



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

“Análisis del tratamiento de acetilación en las propiedades mecánicas de un compuesto de matriz polimérica a base de fibra natural.”

PRESENTA:

JULIO DAMIAN RIVERA CRUZ

PARA OBTENER EL GRADO DE: LICENCIATURA

DIRECTOR:

DR. LIDIA ESTHER VARGAS OSUNA

MEXICALI BAJA CALIFORNIA A 12 DE MARZO DEL 2019

ÍNDICE

1. Objetivo	3
1.1. Objetivos específicos	3
2. Hipótesis	3
3. Antecedentes	3
4. Justificación	20
5. Marco Teórico	21
5.1 Historia	21
5. 2 Definición.	22
5.3 Matrices	23
5.4 Refuerzo.....	25
5.5 Clasificación.	28
5.6. Propiedades.	30
5.7. Representación gráfica	31
5.8. Método de fabricación.	33
5.8.1 Wet lay up.	38
5.9. Aplicaciones y limitaciones de los materiales compuestos.	39
5.10. Selección de fibra.	39
5.11. Selección de tratamiento.....	40
5.12 Descripción de prueba mecánica.	40
6. Metodología.	41
7. Experimentación.	43
7.1. Obtención de fibras.	43
7.2. Tratamiento químico acetil.....	45
7.3 Proceso de secado.....	45
7.4 Laminados.....	46
7.5. Desmolde.....	47
7.6. Proceso de corte.	47
7.7 Pruebas	50
8. Resultados	51
9. Discusión.....	63
10. Conclusión.	64
11. Bibliografía.....	64

1. Objetivo

Evaluar el efecto del tratamiento de acetilación en un compuesto de matriz polimérica a base de fibras naturales.

1.1. Objetivos específicos

1.1.1. Estudio de los porcentajes de mezcla del tratamiento de acetilación para encontrar el porcentaje de mezcla óptimo.

1.1.2. Evaluación del proceso de fabricación del material compuesto a base de fibra natural.

1.1.3. Evaluación de propiedades mecánicas del material compuesto con fibras naturales tratadas bajo el método de acetilación.

2. Hipótesis

Con el tratamiento de acetilación en las fibras naturales es posible se mejorar la unión entre la matriz-refuerzo y por consecuencia así sus propiedades mecánicas.

3. Antecedentes

El estudio de los materiales compuestos se ha convertido en un campo muy amplio de estudio, se han realizado diversas investigaciones con el fin de mejorar las propiedades de los materiales utilizados en aplicaciones específicas. En el Instituto Asiático de Tecnología (AIT), Bangkok, Tailandia, el uso de fibras naturales como refuerzo se ha estudiado desde mediados de la década de 1970 en la División de Ingeniería Estructural y de Construcción.

Las investigaciones y los avances científicos permiten entender el comportamiento de los materiales y a su vez ofrecen la posibilidad de adaptar características específicas para obtener productos nuevos o materiales con mayor rendimiento.

En 1990 se realizó un estudio sobre cemento reforzado con fibras naturales [1], las fibras como refuerzo se utilizan debido a que ofrecen distintas ventajas, la implementación de estas fibras unidas con cemento ofrecieron una respuesta rápida a la satisfacción de una necesidad en el mercado debido a la fácil obtención de estas que son derivadas de plantas que se encuentran en zonas geográficas cercanas, esta es una de las principales razones por las que se desarrolla este tipo de compuesto.

La experimentación para el estudio de este material compuesto se dividió entre distintas fibras. Se utilizaron fibras de madera, bambú, pulpa de bambú, bagazo y palma, cada fibra requirió un trato especial para poder unir el cemento con las fibras mencionadas.

Se utilizaron fibras delgadas de madera de aproximadamente 4mm x 1mm x 400mm las cuales se humedecieron antes de mezclarse con cemento portland. Se utilizaron relaciones fibra –cemento de 0.2, 0.3 y 0.5 la fibra tenía densidades de 160 kg/m³, 128 kg/m³ y 96 kg/m³.

La cantidad de agua que se utilizó fue calculada por una relación de peso de 0.5 para agua-cemento, una parte adicional de agua fue absorbida por las fibras para poder saturar la mezcla de agua completamente, se utilizaron relaciones totales de agua-cemento de 0.73, 0.86 y 1.10 respectivamente.

Una vez vertida el agua se mezcló durante 5 min, la mezcla se vertió en la forma deseada y se aplicó una presión para obtener un espesor aproximado a 25mm. Distintos niveles de presión fueron aplicados para cada mezcla desde los 40KPa hasta los 200Kpa, esta presión se mantuvo por un período de 24hrs antes de que el espécimen fuese removido de la forma deseada, una vez que se removió el espécimen de la forma requerida se colocó en el laboratorio por 28 días.

Para la obtención de fibras de bambú se realizó un proceso de martillado con el fin de obtener tiras con la longitud específica. La pulpa de las fibras se obtuvo calentando las virutas de bambú en una solución de NaOH del 2% del peso de la mezcla a una temperatura de 170°C aproximadamente con vapores a presión de 0.83MPa durante 6hrs. Se agregó 2% de sulfuro del peso para incrementar la eficiencia de la pulpa (pH=14). Finalmente, la pulpa fue lavada con agua antes de ser usada.

Los refuerzos consisten de una mezcla de pulpa y fibra de bambú. El espécimen se mantuvo a una presión constante de 2.41MPa por 24 horas para tomar la forma requerida, después se desmoldo y se dejó curar durante 6 días en un cuarto de niebla (100%RH y 28°C).

Antes de mezclar el concreto con las fibras de bagazo se empaparon en agua hirviendo durante 30min para remover impurezas como el azúcar. Una vez que las fibras secan están lista para mezclarse con el cemento. Las fibras de bagazo son mezcladas manualmente con pasta de cemento.

La mezcla fue vertida en un molde al que se le aplicó la presión, todo de acuerdo a los requerimientos necesarios, estos requerimientos fueron adaptados para las características de la mezcla y fue de 1.72MPa.

El espécimen fue desmoldado después de 24hrs, después se colocó en un cuarto de niebla al 100% RH y 28°C para que se realizara el curado y se mantuvo ahí durante 28 días.

Las fibras de palma se utilizaron después de lavarse en agua y se secarse bajo el sol, las longitudes variaron entre 50mm y 120mm y los diámetros entre 0.2, y 0.6mm, el material cementoso consiste de 70% OPC y 30% RHA. La relación de agua-cemento por peso es de 0.5 una cantidad de agua fue agregada debido a la absorción de las fibras por lo que se utilizó una relación agua-cemento final de 0.8.

Las fibras de palma tuvieron una preparación de las fibras de palma con el cemento fueron mezcladas manualmente y un secado bajo el sol. Después de que las fibras estuvieran uniformemente recubiertas por el cemento, la mezcla fue colocada en la forma deseada y se le aplicó presión para obtener el espesor requerido con una presión que varió entre los 20KPa a los 100KPa para la relación de fibra-cemento se utilizó 0.25-0.325. Después de 24hrs el espécimen fue removido lo que permitió el secado con aire en un cuarto a temperatura ambiente. Los parámetros del estudio fueron la relación entre fibra-cemento por peso y la unión entre la placa del compuesto.

Los resultados de las pruebas mostraron que las propiedades mecánicas de los compuestos pueden ser razonables de acuerdo con la precisión de la relación que existe entre la mezcla, el cemento actúa como matriz y las fibras como refuerzos.

Los autores concluyeron que el uso de las fibras naturales como refuerzos, ya sean discretas o continuas, incrementa la resistencia de la matriz, y en particular provee una ductilidad contra las grietas. La presencia de burbujas de aire impacta de una manera considerable a la resistencia del compuesto.

Esto depende de la presión que se le aplica al espécimen en su molde, y para cada tipo de fibra y volumen de fibra, existe una presión de molde óptima que proporciona la mayor resistencia.

Las pruebas de fluencia encontraron que la deformación ocurre entre el 7mo y 10mo días de espera. Las pruebas de resistencia a la fluencia mostraron que la variación entre las muestras dependió de la cantidad de cemento y las burbujas de aire encapsuladas en el compuesto.

Las pruebas de expansión mostraron que la expansión de las fibras de compuesto varió según el porcentaje en volumen de la fibra. Se encontró que los especímenes madera probados fueron 100% mejores que los de asbesto mientras que las fibras de bonote (continuas) cumplieron la especificación ASTM.

Las pruebas de contracción mostraron que la contracción varía con respecto a la relación madera-cemento. El comportamiento muestra una expansión inicial que ocurre durante el proceso de hidratación y la contracción ocurre durante el proceso de secado. Las fibras de bonote (discreto) cumplieron la especificación ASTM de fluencia.

La absorción de agua en las fibras de compuesto vario con el contenido de fibra. Las pruebas mostraron que las fibras de madera, palma y bonote (continuo) tuvieron una absorción de agua entre el 20% y 40%; el bonote (discreto) y el bagazo tuvieron una menor absorción de agua y satisfacen la especificación ASTM.

