |
| DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD | <i>iv</i> |
| PRESENTACIÓN | <i>v</i> |
| ÍNDICE | <i>vi</i> |
| ÍNDICE DE FIGURAS | <i>viii</i> |
| RESUMEN | <i>ix</i> |
| ABSTRACT | <i>x</i> |
| I. INTRODUCCIÓN | <i>11</i> |
| 1.1. Realidad Problemática | 11 |
| 1.1.1. Contexto Internacional | 11 |
| 1.1.2. En El Contexto Del Perú | 13 |
| 1.1.3. En El Contexto Local | 14 |
| 1.2. Trabajos Previos | 15 |
| 1.2.1. Internacional | 15 |
| 1.2.2. Nacional | 17 |
| 1.2.3. Local | 19 |
| 1.3. Teorías Relacionadas Al Tema | 20 |
| 1.3.1. Los Materiales Compuestos | 20 |
| 1.3.2. Materiales Compuestos Reforzados Con Fibras | 22 |
| 1.3.3. Materiales Compuestos De Matriz Polimérica Reforzados Con Fibras. | 26 |
| 1.3.4. Polímeros Termoestables. | 28 |
| 1.3.5. Resinas de Poliéster | 31 |
| 1.3.6. Fibras Naturales De Origen Vegetal. | 33 |
| 1.3.7. Fibra De Pseudotallo | 37 |
| 1.3.8. Tratamientos De Modificación Superficial A Las Fibras | 39 |
| 1.3.9. Métodos De Extracción De Fibras | 40 |
| 1.3.10. Resistencia al impacto y su medición | 41 |
| 1.4. Formulación Del Problema | 43 |
| 1.5. Justificación Del Estudio. | 43 |

| | |
|---|-----------|
| 1.6. Hipótesis | 45 |
| 1.7. Objetivo | 45 |
| 1.7.1. General | 45 |
| 1.7.2. Objetivos Específicos | 45 |
| II. MÉTODO | 46 |
| 2.1. Diseño de investigación: | 46 |
| 2.2. OPERACIONALIZACION DE LA VARIABLE | 47 |
| 2.3. Población y muestra | 48 |
| 2.3.1. Población | 48 |
| 2.3.2. Muestra | 48 |
| 2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, valides y confiabilidad | 50 |
| 2.4.1. Técnicas | 50 |
| 2.4.2. Instrumentos | 50 |
| 2.5. Métodos de análisis de datos | 50 |
| 2.6. Aspectos éticos | 50 |
| III. RESULTADOS | 51 |
| IV. DISCUSION DE RESULTADOS | 60 |
| V. CONCLUSIONES | 63 |
| VI. RECOMENDACIONES | 64 |
| VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 65 |
| VIII. ANEXOS | 72 |
| Anexo 1 | 72 |
| Anexo 2 | 74 |
| Anexo 3 | 79 |
| Anexo 4 | 83 |
| Anexo 5 | 84 |
| Anexo 6 | 86 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura N° 1. 1. Fases constituyentes de los materiales compuestos | 20 |
| Figura N° 1. 2. Propiedades mecánicas del compuesto, a partir de la combinación de matriz y refuerzo. | 21 |
| Figura N° 1. 3. Estructura de malla cerrada, de los polímeros termoestables. | 29 |
| Figura N° 1. 4. Estructura de malla cerrada, de los polímeros termoestables | 32 |
| Figura N° 1. 5. Representación esquemática de las principales constituyentes de la pared celular vegetal | 36 |
| Figura N° 1. 6. Esquema de un ensayo de impacto Charpy | 41 |
| Figura N° 1. 7. Modelo de probeta para ensayo de impacto | 48 |
| Figura N° 3. 1. Resistencia al impacto y tiempo de gelacion de las diferentes recetas de la preparación de la resina poliéster. | 53 |
| Figura N° 3. 2. Planta de plátano caída y extracción del pseudotallo. | 54 |
| Figura N° 3. 3. Separación de las capas del pseudotallo. | 54 |
| Figura N° 3. 4. Cambio y desfibrilación y extracción de fibra. | 55 |
| Figura N° 3. 5. Obtención de las fibras del pseudotallo e inmersión en alcohol (24 horas). | 55 |
| Figura N° 3. 6. Fibra recién retirada del alcohol, y secas a temperatura ambiente por 24 horas. | 56 |
| Figura N° 3. 7. Pesaje de fibra, solución de NaOH/H ₂ O, mercerización de las fibras y secado final de fibras mercerizadas | 57 |

RESUMEN

La presente investigación tiene Como objetivo general evaluar el efecto del proceso de reemplazo por fibras de plátano en compuestos de resina poliéster con fibra de vidrio, sobre la resistencia al impacto de los paneles para carrocerías de buses. El diseño de la investigación fue de acuerdo al fin que persigue: Aplicada y de acuerdo a la técnica de contrastación No experimental. La investigación se desarrolló en la ciudad de Trujillo por un periodo de 6 meses aproximadamente, los fundamentos básicos que refuerzan a este trabajo son; que es un material compuesto, refuerzos como fibras naturales, matriz de resina poliéster, procesos de molde por compresión, y ensayo y resistencia al impacto, los porcentajes en peso de reemplazo de la fibra de vidrio por fibra de seudotallo de plátano fueron de 0, 25, 50, 75 y 100%, con lo cual se fabricaron compuestos por moldeo por compresión a una presión de 2500 PSI, de estas placas se confeccionaron un total de 25 probetas de impacto según la Norma EN ISO 179-1.01. el ensayo de las probetas y el procesamiento de estos datos, con la presente investigación se concluye que es factible el reemplazo de la fibra de vidrio del 100 % por fibra de pseudotallo de plátano, ya que se obtuvo una resistencia máxima es de 45.21 kJ/m², este valor es 536% mayor con respecto a la resina poliéster sin refuerzo y un 17.30% con respecto al valor promedio de resistencia al impacto, de los compuestos reforzados con un porcentaje en peso menor al 40% (0 – 30% en peso).

Palabras clave: Compuesto, fibra de vidrio, resistencia al impacto, fibra de seudotallo de plátano, resina poliéster.

ABSTRACT

The present investigation has as general objective to evaluate the effect of the process of replacement by banana fibers in compounds of polyester resin with glass fiber, on the impact resistance of the panels for bus bodies. The design of the research was according to the aim pursued: Applied and according to the non-experimental testing technique. The research was developed in the city of Trujillo for a period of approximately 6 months, the basic foundations that reinforce this work are; Which is a composite material, reinforcements such as natural fibers, polyester resin matrix, compression molding processes, and test and impact strength, weight percent replacement of glass fiber by banana pseudostem fiber were 0, 25, 50, 75 and 100%, whereby composites were manufactured by compression molding at a pressure of 2500 PSI, of these plates were made a total of 25 impact probes according to the Norm EN ISO 179-1.01. The test of the test specimens and the processing of these data, with the present investigation we conclude that it is feasible the replacement of 100% glass fiber by banana pseudotallo fiber, since it obtained a maximum resistance is 45.21 kJ / M², this value is 536% higher than the non-reinforced polyester resin and 17.30% with respect to the average impact strength of the reinforced composites with a weight percentage of less than 40% (0-30% by weight)

Key words: Compound, fiberglass, impact resistance, banana pseudostem fiber, polyester resin.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática

1.1.1. Contexto Internacional

El uso de fibras naturales como materiales de reforzamiento en la manufactura de composites se ha incrementado increíblemente debido a la conciencia ambiental, agotamiento de los recursos no renovables del petróleo y una demanda creciente en el desarrollo de productos sostenibles. En las dos décadas pasadas, una tremenda cantidad de publicaciones han concordado en que las fibras naturales tienen un potencial amplio para ser usados como una alternativa al vidrio u otros materiales usados como reforzamiento o las llamadas fibras sintéticas hechas por el hombre para composites. Las aplicaciones se han diversificado en usos de ingeniería, principalmente para aplicaciones no estructurales como el recubrimiento interior de componentes de automóviles ligeros y pesados, materiales de empaquetado, aisladores, paneles de absorción acústica y materiales de construcción. Estos materiales eco amigables tienen varias propiedades interesantes, que les hacen atractivos y comparables a materiales tradicionales de reforzamiento sintéticos. Algunas de las ventajas de las fibras naturales son que están disponibles de forma abundante, no son caras tienen baja densidad, alta rigidez y alta resistencia específica, bajo peso, una relación de aspecto de fibra de media a alta, mínimos riesgos de salud, no son abrasivos, tienen características aislantes, se pueden cultivar y cosechar. Sin embargo, aunque los composites reforzados con fibra natural parecen dar un beneficio promisorio en comparación con la fibra sintética, hay algunos problemas críticos que necesitan ser resueltos antes de que la industria de manufactura obtenga confianza total en estas fibras, que les permita una aceptación a amplia escala en un mercado global. La forma, tamaño y resistencia de las fibras naturales de origen vegetal, pueden variar ampliamente dependiendo del ambiente de cultivo, origen geográfico, madurez de

la planta, técnica de extracción de las fibras y proceso de manufactura del composite. (Bhoopathi, 2014 pp. 5-12)

El problema más saltante en tratar con la fibra natural es su naturaleza hidrofílica, lo que conduce a un problema de adhesión con la naturaleza hidrofóbica de la matriz de polímeros. El carácter hidrofílico de la matriz de polímeros es incompatible con la matriz de polímeros y tiene una tendencia a formar vacíos o simplemente a no adherir la fibra a la matriz. Más aún, exhibe una resistencia pobre a la humedad, lo que conduce a alta absorción de agua, resultando subsecuentemente en propiedades mecánicas pobres y estabilidad dimensional pobre de los composites reforzados con fibra natural. En consecuencia, las modificaciones químicas son una alternativa de solución para superar estos desafíos. La modificación química intenta mejorar la naturaleza hidrofóbica de la fibra natural, el enlace interfacial entre la matriz y la fibra, la rugosidad superficial y mojabilidad, así como también disminuir la absorción de agua, conduciendo a un mejoramiento de las propiedades mecánicas de los composites reforzados con fibra natural. La mercerización es un tratamiento común a la fibra que se ha usado extensivamente por una cantidad de investigadores. Sin embargo, para varios tipos de fibra, que se utiliza tratamientos complementarios como el proceso de silanización, el cual mejora de forma efectiva la adherencia a la matriz incrementando de forma media a alta la resistencia a propiedades a la tracción, flexión, impacto entre otras. (Meneses, et al., 2015 pp. 32-51)

Los plátanos o bananos son plantas herbáceas, no árboles, a pesar de tener un aparente 'tronco' y que por lo general crecen hasta los 6 m de alto. El 'tronco', o pseudotallo, comprende vainas de hojas bien enrolladas que salen de un capullo que se encuentra en un órgano de almacenamiento subterráneo llamado cormo. Del capullo emergen alrededor de 30 hojas durante 7-8 meses antes de florecer. Después

de 2-3 meses, los racimos que pesan por lo general 20-25 kg están listos para la cosecha. Cada brote de banana florece una sola vez antes de morir, pero los chupones salen debajo de la tierra a partir del tallo principal para producir los hijos que proporcionarán la próxima cosecha. (Flores, 2014 pp. 58-69)

Tradicionalmente las autopartes de compuestos de matriz plásticas son confeccionadas con resina poliéster y fibra de vidrio generalmente de tipo E y mediante el proceso denominado Hand Lay Up, el cual provee un compuesto final con resistencias al impacto de alrededor de 20 – 35 kJ/m², resistencia a la tracción máxima entre 80 -120 MPa. (Vera, 2014 pp. 24-47)

Los pseudotallos de plátano, se cortan en secciones de 30 cm (depende al tamaño de objeto a producir), se lavaron con agua y se secaron al sol. Las fibras se obtienen mediante un tratamiento con hidróxido de sodio al 10% para eliminar ceras, pectinas y resinas contenidas en el mismo, y posteriormente se desfibran en forma manual. (Canche, 2005 p. p. 2)

1.1.2. En El Contexto Del Perú

En el Perú la mayor cantidad que aporta este fruto son regiones del norte del país, aunque las plantaciones están en casi toda costa, selva y sierra de nuestro país, la producción de plátanos en el Perú el año 2013 fue de 2.113.806 toneladas, la superficie cosechada de plátanos en el Perú el año 2013 fue de 164.995 hectáreas, según el ministerio de agricultura la tendencia es al incremento de la producción, pues la demanda para exportación va en aumento, además de lo mencionado, cuando se cosecha el racimo, solo se está utilizando del 20 al 30% de su biomasa, quedando de un 70 a 80% por utilizar, lo que ha generado una de las principales problemáticas ambientales, puesto que en la mayoría de los casos son incinerados o vertidos a los causes receptores sin tratamiento previo, contribuyendo a la

degradación del ecosistema; aunque, algunos productores aprovechan los residuos en la plantación en forma de abono verde y alimentación animal, en este sentido, el residuo en el que se focalizó el presente proyecto es el pseudotallo de plátano. El pseudotallo, es una fuente de fibra y, en especial, las especies de Musa (el abacá, manila, el cáñamo) sirven para hacer ropas, cordones, hilos, forros interiores de vehículos. La fibra común que se extrae de los pecíolos secos y el pseudotallo de la planta. Por lo mencionado, el trabajo que se presenta pretende mejorar el comportamiento mecánico (resistencia al impacto) del compuesto de matriz polimérica de poliéster fibra de vidrio, mediante la incorporación de reemplazo de fibras de pseudotallo de plátano, para lo cual propone la modificación química en su superficie, para producir un material compuesto de altos valores de resistencia al impacto y de menor costo, de esta forma se aprovecharía la enorme cantidad de biomasa que genera el mercado de la comercialización de plátano. (Rojas, 2013 pp. 57-78)

Por otro lado en el área de la salud se pretende reemplazar la fibra de vidrio, por la fibra natural de pseudotallo de plátano, pues la fibra de vidrio es tóxica para la salud provocando problemas respiratorios, alérgicos e irritación de la piel, ojos, nariz, garganta, así mismo agravar el asma y bronquitis al entrar en contacto con estas. Otra razón más para la utilización y reemplazo de esta fibra por la fibra natural en estudio. Por otra parte estudios posteriores acreditan que la resistencia de la fibra de plátano pueden tener las similares propiedades mecánicas que la fibra de vidrio. (AGROFORUM., 2014 p. 1)

1.1.3. En El Contexto Local

Cajamarca ha producido al 2013 más de 38,396.71 toneladas de plátanos, lo que supone alrededor de 05 veces la producción de biomasa no aprovechable en su mayoría, es decir que 191, 983.55 toneladas aproximadamente son desechos agroindustriales, como pseudotallos de; además de ello en la ciudad de Cajamarca se evidencia el uso de

mototaxis como forma de transporte público, los cuales algunas de estas tienen una cubierta íntegramente confeccionada por compuestos de resina y fibra de vidrio, en el año de 2015 Víctor Herrera, representante de la Asociación de Mototaxistas, existen aproximadamente seis mil mototaxis en la ciudad de Cajamarca. Todo ello hace atractivo el uso de las fibras vegetales de pseudo tallo de plátano en el mercado metalmeccánico de Cajamarca. (Rojas, 2013 pp. 4-5)

1.2. Trabajos Previos

1.2.1. Internacional

En el artículo ScienDirect *Characterization of the resin transfer moulding process*, señalan que se pueden fabricar compuestos con un alto volumen de producción mediante moldeo por transferencia de resina (RTM). Indicando que el entendimiento adecuado del ciclo térmico durante todo el procesamiento es relevante para lograr buenos compuestos, también indican la escasa y limitada literatura acerca del ciclo de presión. Los resultados experimentales de sus estudios se presentan para caracterizar tanto los ciclos térmicos y de presión durante el proceso de RTM. Identificaron una nueva etapa de variaciones de la presión del molde después de la impregnación, que se considera que es causada por la expansión térmica de la resina líquida adyacente a la puerta y que además el potencial de las fibras vegetales aún no está explotado en su totalidad (Kendal, et al., 2002 p. 08).

Se dedujo que, para la producción de material compuesto, existen varias posibilidades como moldeo por compresión, moldeo por infusión al vacío etc. El proceso de moldeo por compresión produce piezas de bajo costo y alto volumen de producción, pero la inversión de capital es más de medio a alto dependiendo de las exigencias de acabado y velocidad de producción. En caso de vacío la inversión de capital es bajo, pero los tiempos de los ciclos son más largos. El moldeo por transferencia de resina (RTM) se encuentra en la brecha

entre la compresión y el moldeo por infusión al vacío. El proceso produce productos de volumen medio y tiene una inversión de moderado capital. El proceso puede ser descrito como sigue: el material de refuerzo se carga en el molde, al cerrarlo, la resina se inyecta en el molde. El proceso de vacío también se puede aplicar a la cavidad del molde que elimina el aire atrapado en ella y acelera el proceso de RTM. El refuerzo se humedece a cabo por la resina inyectada en el molde. Las entradas de resina se cierran a continuación y el molde es guardado para el curado, Neals (2014, p.32-45), Tesis Titulada, Material health monitoring of SIC/SIC laminated ceramic matrix composites with acoustic emission and electrical resistance.

En una tesis se, estudiaron las propiedades de materiales compuestos basados en fibras naturales (yute, lino y sisal) y resinas termorígidas de tipo acrílica y poliéster, evaluándose la factibilidad de reemplazar a las fibras de vidrio. Los compuestos se procesaron utilizando el método de inyección de resina: "Vacum Infusion". Los resultados muestran que las fibras naturales pueden reemplazar a las fibras de vidrio, como elementos reforzantes de los materiales compuestos en términos de propiedades mecánicas en flexión y moldeabilidad, aunque no así en pruebas de resistencia al impacto, en forma de fibras cortas y al azar. Chih (2009, p. 02). Artículo ScienDirect, denominado: Finite Element analysis of jute and banana fibre reinforced hybrid polymer matrix composite and optimization of design parameters using ANOVA technique.

Se estudió el comportamiento mecánico de compuestos elaborados a partir de resina poliéster reforzado con fibras de vidrio, en función de la longitud, orientación y contenido de fibras. Los resultados mostraron que, la resistencia a la tracción se incrementaba para longitudes de fibra de 5 – 45 mm; respecto al contenido los mejores valores se obtuvieron con un aumento del reforzamiento, disminuyendo a porcentajes muy elevados. En el caso de la

orientación de las fibras, los mejores resultados se obtuvieron en la dirección longitudinal, para el caso de la resistencia al impacto se obtuvo valores similares al usar fibras naturales sin tratamientos de superficie. Carvalho y Eliton (2005). Artículo ScienDirect, denominado: Surface modification of plant fibers using environment friendly methods for their application in polymer composites, textile industry and antimicrobial activities: A review

Las fibras vegetales proporcionan ventajas indiscutibles más que un refuerzo de tipo sintético, debido a ventajas como bajo costo, baja densidad, no toxicidad, la resistencia mecánica comparable a las sintéticas, y un mínimo de problemas de eliminación de residuos; menciona Bhoopathi, en su artículo de ScienDirect denominado: Fabrication and Property Evaluation of Banana-Hemp-Glass Fiber Reinforced Composites, trabajo en el cual experimento con un compuesto de matriz epóxica reforzada con fibra de plátano y evaluó las propiedades mecánicas de estos materiales compuestos. Las muestras prepararon mediante el proceso de lay-up. Las muestras se sometieron a ensayos mecánicos tal como resistencia a la tracción, a la flexión y de impacto. Microscopio electrónico de barrido (SEM) de análisis se lleva a cabo para evaluar las interfaces de matriz de fibra y analizar la estructura de las superficies fracturadas. Así obtuvo que la resistencia máxima a la tracción fue de 112.58MPa a una relación en peso de 50% de fibra; la máxima resistencia a la flexión fue de 76.53MPa para la misma combinación del compuesto y la máxima resistencia al impacto fue a la relación de 40% de fibra, del análisis microscópico se determinó que las fracturas de los compuestos se originaron en las grietas de la matriz

1.2.2. Nacional

Haro (2015), en su tesis de grado titulada “Efecto de la presión de conformado y tratamiento de superficie sobre la resistencia a la tracción de un compuesto de matriz poliéster reforzado con fibras de

yute". Trabajo en el cual se evaluó, la influencia de la presión de compresión de la etapa de moldeo, además del tratamiento superficial de las fibras de yute, en este caso el proceso mercerización y de silanización, sobre la resistencia máxima a la tracción de dicho compuesto, la presión de conformado fluctuó entre 500 y 2000 psi. La relación en peso se mantuvo constante en 35% de fibra. Se prepararon un total de 24 probetas normalizadas, a las cuales se le aplicó el ensayo de tracción según la norma ASTM D638-01. Los resultados obtenidos determinaron que los laminados elaborados mediante el proceso de compresión, incrementaron su resistencia a la tracción, en función del incremento de la presión de compresión, logrando un valor máximo de 64.45 MPa a una presión de 2000 psi y para el tratamiento de silanización. Las mejoras se deberían al efecto de mayor acople entre las fibras y la matriz, además de la disminución de la cantidad de defectos que genera el proceso de conformado. Los resultados fueron confirmados mediante análisis de varianza para un nivel de confianza de 95%, por ello se concluye que la presión de conformado y los tratamientos de superficie, influye significativamente en la resistencia a la tracción de los laminados obtenidos mediante el proceso por compresión.

(Morales Ruiz, 2015 p. 26), en tesis de grado denominada: Influencia de la modificación química de superficie y porcentaje en peso de fibra de coco, sobre la resistencia a la tracción, de un compuesto de matriz poliéster. Trabajo que evaluó el efecto de los tratamientos de superficie de fibra (mercerización y silanización) y el porcentaje en peso de fibra del mesocarpio del fruto maduro de coco, sobre la resistencia máxima a la tracción en laminados de matriz poliéster, la mercerización se realizó utilizando hidróxido de sodio a una concentración del 5% v/v, mientras que la silanización se realizó mediante trimetoxivinilsilano al 1,0 % V/V, las cantidades en volumen de fibra coco utilizados fueron de 3,6,9,12 y 15%, todos los laminados

fueron obtenidos mediante el proceso manual a molde abierto (HLU), las placas obtenidos mediante el proceso mencionado fueron de 30 * 30 cm de largo y ancho y espesor estuvo determinado por la cantidad de fibra utilizada en el proceso HLU. De los laminados obtenidos se extrajeron probetas para el ensayo de tracción según la norma ASTM D638-01.

De los resultados obtenidos se determinó que los mayores valores de resistencia a la tracción se obtuvieron con los compuestos reforzados con 12% de fibra. Los compuestos reforzados con fibra de coco modificada químicamente, mediante el tratamiento de mercerización lograron obtener un valor promedio de 44.49 MPa de resistencia a la tracción, valor que representa un aumento del 12.78% con relación a la matriz de poliéster sin reforzar, la cual alcanzó solo un valor promedio de 39.45 MPa de resistencia a la tracción; por otro lado los compuestos reforzados con fibra de coco modificada químicamente mediante el tratamiento químico de mercerización-agente de acople Trimetoxivinilsilano, reportaron el valor más elevado de la resistencia a la tracción, el cual fue de 60.06 MPa; así, este resultado refleja un incremento del 52.24% con relación a la matriz de poliéster sin reforzar (39.45 MPa) y un incremento del 34.99%, respecto a los compuestos reforzados con fibra de coco, modificada químicamente con tratamiento solo de mercerización (44.49 MPa). Los resultados son confirmados mediante análisis de varianza para un nivel de confianza de 95%, de este último se concluye que los tratamientos de superficie y cantidad de fibra influyen significativamente en la resistencia máxima a la tracción de los laminados obtenidos.

1.2.3. Local

No existen estudios de investigación acerca del tema en Cajamarca.

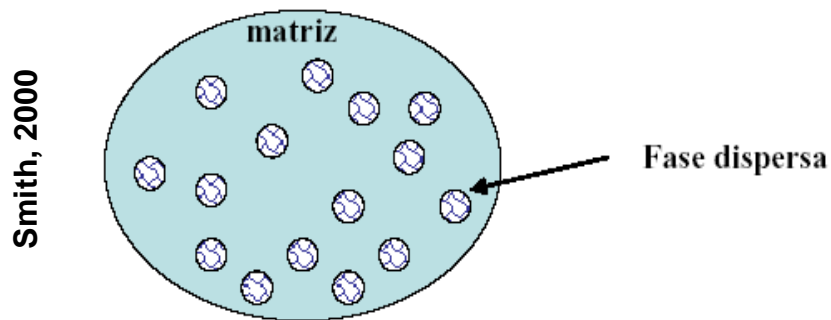
1.3. Teorías Relacionadas Al Tema

1.3.1. Los Materiales Compuestos

Material compuesto.

Se considera que un material compuesto a un material multifase, cuyas fases constituyentes deben ser químicamente distintas, insolubles entre si y separadas por una intercara. Debe a su vez conservar una proporción significativa de las propiedades de las fases constituyentes, de manera que presente la mejor combinación posible. De acuerdo con el principio de acción combinada, las mejores propiedades de un material compuesto se obtienen por la acción *sinérgica* de las propiedades de sus fases constituyentes; y cuyo desempeño excede a los materiales que constituyen el compuesto. (Smith, 2010. p. 115)

Figura N° 1. 1



Fases constituyentes de los materiales compuestos

Estructura (Smith, 2010. p. 45)

La mayor parte de los materiales compuestos están formados por dos fases: Fase Matriz y Fase Dispersa.

Fase Matriz: Es la fase continua que rodea o aglutina a la fase dispersa, usualmente es dúctil y es la encargada de distribuir y transmitir a la fase dispersa los esfuerzos externos aplicados, aunque una pequeña porción del esfuerzo es soportado por la matriz.

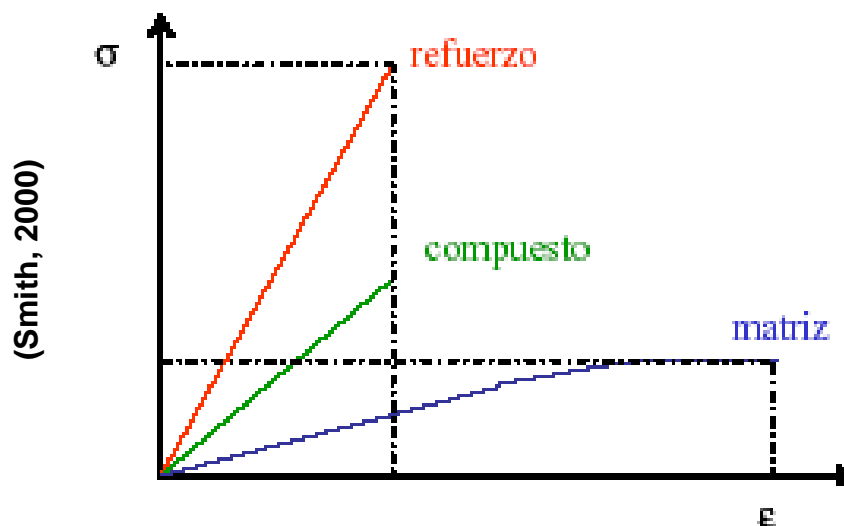
Fase Dispersa: Es la fase reforzante y usualmente son fibras o partículas de baja densidad, resistentes y rígidas, cuya función es de

soportar los esfuerzos externos aplicados, por ende, es la que proporciona las propiedades mecánicas al material compuesto.

Características y Propiedades

La mayoría de los materiales compuestos se han creado para mejorar la combinación de las propiedades mecánicas tales como rigidez, tenacidad, resistencia a la tracción, y resistencia al impacto a temperatura ambiente y a temperaturas elevadas. Macroscópicamente puede parecer un material homogéneo, pero microscópicamente son dos o más materiales diferentes. Las propiedades de los compuestos son función de la combinación *sinérgica* de las propiedades particulares de las fases constituyentes, de sus proporciones relativas, distribución, geometría (forma, tamaño) y orientación del material refuerzo/carga en el seno de la matriz. El contenido o proporciones relativas del material refuerzo/carga se expresa como una fracción en volumen o peso del total del material compuesto. El grado de distribución de este material en la matriz determina la homogeneidad o uniformidad del sistema. La geometría y la orientación del refuerzo/carga influyen en la anisotropía del sistema (Smith, 2010. p. 50) (Groover, 1997 p. 17).

Figura N° 1. 2



Propiedades mecánicas del compuesto, a partir de la combinación de matriz y refuerzo.

Clasificación de los Materiales Compuestos (Smith, 2010. p. 33)
(MIT OpenCourseWare, 2012 p. 1)

Los composites se clasifican según la forma, y naturaleza de los constituyentes, y según el tamaño de la fase dispersa.

Clasificación según la forma de los constituyentes

- Composites particulados o reforzados con partículas
- Composites fibrosos o reforzados con fibras
- Composites estructurales

Clasificación según la naturaleza de los constituyentes

- Composites de matriz orgánica o polimérica
- Composites de matriz metálica
- Composites de matriz cerámica

Clasificación según el tamaño de la fase dispersa

- Microcomposites o composites convencionales
- Nanocomposites

1.3.2. Materiales Compuestos Reforzados Con Fibras

Son aquellos en donde la fase dispersa o refuerzo tiene la geometría de una fibra. Tecnológicamente los materiales compuestos con fases dispersas en forma de fibras son los más importantes. Estos compuestos se diseñan con la finalidad de conseguir una elevada resistencia y rigidez a baja densidad. Estas características se expresan mediante los parámetros de resistencia específica y módulo específico, que corresponden, respectivamente, a las relaciones entre la resistencia a la tracción y el peso específico, y entre el módulo de elasticidad y el peso específico. (Asbhy, 2005) (Catedra, 2013 p. 41) (Tino, 2010 pp. 41-44)

Fase Matriz (Catedra, 2013 p. 42) (Velasco, 1994 p. 75) (Lindroos, Vilan. Talvitie, Marth y Mater, Jonht., 2005 pp. 273-284)

Es la fase continua que aglutina y protege a la fase dispersa, generalmente debe ser de naturaleza dúctil y tenaz, y su módulo

elástico es mucho menor que el de la fibra. La fase matriz en un material compuesto ejerce varias funciones.

- Fija a las fibras en el ordenamiento geométrico deseado y actúa como un medio que distribuye y transmite a las fibras los esfuerzos externos aplicados. Solo una pequeña fracción del esfuerzo es resistido por la matriz.
- Protege las fibras del deterioro superficial que puede resultar de la abrasión mecánica o de reacciones químicas con el medio ambiente. Estas interacciones introducen defectos superficiales capaces de originar grietas, que podrían producir fallas con esfuerzos de tracción relativamente bajos.
- Separa las fibras y en virtud de su relativa blandura y plasticidad impide la propagación de grietas de una fibra a otra. Aunque algunas fibras individuales se rompan, la rotura total del compuesto no ocurrirá hasta que se hayan roto gran número de fibras adyacentes, que forman un agregado de tamaño crítico.

Fase Fibrosa

Es aquella constituida por fibras en forma de hilos o cilindros de ~ 2-10 μm de diámetro, estas fibras tienen una microestructura muy anisotrópica, y son muy rígidas y resistentes. Se considera fibra a un material alargado que tiene una relación **longitud/diámetro** muy alta. Las fibras aportan resistencia mecánica, rigidez y dureza, de tal manera que esta fase es la que gobierna las propiedades mecánicas de los compuestos, que generalmente son anisotrópicas y varían mucho según el grado de ordenamiento de las fibras en el interior del material compuesto. El ordenamiento puede ser longitudinal o uniaxial, parcialmente ordenadas y totalmente desordenadas o al azar (Askeland, 1998 p. 101)

Las funciones que tiene un material de refuerzo son las siguientes. (Askeland, 1998)

- Soportar las tensiones que se ejercen sobre el compuesto.

- Aumentar las características mecánicas de la matriz, su dureza y resistencia al desgaste (sobre todo en el caso del refuerzo con partículas).
- Mitigar los fallos de estas características con el aumento de temperatura.
- Frenar o detener la propagación de grietas a través del compuesto y el desarrollo de las fisuras.

Tipos de fibras

Fibras artificiales o sintéticas (Gerbaudo, et al., 2012 pp. 24-27)

Estas fibras son resultado de avances en el área de ingeniería de materiales, estas pueden ser de naturaleza orgánica e inorgánica.

Fibras Orgánicas, son las provenientes de investigaciones sobre la cadena del petróleo y sus derivados, o bien como del desarrollo de la tecnología textil. Son las más importantes y las más utilizadas en los materiales compuestos, entre ellas tenemos las fibras de vidrio, fibras de carbono, y fibras de polímeros sintéticos (Kevlar). Las unidades básicas de estas fibras son el carbón, la silicona, el oxígeno, y el nitrógeno, los cuales se caracterizan por una fuerte unión covalente interatómica, baja densidad, estabilidad térmica y son muy abundantes en la naturaleza

Fibras Inorgánicas, son las que han sido desarrolladas para producir composites de alta performance, destinados específicamente para aplicaciones aeroespaciales. Estas fibras se subdividen en dos grupos, fibras metálicas y fibras cerámicas.

Fibras metálicas, se emplean poco a causa de su posible ataque químico por parte de la matriz, los cambios estructurales por la elevación de temperatura (en particular la recristalización), la posible disolución de la fibra en la matriz y la relativamente fácil oxidación de las fibras de metales refractarios. (W, Mo, Nb, etc.). (Mc Cullough, 2009 pp. 33-37) (Kaczmar, et al., 2009)

Fibras cerámicas, presentan numerosas ventajas: no se disuelven en la matriz, su resistencia se mantiene a temperaturas elevadas, su

módulo de elasticidad es alto, no se oxidan (con carácter general) y tienen baja densidad.

Las fibras más empleadas como refuerzo son las de boro (B), alúmina (Al_2O_3) y carburo de silicio (SiC). (Mc Cullough, 2009 p. 20) (Kaczmar, et al., 2009 pp. 10-12)

Fibras de origen natural (SIMBAÑA, 2006)

Estas comprenden todas las fibras que se han formado por un proceso de la naturaleza. Los tres reinos suministran fibras de factible utilización, pudiendo ser también de naturaleza orgánica e inorgánica, estas a su vez pueden ser sub divididas en fibras animales, fibras minerales y fibras vegetales. Las fibras de origen natural, son las menos importantes y poco usadas en la fabricación de compuestos. Además de la abundancia y disponibilidad, una de las principales ventajas de la utilización de este tipo de fibra consiste en el reducido consumo de energía envuelto en su producción, cuando es comparado al necesario para la fabricación de las fibras sintéticas.

Fibras Orgánicas, son macromoléculas orgánicas naturales. (Zhu, 2003 p. 1)

Fibras Vegetales o Fibras Naturales, son todas aquellas que provienen de las plantas, por lo tanto son de naturaleza celulósica; dentro de ellas tenemos, las fibras de fique, sisal, bambú, coco y banano. A estas fibras se las conoce como fibras naturales

Fibras de Origen Animal, están constituidas por cadenas proteicas, entre ellas tenemos lanas y pelos, sedas, lanas recuperadas.