La permeabilidad de los especímenes varía con respecto al contenido de fibra. Se encontró que la permeabilidad con respecto a la cantidad de fibra contenida en el espécimen. Se llevó a la conclusión de que las fibras de bambú, bonote (ambas continuas y discretas) y el bagazo (con poco contenido de fibra) se vuelven relativamente impermeables.

Los resultados de las pruebas de impacto mostraron que las fibras de madera, bambú y bonote (continuas) tuvieron una buena resistencia al impacto. El bonote (discreto) tuvo baja resistencia al impacto.

La comparación de las distintas propiedades contra las especificaciones ASTM muestra que el bagazo y el bonote (discreto) satisfacen todos los requerimientos de la ASTM mientras que el bonote (continuo) satisface todos excepto la absorción de agua.

Por lo tanto, de los resultados, los especímenes de madera, palma y bonote (continuo) se pueden utilizar para techar, para las paredes y estructuras. El bonote (discreto) y el bagazo recubierto son adecuados para materiales de techado y pueden ser usados para remplazar el asbesto.

La comparación de costos muestra que esas fibras no solo son fuertes, sino que también son bajos en costos.

En el 1991 fue publicado un artículo sobre las propiedades físicas y mecánicas del henequén utilizado como fibras naturales en un material compuesto [2].

Existen varios campos de aplicación para este tipo de fibras, uno de estos campos es el uso de fibras como refuerzos para diferentes refuerzos en materiales compuestos como los termoplásticos poliméricos y los materiales termoestables.

Esta investigación se realizó debido a la inquietud sobre la ausencia de conocimiento práctico de las propiedades mecánicas y físicas del henequén, la cual reducía considerablemente la posibilidad de utilizar henequén como refuerzo para un material compuesto.

Para el análisis de la estructura de las fibras, se separaron las muestras en 3 secciones las cuales fueron etiquetadas como fibra del extremo libre, parte media de la fibra, y extremo trasero de la fibra. Se probaron un total de 25 muestras. Las pruebas mecánicas de cada sección de las fibras de henequén muestran los valores de tenacidad, módulo de Young, y la longitud de fractura que incrementa a lo largo de la de la fibra partiendo de extremo trasero de la fibra hacia la parte media de la fibra.

Esto debido a que el diámetro de las fibras disminuye a lo largo de su sección transversal. Las pruebas del artículo prueban que las fibras de henequén pueden ser útiles como refuerzos en materiales compuestos.

Durante el año de 1992 se publicó un artículo sobre la oportunidad que brindan los materiales con lignocelulosa para los materiales compuestos [3]. Los compuestos lignocelulosicos de alto rendimiento tienen diversas ventajas como un alto rendimiento, densidades constantes, durabilidad, alta resistencia en ambientes diversos. Agentes de unión y modificación en las fibras se emplean para superar la inestabilidad dimensional, la biodegradabilidad, inflamabilidad y degradación causada por la luz ultravioleta, ácidos y bases.

Las propiedades de los compuestos lignocelulosicos se pueden modificar para ser consistentes, predecibles, reproducibles, continuos y uniformes. Las lignocelulosas cambian sus dimensiones con el contenido de humedad debido a los polímeros de la pared celular que contienen hidroxilo y otros grupos que contienen oxígeno que atrae la humedad a través del hidrógeno.

La humedad hincha la pared celular, y la lignocelulosa se expande hasta que la pared celular se satura de agua, más allá de este punto de saturación, la humedad existe como agua libre en la estructura vacía y no contribuye a una mayor expansión. Este proceso es reversible, la lignocelulosa se contrae a medida que pierde la humedad. La fuerza se pierde, al igual que la celulosa el polímero sufre una degradación por oxidación, hidrólisis y deshidratación, los mismos tipos de reacciones tienen lugar en presencia de ácidos y bases.

Los compuestos de lignocelulosa se utilizarán en el futuro para producir un amplio espectro de productos que van desde compuestos muy económicos, de bajo rendimiento a costosos compuestos de alto rendimiento. La amplia distribución, renovabilidad y la capacidad de reciclado de las lignocelulosas puede expandir el mercado de compuestos de bajo costo. La tecnología de fibra, los adhesivos de alto rendimiento y la modificación de la fibra pueden ser utilizados para fabricar compuestos lignocelulosicos con densidades uniformes, durabilidad en ambientes adversos y alta resistencia.

La resistencia biológica de estos materiales se puede mejorar mediante varios métodos. Productos químicos de enlace poliméricos en la pared celular que aumenta la resistencia. La acetilación también ha demostrado ser una forma efectiva de disminuir o detener la degradación biológica de compuestos lignocelulosicos.

Según Roger M. Rowell, el rendimiento de cualquier compuesto de fibra lignocelulosa está restringido por las propiedades de la fibra misma. Los compuestos basados en fibras agrícolas cambian sus dimensiones con cambios en el contenido de humedad, son degradados por organismos, y sufren una degradación por la radiación ultravioleta.

Si se pueden mejorar estas propiedades negativas de las fibras naturales todos los tipos de compuestos basados en fibras agrícolas podrían haber mejorado mucho su rendimiento [4].

Los polímeros de la pared celular y su matriz forman la pared celular y, en general, son responsables de las propiedades físicas y químicas de las fibras agrícolas. Propiedades tales como la inestabilidad dimensional, inflamabilidad, biodegradabilidad y degradación causada por ácidos. La resistencia se pierde a medida que el polímero de celulosa sufre degradación a través de reacciones de oxidación, hidrólisis y deshidratación.

La estabilidad dimensional puede mejorarse considerablemente cargando la pared de la celda de fibra con productos químicos o por impregnación de polímeros solubles en agua.

Por ejemplo, la acetilación de los polímeros de la pared celular usando anhídrido acético produce un compuesto de fibra con estabilidad dimensional y resistencia biológica mejorada. El mismo nivel de estabilización también se puede lograr usando polímeros de fenol-formaldehído solubles en agua seguido de curado.

La unión de los productos químicos a los polímeros de la pared celular aumenta la resistencia debido a la disminución del punto de equilibrio de humedad por debajo de lo necesario para el ataque de microorganismos y al cambio de los requisitos de conformación y configuración de las reacciones enzima-sustrato.

Los químicos tóxicos también se pueden agregar al compuesto para detener el ataque biológico. La resistencia a la radiación ultravioleta se puede mejorar uniéndolos a los polímeros de la pared celular, lo que reduce la degradación de lignina o añadiendo polímeros a la matriz celular para ayudar a mantener unida la estructura de fibra degradada para que no pueda producirse la lixiviación de los polímeros de carbohidratos no degradados. Los retardadores de fuego se pueden unir a la pared de la celda de fibra para mejorar en gran medida el rendimiento del fuego de los compuestos.

También se pueden usar sales inorgánicas solubles o polímeros que contienen nitrógeno y fósforo. Estos productos químicos son la base de la industria de tratamiento de madera ignífuga.

Los compuestos terminados pueden impregnarse con un monómero y polimerizarse o impregnarse con un polímero preformado. En la mayoría de los casos, el polímero no entra en la pared celular y está ubicado en la luz de la célula. Al usar esta tecnología, las propiedades mecánicas se pueden mejorar en gran medida.

Por ejemplo, compuestos impregnados con acrilatos, metacrilatos, epóxidos o monómeros de melanina y polimerizados a niveles de ganancia de 60 a 100 por ciento en peso, se muestran aumentos (en comparación con controles no tratados) en densidad de 60 a 150 por ciento, resistencia de compresión de 60 a 250 por ciento y dureza tangencial de 120 a 400 por ciento.

Se realizaron pruebas de tensión estáticas, éstas mostraron aumentos en el módulo de elasticidad en un 25 por ciento, módulo de ruptura de 80 por ciento, tensión de fibra en límite proporcional de 80 por ciento, límite de trabajo de 150 por ciento y trabajo hasta carga máxima de 80 por ciento y al mismo tiempo una disminución en la permeabilidad de 200 a 1,200 por ciento.

La fibra de una amplia variedad de plantas se puede usar para producir una amplia variedad de materiales compuestos. Estos materiales compuestos van desde productos especializados de valor añadido hasta materiales comerciales de gran volumen.

Los productos con formas complejas también se pueden producir usando MAD de fibra flexible, que se pueden fabricar mediante punzado no tejido o tecnologías de matriz de fusión de fibra termoplástica.

Aprovechar la química para la modificación de la pared de fibra y combinar la fibra con otros materiales proporciona una estrategia para producir compuestos y materiales avanzados que aprovechan las propiedades mejoradas de todo tipo de materiales, y permite al científico diseñar materiales basados en los requisitos de uso final dentro del marco de costos, disponibilidad, revocabilidad, reciclaje, sostenibilidad, uso de energía y consideraciones ambientales.

En el año 1997 se desarrolló y caracterizó un material compuesto en HDPE, arena y fibras cortas de henequén [5]. Es posible incorporar hasta un contenido de carga del 50% a la resina termoplástica.