Fibras Inorgánicas, son las sintetizadas por un proceso espontáneo de la naturaleza.

Fibras minerales, son formadas por cadenas cristalinas de gran longitud, la más destacada es el amianto o asbesto. (Botstein, Ohing; Gutmanas, Ernesst, 2009 pp. 2-5)

Concepto Interfase Matriz-Refuerzo

La interfase matriz-refuerzo condiciona las propiedades mecánicas finales de los compuestos. La transmisión y reparto de las cargas aplicadas al material compuesto se efectúa por la unión existente entre matriz y refuerzo. Si la unión no es buena, crea una interfaz débil y la matriz soportará la mayor parte de las tensiones y la función de los refuerzos será nula. La interfase es, pues, una región bidimensional entre la fibra y la matriz, que es de composición química variable, y que constituye la unión entre la matriz y el refuerzo, por ende es la que asegura la transferencia de las cargas aplicadas entre ambos. (Suganuma, 2008 pp. 65-70)

1.3.3. Materiales Compuestos De Matriz Polimérica Reforzados Con Fibras.

Son aquellos en los que la fase continua o matriz es un material polimérico y la fase dispersa o refuerzo tiene la geometría de una fibra. (Miravete, 2010 pp. 134-136)

Fase Matriz

Las matrices poliméricas, en general, son compuestos orgánicos de elevado peso molecular, producto de reacciones de polimerización por adición o condensación de diferentes compuestos de base. La longitud de la cadena de un polímero viene especificada por el número de unidades que se repiten en la cadena. Este es el grado de polimerización (DP). El peso molecular es de significativa importancia, debido a su efecto en las propiedades tales como solubilidad, reología, velocidad de secado, performance. Los polímeros empleados como matriz pueden ser termoplásticos, termoestables y elastoméricos, siendo los dos primeros los más usados

Polímeros Termoplásticos, Son aquellos cuya microestructura está formada por largas cadenas lineales no entrelazadas. Sus moléculas están unidas por fuerzas de enlaces de baja intensidad, por ello se reblandecen o fusionan durante el calentamiento a temperaturas

elevadas; por lo tanto pueden moldearse repetidas veces. (Jacob , Michael; Sinai, Joseph; Pothan, Lauther, 2008 pp. 3-4)

Este grupo abarca polímeros como el polietileno, polipropileno, policarbonato, cloruro de polivinilo, el ABS (acronitrilo-butadieno-estireno), nylon, etc.

Polímeros termoestables, So los que están formados por largas cadenas moleculares con enlaces altamente cruzados, que forman se entrelazan entre sí formando una enorme estructura de red tridimensional. Los termoestables más representativos son los poliésteres, epóxicos, éster, vinílicos, melamínicos, fenólicos, poliuretanos, etc. (Askeland, 1998 p. 112)

Fibras utilizadas

Las fibras empleadas como refuerzo pueden ser fibras artificiales o fibras de origen naturales celulósicas, siendo tecnológicamente las sintéticas las más empleadas.

Las fibras artificiales o sintéticas, son las que provienen de diferentes procesos tecnológicos de producción de materiales, y además son las más utilizadas, entre ellas están, las fibras de vidrio, fibras de carbono, y fibras de polímeros sintéticos (Kevlar). Las unidades básicas de estas fibras son el carbón, la silicona, el oxígeno, y el nitrógeno, los cuales se caracterizan por una fuerte unión covalente interatómica, baja densidad, estabilidad térmica y son muy abundantes en la naturaleza. (Gerbaudo, et al., 2012)

Las fibras naturales celulósicas, son las que nos proveen las plantas, estas fibras son las menos utilizadas, sin embargo, hoy en día, numerosos trabajos de investigación se están realizando con el fin de reducir la utilización de fibras sintéticas, como resultado tenemos, que la fibra natural está sustituyendo en muchas aplicaciones a la fibra de vidrio. Prueba de ello tenemos a la empresa automotriz Mercedes Benz, la que ha desarrollado compuestos con características técnicas, utilizándolos en los paneles de las puertas,

en los pilares estructurales de la cabina, como parte de los asientos, parachoques, apoyacabeza, entre otras aplicaciones. Así como también han aprovechado sus características como aislante acústico y la virtud de no astillarse en caso de impacto directo en el interior de sus vehículos. (Miravete, 2010 p. 144)

Propiedades de los compuestos de matriz polimérica

Los compuestos de matriz polimérica, ofrecen combinaciones de propiedades, tales como: alta resistencia mecánica, baja densidad, buena resistencia química y a la corrosión, elevada resistencia a los impactos, libertad de formas, etc. Así mismo la incorporación de fibras de alta resistencia, al material polimérico, puede dotarle de un beneficioso incremento de la temperatura máxima de servicio.

Aplicaciones de los compuestos de matriz polimérica (Smith, 2010. pp. 130-133) (Asbhy, 2005 p. 115)

Entre las aplicaciones más usuales de estos materiales, sobresalen las estructuras aeronáuticas y espaciales, sin embargo, recientemente han captado la atención de industrias tan diversas como la del petróleo y la naval, la industria de la medicina, de la electrónica, la automotriz, la de fabricación de material deportivo, así como la industria de la construcción tanto de estructuras marinas como civiles. La gran estabilidad dimensional de dichos materiales también los hace excelentes candidatos para aplicaciones donde se requiere de una alta precisión dimensional, tal como la requerida en la construcción de componentes ópticos, ya sea para uso en el laboratorio, como en la observación astronómica.

1.3.4. Polímeros Termoestables.

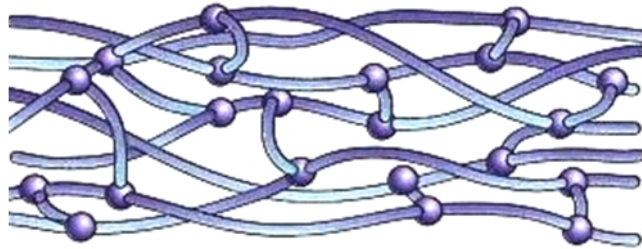
Características (Asbhy, 2005 p. 102) (Stevens, 2009 p. 84)

Son compuestos orgánicos de elevado peso molecular, formados por largas cadenas reticuladas, como producto de reacciones de polimerización por adición y condensación de diferentes compuestos de base. En estos polímeros, las largas cadenas moleculares se

entrelazan entre sí formando una enorme estructura reticulada tridimensionalmente. Las reacciones químicas de reticulación que dan origen a la estructura, se denomina curado, cuando este proceso se completa, se produce un aumento del peso molecular de una forma drástica, hasta un valor prácticamente imposible de medir, y la resina que inicialmente estaba en estado líquido se ha convertido en un sólido duro y frágil.

(Ashby 1980; Stevens 1990).

Figura N° 1. 3



Estructura de malla cerrada, de los polímeros termoestables

Reacciones de Polimerización (Wegener, et al., 2006 p. 22))

Los polímeros precursores de las matrices termoestables, pueden sufrir diferentes reacciones de polimerización a la hora de curar. Distinguimos así:

- Reacciones de polimerización por adición, normalmente mediante radicales: Se presentan en las resinas de poliéster insaturado, resinas vinilester u otros sistemas de dobles enlaces. Generalmente, presentan unos tiempos de endurecimiento cortos debido a la elevada velocidad de polimerización por radicales.
- Reacciones de polimerización por condensación de grupos funcionales: Se dan en las resinas tales como las epoxicas y las fenólicas.

Dentro de la gama de polímeros termoestables en forma de resinas, para ser utilizadas como matrices, tenemos, a los Poliésteres, Epóxicos, Ester, Vinílicos, melamínicos, Fenólicos, Poliuretanos, etc.

Proceso Polimerización o de Curado de las Resinas Termoestables: (Kohler, et al., 2006 pp. 10-11)

El proceso de curado de una resina termoestable es bastante complejo e incluye varias etapas. La química del proceso empieza con la reacción entre los diferentes componentes de la resina (de moderado o bajo peso molecular), formándose unas moléculas más grandes que van creciendo progresivamente, primero linealmente para luego comenzar a ramificarse y posteriormente a entrecruzarse. A medida que avanza la reacción, el peso molecular crece rápidamente y llega un momento en que varias de las cadenas reaccionan entre sí y se unen formando un retículo de peso molecular infinito. El inicio de la aparición del retículo, suele llamarse punto gel. Como consecuencia de su aparición, se produce el paso de un estado líquido viscoso hasta un estado de gel elástico, siendo esta una transformación repentina e irreversible y recibe el nombre de *gelificación*.

Clasificación de los Polímeros Termoestables

Se puede realizar una **clasificación** de las matrices de polímeros termoestables, en función de la temperatura de utilización, como se muestra en la Tabla N° 1

Tabla N° 1. 1

| | |
|-----------------------------|---|
| Bajas temperaturas | Isoftálico Poliéster : Ortoftálico |
| Medias temperaturas | Viniléster, epoxi |
| Medias – altas temperaturas | Fenólica |
| Altas temperaturas | Bismaleimida, poliimida Esteres cianato, polieteramida |

Clasificación de las resinas termoestables en función de la temperatura de utilización. **Materiales compuestos 1998**

1.3.5. Resinas de Poliéster

Son grupos de resinas sintéticas producidas por poli-condensación de ácidos dicarboxílicos con alcoholes dihidroxilados. Están formados por cadenas hidrocarbonadas que contienen el grupo éster. (Miravette, 2008 pp. 95-99)

Tipos de Resinas Poliéster

Las resinas poliéster se clasifican en: Poliéster saturado Poliéster Insaturado

Poliéster Saturado

Llamado también termoplástico, se caracterizan por que carecen de enlaces dobles. Para su fabricación se parte de tres materias primas: ácido tereftálico, etilenglicol y butadiol-1,4. Con el ácido tereftálico y el etilenglicol se obtiene el PET y con el ácido tereftálico y butadiol-1,4 se produce.

Poliéster Insaturado

Los poliésteres insaturados presentan doble enlace y son conocidos como resinas reactivas, debido a que su polimerización y reticulación se realiza en el momento de efectuar el moldeo. Las materias primas de las que parte son líquidos viscosos.

Estas resinas insaturadas se producen a partir de reacciones de policondensación de ácidos dicarboxílicos insaturados (ácido maléico), o bien por copolicondensación de ácidos dicarboxílicos insaturados con los saturados (anhídrido ftálico, adípico) con dialcoholes (propilenglicol, etilenglicol, neopentilglicol), y un monómero reactivo insaturado (generalmente estireno).

Proceso de Polimerización o Curado de las Resinas de Poliéster Insaturado

El proceso de curado de un poliéster insaturado, consiste en hacer que el monómero copolimerice con el polímero a través de las insaturaciones. Para esto es necesario generar radicales libres en el sistema, es decir, romper los enlaces dobles; Una vez se rompe el

doble enlace se sigue una reacción de rompimiento en cadena que puede ser detenida por el inhibidor. El agente de rompimiento es denominado catalizador o iniciador. (Kohler, et al., 2006 pp. 5-7)

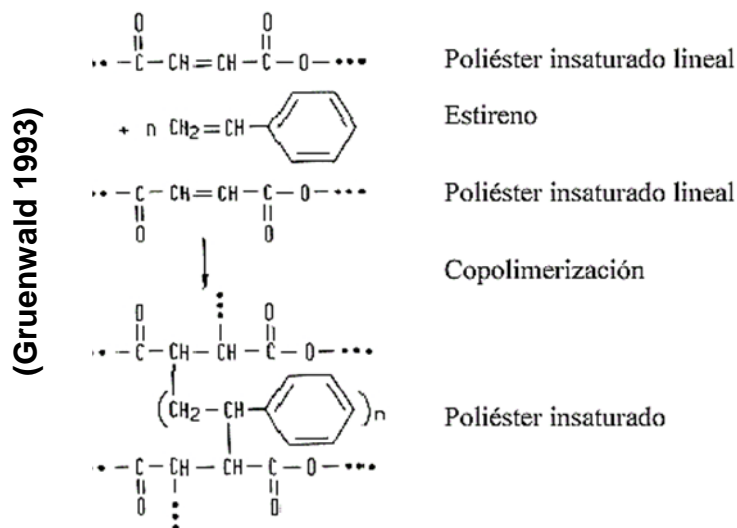
Sistemas de Curado de las Resinas de Poliéster Insaturado.
(Gruenwald, 2009 pp. 48-49)

Existen dos sistemas de curado para la resina, curado en caliente y en frío:

Curado en caliente: Debido a que los catalizadores se descomponen a elevadas temperaturas, es necesario proporcionar este ambiente con la incorporación de calor a la mezcla.

Curado en frío: Para adicionar calor a la reacción cuando se trabaja la mezcla a temperatura ambiente, es necesario agregar un agente acelerador de la reacción.

Figura N° 1. 4



Esquema de obtención de poliésteres insaturados.

- Agentes de entrecruzamiento
 - Estireno (aporta buena reactividad)
 - Metilmetacrilato (aporta resistencia a la intemperie y transparencia)
 - Cianurato de triales (aporta resistencia a la temperatura)
- Aceleradores:
 - Sales metálicas

- Naftenato de Cobalto
- Naftenato de Cobre
- Octoacto de Cobalto
- Aminas
 - Dimetil Anilina
 - Dietil Anilina
- Catalizadores:
 - Peróxidos (Temperatura de reacción: 25°C)
 - Peróxido de Benzoilo
 - Peróxido de Metil etil cetona

Aplicaciones importantes de las resinas de poliéster insaturado

Estas resinas se utilizan para hacer paneles de automóviles y piezas de carrocería, para los cascos de barcos pequeños y en la industria de la construcción para paneles y componentes del baño, como bañeras. También su uso abarca tubos, tanques, y conductos donde se requiere buena resistencia a la corrosión.

1.3.6. Fibras Naturales De Origen Vegetal.

(Torres, 2013 p. 22) Las fibras de origen vegetal son básicamente celulosas. La celulosa se utiliza en la industria textil y en la fabricación de papel. Las fibras más utilizadas e importantes son el algodón, el lino y el esparto. La clasificación de estas fibras está relacionada con la parte de la planta que se aprovecha. Últimamente se vienen desarrollando áreas de investigación en esto, así mismo como otras fibras como tallo de plátano, etc. Estas fibras son extraídas del reino vegetal en sus más variadas formas: semillas, tallos, hojas, frutos y raíces procesadas de forma tal que se obtienen productos de aplicación generalmente textil.

Clasificación de las fibras vegetales. (Torres, 2013 p. 22)

Las fibras vegetales son químicamente fibras celulósicas. De acuerdo a la parte de la planta de donde se extraen y se clasifican en:

- **Fibras vegetales de semilla.**

Estas están divididas en dos especies vegetales, cuyas semillas vienen acompañadas por una fibra que es de gran interés las cuales son:

- ✓ Algodón
- ✓ Ceiba

- **Fibras vegetales de tallos.**

Son aquellas que se extraen del tallo de las diferentes plantas aunque son de menor interés a las anteriores, estas son:

- ✓ Lino
- ✓ Bambú
- ✓ Cáñamo.
- ✓ Banana.
- ✓ Kenaf
- ✓ Yute, etc.

- **Fibras vegetales de hoja**

Tenemos 7 variedades que son:

- ✓ Acacá
- ✓ Cabuya
- ✓ Esparto

- **Fibras vegetales de fruto.**

Tenemos a las fibras de coco

Tabla N° 1. 2

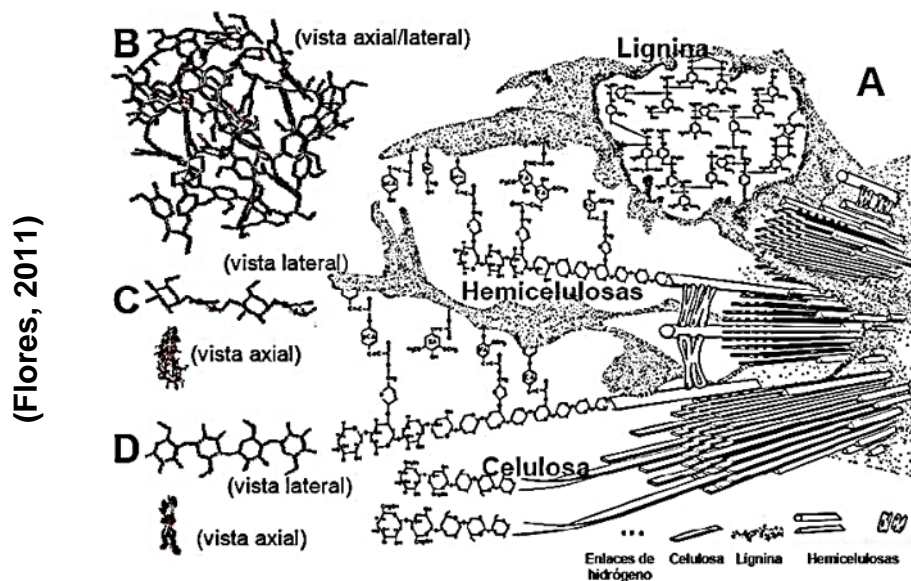
| Tipo de Fibra | Diámetro mm | Densidad Absoluta g/cm ³ | Módulo de Elasticidad GPa | Resistencia última a Tensión MPa | Elongación a la Ruptura % | Absorción de Agua % |
|-------------------|-------------|-------------------------------------|---------------------------|----------------------------------|---------------------------|---------------------|
| Yute | 0.10-0.20 | 1.02-1.04 | 26-32 | 250-350 | 1.5-1.9 | 62 |
| Lino | - | - | 100 | 100 | 1.8-2.2 | - |
| Bambú | 0.05-0.40 | 1.52 | 33-40 | 350-500 | - | 40-45 |
| Caña de azúcar | 0.20-0.40 | 1.20-1.30 | 15-19 | 170-290 | - | 70-75 |
| Sisal | 0.10-0.50 | - | 13-26 | 280-568 | 03-may | 60-70 |
| Henequén | 0.36 | 1.4 | - | 91-307 | 2.3-7.6 | 163.1 |
| Pasto de elefante | 0.45 | - | 5 | 178 | 3.6 | - |
| Plátano | 0.43 | 0.298 | 1.4 | 92 | 5.9 | 276 |
| Musamba | 0.82 | - | 0.9 | 83 | 9.7 | - |
| Coco | 0.10-0.40 | 1.12-1.15 | 19-26 | 120-200 | 10 | 130-180 |

Propiedades físicas de algunas fibras naturales (Are natural Fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites?, 2004 págs. 2-4).

Composición Química de las Fibras Naturales. (Flores, 2014 pp. 125-130)

Las fibras vegetales o también llamados materiales lignocelulósicos, se encuentran constituidos por tres polímeros estructurales - celulosa, hemicelulosa y lignina - y una serie de compuestos de bajo peso molecular solubles en agua (fracción hidrosoluble) o solventes orgánicos (los denominados extraíbles). También existen bajo contenido de proteína y sales minerales (denominadas cenizas luego de la combustión). La celulosa es el componente mayoritario (sobre un 50%), seguida de la lignina (alrededor de un 20%) y de la hemicelulosa (alrededor de un 15%). Histológicamente, existe mayor porcentaje de lignina en la lámina media, que es la capa externa que une las paredes celulares de las fibras contiguas en los tejidos lignificados. El resto de las capas de la pared vegetal, están principalmente constituidas por celulosa y hemicelulosa, aunque presentan también un cierto contenido de lignina.

Figura N° 1.5



Representación esquemática de las principales constituyentes de la pared celular vegetal (Celulosa lignina y hemicelulosa).

Este esquema muestran las microfibrillas de celulosa formadas por cadenas lineales de glucosa, inmersas en una matriz amorfa de lignina, en la que también se incluye la hemicelulosa, formada por cadenas ramificadas de pentosas unidas por enlaces laterales. En la pared secundaria la lignina forma una matriz amorfa que protege a los polisacáridos frente a la degradación microbiana y la hidrólisis enzimática en general. En la pared vegetal existen enlaces inter polímeros que pueden ser directos, enlaces éter entre OH alcohólicos (de los polisacáridos) y fenólicos (de la lignina), o a través de puentes formados por los ácidos p-hidroxicinámicos. Estos últimos son precursores de la lignina pero en muchas plantas herbáceas se encuentran también en forma libre (incluidos en la fracción extraíble)

Propiedades que la celulosa le confiere a la fibra natural. (Flores, 2014 p. 85)

Los estudios basados en varios métodos físicos y químicos han indicado que las microfibrillas contienen dos regiones diferenciadas. La primera llamada zona cristalina, formada por moléculas de celulosa

ordenadas y la otra denominada amorfa, constituida por moléculas de celulosa menos ordenadas.

El efecto que tiene el grado de orden o cristalinidad sobre las propiedades de una fibra celulósica, como tenacidad, elongación y elasticidad, se encuentra relacionado con la cantidad y características de celulosa en las fibras.

- **Hemicelulosa**

Son polisacáridos químicamente heterogéneos, constituidos por diferentes unidades de monosacáridos como pentosas (xilosa y arabinosa). Hexosas (glucosa, mañosa y galactosa) y ácidos urónicos enlazados entre sí por enlaces glicosídicos que componen estructuras ramificadas y en general amorfas.

Algunas hemicelulosas se relacionan con la porción celulósica, mientras que otras lo con la lignina. Su principal función es ser la matriz soporte para las microfibrillas de celulosa en la pared celular, presentan menor masa molecular son más accesibles, más fácilmente degradables y de disolver que la celulosa.

La estructura de la celulosa es la misma en los distintos materiales lignocelulósicos mientras que el contenido de hemicelulosas, tanto por cantidad como por variedad difiere mucho en función de las distintas especies, tanto si se trata de madera como de otros lignocelulósicos. En el caso de la madera de coníferas se suele apreciar una mayor cantidad de mañosa y galactosa mientras que la xilosa es más abundante en las frondosas. En las plantas herbáceas, las hemicelulosas.

1.3.7. Fibra De Pseudotallo

(Torres, 2013 pp. 25-27). Es una fibra relativamente nueva se extrae del pseudotallo del banano, su apariencia es similar a la fibra natural del bambú y fibra de ramio, pero su finura y flexibilidad es mejor que cualquier otra fibra, su composición química es de celulosa, hemicelulosa y lignina. La fibra es de un promedio de 2386nm. La longitud de la fibra es de 60 mm, la longitud es relativa al uso que se

le vaya a dar. Así mismo posee características de alta resistencia, buen brillo, peso ligero y gran absorción a la humedad, no se degrada fácilmente.

Tabla N° 1. 3

| | |
|---|--------------------------|
| Recuperación de la humedad | 9.86% |
| Elongación a la ruptura | no se quiebra fácilmente |
| Celulosa | 73.50% |
| Lignina (polímero de la pared celular de la fibra) | 12.99% |
| Hemicelulosa | 6-8% |
| Ceras, grasas, resinas | 11.79% |
| Cenizas | 6-8% |
| Características | Biodegradable |

Características químicas de la fibra de plátano. (Torres, 2013 p. 78)

Tabla N° 1. 4

| | |
|-------------------------------|--|
| Longitud | 3m (max) |
| Finura y diámetro | 0.18-0.20mm |
| Rizado | cuando se humedece |
| Propiedades ópticas | fina brillante de color abano claro |
| Propiedades térmicas | bajas |
| Propiedades eléctricas | aislamiento y resistente |
| Propiedades mecánicas | resistente y fuerte a la tracción, torsion |
| Resistencia al agua | No afecta agua salada |
| Acción al intemperie | Cambio de coloración (al sol) |

Características químicas de la fibra de plátano. (Torres, 2013 p. 78)

1.3.8. Tratamientos De Modificación Superficial A Las Fibras

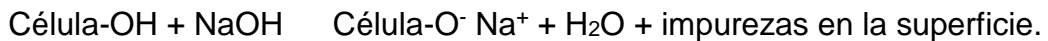
(Wegener, et al., 2006 pp. 2-5) La producción de materiales compuestos de resinas poliméricas reforzados con fibras vegetales se ve limitada debido a que las fibras no tienen una buena adherencia a las resinas, esto se debe principalmente por la naturaleza hidrofílica de las fibras, que no compatibiliza con el carácter hidrofóbico de las resinas. Para mejorar la adhesión de las fibras vegetales con las resinas, así como de disminuir su capacidad hidrofílica, surge la necesidad de realizar tratamientos interfaciales que produzcan cambios físicos y químicos de la superficie de la fibra. Esta modificación puede tener como objetivos específicos de crear una superficie rugosa en la fibra, disminuir la capacidad hidrofílica de la fibra, o de injertar un radical que haga de puente de unión entre la fibra y la matriz. La obtención de una superficie rugosa en la fibra, permite que aumente el número de puntos de adhesión, ofreciendo así una buena interacción mecánica fibra-resina, donde la presencia de grupos reactivos en éstas, es esencial para una alta energía interfacial. Desde este punto de vista, este tipo de adherencia se traduce en un incremento en las fuerzas de fricción en la interface fibra-matriz.

Tratamientos superficiales existentes.

Para mejorar la compatibilidad entre las fibras naturales y la matriz polimérica, y, por lo tanto, las propiedades del material compuesto se trata la fibra con agentes químicos para modificarla superficialmente. Estos tratamientos son muy diversos, y por su gran aplicabilidad y especial interés en este trabajo se analizará principalmente el efecto del tratamiento alcalino sobre las fibras, y el de acople con el agente modificador Silano.

Mercerización Alcalina:

El tratamiento alcalino modifica las características superficiales de las fibras naturales, mediante la eliminación de impurezas y de este modo produce una topografía rugosa que da lugar a una mejor interacción fibra-matriz. Uno de los métodos más comunes de alcalinización, que consiste en el tratamiento de las fibras con hidróxido de sodio. El hidróxido de sodio reacciona con las fibras según la reacción.



1.3.9. Métodos De Extracción De Fibras

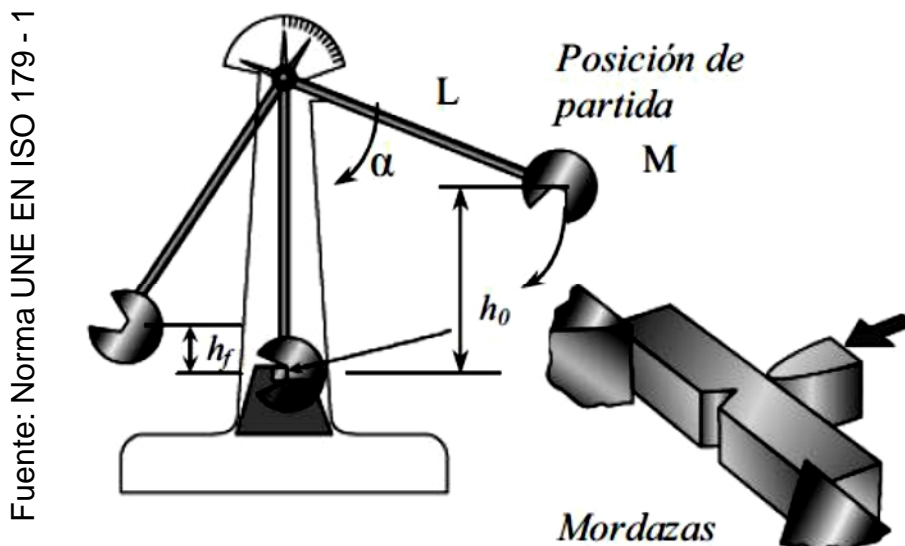
Entre los métodos de extracción de fibras vegetales tenemos, los tratamientos artesanales y semi industriales, los tratamientos artesanales se vienen desarrollando en las zonas tropicales como las del Ecuador, Perú y Brasil, de ellas se fabrican las llamadas sogas, carteras entre otros productos de consumo masivo, mientras que aun los tratamientos semi industriales están en auge en los últimos años, así el sector automotriz y aeromotor son los más interesados en el desarrollo de este tipo de refuerzos por sus características de bajo peso, bajo costo y medianas resistencias mecánicas, entre estos métodos, el de mayor uso a la fecha, es el remojo de las zonas de las plantas de donde se obtendrán las fibras en recipientes conteniendo una solución al 5 % v/v de soda caustica, las plantas y sus fibras así de sumergen por completo por espacio de 1 hora, en un volumen de 2 litros de solución por kilogramo de biomasa de planta. (Lamar, 2010 p. 22) Empleo de este refuerzo generaría una disminución de los costos de producción de los elementos secundarios de buses y similares, así como se daría un valor agregado a los desechos de las plantaciones de plátano de todas las regiones donde se cultive dicho fruto.

1.3.10. Resistencia al impacto y su medición

Uno de los métodos más sencillos para caracterizar la tenacidad es utilizar un péndulo de impacto Charpy (ver **figura 1. 6**). Este método consiste en golpear mediante una masa, una probeta que se encuentra soportada, cerca de sus extremos, entre unas mordazas paralelas. La masa, M , que se encuentra acoplada al extremo de un péndulo de longitud, L , se deja caer desde una altura inicial, h_0 , a través de la cual se controla la velocidad de aplicación de la carga en el momento del impacto. La masa impacta perpendicularmente en la mitad del dorso de la cara entallada de la probeta normalizada, fracturándola (UNE EN ISO 179 - 1, 2014 p. 13).

Conociendo la masa del péndulo y la diferencia entre la altura inicial, h_0 , y la final tras el impacto, h_f , del mismo, se puede medir la energía absorbida en el proceso de fracturación.

Figura N° 1. 6



Esquema de un ensayo de impacto Charpy.

Muchos de los ensayos de impacto se realizan en condiciones en las cuales se favorece la fractura frágil. Entre los factores que contribuyen a modificar el modo de fractura se encuentran (UNE EN ISO 179 - 1, 2014 p. 5-14:

- La velocidad de aplicación de la carga, la cual se controla variando el Angulo α

- La presencia de concentradores de tensiones, lo cual se logra mecanizando una entalla en la probeta del material a estudiar.
- La exposición a diferentes temperaturas. El aumento progresivo de la temperatura provoca un aumento de la energía de impacto. La transición en el comportamiento frágil-dúctil se produce en un rango de temperaturas, variable con el material de ensayo.
- La morfología del polímero: depende de la orientación de las cadenas poliméricas en la muestra, del grado de cristalinidad y del tamaño de las esferulitas.
- Las condiciones de procesamiento. Temperatura y presión.

El péndulo Charpy registra la curva de fuerza-tiempo obtenida durante el ensayo gracias al martillo instrumentado con una célula de carga. Los resultados obtenidos en el ensayo de impacto se describen a continuación:

Energía de impacto, E , en (J), se define como la energía consumida en acelerar, deformar y romper la probeta durante el impacto (UNE EN ISO 179 - 1, 2014). Esta energía se obtiene mediante la expresión (2)

$$E = \int_0^{s_f} F(s) ds; E_i = \sum_{i=0}^{i-1} E_i + t_{sampling} \frac{F_i v_i + F_{i-1} v_{i-1}}{2} \quad (2)$$

Resistencia al impacto Charpy, a_{CN} , en (kJ/m^2), se define como la energía de impacto en la rotura con respecto al área de la sección transversal inicial central con entalla. Se calcula con la expresión (3)

$$a_{CN} = \frac{E_B}{hb_N} \times 10^3 \quad (3)$$

Donde:

$$t_{sampling} = t - t_{i-1}$$

$t_{sampling}$: tiempo de muestreo (s)

t : tiempo (s)

v: velocidad de impacto (m/s)

F(t): fuerza medida en el impacto *t* tras el impacto (N)

F(s): curvade fuerza–desplazamiento

F: fuerza de impacto (N)

M_{total}: masa del martillo (kg)

g: aceleración debido a la gravedad (m/s^2)

L_p: longitud del péndulo (m)

M_H: momento horizontal del péndulo (N.m)

h: espesor de la probeta (mm)

b_N: anchura medida desde la base de la entalla (mm)

EB: energía en la rotura (J)

1.4. Formulación Del Problema

¿En qué medida afecta el proceso de reemplazo con fibra de plátano en compuestos de resina poliéster / fibra de vidrio, su resistencia al impacto?

1.5. Justificación Del Estudio.

Conveniencia. Es conveniente realizar esta investigación para lograr obtener información relevante sobre el efecto del reemplazo por fibras de plátano en resina poliéster con fibra de vidrio, sobre su resistencia al impacto, Trujillo.

Justificación Social. La información obtenida beneficiara a las empresas, lo que brinda la posibilidad de incursionar en el reemplazo de las fibras de vidrio, como alternativa a ello, en la fabricación de paneles para buses y aplicaciones secundarias, proponemos entonces el uso de fibras vegetales, consideradas en muchos casos solo desechos, en este caso se plantea el uso de las fibras de pseudotallo de plátano, ya que no tienen a la fecha un uso industrial en particular en el sector automotriz; así mismo el aprovechamiento de estas fibras, abarataría los costes de manufactura en la industria automotriz.

Justificación Económica. La información obtenida de la investigación nos demuestra a nivel económico que es mucho más barato este elemento como insumo para fabricar compuesto de resina poliéster reforzado con fibra de plátano, para su uso industrial, especialmente automovilístico, deportivo y aeronáutico. Además Considerando que este insumo (fibra de plátano), no se utiliza actualmente en ninguna industria en nuestro país.

Justificación Técnica. El objeto del proyecto es diseñar un compuesto de resina poliéster reforzado con fibra de plátano que sirva para ser utilizado en industria automotriz y aeronáutica. Además el producto es de muy buena calidad en cuanto a resistencia al impacto se refiere.

Justificación Ambiental. Los compuestos de mayor consumo a nivel mundial son de matriz termoestables, debido a su versatilidad de producción, aunque las fibras sintéticas son las que normalmente se utilizan, estas fibras son de alto costo, no son **biodegradables**, pueden ser tóxicas, entre otras desventajas de dichas fibras. En el mercado peruano existe alta demanda en el uso de la fibra de vidrio como reforzante natural de las resinas utilizadas como matrices, de esta forma se elaboran mediante el proceso de molde abierto, productos como autopartes, paneles para autobuses desde puertas, interiores, entre otros, constituyendo elementos secundarios del chasis de estos buses. Al diseñar un compuesto de resina poliéster reforzado con fibra de plátano sería un producto eco amigable con el medio ambiente. Además considerando que de una planta de plátano solo se utiliza del 20% al 30 %, el resto es desechado, y si se acumulan estos tallos producen metano el cual produce deterioro en la capa de ozono y por ende contraen enfermedades para la humanidad.

1.6. Hipótesis

El efecto producido por el reemplazo por fibras de plátano en resina poliéster con fibra de vidrio, nos permite incrementar la resistencia al impacto.

1.7. Objetivo

1.7.1. General

Evaluar el efecto del proceso de reemplazo por fibras de plátano en compuestos de resina poliéster con fibra de vidrio, sobre la resistencia al impacto.