Las variables que se estudiaron fueron: contenido de arena, contenido de henequén y temperatura de procesamiento. Las variables de respuesta fueron las propiedades de tracción y flexión del material.

La resistencia a la tracción del HDPE-arena no parece verse afectada por la temperatura de procesamiento para cualquier contenido de carga, pero el módulo de tracción muestra un máximo de 30% p/p mientras que el módulo de flexión aumenta linealmente. Las propiedades de flexión no se ven afectadas apreciablemente por la temperatura de procesamiento.

Para el compuesto HDPE-henequén, la temperatura de procesamiento parece afectar adversamente la resistencia a la tracción, pero no el módulo de tracción. Las propiedades de flexión se incrementan ligeramente según la temperatura de procesamiento. La adhesión de la matriz de fibra juega un papel importante en las propiedades finales del compuesto.

El compuesto HDPE-arena-henequén muestra un comportamiento más complicado. Un aumento en el contenido de relleno disminuye la resistencia a la tracción. Se encontró un comportamiento similar con un aumento de temperatura en el proceso. La temperatura de procesamiento parece tener un efecto más pronunciado sobre el módulo de tracción. A bajas temperaturas, el comportamiento del módulo se rige por el contenido de arena, mientras que, a temperaturas más altas, dicho comportamiento se rige por el contenido de fibra.

Las propiedades de flexión también se ven afectadas por la temperatura de procesamiento. A bajas temperaturas de arena por debajo del 30% p/p, la resistencia a la flexión aumenta con el contenido de fibra y a mayores contenidos de arena se observa un comportamiento opuesto.

A temperaturas más altas, el comportamiento es el mismo que el de las temperaturas más bajas, pero las propiedades de flexión disminuyen levemente. También se muestra que la adhesión entre las fibras y la matriz juega un papel importante en las propiedades finales.

Para mejorar la adhesión de la matriz de fibra se utilizaron dos tratamientos previos de superficie:

Primero, se usó un agente de acoplamiento de silano y, en segundo lugar, una pre-impregnación de matriz en la fibra. Las fibras de henequén se trataron con una solución de NaOH (alcalinización) al 2%.

De igual manera años después se publica un artículo sobre los termoplásticos a base de fibras naturales [6]. Se observa que la separación de las fibras de la fuente original de la planta es un paso muy importante para garantizar la calidad de las fibras. Altas temperaturas de procesamiento ($T > 200$ °C) que reducen la viscosidad y facilita la buena mezcla no puede ser utilizadas (excepto por periodos cortos).

Para facilitar la mezcla de las fibras y la matriz en fibras agrícolas termoplásticas es necesario tomar otra ruta. Una revisión sobre la tecnología compuesta de fibras cortas cubre una variedad de razones que resultan en problemas asociados con fallos en su verdadero potencial como refuerzo.

El agrupamiento y la aglomeración deben evitarse para producir compuestos eficientes. La eficiencia del compuesto también depende de la cantidad de estrés transferido desde la matriz a las fibras. Esto puede ser maximizado mejorando la interacción y la adhesión entre las dos fases, y también mediante la longitud de las fibras retenidas en el compuesto final. El uso de filamentos largos durante la etapa de composición puede dar como resultado una mayor cantidad de fibra distribución de longitud.

Sin embargo, las fibras largas a veces aumentan la cantidad de aglutinación resultando en áreas concentradas con fibras y áreas con una matriz excesiva; esta finalmente reduce la eficiencia compuesta. La dispersión uniforme de fibra no puede ser comprometido, y una cuidadosa selección de técnicas de procesamiento, longitudes iniciales de fibra, las condiciones del proceso y los auxiliares de procesamiento son necesarios para obtener materiales compuestos eficientes. Varios tipos de equipos de composición, equipos discontinuos y continuos, se han usado para mezclar fibras y plásticos lignocelulósicos.

La adhesión entre la matriz plástica y las fibras lignocelulosas es crítica para determinar las propiedades del compuesto. Se han usado varios tipos de aditivos para mejorar la dispersión y la interacción entre las fibras a base de celulosa y poliolefinas, cloruro de polivinilo, poliestireno, etc. La naturaleza polar hidrofílica inherente de las fibras lignocelulosas y las características no polares de las poliolefinas dan lugar a dificultades en la composición y adhesión entre las fibras y la matriz. Esto se puede arreglar con una buena selección de aditivos para mejorar la adhesión entre las capas de fibra y matriz. La selección de las fibras naturales que se utilizaran en los plásticos dependerá de la disponibilidad de las fibras en la región y las propiedades necesarias del compuesto.

Se ha estudiado el comportamiento de las fibras de yute en especial como corregir la inestabilidad dimensional que presenta en presencia de humedad [7]. Debido a la estructura de la pared celular los laminados de estas fibras presentar una absorción de humedad lo que provoca una variación en sus dimensiones.

Un método que se utilizó para mejorar las propiedades de resistencia fue plastificando la matriz, al cocer a vapor la matriz durante el prensado se pueden regresar las fibras a su estado original.

Para el tratamiento de madera se realizó por una cocción a vapor se realizó no solo antes del proceso de prensado, sino que también ocurrió durante el proceso de prensado y la fibra comprimida caliente se enfrió bajo compresión. Esto ha sido usado en madera sólida y fibra de madera.

Se probaron 3 especímenes y se promediaron sus resultados. Los resultados presentan un aumento del grosor de la hinchazón en los laminados de yute hechas con fibra prensada a 150 C para diferentes longitudes. Presionar por menos de 5 minutos era demasiado corto tiempo para dar como resultado la estabilización de vapor. En el corto tiempo de prensado no se alcanzó la temperatura deseada.

Los resultados a los 5 minutos de tiempo de prensado muestran que se logró la estabilización, pero no fue tan efectiva como el vapor a 10 minutos. Presionar más de 10 minutos no fue efectivo para disminuir la hinchazón del espesor en agua líquida. Se utilizó una temperatura en el prensado de 150 C en todos los tiempos de prensado para ambas densidades de laminado.

Los resultados de la investigación de la Parte 1 mostraron que las tablas con la hinchazón de espesor más bajo eran producidas utilizando una temperatura de prensado de 200 ° C, y un tiempo de prensado de 10-15 minutos para los laminados.

La aplicación de resina y fabricación de laminados se formen se utilizó una resina fenólica, el laminado estabilizado a vapor se pasó por un refinador para volver a fabricar. Se roció resina de fenol-formaldehído a través de un mezclador de laboratorio. Al final se usó un nivel de resina del 7% basado en el peso seco de la fibra.

Al final de cada ciclo de remojo, las muestras húmedas se pesaron y luego se colocaron en un plano micrómetro y se determina el aumento de espesor en comparación con el espesor seco original del horno.

Al final de cada ciclo de secado, las muestras también se colocaron en un micrómetro de plataforma y el aumento en espesor en comparación con el grosor seco del horno original determinado.

Pruebas de resistencia Se realizaron pruebas de flexión estática de dos puntos a bordo de muestras según ASTM 790M usando 160 mm de luz y una velocidad de cabeza de 4.3 mm / minuto para determinar el módulo de ruptura y módulo de elasticidad.

La absorción de agua y el cambio del espesor con 24 horas de inmersión en agua sin adhesivo y especímenes sometidos a 4 y 8 minutos de tiempo de cocción con y sin resina muestran que la adición de resina da como resultado una pequeña disminución en el aumento de espesor en comparación con los especímenes sin adhesivo.

Una reducción máxima en la absorción y el aumento de espesor del agua se logró a los 8 minutos presionando el tiempo sin resina. Los resultados de la absorción de agua y el hinchamiento del espesor después de la prueba de ebullición de 2 horas tuvieron resultados similares a los encontrados en la prueba de remojo de 24 horas.

Los especímenes hechos sin resina mostraron los mejores resultados tanto en la absorción de agua como en la prueba de hinchamiento del espesor en comparación con los especímenes hechos con resina. Los resultados de la prueba cíclica de agua / secado sobre el hinchamiento del espesor. Especímenes sometidos a 8 minutos de presión con vapor dio los mejores resultados.

El uso de fibras vegetales largas como reemplazos para fibra de vidrio como refuerzo en compuestos es actualmente generando mucho interés en la investigación comunidad. En el 2000 un artículo hace mención a que las fibras vegetales ofrecen una serie de ventajas sobre las fibras de vidrio en algunas aplicaciones [8]. Debido a que las fibras vegetales secuestran el CO₂ de la atmósfera, su uso representa una contribución positiva neta al presupuesto global de carbono.

La disposición final de compuestos es un tema importante; los compuestos basados en fibras de plantas pueden ser quemados al final del ciclo de vida del producto, una opción que no es posible con equivalentes reforzados con fibra de vidrio. Los beneficios de costo también se pueden realizar mediante el uso de fibras vegetales como reemplazo del vidrio.

Dentro de un contexto europeo, la sobreproducción de productos agrícolas ha resultado en gran interés en la producción de cultivos alternativos en tierras retiradas. Fibras tropicales como la fibra de coco o el petróleo palma se producen en millones de toneladas por año; nuevas aplicaciones se requieren con urgencia para estos materiales.