1.7.2. Objetivos Específicos

- a. Evaluar la resistencia al impacto de la resina poliéster preparado a diferentes cantidades de disolvente, catalizador y acelerante, la de mayor resistencia será usada en el conformado de los paneles de material compuesto.
- b. Establecer la marcha experimental para el proceso de mercerización de las fibras de plátano a utilizar, otorgando así una mejor adherencia entre la fibra/matriz, mejorando así la resistencia al impacto del compuesto.
- c. Construir graficas mediante software especializado de los diferentes porcentajes de reemplazo de fibra de vidrio por fibras de plátano versus resistencia al impacto.

II. MÉTODO

2.1. Diseño de investigación:

La presente investigación cuenta con las siguientes características:

De acuerdo al fin que persigue: Aplicada

De acuerdo a la técnica de contrastación: No experimental

2.2 VARIABLES, OPERACIONALIZACION DE LA VARIABLE

Variable independiente: reemplazo por fibras de plátano en resina poliéster con fibra de vidrio

Variable dependiente: Resistencia al impacto

2.2. OPERACIONALIZACION DE LA VARIABLE

| Variable | Definición conceptual | Definición Operacional | Indicadores | Escala de medición | Instrumentos |
|---|--|---|--|--------------------|---------------------------------|
| <p>Variable independiente</p> <p>REEMPLAZO POR FIBRAS DE PLATANO EN RESINA POLIESTER CON FIBRA DE VIDRIO</p> | <p>Proceso de incorporación por remplazo de una fibra por otra, manteniendo la matriz (Bhoopathi, 2014 p. 4)</p> | <p>Incorporación por remplazo en peso de la fibra de vidrio por fibras de plátano</p> | <p>Cambio de color oscuro de la placa indica aumento de cantidad de fibra de pseudo tallo de plátano. Disminución de peso del compuesto indica el remplazo de la fibra de vidrio</p> | <p>Razón:</p> | <p>Balanza analítica</p> |
| <p>Variable dependiente</p> <p>Resistencia al impacto</p> | <p>Capacidad de transferencia de cargas y absorción de energía a altas velocidades en tres dimensiones de una región del espacio (UNE EN ISO 179 - 1, 2014 p. 2)</p> | <p>Medición de absorción de energía con carga constante en una área constante</p> | <p>Energía de impacto alta indicaría buena resistencia de las probetas. La resistencia al impacto es energía sobre área Joule/ mm²</p> | <p>Razón:</p> | <p>Máquina de ensayo Charpy</p> |

2.3. Población y muestra

2.3.1. Población

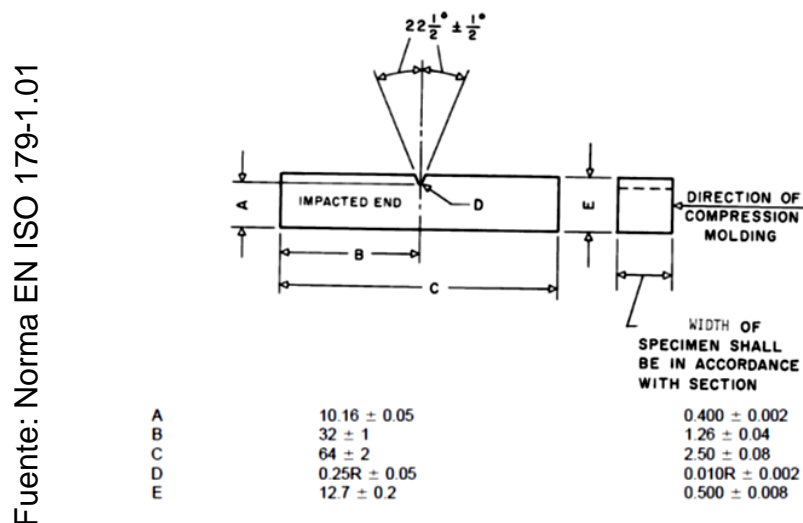
El universo muestral estará constituido por todas las planchas rectangulares de dimensiones 15 x 10 x 0.5 cm de material compuesto de resina reforzado con fibra natural y sintética.

2.3.2. Muestra

El material de estudio serán láminas de un compuesto de matriz poliéster insaturado, obtenidas mediante el proceso de moldeo por compresión.

Para los ensayos de la presente investigación, se usaran 18 probetas, según norma EN ISO 179-1., de compuestos de matriz poliéster insaturada reforzada con fibras de vidrio y de plátano, a diferentes cantidades de fibras de plátano en reemplazo del vidrio empleado. En la figura 7 se detalla las medidas de las dimensiones de la probeta para este tipo de ensayo. Adicional a estas se obtendrán muestras patrón a fin de comparar en proceso y el tipo de refuerzo utilizado.

Figura N° 1. 7



Modelo de probeta para ensayo de impacto

Se aplicará en el desarrollo de la presente investigación un diseño **experimental**, tipo **unifactorial**, donde la variable de estudio se muestra en la tabla N° 1.5

Tabla N° 1. 5

| | |
|---|----------------------|
| Variables independientes de estudio | Niveles de estudio |
| Factor A | a₁ |
| | a₂ |
| | a₃ |
| | a₄ |
| | a₅ |
| Variables Dependientes de Estudio | |
| Resistencia al impacto (kJ/m ²) | |

Niveles de la variable independiente.

Fuente: Autor

Leyenda:

Factor A: *Variación de la concentración de hidróxido de sodio*

a₁: 0% en peso de reemplazo de fibra de vidrio por fibra de plátano

a₂: 25% en peso de reemplazo de fibra de vidrio por fibra de plátano

a₃: 50% en peso de reemplazo de fibra de vidrio por fibra de plátano

a₄: 75% en peso de reemplazo de fibra de vidrio por fibra de plátano

a₅: 100% en peso de reemplazo de fibra de vidrio por fibra de plátano

Matriz de diseño

Tabla N° 1. 6

| | | | | |
|----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Niveles del Factor A | | | | |
| a ₁ | a ₂ | a ₃ | a ₄ | a ₅ |

Diseño de la matriz Experimental – Factorial.

Fuente: Autor

Ensayo de tracción:

$N^{\circ} \text{ total de pruebas} = (N^{\circ} \text{ de matriz}) \times (N^{\circ} \text{ de réplicas})$

$N^{\circ} \text{ total de pruebas} = (5) \times (3) = 15$. Adicional a ellas se realizaran ensayos de control para la realización de comparaciones, en un total de 3 para resina poliéster sin refuerzo, todo ello hace un total de 18 ensayos de impacto.

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, valides y confiabilidad

2.4.1. Técnicas

La técnica desarrollada en la presente investigación es mediante la observación.

2.4.2. Instrumentos

El instrumento que se empleó en la presente investigación fue fichas de recolección de datos (Anexo 5).

2.5. Métodos de análisis de datos

En el presente estudio se aplicará métodos de análisis estadísticos de medidas de tendencias tales como porcentaje de fibra de pseudotallo plátano y resistencia al impacto teniendo en cuenta los objetivos planteados y los resultados obtenidos, así mismo los datos que se obtengan durante la investigación será procesado y tabulado mediante hojas de cálculo Excel (anexos 4)

2.6. Aspectos éticos

En el presente estudio se tomara en cuenta las consideraciones éticas pertinentes, tal como confidenciales de la información, por lo tanto, la información obtenida no será revelada ni divulgada para cualquier otro fin.

III. RESULTADOS

3.1. Evaluar la resistencia al impacto de la resina poliéster preparado a diferentes cantidades de disolvente, catalizador y acelerante, la de mayor resistencia será usada en el conformado de los paneles de material compuesto.

Control de gelado y mejor resistencia al impacto de la resina poliéster

Se utilizaron las siguientes recetas, según el siguiente como se detalla en la siguiente tabla

Tabla N° 3. 1

| Recetas | | Peróxido (gotas) | | |
|-------------------|---|------------------|---|---|
| | | 4 | 3 | 2 |
| Octoato (gotas) | 4 | x | x | |
| | 3 | x | x | x |
| | 2 | | x | x |
| Monómero (gramos) | | 5 | | |

Recetas para la preparación y caracterización de la resina poliéster

De estas recetas se obtuvieron los siguientes tiempos de gelado:

Tabla N° 3. 2

| Muestras | Tiempo de gelacion (min) |
|----------|--------------------------|
| O3-P4 | 21 |
| O3-P3 | 13 |
| O3-P2 | 40 |
| O2-P3 | 19 |
| O2-P2 | 60 |

Tiempos de gelacion de las recetas propuestas y realizadas del cuadro anterior.

Nota: O representa al octoato y P es el peróxido

Reemplazando los datos de las tablas N° 3.3 y 3.4 en la formula anterior:

La resistencia al impacto se calculó con la siguiente formula:

$$Resistencia\ al\ impacto = \frac{Energia\ de\ impacto\ (kJ)}{Area\ o\ seccion\ transversal\ de\ la\ probeta}$$

- $R_{Impacto\ O3-P4} = \frac{0.97J}{0.000084m^2} = 11.50\ kJ/m^2$
- $R_{Impacto\ O3-P3} = \frac{0.73J}{0.000090m^2} = 8.12\ kJ/m^2$
- $R_{Impacto\ O3-P4} = \frac{1.07J}{0.000085m^2} = 12.57\ kJ/m^2$
- $R_{Impacto\ O3-P4} = \frac{1.20J}{0.000083m^2} = 14.39\ kJ/m^2$
- $R_{Impacto\ O3-P4} = \frac{0.87J}{0.000084m^2} = 11.12\ kJ/m^2$

Tabla N° 3. 3

| Muestras | Ancho (mm) | | | Ancho Prom. (mm) | Espesor (mm) | | | Espesor Prom. (mm) | Área (m2) |
|----------|------------|-------|-------|------------------|--------------|----------|----------|--------------------|-----------|
| | | | | | | | | | |
| O3-P4 | 11.42 | 11.15 | 11.06 | 11.21 | 7.3 6 | 7.5 6 | 7.5 8 | 7.5 | 0.000084 |
| O3-P3 | 10.52 | 10.6 | 10.98 | 10.7 | 8.3 9 | 8.5 3 | 8.1 8 | 8.37 | 0.000090 |
| O3-P2 | 10.55 | 10.51 | 11.28 | 10.78 | 7.9 | 7.9 2 | 7.7 9 | 7.87 | 0.000085 |
| O2-P3 | 10.5 | 10.38 | 10.96 | 10.61 | 7.7 9 | 7.6 7 | 8.1 1 | 7.86 | 0.000083 |
| O2-P2 | 10.35 | 10.38 | 10.11 | 10.28 | 7.7 6 | 7.4 4 | 7.5 5 | 7.58 | 0.000078 |

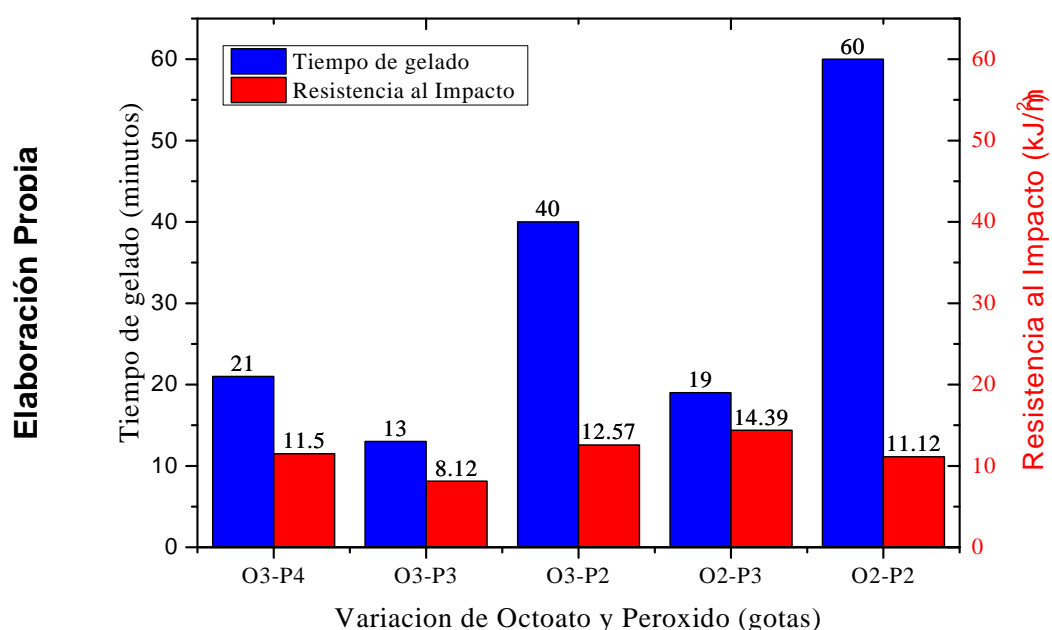
Dimensiones promedio de las probetas de impacto, a base de pura resina poliéster

Tabla N° 3. 4

| Muestras | Energía de Impacto (J) | | | Energía Imp. Prom. (J) | Resistencia al Impacto (kJ/m ²) |
|--------------|------------------------|-------------|-------------|------------------------|---|
| O3-P4 | 1.1 | 0.95 | 0.85 | 0.97 | 11.50 |
| O3-P3 | 0.75 | 0.75 | 0.68 | 0.73 | 8.12 |
| O3-P2 | 1.1 | 1.1 | 1 | 1.07 | 12.57 |
| O2-P3 | 1.1 | 1.45 | 1.05 | 1.20 | 14.39 |
| O2-P2 | 0.7 | 1.1 | 0.8 | 0.87 | 11.12 |

Resistencia al impacto de las recetas propuestas, en la preparación de la resina poliéster.

Figura N° 3. 1



Resistencia al impacto y tiempo de gelacion de las diferentes recetas de la preparación de la resina poliéster.

INTERPRETACIÓN: en la Figura N° 3.1, en la obtención de las mejores propiedades de resistencia al impacto se realizó esta caracterización de la resina, la cual se utilizó en el conformado de las placas de material compuesto. La receta que tiene la mejor resistencia al impacto es la O2-P3 (octoato 2 gotas – peróxido 3 gotas) cuyo tiempo de gelado es de 19 minutos, tiempo suficiente para el moldeo, y con una resistencia de 14.39 kJ/m² el más alto de todos.

3.2. Establecer la marcha experimental para el proceso de mercerización de las fibras de plátano a utilizar, otorgando así una mejor adherencia entre la fibra/matriz, mejorando así la resistencia al impacto del compuesto.

Obtención de materia prima

- Extracción del pseudotallo plátano. Se aprovechan las plantas de caídas de plátano, son cortadas y escogidas.

Figura N° 3. 2

Fuente: Elaboración propia



Planta de plátano caída y extracción del pseudotallo.

Proceso de extracción de la fibra de pseudotallo de plátano

- Una vez extraído el pseudotallo ahora se procedió a separar las numerosas capas del cual está conformado, una a una se van separando.

Figura N° 3. 3

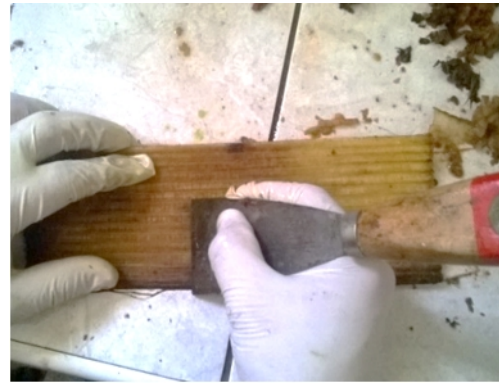
Fuente: Elaboración propia



Separación de las capas del pseudotallo.

Figura N° 3. 4

Fuente: Elaboración propia

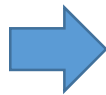
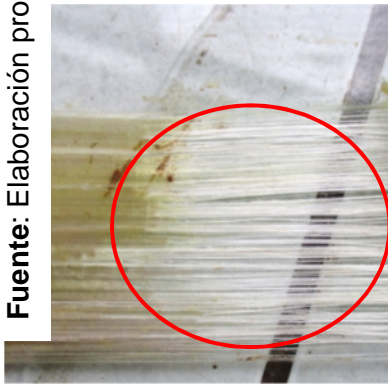


Cambio y desfibrilación y extracción de fibra.

- A mayor tiempo de frotamiento de la superficie de la corteza del pseudotallo, se separó la pulpa y se vieron ya las fibras, obvio que con más facilidad si se deja que se ablande más por acción del agua.

Figura N° 3. 5

Fuente: Elaboración propia



Obtención de las fibras del pseudotallo e inmersión en alcohol (24 horas).

Figura N° 3. 6

Fuente: Elaboración propia



Fibra recién retirada del alcohol, y secas a temperatura ambiente por 24 horas.

Tratamiento superficial con NaOH de la fibra.

- ***Lavado a y limpieza de la fibra de pseudotallo.***

INTERPRETACIÓN: Este procedimiento se realizó a una sola concentración de NaOH (10 g/l NaOH/H₂O), para esto se pesaron 120 gr de fibra de pseudotallo de plátano. El proceso inicia con un pre lavado y limpieza de las fibras, exponiéndolas a 80 °C como máximo, por 30 minutos en la primera etapa de limpieza, en la segunda etapa se prepara una solución de agua destilada con alcohol en proporciones de 50% v/v (1 litro de alcohol en 1 litro de agua), se coloca las fibras de pseudotallo de plátano dentro de esta solución a 60°C por un tiempo de 30 minutos, luego de este tiempo se retiran las fibras de la solución y se deja enfriar.

- ***Tratamiento de mercerización alcalina***

Preparación de la solución de NaOH

- **INTERPRETACIÓN:** Durante el tiempo de la limpieza de la fibra (1 hr), se procede a la preparación de la solución de NaOH a la concentración de 10 g/l de NaOH/H₂O con respecto a la cantidad de fibra. Es decir para 120 gr de fibra se utiliza, 2400 ml de agua destilada, y para 2400 ml de agua destilada se utilizan 14 gr de NaOH. Una vez preparadas dichas soluciones, se las coloca dentro de un cooler llenos de hielo, donde se enfriaran a una

temperatura de 2-5 °C como máximo, como se puede ver en la siguiente figura N° 3.7.