Aunque tales fibras generalmente se consideran viables para su uso en compuestos, el problema de la compatibilidad de fibra con la matriz es un área que debe ser considerado.

Las fibras vegetales son de naturaleza hidrofílica debido a la abundancia de grupos hidroxilo, por lo que no son compatibles con matrices hidrofóbicas como el poliéster. Esta incompatibilidad conduce a un enlace interfacial bajo de fibra de matriz fuerza, mala humectación de las fibras por la matriz resina, y una reducción en el rendimiento mecánico cuando el compuesto está expuesto a la humedad.

Para la acetilación, las esteras de fibra secadas en horno son colocadas en un matraz de reacción, y suficiente grado reactivo de anhídrido acético se añadió al matraz para asegurarse de que las esteras estén cubiertas. También se realizó el tratamiento silano.

Tratamiento de fibras con silano o agentes de acoplamiento de titanato no da como resultado cambios en las propiedades mecánicas de los compuestos formados a partir de eso. En todos los casos, Micrografías SEM muestran superficies de fractura, de impacto, de compuestos reforzados sin modificar, tratado con silano, tratado con titanato, y fibras acetiladas. Aunque ocurren cambios en las propiedades mecánicas, ellos no son grandes cuando se compara con un compuesto reforzado con vidrio, se comparan desfavorablemente.

En el 2001 se presentó una investigación sobre las aplicaciones de los productos bio-compuestos en la industria [9]. Los bio-compuestos están hechos a partir de fibras naturales, entre las ventajas que ofrecen están: su peso, biodegradabilidad y a menudo menos costosos. Con la matriz y fibras siendo biodegradables, los bio-compuestos están convirtiéndose en un candidato atractivo desde el punto de vista del medio ambiente.

Los materiales compuestos modernos hechos por el hombre, basados en ingredientes sintéticos, han atraído la atención de los diseñadores debido a su potencial para lograr la reducción de peso y la reducción del recuento de partes (y por lo tanto, reducción de costos). Poseen excelentes propiedades mecánicas, a menudo combinadas con baja densidad.

También plantean desafíos científicos y de ingeniería, ya que el material compuesto y la estructura son diseñadas al mismo tiempo. Sin embargo, los materiales de construcción más antiguos son naturales: madera, bambú, seda, cáscaras de huevo, etc. por naturaleza altamente optimizado para los requisitos funcionales (por ejemplo, troncos, ramas, patas y alas para apoyar o impulsar el organismo), o son miembros estructurales muy estresados (madera, hueso) y son capaces de adaptarse al cambio durante la vida (hueso, madera), modificando propiedades a los requisitos.

Los métodos de tratamiento de superficie para mejorar la adhesión de la matriz de fibra incluyen: modificación de la fibra, aditivos (agentes de acoplamiento) y la modificación de la matriz.

Con estas modificaciones los materiales compuestos basados en fibras naturales pueden ser considerados como un potencial para ser un competidor serio contra los compuestos de fibra de vidrio. Aunque aún existen problemas con la estabilidad térmica, la absorción de humedad, que deben ser consideradas. Otra desventaja para la aplicación de las fibras naturales es que estas carecen de una base de datos tan extensas como lo hay para las fibras sintéticas.

Un estudio de las aplicaciones de compuestos con fibras naturales en el año 2001 indico que todavía estaban en la etapa inicial de aplicaciones en estructuras de cargas bajas, con poca penetración en el mercado, mientras parecen poseer un potencial estructural para cargas medianas y pesadas.

En Europa, la aplicación más amplia de los materiales compuestos de fibras naturales parece ser la industria automotriz, con una producción anual de 18 millones de autos y camionetas ligeras.

El uso de las fibras como refuerzo se ha fortalecido para productos innovadores en muchas aplicaciones de la mecánica en cargas bajas, por ejemplo: revestimientos de automóviles (techo, pared posterior, forros del panel lateral), productos de construcción (tejas compuestas), muebles y productos para el hogar (contenedores de alimento, marcos de ventanas, cuadros, juguetes y macetas). El lino debido a su fuerza y el cáñamo debido a su gran cantidad de fibra son actualmente los materiales que predominan en aplicaciones en Alemania.

Como se ha observado existen estudios y antecedentes de la utilización de fibra con modificaciones en la superficie para materiales compuestos a continuación se describe un importante aporte a este campo con un tipo de fibra que no se había mencioando, la fibra de lino tratada químicamente se usa como suplemento a los plásticos, y refuerzo en matriz termoplástica en proceso de moldeo rotacional.

La fibra de lino ya está siendo producido y puede obtenerse a un costo relativamente bajo en comparación con los refuerzos de fibra de vidrio.

Las fibras de lino se incorporan en materiales termoplásticos para formar una matriz biodegradable para impartir las características deseadas, tales como mayor resistencia en el compuesto. El rendimiento de un compuesto reforzado con fibra está principalmente determinado por las propiedades de la fibra. Es muy importante saber la fuerza de las fibras antes de combinarlas en el termoplástico para comprender mejor cómo se comporta el producto compuesto final [10].

Los compuestos de fibra natural se utilizan especialmente en automoción, construcción, productos básicos y otras aplicaciones. Las propiedades de un compuesto de polímero reforzado con fibra dependen significativamente de muchos factores como fibra y tipo de matriz, adhesión entre matriz y fibra, contenido de fibra, relación de aspecto, orientación de la fibra, modificación de fibra y método de procesamiento del compuesto.

Fibras de lignocelulosa como el yute, fibras de cáñamo, lino, sisal, henequén, fibra de coco y kenaf han sido frecuentemente utilizadas como refuerzos de fibra natural. De ellos, las fibras de henequén están atrayendo más atención debido al bajo costo y densidad. Henequén (*Agave fourcroydes*), que es de una familia similar al sisal, es fibra larga, dura y fuerte obtenida de hojas de 2-4 pies de largo de las plantas de agave, que es nativa de Yucatán, México. Las fibras naturales se han utilizado para hacer gemelos, cuerdas, alfombras y cordeles durante un largo período de tiempo.

Las resinas termoendurecibles se utilizan con frecuencia como matriz en compuestos de fibra natural porque tienen una capacidad de acceso fácil, mejores propiedades, y mayor rendimiento en comparación con polímeros termoplásticos de uso general. Las resinas de poliéster insaturado (UPE) son las más ampliamente usadas en compuestos de fibra natural, así como en las industrias compuestas convencionales. La adhesión interfacial entre fibras naturales y una matriz de polímero a menudo se ha emitido en muchos sistemas de fibras naturales para compuestos.

Un enlace fuerte en la región interfacial es esencial para lograr altos rendimientos mecánicos de un compuesto. Por lo tanto, investigaciones de una serie de modificaciones superficiales se han dedicado a comprender y mejorar las características interfaciales de compuestos de fibra natural. La mayoría de los estudios anteriores se centraron en productos modificaciones químicas tales como alcalinización, acetilación, acoplamiento de silanos.

Ha habido algunos documentos que tratan con fibras naturales físicamente tratadas superficialmente con plasma para mejorar la adhesión interfacial entre las fibras y el matriz de bio-compuestos.

De igual manera se conoce que se emplean fibras de plátano, cáñamo y sisal como rellenos para la formación de fibra natural. Las fibras naturales fueron tratadas con anhídrido maleico [11].

El módulo de Young, el módulo de flexión, y la resistencia al impacto. La dureza disminuyó al aumentar las cantidades de fibras en la fibra natural: compuestos de poliestireno.

Los compuestos de fibra de sisal muestran la mayor fuerza mecánica para todas las proporciones. Un tratamiento de anhídrido maleico muestra una mejora significativa en el módulo de Young, módulo de flexión, resistencia al impacto y dureza Shore-D en comparación con los compuestos de fibra no tratados.

Con anterioridad se informa el efecto del anhídrido maleico (MA) en propiedades mecánicas de una resina novolac y plátano, cáñamo y sisal compuestos de fibra. Varios materiales celulósicos como harina de concha, madera harina y pulpa se han utilizado como rellenos en termoplásticos, principalmente para lograr ahorros de costos.

Los compuestos preparados con fibras de celulosa tienen mejores propiedades mecánicas que aquellos que contienen fibras no fibrosas [12].

Las propiedades mecánicas de un polímero corto reforzado con fibra compuesto dependen de muchos factores, incluida la adhesión de la matriz de fibra y fracción de volumen de fibra. La orientación de la fibra también tiene una influencia significativa porque el estrés alcanza un máximo a lo largo del eje de orientación de la fibra. La incorporación de un gran volumen de fibras en la matriz logra la máxima fuerza de un material compuesto.

Pero, toda la fuerza de las fibras solo se puede utilizar si hay un mecanismo de transferencia de esfuerzos eficiente en la interfaz de fibra-matriz. Refuerzo de yute con termoplásticos produce compuestos de bajo costo, porque los termoplásticos son mucho menos costosos que las resinas termoestables.