Elaboración Propia

Figura N° 3. 7



Pesaje de fibra, solución de NaOH/H₂O, mercerización de las fibras y secado final de fibras mercerizadas

3.3. Construir gráficas mediante software especializado de los diferentes porcentajes de reemplazo de fibra de vidrio por fibras de plátano versus resistencia al impacto.

Resistencia al impacto

INTERPRETACIÓN: Los resultados promedio de resistencia al impacto obtenidos de los diferentes compuestos de matriz poliéster fibra de vidrio con y sin reemplazos en porcentaje masa de fibra de pseudotallo de plátano y además con y sin modificación química de superficie, todo ello se resumen en la Tabla N° 3.5.

Tabla N° 3. 5

| MATRIZ | % FIBRA DE VIDRIO | % FFIBRA DE PSEUDOTALLO DE PLATANO | RESISTENCIA AL IMPACTO (kJ/m²) |
|---------------|--------------------------|---|--|
| RP | | | 14.39 |
| RP | FV - 40%w | FP - 0% w | 38.54 |
| RP | FV - 30% w | FP - 10% w | 25.57 |
| RP | FV - 20% w | FP - 20% w | 34.58 |
| RP | FV - 10% w | FP - 30% w | 39.74 |
| RP | FV - 00% w | FP - 40% w | 45.21 |

Resumen de los valores promedio de resistencia al impacto de los diferentes compuestos de matriz poliéster, según la Norma EN ISO 179-1. Fibra de vidrio E corta y al azar. Fibra de pseudotallo de plátano continua unidireccional. Moldeo por compresión. 2500 psi.

Dónde:

- RP: Resina poliéster
- FV: Fibra de vidrio
- FP: Fibra de pseudotallo de plátano

RP representa la resistencia al impacto de la matriz o resina poliéster sin refuerzo, es el valor más bajo de todas las resistencias, esto debido a la naturaleza de la resina, que de por sí sola es muy frágil, la resistencia al impacto de la resina poliéster es de 14.39 kJ/m².

Para el compuesto reforzado con fibra de vidrio al 40%w y 0%de fibra de plátano, su resistencia al impacto es de 38.54 kJ/m², es un valor más alto obviamente que el anterior en un 62.66% mayor, esto se debe a que las fibras otorgan resistencia a la matriz de resina poliéster, la función de las fibras es esta, así mismo de absorber parte de la energía que es transmitida por la resina.

Para el compuesto reforzado con fibra de vidrio al 30%w y 10%de fibra de plátano, su resistencia al impacto es de 25.57 kJ/m² este valor es 43.72% mayor que la resistencia al impacto de la resina, pero menor en un 33.65% con respecto al compuesto reforzado con fibra de vidrio al 40%w y 0%de fibra de plátano. Esta disminución de la resistencia se podría deber a perdida de refuerzo por parte de la fibra de vidrio, aunque se haya reemplazado por la de plátano en un 10%W no es suficiente para mantener o superar el valor

de resistencia al impacto del compuesto reforzado con fibra de vidrio al 40%w y 0%de fibra de plátano.

Para el compuesto reforzado con fibra de vidrio al 20%w y 20%de fibra de plátano, su resistencia al impacto es de 34.58 kJ/m² este valor es 58.38% mayor con respecto a la resina poliéster, menor en el 11.45% con respecto al compuesto reforzado con fibra de vidrio al 40%w y 0%de fibra de plátano, así mismo esta resistencia es mayor en el 26.05% respecto al compuesto reforzado con fibra de vidrio al 30%w y 10%de fibra de plátano, se puede ver que estos porcentajes de fibra de vidrio y plátano son favorables en algunos casos y en otros no pero si son cercanos los valores de resistencia al impacto no son tan distantes.

En el compuesto reforzado con fibra de vidrio al 10%w y 30%de fibra de plátano su resistencia es de 39.74 kJ/m² este valor es el máximo con respecto a los valores antes mencionados en anteriores líneas pero no se descarta que existe un valor aún más alto. La resistencia al impacto de este compuesto es del 63.78% mayor a la resina poliéster sola sin refuerzo, y 35.66%, 3.01% y 12.98% mayor a los compuestos reforzados con fibra de vidrio al 0%w y 40%de fibra de plátano, compuesto con fibra de vidrio al 10%w y 30%de fibra de plátano y compuesto con fibra de vidrio al 20%w y 20%de fibra de plátano respectivamente.

Por último el compuesto reforzado con fibra de vidrio al 0%w y 40%de fibra de plátano posee el valor máximo entre todos, se podría decir que se está utilizando fibra de plátano al 100 % pues no existe fibra de vidrio como refuerzo en este compuesto

IV. DISCUSION DE RESULTADOS

4.1. Existen otros autores como Campos y Huacacolqui, en su trabajo de investigación titulada “Influencia de los tipos de tratamientos superficiales y el porcentaje en peso de fibra *Sansevieria trifasciata* sobre la resistencia al impacto y degradación térmica de un compuesto de matriz poliéster”, en la cual obtuvieron una resistencia al impacto de la resina poliéster de 6.78 kJ/m² y tiempo de curado de 45 min, esto se debe quizás a la naturaleza o tipo de resina pues en el mercado existen de varias calidades (Campos Alfaro, y otros, 2017 p. 58). así mismo tenemos a Araujo et, al, en su artículo “Thermal properties of high density polyethylene composites with natural fibres: coupling agent effect”, menciona que las reacciones de polimerización con altas temperaturas fragilizan al polímero generando micro grietas disminuyendo así su resistencia mecánica, y si el tiempo de polimerización es largo, se forman cadenas poliméricas inestables y pequeñas, de la misma manera se disminuye las propiedades de la resina poliéster (Araujo et, al., 2008 p. 7) por ello el evaluar la resistencia al impacto de la resina poliéster preparado a diferentes cantidades de disolvente, catalizador y acelerante, la de mayor resistencia, es de importancia, pues cada uno de los componentes químicos involucrados en la preparación de la resina son importantes, el uso del disolvente en este caso monoestireno es en sí disolver como su mismo nombre lo dice a la resina, reduciendo así su viscosidad y otorgándole una facilidad para fluir, facilitando así el trabajo o del moldeo, el monoestireno se agrega en un 25% en peso con respecto a la resina, esto ya está estandarizado. Por otro lado el uso del octoato de cobalto es un agente químico que actúa como catalizador, acelerando la reacción de la resina es decir acelera el fenómeno de polimerización de la resina, la cantidad que se agrega es muy pequeña en gotas y la variación de estas influye en las propiedades mecánicas de la resina, pues si se usa mucho la reacción es muy violenta, fragilizando así a la resina y obteniendo bajos resultados, por ultimo tenemos al MEK (metiletilcetona) este componente tiene la función de activador, es decir es quien inicia la reacción de la resina haciendo que esta con el tiempo endurezca. Se podría decir que las cantidades de estos

componentes influyen en las propiedades mecánicas sea el caso de resistencia al impacto y del tiempo de trabajo que se dispone, por ello en nuestro caso se obtuvo una resistencia al impacto máxima de 14.39 kJ/m² y un tiempo de 19 minutos en los cuales es posible trabajar o moldear.

4.2. La concentración de hidróxido de sodio se eligió en base a trabajos previos tal es el caso de Neira & Quiroz, 2016, es su trabajo de tesis titulada *“Influencia de la concentración de NaOH en el tratamiento superficial de la fibra de pseudotallo de plátano, sobre la resistencia a tracción en un compuesto de matriz de poliéster insaturada”*, dichos autores trabajaron concentraciones mayores a 20 g/l de NaOH, encontrando que la concentración de NaOH mayor a 20 g/l, disminuye las propiedades mecánicas de las fibras (Neira, y otros, 2016 p. 12), es en base a esta conclusión que en el presente trabajo se consideró utilizar una concentración menor a la utilizada por estos autores, evitando así el daño a la fibra. En este objetivo que se propuso y se ha cumplido, la finalidad de realizar un lavado y limpieza de las fibras es con finalidad de eliminar polvo, grasa u otro producto perjudicial presente en la superficie de la fibra y que son eliminados con la solución de agua y alcohol en porcentajes de 50% V/V. Por último en la etapa de *“mercerizado”*, es la exposición de las fibras de pseudotallo de plátano en una solución de NaOH/H₂O con una concentración de 10 g/L, la finalidad de realizar este tratamiento es de disminuir el grado o comportamiento hidrofílico de las fibras, esto no es más que la afinidad o capacidad de las fibras por absorber el agua presente en medio ambiente, es por esto que es indispensable realizar este tratamiento de mercerización.

4.3. Yang, Kim et al., 2004 p. 7 en su investigación *“(Rice-husk flour filled polypropylene composites; mechanical and morphological study, 2004)”* comparado con nuestros resultados el comportamiento es el parecido, la resistencia se aumenta al aumentar el porcentaje en peso de la fibra de pseudotallo de plátano. Podemos observar que para todos los casos, la resistencia al impacto promedio aumenta conforme aumenta el porcentaje

en peso de fibra vegetal, esto se debería posiblemente a que al tener mayor porcentaje de refuerzo va absorber mayor energía de impacto durante el golpe que ocurre a alta velocidad, entonces la transferencia de cargas harán posible la detención de la propagación de grietas en el compuesto.

Sreenivasan, et. al., 2012 quienes en su investigación "*Influence of fibre treatments on mechanical properties of short Sansevieria*" ; quienes estudiaron el comportamiento de resistencia al impacto de compuestos de poliéster reforzados con fibra de Sansevieria Cilíndrica sin tratar y tratadas con: álcali, peróxido de benzoilo, permanganato de potasio y ácido esteárico, ellos utilizaron fibra corta (longitud de 30 mm) y el proceso de moldeo por compresión (presión de 40 Ton) reportando un valor máximo de resistencia al impacto de 23.41 kJ/m² para el compuesto de poliéster reforzado con fibra sin tratar al 40 % en peso de fibra (Sreenivasan, et. al., 2012 p. 8). Por lo tanto cabe mencionar que los resultados en la presente investigación, superan a los obtenidos por el autor anteriormente citado.

V. CONCLUSIONES

- 5.1.** La evaluación de la resistencia al impacto de la resina se pudo realizar teniendo en cuenta las diferentes cantidades de disolvente (Monómero), catalizador (Peróxido) y acelerante (Octoato de cobalto) sobre la preparación de resina poliéster, obteniendo un valor máximo de resistencia al impacto de 14.39 kJ/m^2 y tiempo de gelado de 19 min, en el cual es posible moldear en este lapso de tiempo, este y otros resultados se pueden ver en la figura N° 8.1 del Anexo 1.
- 5.2.** La realización del tratamiento químico superficial a la fibra de pseudo tallo de plátano, llevando a cabalidad en la marcha experimental del tratamiento de mercerización a las fibras de pseudotallo de plátano con la finalidad de obtener mejores resultados de resistencia a al impacto de los compuestos reforzados con estas fibras, dicho tratamiento mejora la adherencia entre la fibra/matriz, y disminuyó la hidrofiliidad para una mejor adherencia y conformado a la matriz polimérica con las fibras.
- 5.3.** Con la construcción de las gráficas presentes en el Anexo 3, se pudo evaluar el efecto del proceso de reemplazo por fibras de plátano en compuestos de resina poliéster con fibra de vidrio, sobre la resistencia al impacto de los paneles para carrocerías de buses, dicha resistencia máxima es de 45.21 kJ/ m^2 el cual corresponde al compuesto reforzado con el 40% en peso, de fibra de pseudotallo de plátano como reemplazo a la fibra de vidrio, dicho porcentaje incremento la resistencia en un 536% más con respecto a la resina poliéster sin refuerzo y un 17.30% con respecto al valor promedio de resistencia al impacto, de los compuestos reforzados con un porcentaje en peso menor al 40% (0 – 30% en peso). Concluyendo así que es factible el reemplazado de la fibra de vidrio por fibra de pseudotallo de plátano.

VI. RECOMENDACIONES

Para posteriores investigaciones se recomienda lo siguiente:

- 6.1.** Evaluar como variables de estudio los porcentajes de NaOH en el proceso de mercerización de las fibras de pseudotallo de plátano, y ver qué efectos tiene sobre la resistencia al impacto o tracción de los compuestos reforzados con esta fibra, manteniendo el porcentaje en peso máximo, es decir del 40%w.

- 6.2.** Así mismo se recomienda hacer una comparación de los compuestos con tratamiento superficiales de mercerizado y trivimetoxisilano o también anhídrido maleico, y ver los efectos sobre la resistencia a tracción e impacto de un compuesto reforzados con estas fibras tratadas.

- 6.3.** De la misma manera se recomienda realizar estudios teniendo como variable el porcentaje de reemplazo de la fibra de pseudotallo de plátano en fibra de vidrio de dos presentaciones es decir, en el orden de las fibras alineadas unidireccionalmente y bidireccional, evaluando así su resistencia a la tracción e impacto.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Trabajos citados

AGROFORUM. 2014. Producción en la Región Cajamarca en el Periodo 2002 - 2013. [Online] 2014. [Cited: septiembre 05, 2016.] <http://agroaldia.minag.gob.pe/sisin/clients/siembrasterritorio/Cajamarca>.

ARAÚJO , JR, Waldman , WR and De Paoli , MA. 2008. Thermal properties of high density polyethylene composites with natural fibres: coupling agent effect. 93, s.l. : El Sevier, 2008, Polym Degrad Stabil, Vol. 5, pp. 1770–1775.

ASBHY, Michael. 2005. Engineering Materials 1. An Introduction to their Properties and Applications”. Inglaterra. : Pergamon Press - Oxford,, 2005.

ASKELAND, Donald. 1998. Ciencia e Ingeniería de los Materiales. México. 3ra. Ed., Edit. International Thompson,, 1998.

BHOOPATHI, Raych. 2014. Fabricación y evaluación de propiedades de un material compuesto reforzado con fibras de plátano, cáñamo y de vidrio”. Chennai, Tamilnadu, India. : SiendoDirect/ Department of Mechanical Engineering, Sai Ram Engineering College,, 2014.

BOTSTEIN, Ohing; Gutmanas, Ernesst. 2009. “Horizons of Powder Metallurgy”. [Online] 2009. [Cited: septiembre 18, 2016.] <http://revistademetalurgia.revistas.csic.es/index.php/revistademetalurgia/articloe/download/570/580>.

CAMPOS Alfaro, Malena and Haucacolqui Cerdan, Yerson. 2017. Influencia de los tipos de tratamientos superficiales y el porcentaje en peso de fibra Sansevieria trifasciata sobre la resistencia al impacto y degradación térmica de un compuesto de matriz poliéster. Trujillo : Universidad Nacional de Trujillo - Escuela de Ingeniería de Materiales, 2017.

- CANCHE, Giovanni. 2005. Obtención de Celulosa a Partir de los Desechos Agrícolas del Banano”,. [Online] 2005. [Cited: septiembre 29, 2016.] http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S071807642005000100012.
- CATEDRA. 2013. Materiales Compuesto. [Online] 2013. [Cited: septiembre 12, 2016.] http://www.fing.uncu.edu.ar/catedras/CienciaMateriales/archivos/Unidad10_Materiales-Compuestos.pdf.
- FLORES, Mario. 2014. Efecto del tratamiento químico en las propiedades físicas y químicas de las fibras de Musa Paradisiaca como refuerzo en composite. Guayaquil. Ecuador. [Online] 2014. [Cited: septiembre 10, 2016.] http://www.cib.espol.edu.ec/Digipath/D_Tesis_PDF/D-90988.pdf.
- GERBAUDO, Carlos, Roca, Maria and Hunicken, Diego. 2012. Materiales Compuestos. [Online] 2012. [Cited: septiembre 15, 2016.] <http://www.uprm.edu/civil/circ/newsite/webresearchers/LuisGodoy/courses/IN CI6017/10%20Materiales/Compuestos%20Laminados pdf>.
- GROOVER, Mikel. 1997. Fundamentos de Manufactura Moderna, Materiales, Procesos y Sistemas. México. : Edit. Prentice-Hall Hispanoamérica S.A., 1997.
- GRUENWALD, G. 2009. Plastics. How Structure Determines Properties. [Online] 2009. [Cited: septiembre 21, 2016.] http://www.tdr.cesca.es/TESIS_UdG/AVAILABLE/TDX-0703106160142//tmev.pdf.
- IDICULA, Maries, et al. 2005. A study of the mechanical properties of randomly oriented short banana. 96, 2005, Journal of Applied Polymer Science, Vol. 5, pp. 1699-.