Se concluye que el módulo de Young y el módulo de flexión disminuyen al aumentar contenido de fibra en compuestos, mientras que el estrés de tracción y el estrés de flexión no muestran una tendencia específica con un aumento en el contenido de fibra en compuestos.

La resistencia al impacto Izod y la dureza Shore-D disminuyen con el contenido de fibra en compuestos. El tratamiento con anhídrido maleico mejora todas las propiedades mecánicas como el módulo de Young, módulo de flexión, tensión de tracción, estrés de flexión, resistencia al impacto Izod y dureza Shore-D en comparación con compuestos de fibra no tratados. Es debido al fenómeno de la esterificación de fibras.

En 2006 se investiga por H. Demira y otros, los efectos de los agentes de acoplamiento sobre las propiedades mecánicas, morfológicas y de absorción de agua de la fibra de luffa (LF) / polipropileno (PP) compuestos fueron estudiados [13]. Para mejorar las interacciones interfaciales entre la matriz PP y la fibra luffa, tres tipos diferentes de agentes de acoplamiento fueron utilizados, (3-aminopropil) - trietoxisilano (AS), (trimetoxisilil) propanotiol (MS) y anhídrido maleico injertado polipropileno (MAPP).

Las propiedades de los compuestos no tratados y tratados se determinaron en función de la carga de relleno. Resistencia a la tracción y módulo de Young aumentado con el empleo de los agentes de acoplamiento acompañado de una disminución en la absorción de agua con el tratamiento debido a la mejor adhesión entre la fibra y la matriz. La mayor mejora en las propiedades mecánicas se obtuvo para los compuestos LF tratados con MS.

Los estudios de AFM de la superficie de las fibras mostraron que el tratamiento de silano disminuyó la rugosidad superficial de las fibras. Esto es también indica que la cobertura superficial de las fibras con una capa de silano aumenta la unión interfacial.

En marzo del 2007 se investiga un nuevo método de tratamiento con hidróxido de sodio (NaOH) y polipropileno injertado con anhídrido maleico (MPP) se introdujo la emulsión para tratar la estera de fibra de yute con el fin de mejorar el rendimiento del compuesto de yute / polipropileno (PP) preparado por el método de extensión de película [14].

Se ha descubierto que las modificaciones superficiales de la estera de fibra de yute son muy efectivas en mejorar la adhesión fibra-matriz. Se demostró que los tratamientos no solo cambiaron la topografía de la superficie sino también la distribución de diámetro y resistencia para las fibras de yute, que se analizó utilizando una distribución Weibull de dos parámetros modelo.

En consecuencia, la resistencia al corte interfacial, la resistencia a la flexión y la resistencia a la tensión de los compuestos aumentaron, pero la fuerza de impacto disminuyó ligeramente. Estos resultados han demostrado un nuevo enfoque para utilizar materiales naturales para mejorar el rendimiento mecánico de compuestos.

La preocupación ecológica ha resultado en un renovado interés en materiales naturales para su capacidad de reciclaje, luz, peso y no contaminación. Problemas importantes como la capacidad de reciclaje y la seguridad ambiental deben ser dirigidos cuando nuevos materiales y productos son introducidos.

Fibras naturales lignocelulósicas como lino, cáñamo, sisal y yute son un medio ambiente interesante alternativa amigable al uso de fibra de vidrio como refuerzo en compuestos de ingeniería debido a los beneficios que proporcionan estas fibras sobre los materiales de refuerzo convencionales, y el desarrollo de compuestos de fibra natural ha sido un tema de interés en los últimos años.

Estas fibras son renovables, no abrasivas y pueden ser incinerados para la recuperación de energía, ya que poseen un buen valor calorífico y causa poca preocupación en términos de salud y seguridad durante el manejo de productos de fibra, Además, exhiben excelentes propiedades mecánicas, baja densidad y son baratos.

Durante el año 2008 se realizó un trabajo sobre fibras de madera muy prometedor según el autor para lograr durabilidad en el material sin usar químicos tóxicos. Las fibras vegetales en general son adecuadas para reforzar plásticos debido a la resistencia, bajo costo, baja densidad, baja emisión de CO₂, y biodegradabilidad.

Dado a que los fabricantes de automóviles están tratando de hacer reciclable o biodegradable cada parte aún existe cierto alcance para los materiales compuestos verdes basados en polímeros biodegradables y fibras de plantas. Los objetivos de la implementación de los materiales compuestos biodegradables es mejorar la resistencia mecánica, el rendimiento acústico, reducir el peso y por ende el consumo de combustible, y disminuir el costo de producción.

Para lograr estos objetivos se debe maximizar la eficiencia del uso de las materias primas, por lo que se deben buscar materiales ecológicos que posean propiedades iguales o superiores a las que se logran actualmente con materiales no biodegradables. De ahí viene el interés creciente de los compuestos renovables basados en fibras vegetales.

En 2013 una evaluación a las propiedades de materiales compuestos reforzados fibra de vidrio, fibras de sisal y yute. Para lograr el objetivo del estudio se realizaron exámenes microscópicos para analizar las características interfaciales de los materiales, la estructura interna de las superficies y la morfología de fallas mediante el uso de un microscopio.

Los resultados indicaron que la incorporación de fibras de vidrio y sisal fue superior a la unión de fibras de vidrio reforzadas con yute en propiedades de tracción y por otro lado las fibras de vidrio con yute obtuvieron mejores resultados en propiedades de flexión.

Los especímenes se preparan con diferentes proporciones tomando 0.4 fracciones de volumen y propiedades de tracción de estos híbridos naturales. Los compuestos híbridos dependen en gran medida de la relación de aspecto, la tendencia a la absorción de humedad, la morfología y las dimensiones. Las propiedades de tracción y flexión de los compuestos de fibra natural tratados químicamente son ligeramente mejores que los compuestos no tratados.

Las muestras compuestas de sisal /fibra de vidrio poseen buena resistencia a la tracción y pueden resistir hasta 68.55 MPa. La muestra compuesta de yute/ fibra de vidrio mantiene la carga de flexión máxima de 1.03KN, ligeramente más alta que el sisal /fibra de vidrio muestra compuesta. La morfología de falla de las muestras probadas se examinó mediante el microscopio electrónico de barrido.

Debido a lo importante que ha sido la utilización de fibras naturales en 2015 se realizó una investigación sobre las propiedades mecánicas de fibras de banana y kenaf, para esta investigación las fibras fueron extraídas del tallo de kenaf y plantas de banano.

Las fibras de plátano y kenaf se trataron superficialmente con álcali (NaOH) y lauril sulfato de sodio (SLS). En caso de tratamiento alcalino, las fibras se trataron con soluciones de hidróxido de sodio (NaOH) en diferentes concentraciones con duración de tiempo variable. Las fibras fueron lavadas a fondo con agua para eliminar cualquier exceso de hidróxido de sodio en su superficie.

Durante ese mismo año se realizó un estudio muy parecido basado en fibras de kenaf. Se realizó una comparación con fibras tratadas y no tratadas. Las fibras no tratadas mostraron impurezas superficiales que pueden influir en sus propiedades de adhesión con la resina. Las fibras después de 48 horas en una solución de NaOH, no muestran impurezas debido al efecto de limpieza de esta solución. Las fibras después de 144 horas están fuertemente dañadas, se agrietaron a lo largo del eje de las fibras y este fenómeno fue el causante de la menor resistencia a la tracción.

4. Justificación

Los materiales hechos con refuerzos de fibras naturales tienen un factor que los vuelve complicados de manufacturar en materiales compuestos este factor radica en la fibra debido a que tienen la propiedad de absorber humedad del ambiente, esta característica impide la unión ideal entre matriz y refuerzo, es por eso que se propone el tratamiento de acetilación en la superficie de la fibra.

Se ha demostrado que los tratamientos químicos sobre la superficie de refuerzos hechos a base de fibras naturales pueden mejorar las propiedades de los materiales compuestos, tratamientos acetiles aplicados a refuerzos de fibras naturales modifican las propiedades mecánicas del material compuesto.

Se espera que el tratamiento acetyl sature la fibra hasta que no pueda absorber la humedad del ambiente, de esta manera se pretende evitar incompatibilidad entre la fibra y matriz al momento de unirse, al aumentar la unión entre el refuerzo y la matriz se espera que el tratamiento aumente las propiedades mecánicas a tensión del material compuesto.

Se variará la concentración de tratamiento y los tiempos de exposición a las fibras para observar cada comportamiento con las variaciones para validar de forma empírica el aumento o decremento de la resistencia del material.

5. Marco Teórico

El presente trabajo discute la posibilidad de la construcción de un material compuesto a base de fibras naturales de la región Baja California, un estado en la zona norte del México.

Con el fin de obtener el resultado propuesto en este trabajo es necesario el conocimiento respecto al ámbito de los materiales compuestos, el cual, a pesar de que aún se encuentra en desarrollo en su implementación en la industria, es muy amplio y con grandes aplicaciones en los diversos campos. La historia de los materiales compuestos se remonta a los orígenes de los mismos de manera natural.

5.1 Historia

Los ingenieros pueden diseñar los materiales compuestos de acuerdo a cuáles sean las condiciones en las que deben trabajar las piezas o estructuras que necesitan fabricar [19].

Sin embargo, los primeros materiales compuestos utilizados por el hombre son de origen natural: las maderas. Aunque hay maderas muy diferentes y con propiedades mecánicas y de conducción de fluidos muy variadas tienen en común una matriz celulósica reforzada con fibras de lignina (y otros compuestos orgánicos) que le dan las buenas propiedades de elasticidad y deformación sin ruptura.

Hay varios tipos de materiales compuestos para la construcción y, desde el tiempo de los egipcios, se utilizaba el adobe (que consiste en una mezcla de fibra de paja en una matriz de arcilla con agua) para dar una pasta moldeable de la que se hacían ladrillos con la forma deseada, y se ha utilizado como cemento en construcciones.

Actualmente, el hormigón es el material más importante y más usado como componente estructural en la construcción. Tiene la ventaja de la flexibilidad de diseño puesto que, en su estado pastoso inicial, se puede verter y adquiere la forma que lo contiene, es muy barato, posee alta dureza, resistencia al fuego y puede ser fabricado en el lugar. Los inconvenientes son su escasa resistencia a la tracción, baja ductilidad y sufre problemas de dilatación/contracción con las variaciones de temperatura.

El hormigón es un material compuesto formado por partículas dispersas (grava y arena) de gran tamaño (0.5 – 20 mm) generalmente SiO_2 (dióxido de silicio o sílice) en una matriz dura de silicatos y aluminatos (aglutinantes) que provienen de la hidratación del cemento.

Es decir que, tanto la matriz como el refuerzo, son de la familia de los cerámicos. La pasta moldeable original se forma por la agitación física de las cantidades adecuadas de cemento Portland (7-15 %), agua (14-21 %), agregado fino (arena 24-30 %) y agregado tosco (grava 31-51 %).

Es importante resaltar que las propiedades ingenieriles de los compuestos derivan, principalmente, de las propiedades físicas y mecánicas de la fase discontinua que son las fibras de refuerzo. Al aumentar la fracción en volumen de fibra aumentan las propiedades mecánicas hasta el punto en que la cantidad de matriz es insuficiente para soportar las fibras y transferir la carga al material compuesto.

Las fibras pueden estar distribuidas dentro de la matriz al azar o siguiendo ciertas direcciones respecto de la geometría de la pieza (longitudinales, transversales). Debido a la variedad en resistencia mecánica y tenacidad es posible para un ingeniero escoger qué valores de tales propiedades son requeridos por cada aplicación, así como en qué dirección son requeridas estas propiedades.

5. 2 Definición.

Se entiende por material compuesto al material formado por dos o más constituyentes que le otorgan propiedades finales únicas, las cuales no se pueden obtener a partir de los constituyentes originales. Mejorando así sus propiedades mecánicas, físicas y térmicas, las cuales pueden ser utilizadas para un mejor rendimiento y desempeño en el área para la cual sea la finalidad del nuevo material.

Un material compuesto presenta dos elementos principales: refuerzo y matriz. la combinación adecuada de estos componentes es lo que origina las nuevas propiedades mencionadas anteriormente. Además de refuerzo y matriz, existen otros tipos de componentes como cargas y aditivos que dotan a los materiales compuestos de características peculiares para cada tipo de fabricación y aplicación.

En general, cuando no se especifica, se entiende por composite, aquel material compuesto formado por fibras rectas y largas situadas en el interior de una matriz que mantiene las fibras unidas y distribuye los esfuerzos. Las fibras soportan la mayor parte de las cargas mientras que la matriz se responsabiliza de la tolerancia al daño (golpes) y del comportamiento a la fatiga.

Para comprender a fondo la definición anterior es necesario conocer los conceptos mencionados que constituyen un material compuesto como lo es la matriz, la cual es la fase continua en la que el refuerzo queda enfrascado.

Tantos materiales metálicos, cerámicos o resinas orgánicas pueden cumplir con este papel. A excepción de los cerámicos, el material que se elige como matriz no es, en general, tan rígido ni tan resistente como el material de refuerzo.

De forma más específica se puede decir que en ingeniería y ciencia de materiales, los materiales compuestos son materiales formados dos o más constituyentes con propiedades físicas o químicas marcadamente diferentes, y que en combinación forman un material con propiedades diferentes a cada componente por separado.

Además, cada componente permanece distinguible y separable mecánicamente de la estructura final de materiales combinados, aunque sea a escala muy pequeña.

Las propiedades que adquiere el material compuesto pueden ser aprovechadas por diferentes motivos. Por ejemplo, se puede conseguir un material más fuerte, más ligero o menos contaminante; en ocasiones simplemente abarata los costes de producción en comparación con materiales tradicionales.

El desarrollo de materiales compuestos tiene una importante línea de futuro en los conocidos como materiales robóticos, que serán materiales compuestos que llevan incorporadas funciones sensoriales a las que pueden reaccionar.

Un ejemplo muy común de material compuesto en el que se ve muy claro en que consiste es el hormigón, que sería un material compuesto formado por grava en una matriz de cemento.

5.3 Matrices

La matriz es un componente de alta importancia para el material compuesto y tiene funciones específicas como lo son definir las propiedades físicas y químicas, transmitir las cargas al refuerzo, protegerlo y brindarle cohesión, así como también permitirá determinar algunas características del material compuesto como la conformabilidad y el acabado superficial, es decir, de las propiedades de la matriz dependerá la capacidad que posea el material compuesto para ser conformado con geometrías complejas en procesos que, generalmente, no involucrarán posteriores etapas de acabado [19].

Todas estas funciones son aporte principal de las propiedades finales que tendrá el nuevo material y para esto las propiedades de la matriz son de suma importancia, como soportar las fibras manteniéndolas en su posición correcta, transferir la carga a las fibras fuertes, proteger de sufrir daños durante su manufactura y uso, evitar la propagación de grietas en las fibras a todo lo largo del compuesto y sobretodo la matriz, por lo general, es responsable del control principal de las propiedades eléctricas, el comportamiento químico y el uso a temperaturas elevadas del compuesto.

La matriz es el componente que envuelve y liga las fibras repartiendo los esfuerzos. También, a menos que la matriz elegida sea especialmente flexible, evita el pandeo de las fibras por compresión.

INORGANICAS	Cementos, geo polímeros, yeso, cerámicas de varios tipos, metálicas.	
ÓRGANICAS	TERMOESTABLES	Epoxi, viniéster, poliéster, fenólicas, furánicas, cianoésteres, bismaleimidas, polímidas, polietaramidas,etc
	TERMOPLASTICAS	Policloruro de vinilo(PVC), copolímeros de estileno (ABS,SAN), polietileno (PE), Polipropileno (PP), Policarbonato (PC), polimetacrilato de metilo (PMMA), acetato poliestireno (PS), Poliosimetileno (POM), tereftalatode butileno (PBT), polieterimida (PA), polieter- éter- cetona (PEEK), polieter- cetona- cetona (PEKK)

Figura 1: Clasificación de diferentes matrices utilizadas en materiales compuestos.

Fuente: Universidad de Alcalá.

Las matrices que forman parte de los materiales compuestos pueden ser orgánicas o inorgánicas. En nuestra investigación nos centraremos en las matrices orgánicas que 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 polimérica viene dada por el número de unidades monoméricas que se repiten en ella y por tanto tendremos que hablar de diferentes pesos moleculares en un mismo tipo de plástico.

Pero el problema se complica aún más cuando en el proceso de fabricación unas cadenas crecen más que otras, es decir, tenemos en un mismo reactor un plástico con cadenas de pesos moleculares variados, por lo que nos vemos obligados a hablar de distribución de pesos moleculares promedio, que a la hora de procesar el material van a tener una gran relevancia.

De las anteriores la utilizada para este trabajo será el epoxi, esto debido a sus propiedades únicas. La química de las resinas epoxi está basada en la capacidad del radical epoxi para reaccionar con otros radicales orgánicos y realizar enlaces cruzados sin la aparición de un producto condensado. Las resinas son difuncionales o polifuncionales, en términos del grupo epoxi, y suelen tener un esqueleto aromático.

La mayoría de las resinas utilizadas para procesos de laminación son aromáticas y en ocasiones mezcladas con material alifático. Las resinas basadas en material alifático son base de los adhesivos o de sistemas de recubrimiento, donde su flexibilidad es una ventaja.

En general las resinas aromáticas dan mejores prestaciones en los materiales compuestos. La resina se cura por reacción con un agente de curado y la reacción se controla mediante el uso de catalizadores y aceleradores.

Las resinas comerciales son a menudo una mezcla compleja de agentes de curado, catalizadores/aceleradores, modificadores termoplásticos y otros aditivos. De este modo pueden satisfacer los requerimientos, a menudo conflictivos, de altas prestaciones y facilidad de procesado.

5.4 Refuerzo.

Otro concepto mencionado en la definición de un material compuesto es el refuerzo, el cual es la fase discontinua (o dispersa) que se agrega a la matriz para conferir al compuesto alguna propiedad que la matriz no posee.