- JOSHI , SV, et al. 2004. Are natural Fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites?. 35, 2004, Compos Part A, Vol. I, pp. 371–376.
- JACOB , Michael; Sinai, Joseph; Pothan, Lauther. 2008. A Study of Advances in Characterization of Interfaces and Fiber Surfaces in Lignocellulosic Fiber-Reinforced Composites. [Online] 2008. [Cited: septiembre 23, 2016.] http://www.tdr.cesca.es/TESIS_UdG/AVAILABLE/TDX-0703106160142//tmev.pdf.
- KACZMAR, Junior and Kainer, Kihurt. 2009. Powder Metall. [Online] 2009. [Cited: septiembre 16, 2016.] <http://revistademetalurgia.revistas.csic.es/index.php/revistademetalurgia/articloe/download/570/580>.
- KENDAL, K. N. and Owen, M. J. 2002. “Characterization of the resin transfer moulding process “. s.l. : Composites Manufacturing No.4, 2002, 2002.
- KESSLER, R, et al. 2006. Perspective of Fibers in high Level Applications for the New Century. [Online] 2006. [Cited: Agosto 21, 2016.] www.rte.espol.edu.ec/archivos/Revista_2006/127Final.pdf.
- KOHLER, Korthy and Kessler, Ristory. 2006. Natural Fibers Special Jubilee Edition. [Online] Perspectives of Fibers In High Level Applications For The New Century”., 2006. [Cited: septiembre 22, 2016.] www.rte.espol.edu.ec/archivos/Revista_2006/127Final.pdf.
- KLASON, C. and Kubat, J. 1986. Cellulose in Polymer Composites, Composites Systems from Natural and Synthetic Polymers. Amsterdam : s.n., 1986, Elsevier Science.
- LAMAR, Kharol. 2010. Green Composites, Materiales, Procesos y Sistemas. . México : Edit. Prentice-Hall Hispanoamérica S.A., 2010.
- LINDROOS, Vilan. Talvitie, Marth y Mater, Jonht. 2005. “Proc. Technol.”. [Online] 2005. [Cited: septiembre 13, 2016.]

<http://revistademetalurgia.revistas.csic.es/index.php/revistademetalurgia/articloe/download/570/580>.

MC CULLOUGH, Camber. 2009. J. Mater. [Online] 2009. [Cited: septiembre 16, 2016.]

<http://revistademetalurgia.revistas.csic.es/index.php/revistademetalurgia/articloe/download/570/580>.

MENESES, Miguel, Leon, Libardo and Mejia, Luis. 2015. Aprovechamiento industrial de residuos de cosecha y pos cosecha del plátano. [Online] 2015. [Cited: setiembre 14, 2016.] www.acofi.edu.com.

MIRAVETTE, A. 2008. Tecnologías de Producción". Centro tecnológico de materiales INASMET, San Sebastián, España. [Online] 2008. [Cited: septiembre 17, 2016.] <http://eprints.ucm.es/8834/1/T30874.pdf>.

MIT OpenCourseWare. 2012. Selected One of Best Free Reference Web Sites for 2012 by American Library Association. [Online] 2012. [Cited: septiembre 10, 2016.] <https://ocw.mit.edu/about/media-coverage/press-releases/ala-best-reference-sites-2012/>.

MORALES Ruiz, Alexander. 2015. Influencia de la modificación química de superficie y porcentaje en peso de fibra de coco, sobre la resistencia a la tracción, de un compuesto de matriz poliéster. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo : s.n., 2015.

NEIRA, R. and Quiroz, E. 2016. Influencia de la concentración de NaOH en el tratamiento superficial de la fibra de pseudotallo de plano, sobre la resistencia a tracción en un compuesto de matriz de poliéster insaturada. [book auth.] Neira Casana Ricardo. Trujillo : Universidad Nacional de Trujillo, 2016.

PURSLOW, D. 1988. Matrix fractography of fibereinforced thermoplastics, Part 2. Shear failures. 2, Marzo 1988, Composites, Vol. 19, pp. 115-126.

- PALOVA, Balzer, et al. 2007. Estudio das Propriedades Mecânicas de um Composto de PVC Modificado com Fibras de Bananeira. 1, 2007, Polimeros: Ciencia e Tecnologia, Vol. 17, pp. 1-4.
- ROJAS, Mario. 2013. Manejo integrado del cultivo de plátano". Lima. Perú. : Curso Taller. Universidad Nacional Agraria La Molina., 2013.
- SIMBAÑA, Antonio. 2006. Fibras Naturales. Alternativa para el Desarrollo Nacional. [Online] 2006. [Cited: septiembre 23, 2016.] www.rte.espol.edu.ec/archivos/Revista_2006/127Final.pdf.
- SUARDANA , NP, Ku, MS and Lim, JK. 2011. Effects of diammonium phosphate on the flammability and mechanical properties of bio-composites. 32, 2011, Mater Des, pp. 1990–1999.
- SREENIVASAN, V., et al. 2012. Influence of fibre treatments on mechanical properties of short Sansevieria. India : s.n., Enero 2012, Elsevier , Vol. 37, pp. 111 - 121.
- SKOOG, Douglas A., Holler, F. James and Nieman, Timothy A. 2001. Principios de Análisis Instrumental. Quinta. Madrid : Mc Graw-Hill, 2001. p. 868.
- SMITH, William. 2010.. Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de los Materiales". New York; E.UA. : 3ra. Ed., Edit. Mc Graw Hill -, 2010.
- SHANMUGAM, D. and Thiruchitrambalam, M. 2013. Static and dynamic mechanical properties of alkali treated unidirectional continuous Palmyra Palm Leaf Stalk Fiber/jute fiber reinforced hybrid polyester composites. 50, Canada : El Sevier, 2013, Elsevier, pp. 533-542.
- STEVENS, Martin. 2009. Polymer chemistr 2ª Edición. [Online] 2009. [Cited: septiembre 19, 2016.] <http://www.aiu.edu/applications/DocumentLibraryManager/upload/Hernan%20Fernando%20%20%20Rosso.pdf>.

- SUGANUMA, Karth. 2008. Proc. of the World Congress on Powder Metallurgy, Kyoto, Japón. [Online] 2008. [Cited: septiembre 21, 2016.] <http://revistademetalurgia.revistas.csic.es/index.php/revistademetalurgia/articloe/download/570/580>.
- TINO, R. Ruben. 2010. Materiales Compuestos de Matriz Polimérica. [Online] 2010. [Cited: septiembre 13, 2016.] <http://www.citop.es/PubPDF>.
- TORRES, Katherine. 2013. Experimentación tecnológica de la fibra de banano aplicada en el diseño de objetos. [Online] 2013. [Cited: septiembre 21, 2016.] <https://www.google.com.pe/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=10&ved=0CFIQFjAJahUKEwjvK7q5r3IAhWJqx4KHc1UBUE&url=http%3A%2F%2Fdspace.uazuay.edu.ec%2Fbitstream%2Fdatos%2F2641%2F1%2F09829.pdf&usg=AFQjCNGNFqncWNDPkyXVi4-dBHeVIMp0vA&cad=rja>.
- UNE EN ISO 179 - 1. 2014. Determinación las propiedades de impacto Charpy. Parte I. ensayo de impacto no instrumentado. Determinación las propiedades de impacto Charpy. Parte I. ensayo de impacto no instrumentado. Madrid : AENOR, 2014.
- VELASCO, Federico. 1994. Efecto del porcentaje de dosificación de partículas de carburo de silicio, en la caracterización mecánica del aluminio AA1045". Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid. [Online] 1994. [Cited: septiembre 14, 2016.] <http://revistademetalurgia.revistas.csic.es/index.php/revistademetalurgia/articloe/download/570/580>.
- VERA, Fernando. 2014. Modificación superficial de micro fibras de celulosa obtenidas a partir de bagazo de caña de azúcar usando silanización. s.l. : SendoDirect/ Department of Mechanical Engineering. Argentina, 2014.
- WEGENER, Michaeli and Capella, Feder. 2006. Tecnología de los Composites/Plásticos Reforzados. España : Ed. Hanser, 2006.

YANG , HS, et al. 2004. Rice-husk flour filled polypropylene composites; mechanical and morphological study. 63, 2004, Compos Struct , pp. 305–312.

ZHU, Chany. 2003. Utilisation of Banana Fibre in Composite Materials. Dissertation (Master Thesis). Victoria University of technology, Melbourne. [Online] 2003. [Cited: Octubre 01, 2016.] <http://www.reciclagem.pcc.usp.br/ftp/Dissertacao%20Aluizio.pdf>.

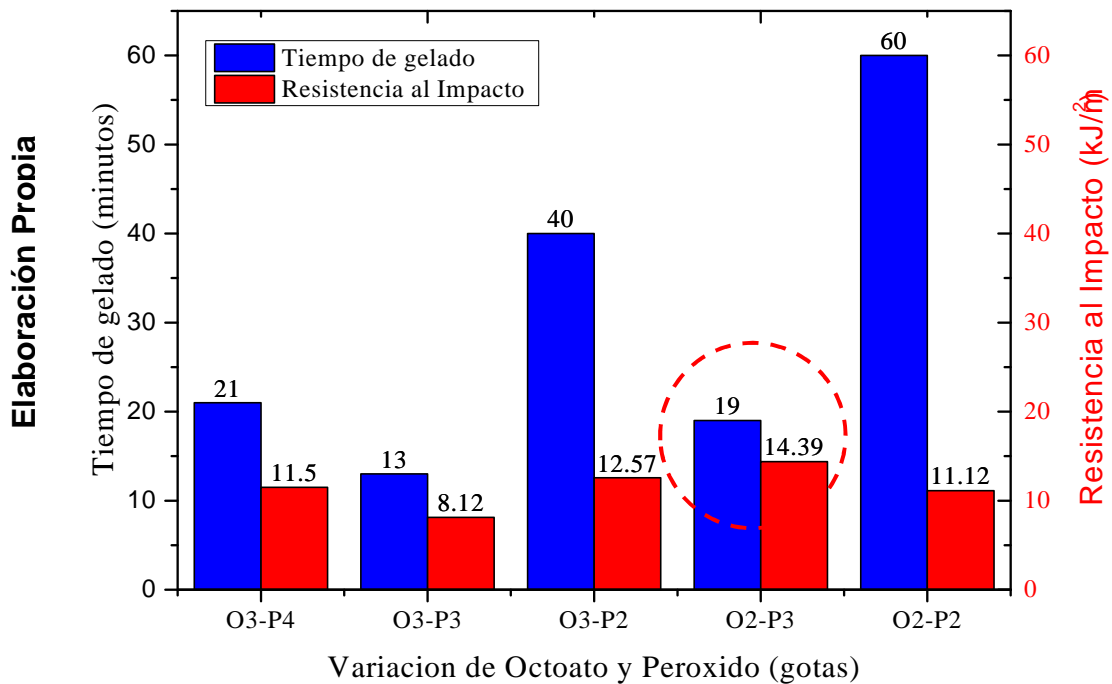
VIII. ANEXOS

Anexo 1

Objetivo 1.

Evaluar la resistencia al impacto de la resina poliéster preparado a diferentes cantidades de disolvente, catalizador y acelerante, la de mayor resistencia será usada en el conformado de los paneles de material compuesto.

Figura N° 8. 1



Resistencia al impacto y tiempo de gelacion de las diferentes recetas de la preparación de la resina poliéster.

De la figura N° 8.1, se eligió la resina preparada con 2 gotas de Octoato de cobalto y 3 gotas de peróxido en base a 20 gramos de resina poliéster y al 5% de mono estireno, considerando que el tiempo es el prudencial y adecuado para nuestro proceso de moldeo por compresión, ahora por la parte de resistencia mecánica como es la de resistencia al impacto obviamente se elige esta receta, porque posee una mayor resistencia al impacto con respecto a las demás recetas, la causa posible de que esta receta haya alcanzado la mayor resistencia sería que la reacción es ideal, es decir con una velocidad de reordenamiento y agrupación de las moléculas de monómero para formar

las largas cadenas poliméricas de la resina poliéster endurecida y a causa de este fenómeno la resina endurece, muestra evidente de este fenómeno es la reacción exotérmica que fue presente en la resina, pero no mayor a las demás, como es en el caso de las recetas que poseen tiempos de gelado bajo, las cuales por su rápida y violenta reacción fragilizaron a la resina poliéster obteniéndose resistencias bajas, tal es el caso de la receta con tiempo de gelado 13 min y 8.12 kJ/m² de resistencia al impacto. Las muestras con tiempos mayores a 19 minutos obtuvieron menor resistencia debido a la posible falta de reordenamiento de las moléculas de monómero que componen las cadenas poliméricas, según Araujo et,al, en su artículo *“Thermal properties of high density polyethylene composites with natural fibres: coupling agent effect”*, menciona que las reacciones de polimerización con altas temperaturas fragilizan al polímero generando micro grietas disminuyendo así su resistencia mecánica, y si el tiempo de polimerización es largo, se forman cadenas poliméricas inestables y pequeñas, de la misma manera se disminuye las propiedades de la resina poliéster (Thermal properties of high density polyethylene composites with natural fibres: coupling agent effect, 2008 págs. 1,6)

Anexo 2

Objetivo 2.

Establecer la marcha experimental para el proceso de mercerización de las fibras de plátano a utilizar, otorgando así una mejor adherencia entre la fibra/matriz, mejorando así la resistencia al impacto del compuesto.

Procedimiento Experimental

Figura N° 8. 2

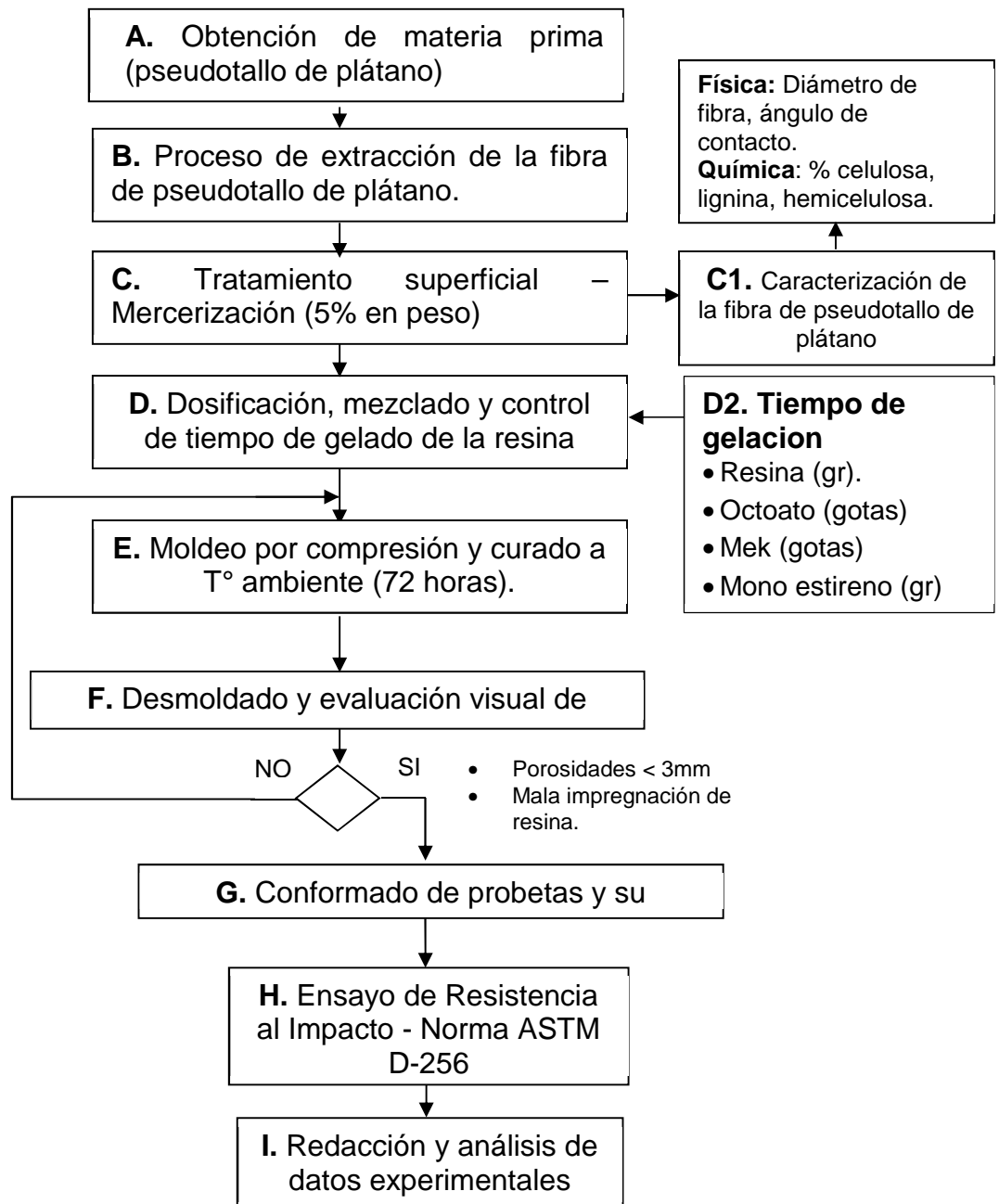


Diagrama del procedimiento experimental.

A. Obtención de materia prima

Extracción del pseudotallo plátano. En las plantaciones de plátano, las plantas, después de haber cumplido su periodo o ciclo de vida o sufren ataques de plagas o enfermedades, se caen por si solas, o son simplemente taladas, dicha planta es de la cual se hará uso de sus cortezas, las cuales componen al pseudotallo.

B. Proceso de extracción de la fibra de pseudotallo de plátano.

En el proceso de extracción, se cortaron las capas del pseudotallo con una longitud de 30 cm aproximadamente, luego se sumergieron las capas en depósitos llenos con agua potable, por un lapso de tiempo de 15 días, en este periodo de tiempo se le cambia de agua a los depósitos cada 2 días y se estruja las capas, que mediante el proceso de putrefacción de la corteza del pseudotallo, esta se suaviza y se hizo más fácil la extracción de la fibra. Para la extracción se hizo mediante el método manual, con la ayuda de una espátula metálica se rallo la superficie del pseudotallo hasta obtener las fibras. Luego se las dejo en alcohol por 1 día y se puso a secar bajo sombra. A continuación se detalla el proceso resumido y completo de la extracción de la fibra de pseudotallo de plátano.

C. Limpieza superficial.

B.1. Lavado a y limpieza de la fibra de pseudotallo.

El proceso inicia con un pre lavado y limpieza de las fibras, exponiéndolas a 80 °C como máximo, por 30 minuto en la primera etapa de limpieza, en la segunda etapa se prepara una solución de agua destilada con alcohol en proporciones de 50% v/v (1 litro de alcohol en 1 litro de agua), se coloca las fibras de pseudotallo de plátano dentro de esta solución a 60°C por un tiempo de 30 minutos, luego de este tiempo se retiran las fibras de la solución y se deja enfriar.

D. Dosificación, mezclado y control de tiempo de gelado de resina.

Antes del moldeo de las placas de material compuesto reforzado con la fibra de pseudotallo de plátano, se procedió a hacer un control del tiempo de gelado de la resina, el cual nos indicara el tiempo de trabajo disponible para el moldeo.

E. Moldeo por compresión y curado a T° ambiente (72 hrs).

Para el conformado de las placas de material compuesto, se utilizaron % en peso de las fibras de plátano en reemplazo de fibras de vidrio como se plantea en la sección 2, estas se conformaron mediante el proceso de moldeo por compresión, en una prensa hidráulica de 8 toneladas de capacidad, todas las placas se moldearon a una presión de 2500 PSI. Así mismo se hizo uso de un molde metálico con dimensiones de 20 x 20 x 1.0 cm.

F. Desmolde y evaluación visual de placas.

Una vez pasado el tiempo de conformado a compresión de las placas de material compuesto y tiempo de curado, se procedió al desmolde de estas, y posteriormente a la inspección visual de las superficies de la placa con la finalidad de descartar defectos del proceso de conformado, si los defectos como porosidades (> 3mm) son en gran parte de la placa de material compuesto, así mismo grandes espacios sin refuerzo, esta se descartara y se conformara de nuevo otra.

G. Conformado de probetas

De las placas antes moldeadas por compresión, se marcaron y se acondicionaron para que sea más fácil el corte en la maquina CNC mini fresadora, las probetas fueron diseñadas en el software de SolidWorks, cortadas en la maquina CNC controlada con el software ArtCam.

PROCESO DE OBTENCION DE MATERIA PRIMA



Obtención de pseudotallo de plátano



Extracción de las capas de pseudotallo de plátano



Capas de pseudotallo extraídas

PROCESO DE EXTRACCION DE FIBRAS VEGETALES



**Remojo de tallos
por 7 días**

Extracción de fibras



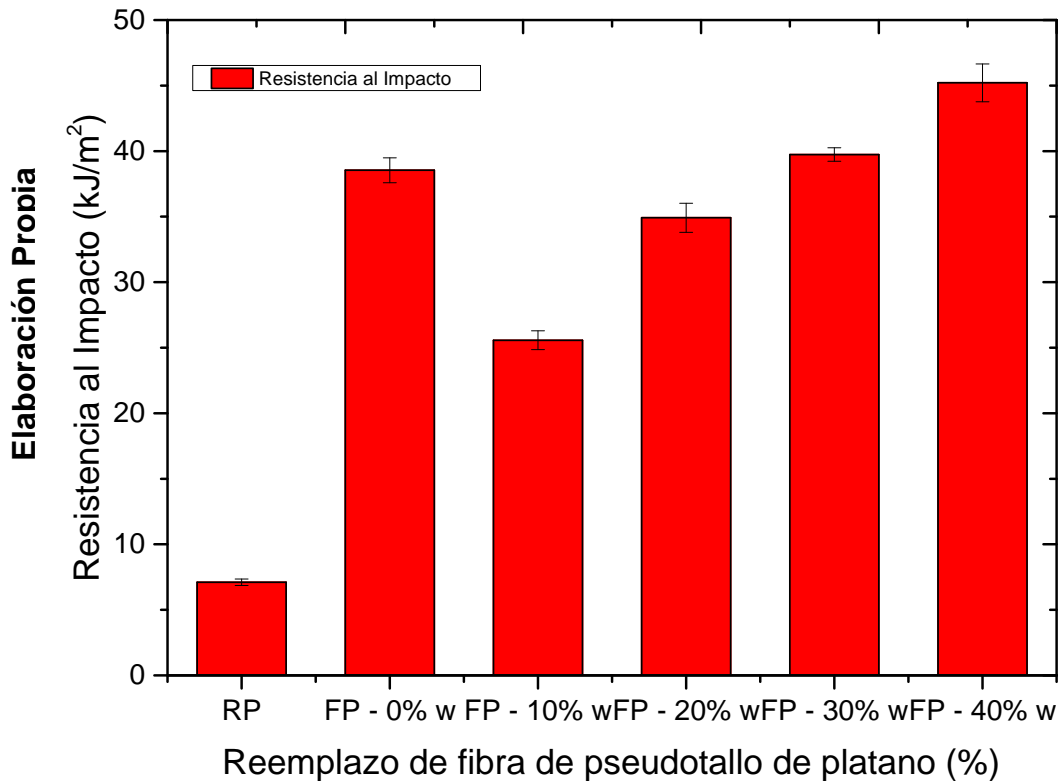
Fibras extraídas

Anexo 3

Objetivo 3.

Construir graficas mediante software especializado de los diferentes porcentajes de reemplazo de fibra de vidrio por fibras de plátano versus resistencia al impacto.

Figura N° 8.3



Resistencia al impacto promedio de los diferentes compuestos de matriz poliéster y fibras de vidrio y plátano a diferentes porcentajes en peso de reemplazo, obtenidos mediante moldeo por compresión.

El efecto del porcentaje de reemplazo de fibras de plátano por fibras de vidrio, sobre la resistencia promedio al impacto de compuestos de matriz poliéster se muestra en la Figura N° 8.3. En esta figura se observa que el valor promedio de las probetas de resina poliéster sin refuerzo curadas presenta un mínimo valor promedio de resistencia al impacto de 7.10 kJ/m², mientras que para todos los demás casos, independientemente de la modificación realizada, superan este valor promedio.

En lo que respecta a las muestras del compuesto de matriz poliéster reforzadas con fibra de pseudotallo de plátano, como fibra de reemplazo, se observa que a medida que aumenta el porcentaje en peso de fibra, aumenta la resistencia promedio al impacto; también se aprecia que el valor promedio más alto de resistencia al impacto (45.21 kJ/m²) se logra a un porcentaje en peso del 35 % de fibras de pseudotallo de plátano; este máximo valor promedio de resistencia al impacto aumenta en un 536 % respecto al valor promedio de resistencia al impacto de la muestra de resina poliéster sin refuerzo. Asimismo este valor promedio más alto de resistencia al impacto aumenta en un 17.30 % respecto a la resistencia al impacto promedio de la muestra de matriz poliéster y fibra de vidrio al 40% en peso. Debemos mencionar que todas las fibras vegetales utilizadas no fueron sometidas a ningún tipo de tratamiento químico superficial. Por último se observa que después del máximo valor de resistencia al impacto promedio obtenido por las fibras sin ningún tipo de modificación química con un porcentaje en peso del 40 % le sigue un segundo valor promedio máximo de resistencia al impacto (38.54 kJ/m²) logrado por la muestra de matriz poliéster y fibra de vidrio tipo corta al azar, luego el incremento gradual de fibras vegetales ha generado un incremento en la resistencia al impacto evaluados, llegando a superar el valor de referencia de fibra de vidrio de forma gradual, evidenciando el marcado efecto del porcentaje de reemplazo de las fibras de plátano.

Para el caso de la resina poliéster sin refuerzo presenta el valor promedio de resistencia al impacto (7.10 kJ/m²) mínimo en comparación a los demás compuestos reforzados con fibras de vidrio y vegetales, según la investigación "*Rice-husk flour filled polypropylene composites; mechanical and morphological study*" llevada a cabo por (Yang, Kim, Park & Hwang, 2004), mencionan que esto es debido a que la resistencia al impacto de materiales compuestos se rige por la capacidad que tiene el refuerzo para absorber la energía de impacto, ya sea por el efecto de propiedades mecánicas de las fibras; así como la disipación de energía a través de la interface. (Matrix fractography of fibre-reinforced epoxy composites, 1986), en la investigación "*Matrix fractography of fibre – reinforced epoxy composites*" señala que la matriz poliéster es un material frágil en donde las grietas se propagan de una manera rápida a lo largo del plano transversal

como consecuencia de su baja deformación plástica, presentando normalmente un tipo de fractura frágil. Los datos promedio de resistencia al impacto de la resina utilizada en la matriz supera a los obtenidos por (Influence of fibre treatments on mechanical properties of short Sansevieria, 2012), quienes en su investigación titulada: "Influence of fibre treatments on mechanical properties of short Sansevieria Cilíndrica/polyester composites" obtuvieron un valor promedio de resistencia al impacto de muestras de resina poliéster pura de 0.4 kJ/m^2 y a (Estudo das Propriedades Mecânicas de um Composto de PVC Modificado com Fibras de Bananeira, 2007), los cuales en su investigación titulada "Estudo das Propriedades Mecânicas de um Composto de PVC Modificado com Fibras de Bananeira" reportaron un valor de 1.7 kJ/m^2 para su matriz polimérica de PVC puro. Por otro lado (A study of the mechanical properties of randomly oriented short banana, 2005) en su investigación "A study of the mechanical properties of randomly oriented short banana and sisal hybrid fiber reinforced polyester composites" reportaron un valor promedio de resistencia al impacto de 9.0 kJ/m^2 para la muestra de resina poliéster sin refuerzo.

También podemos observar que para todos los casos, la resistencia al impacto promedio aumenta conforme aumenta el porcentaje en peso de fibra vegetal, esto se debería posiblemente a que al tener mayor porcentaje de refuerzo va a absorber mayor energía de impacto durante el golpe que ocurre a alta velocidad, entonces la transferencia de cargas harán posible la detención de la propagación de grietas en el compuesto, tal y como lo señalaron (Yang, Kim, Park & Hwang, 2004) en su investigación " (Rice-husk flour filled polypropylene composites; mechanical and morphological study, 2004)".

Los resultados determinados en la presente investigación, superan a los obtenidos por (Influence of fibre treatments on mechanical properties of short Sansevieria, 2012) quienes en su investigación "Influence of fibre treatments on mechanical properties of short Sansevieria"; quienes estudiaron el comportamiento de resistencia al impacto de compuestos de poliéster reforzados con fibra de Sansevieria Cilíndrica sin tratar y tratadas con: álcali, peróxido de benzoilo, permanganato de potasio y ácido esteárico, ellos utilizaron fibra corta (longitud de 30 mm) y el proceso de moldeo por compresión (presión de 40 Ton)

reportando un valor máximo de resistencia al impacto de 23.41 kJ/m² para el compuesto de poliéster reforzado con fibra sin tratar al 40 % en peso de fibra.

Finalmente nuestros resultados no difieren mucho a los de (Static and dynamic mechanical properties of alkali treated unidirectional continuous Palmyra Palm Leaf Stalk Fiber/jute fiber reinforced hybrid polyester composites, 2013), quienes en su estudio “Static and dynamic mechanical properties of alkali treated unidirectional continuous Palmyra Palm Leaf Stalk Fiber/jute fiber reinforced hybrid polyester composites” , evaluaron la resistencia al impacto con un tratamiento de álcali al 5 % de NaOH en fibras continuas unidireccionales de hojas de palmera usando fibra de yute como refuerzo en la matriz de poliéster insaturado, emplearon el proceso de molde por compresión (presión de 2 Ton y 30 % en peso de fibra). Ellos concluyeron que la resistencia al impacto de los compuestos híbridos tendió a ser menor en comparación con los compuestos de poliéster insaturado con fibras de hojas de palmera tratadas con álcali que obtuvieron la máxima resistencia al impacto (36.38 kJ/m²).

Anexo 4

Objetivo 4.

Calcular estadísticamente la importancia significativa del reemplazo de fibra de plátano por fibra de vidrio en un compuesto de matriz poliéster, sobre la resistencia su resistencia al impacto, mediante un análisis de varianza (ANAVA).

Figura N° 8. 4

| 1 | A | B | C | D | E | F | G |
|----|---------------------|---|----------|---------|---------|-----------|---|
| 2 | Velocidad de avance | Resistencia al impacto (kJ/m ²) | | | Totales | Promedios | |
| 3 | RP | R1 | R2 | R3 | | | |
| 4 | FV - 40%W | 14.38 | 14.41 | 14.35 | 43.17 | 14.39 | |
| 5 | FV - 30% W | 38.59 | 38.6 | 38.41 | 115.63 | 38.54 | |
| 6 | FV - 20% W | 25.52 | 25.7 | 25.48 | 76.70 | 25.57 | |
| 7 | FV - 10% W | 34.59 | 34.632 | 34.52 | 103.74 | 34.58 | |
| 8 | FV - 00% W | 39.71 | 39.82 | 39.68 | 119.21 | 39.74 | |
| 9 | | 45.14 | 45.2 | 45.3 | 135.64 | 45.21 | |
| 10 | | | | | 594.09 | | |
| 11 | | | | | | | |
| 12 | | | | | | | |
| 13 | SS _t | 21496.24 | 19608.07 | 1888.16 | | | |
| 14 | S _{stra} | 21496.16 | 19608.07 | 1888.08 | | | |
| 15 | See | | | 0.08 | | | |
| 16 | | | | | | | |

Calculo estadístico de los resultados de resistencia al impacto.

Figura N° 8. 5

| 19 | A | B | C | D | E | F |
|----|-----------------------|-------------------|--------------------|----------------|----------------|--------------------|
| 20 | Fuente de Varfacion | Suma de cuadrados | Grados de Libertad | Cuadrado medio | F _o | F _{tabla} |
| 21 | T ² Temple | 1888.08 | 4 | 472.02 | 78600.34 | 3.86 |
| 22 | Error | 0.08 | 13 | 0.01 | | |
| 23 | Total | 1888.16 | 17 | | | |
| 24 | | | | | | |
| 25 | a | | 5 | a-1 | 4 | |
| 26 | N | | 18 | N a | 13 | |
| 27 | N | | 18 | N 1 | 17 | |
| 28 | | | | | | |
| 29 | Para n= 2 | 1.97 | | | | |
| 30 | Para n= 3 | 2.96 | | | | |
| 31 | | | | | | |
| 32 | n | O2 | O | a(n-1) | B | potencia(1-B) |
| 33 | 2 | 1.97 | 1.40 | 5 | 0.75 | 0.75 |
| 34 | 3 | 2.96 | 1.72 | 36 | 0.03 | 0.97 |

Calculo estadístico de los resultados de resistencia al impacto.

Anexo 5

FORMATO DE REGISTRO DE OBSERVACIONES EMPLEADO

ENSAYO DE IMPACTO

| OBSERVADOR: | | | | |
|---|------------------|------------|--------------|---|
| MUESTRA: Compuestos reforzados con fibra de seudotallo de plátano | | | | |
| TIPO DE ENSAYOS: RESISTENCIA AL IMPACTO | | | | |
| INSTRUMENTOS A UTILIZAR EN EL REGISTRO DE OBSERVACION: | | | | |
| <ul style="list-style-type: none">• VERNIER DIGITAL.• MÁQUINA DE ENSAYO CHARPY (MÁQUINA DE ENSAYO DE IMPACTO). | | | | |
| Fecha | Código de ensayo | Ancho (mm) | Espesor (mm) | Resistencia al impacto (kJ/m ²) |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

ENSAYO DE IMPACTO REGISTRO DE OBSERVACIONES

| OBSERVADOR: GIAN FRANCO SILVESTER ROJAS BRIONES | | | | |
|--|------------------|------------|--------------|---|
| MUESTRA: Compuestos reforzados con fibra de seudotallo de plátano | | | | |
| TIPO DE ENSAYOS: RESISTENCIA AL IMPACTO | | | | |
| INSTRUMENTOS A UTILIZAR EN EL REGISTRO DE OBSERVACION: <ul style="list-style-type: none">• VERNIER DIGITAL.• MÁQUINA DE ENSAYO CHARPY (MÁQUINA DE ENSAYO DE IMPACTO). | | | | |
| Fecha | Código de ensayo | Ancho (mm) | Espesor (mm) | Resistencia al impacto (kJ/m ²) |
| 04/04/2017 | I1 | 11.06 | 7.48 | 14.38 |
| 05/04/2017 | I2 | 10.98 | 7.36 | 14.44 |
| 06/04/2017 | I3 | 11.28 | 8.39 | 14.35 |
| 07/04/2017 | I4 | 10.96 | 7.9 | 38.59 |
| 08/04/2017 | I5 | 10.11 | 7.79 | 38.6 |
| 09/04/2017 | I6 | 11.12 | 7.76 | 38.44 |
| 10/04/2017 | I7 | 10.32 | 8.18 | 25.52 |
| 11/04/2017 | I8 | 11.02 | 7.79 | 25.7 |
| 12/04/2017 | I9 | 10.34 | 8.11 | 25.48 |
| 13/04/2017 | I10 | 11.12 | 7.55 | 34.59 |
| 14/04/2017 | I11 | 10.87 | 7.34 | 34.632 |
| 15/04/2017 | I12 | 10.89 | 7.56 | 34.52 |
| 16/04/2017 | I13 | 11.06 | 7.56 | 39.71 |
| 17/04/2017 | I14 | 10.98 | 8.53 | 39.82 |
| 18/04/2017 | I15 | 11.28 | 7.92 | 39.68 |
| 19/04/2017 | I16 | 10.96 | 7.67 | 45.14 |
| 20/04/2017 | I17 | 10.11 | 7.44 | 45.2 |
| 21/04/2017 | I18 | 10.89 | 7.76 | 45.3 |