En general, el refuerzo se utiliza para incrementar la resistencia y rigidez mecánicas, pero, también, se emplean refuerzos para mejorar el comportamiento a altas temperaturas o la resistencia a la abrasión [20].

El refuerzo puede ser en forma de partículas o de fibras. Como regla general, es más efectivo cuanto menor tamaño tienen las partículas y más homogéneamente distribuidas están en la matriz o cuando se incrementa la relación longitud/diámetro de la fibra.

Los materiales de refuerzo pueden presentarse en forma de partículas en un amplio grupo de materiales compuestos, los más numerosos y ampliamente utilizados son aquellos reforzados con fibras.

Si el compuesto debe ser utilizado a temperaturas elevadas, también la fibra deberá tener una temperatura de fusión alta. Por lo que la resistencia específica y el módulo específico de la fibra son características importantes.

La fibra es el componente de refuerzo del material compuesto. Aporta resistencia mecánica, rigidez y dureza y es determinante en la obtención de las principales propiedades mecánicas. Las características más sobresalientes de las fibras de los materiales compuestos son su resistencia a la tracción específica y su elevado módulo específico.

Las principales fibras usadas como refuerzos son:

- Fibras de vidrio
- Fibras de carbono
- Fibras de boro
- Fibras cerámicas
- Fibras metálicas
- Fibras de aramida

Fibras naturales: sisal, cáñamo, lino. Independientemente del tipo de material en que estén hechas, las fibras pueden presentarse en forma de hilos, mats, cintas o tejidos.

Otro tipo de productos que se incorporan al material compuesto fibra-resina son las cargas y los aditivos. Se incorporan al material con el fin de aportarle características particulares o reducir el coste del mismo.

La cantidad de productos añadidos es variable, dependiendo de las propiedades que queramos conseguir. En general, se persigue mejorar la procesabilidad y el producto acabado.

Las fibras de refuerzo más utilizadas en los materiales compuestos modernos se pueden clasificar en tres categorías:

- Fibras de Carbono
- Fibras Inorgánicas
- Fibras Poliméricas

Estas fibras se pueden presentar como fibras continuas o cortadas. Los llamados whiskers o pelos se utilizan también en los materiales compuestos como elementos de refuerzo.

Existen, además, otros tipos de fibras especiales como por ejemplo las fibras ópticas, utilizadas en aplicaciones donde es necesario un control del daño o del propio curado.

Al mencionar lo anterior se puede observar que las fibras son un componente de alto impacto en un material compuesto, por lo que el tratamiento de las mismas y su elección serán el punto clave del presente trabajo.

En la actualidad se tiene conocimiento de una gran variedad de fibras de diferentes orígenes y con diferentes propiedades las cuales manipulan las características finales del nuevo material.

El enfoque principal serán las fibras naturales, más específico las fibras naturales originarias del estado de Baja California. Para dar un comienzo con las fibras de la región es necesario conocer las razones principales por las que se elige trabajar con fibras naturales y es que en la actualidad cada vez se utilizan más materiales reforzados con fibras que sean más económicas y de menor impacto medioambiental.

Si las fibras de refuerzo provienen de vegetales, el impacto medioambiental total en la fabricación de las piezas es mucho menor. Se está dedicando mucho esfuerzo de investigación en la fabricación de materiales compuestos completamente “ecológicos” o “verdes”. En ellos se refuerza la matriz del polímero natural con fibras de origen vegetal. Ya existen polímeros comerciales completamente “verdes” y se prevé que su producción aumente en el futuro.

Las fibras de elección en este caso fueron cuatro (eucalipto, palma, laurel y yucateco) las cuales serán separadas en pareja y tratadas con dos procedimientos distintos siendo estos la alcalinización y la acetilización, los cuales se explicarán más adelante.

Es importante destacar que las propiedades de los materiales compuestos dependerán de cómo sea la interface (la región de contacto) entre estos dos componentes. Si la interface es débil, la transferencia de carga de la matriz a la fibra no será eficiente y/o bien será la matriz la que termine soportando las cargas (y fallando, puesto que no es muy resistente), o se producirán huecos entre la matriz y las fibras, lo cual llevará a la rotura de la pieza.

5.5 Clasificación.

Como se puede observar existen una gran variedad de materiales compuestos debido a sus componentes, así mismo podemos clasificarlos respecto a ciertas funciones como puede ser:

En función del tipo de matriz:

- Materiales compuestos de matriz metálica (MMC):

Estos materiales tienen una alta resistencia y muy bajo peso. Estos materiales están formados por metales “livianos” como el aluminio como matriz y fibras de refuerzo como las de carburo de silicio.

- Materiales compuestos de matriz cerámica (CMC):

Mejores propiedades mecánicas que los materiales cerámicos tradicionales, como la resistencia y la tenacidad, especialmente en rangos de bajas temperaturas. Estos materiales están formados por una matriz cerámica y un refuerzo de fibras cortas, o whiskers de carburo de silicio o nitruro de boro. Se utilizan en aplicaciones de alta temperatura.

- Materiales compuestos de matriz polimérica (PMC):

Son materiales con buenas propiedades mecánicas, resistentes a la corrosión y a los agentes químicos, y a causa de sus propiedades físicas, pueden ser moldeados con absoluta libertad de formas. Son los más comunes. También se los conoce como polímeros (o plásticos) reforzados con fibras. La matriz es un polímero y una variedad de fibras, tales como las de vidrio, las de carbono o las aramídicas, se utilizan como refuerzo.

En función de la forma que posea el refuerzo:

- Compuestos reforzados por partículas:

En la mayoría de los materiales compuestos la fase dispersa es más dura y resistente que la matriz y las partículas de refuerzo tienden a restringir el movimiento de la matriz en las proximidades de cada partícula. En esencia, la matriz transfiere parte del esfuerzo aplicado a las partículas, las cuales soportan una parte de la carga.

Los compuestos reforzados con partículas, se subdividen en reforzados con partículas grandes y endurecidas por dispersión.

Los compuestos consolidados por dispersión son aquellos en los cuales las partículas poseen de 10 a 250 nm de diámetro. Las partículas dispersas, por lo general, óxidos metálicos, se introducen en la matriz con métodos distintos a las transformaciones de fases empleadas en el desarrollo de aleaciones.

A temperatura ambiente, los compuestos endurecidos por dispersión pueden ser menos resistentes que las aleaciones tradicionales. Sin embargo, la resistencia de estos materiales compuestos decrece en menor medida al incrementarse la temperatura, dado que no ocurren los fenómenos típicos que reducen la resistencia mecánica de las aleaciones.

Es importante que el dispersante tenga baja solubilidad en la matriz y no reaccione químicamente con ella, aunque un pequeño grado de solubilidad puede ayudar a mejorar la unión entre los componentes.

El óxido de cobre (Cu_2O), por ejemplo, se disuelve en el cobre a altas temperaturas, por lo que el sistema Cu_2O -Cu no sería eficaz; sin embargo, el óxido de aluminio (Al_2O_3) no se disuelve en el aluminio, así es que el sistema Al_2O_3 -Al proporciona materiales efectivos endurecidos por dispersión.

Algunos ejemplos de aplicación de materiales compuestos endurecidos por dispersión son: contactos eléctricos, componentes de turborreactores, rejillas para baterías, filamentos de calentadores, hasta incluso en la industria aeroespacial y en reactores nucleares.

En los compuestos particulados verdaderos, el término “grande” se utiliza para indicar las interacciones entre la matriz y las partículas a un nivel macroscópico. Estos materiales están diseñados para producir combinación de propiedades poco usuales, y no para mejorar la resistencia mecánica.

El material compuesto reforzado con partículas grandes más común es el hormigón. Las partículas son la arena o grava en una matriz cerámica compuesta por silicatos y aluminatos hidratados.

- Compuestos reforzados por fibras:

Los materiales reforzados por fibras son los composites más importantes desde el punto de vista tecnológico. El objetivo es conseguir materiales con una elevada resistencia a la fatiga y rigidez, a bajas y altas temperaturas, y simultáneamente una baja densidad, por lo que se pretende conseguir una mejor relación resistencia-peso.

Esta relación se consigue empleando materiales ligeros tanto en la matriz como en las fibras, siempre que estas cumplan con las propiedades mecánicas que se quieren otorgar al composite.

El material de la matriz transmite la fuerza a las fibras, las cuales soportan la mayor parte de la fuerza aplicada. La resistencia del compuesto puede resultar alta a temperatura ambiente y a temperaturas elevadas. Se emplean muchos tipos de materiales de refuerzo.

En las estructuras de concreto se introducen varillas de acero de refuerzo. Las fibras de vidrio en una matriz polimérica producen un material para aplicaciones en el transporte y la industria aeroespacial.

- Compuestos estructurales:

Un material compuesto estructural está formado tanto por materiales compuestos como por materiales homogéneos y sus propiedades no sólo dependen de los materiales constituyentes sino de la geometría del diseño de los elementos estructurales.

Se clasifican los compuestos estructurales en: compuestos laminares, estructuras sándwich y estructuras no-laminares.

5.6. Propiedades.

Como ya se mencionó se conoce una gran variedad de materiales compuestos debido a diversidad de combinaciones que se pueden realizar con los diversos tipos de materiales buscando la creación de nuevas propiedades más efectivas, así que generalizando los materiales compuestos deben cumplir con ciertas propiedades para tener una vida útil, las cuales son:

Alta resistencia: Los materiales compuestos tienen una alta resistencia en relación a su peso.

Baja densidad: Los materiales compuestos proporcionan una buena resistencia por unidad de peso, no como en el caso de los metales, ya que su densidad es mayor.

Flexibilidad de formas: Debido a que las fibras de refuerzo se pueden trabajar con mayor facilidad que otros materiales antes del proceso de curado de la matriz, se pueden realizar una gran variedad de formas y acabados.

Alta resistencia dieléctrica: Los materiales compuestos son aislantes eléctricos.

Gran capacidad de consolidación de partes: Los materiales compuestos permiten el ensamblaje de componentes, reduciendo así el número de elementos y por lo tanto, necesitando menor número de uniones.

Resistencia a la corrosión: Esta propiedad viene determinada por el tipo de matriz que se utiliza. De esta manera se puede seleccionar matrices con resistencia a cualquier medio corrosivo.

Comportamiento a fatiga: El comportamiento a la fatiga de los compuestos es bueno. Al ser materiales amorfos, es decir, no tienen una estructura ordenada, no sufren los mismos efectos de fatiga que los metales y su resistencia es mayor.

Reducción de costes de mantenimiento: Al tener una buena resistencia a la fatiga y presentar muy buena resistencia a la corrosión se reducen las tareas de mantenimiento y costes de reparación.

5.7. Representación gráfica

Como en toda pieza, sea cual sea el material en que se fabrique, es necesario definir su forma geométrica, utilizando las vistas, secciones y detalles necesarios, en los que se indicaran las dimensiones, tolerancias, tolerancias geométricas y acabados superficiales [20].

En el caso de las piezas fabricadas en materiales compuestos es necesario indicar de alguna manera en el plano datos fundamentales para que la pieza sea como su función requiere y el diseñador defina.

Estos datos son los relativos a la configuración de las capas de material que forman la pieza:

Orientación de las fibras en cada capa

Disposición y ubicación de las capas.

Orientación de las fibras:

Sobre alguna de las caras de la pieza ha de indicarse cuál es "el cero" de referencia para la orientación de las fibras, tanto en las cintas como en el tejido. Para que no haya lugar a dudas, se marca la dirección de 0° , la de 90° y la llamada -0° .

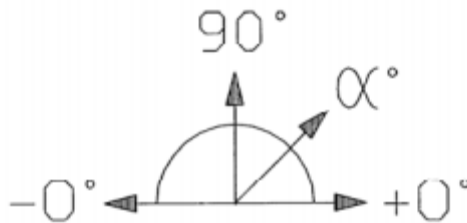


Figura 2: Símbolo para indicar la orientación de referencia.

Fuente: Santiago Poveda Martínez

Disposición de las capas:

Tal y como ya se ha comentado, este tipo de piezas están formadas por un empilado de capas que se van colocando con las orientaciones necesarias para obtener las características de rigidez o tenacidad necesarias.

La secuencia de empilado y la orientación de cada una de las capas se indica con:

- Unas flechas o banderas que indican la secuencia de empilado, numerando las capas.
- Una tabla que identifica cada capa con su orientación (normalmente 0° , 90° , 45° , -45° , 60° , -60°), material, cantidad y espesor.

Existe una gran variedad de criterios a la hora de establecer las indicaciones anteriores [figura 3], dependiendo no sólo de cada empresa, sino a veces de quién hace el plano, aunque se tiende a la normalización de las mismas.

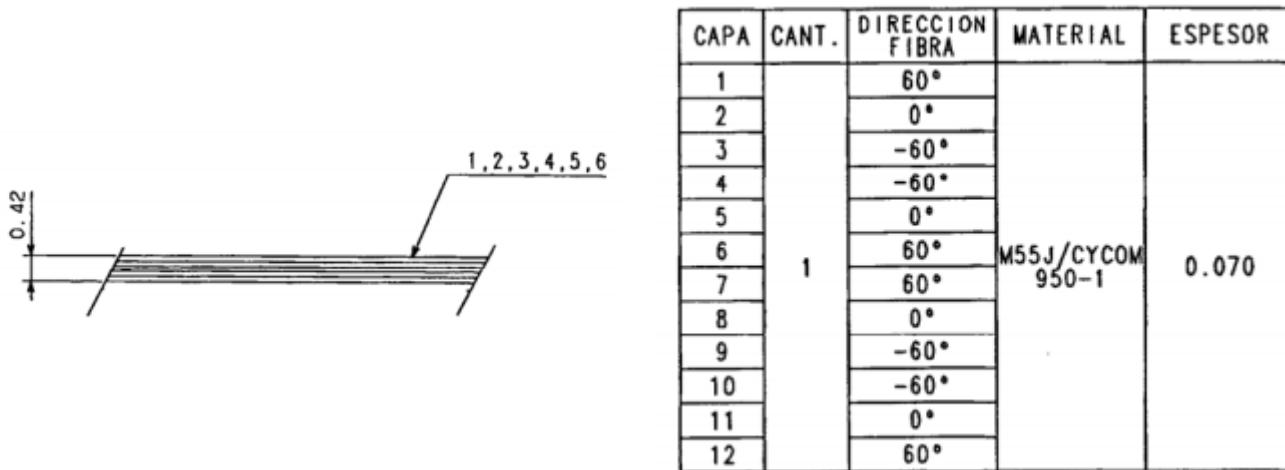


Figura 3: Indicación de la secuencia de empilado.

Fuente: Santiago Poveda Martínez

5.8. Método de fabricación.

En la conformación de un material compuesto hay muchas opciones diferentes al momento de elegir materiales entre resinas y fibras, cada una de ellas con su conjunto de propiedades únicas tales como resistencia, rigidez, tenacidad, resistencia térmica, corto, productividad, etc.

Sin embargo, las propiedades finales de una pieza de material compuesto producida a partir de estos distintos materiales no dependen sólo de las propiedades individuales de la resina matriz y de las fibras sino, también, del modo mediante el cual se diseñan y procesan dichos materiales.

De igual manera un momento importante para las fibras que se utilizarán en el material compuesto es el laminado. En este caso se centrará en conocer los procesos de fabricación de material compuesto con matriz plástica, debido a que es el tipo de material en el que se centrará el trabajo.

Cuando las resinas utilizadas en la fabricación de un material compuesto son polímeros termoplásticos, las técnicas empleadas para su procesamiento son, principalmente, aquellas mediante las cuales se procesa la matriz individualmente para llegar a una pieza final: inyección, extrusión, moldeo por compresión.

En cambio, los procesos desarrollados para producir compuestos mediante el empleo de matrices termorrígidas, han sido diseñados especialmente.

En el proceso de laminado se tienen varias categorías:

Moldeo por contacto:

Las técnicas de moldeo por contacto implican la colocación de las fibras de refuerzo y resina líquida sobre la superficie de un molde abierto, que puede o no ser previamente revestido con una capa de gelcoat.

En estas técnicas la mano del operario juega un papel muy importante, ya que de él depende que el laminado quede bien o no. Las técnicas de moldeo por contacto utilizan sistemas de resinas que curan a temperatura ambiente. Son las técnicas más sencillas y económicas.

Dentro de este grupo podemos destacar: laminado manual, proyección simultánea y moldeo con impregnadores.

- **Proyección simultánea:**

Supone una primera evolución del moldeo por contacto, al automatizar alguna de las operaciones con objeto de ganar productividad y reducir costos de fabricación.

Las materias primas empleadas son rigurosamente las mismas, excepto por la presentación del refuerzo, aunque sus características físicas varían, ligeramente, para una mejor adaptación al proceso: fibras continuas y resinas menos viscosas.

La realización del proceso consiste en depositar sobre el molde de forma simultánea fibra y resina en las proporciones adecuadas y de manera que las cantidades depositadas originen sobre el molde un tapiz lo más homogéneo posible en cuanto a espesor y distribución.

Las ventajas principales de este proceso son su madurez como técnica luego de muchos años de implementación, bajo costo de producción y de herramental.

Por otro lado, las desventajas son el bajo porcentaje de fibra admisible, que por tratarse de fibras cortas no permiten obtener piezas con altas propiedades mecánicas y que los espesores que se pueden conseguir están limitados a partir de algunos milímetros.

Moldeo asistido por vacío:

La técnica de moldeo por vacío consiste en aplicar presión sobre el laminado durante su ciclo de curado. Esto permite conseguir materiales compuestos con mejores propiedades físicas y mecánicas.

Al realizarle el vacío al laminado, se consigue remover el aire atrapado entre capas, compactar las capas, evitar cambios de orientación del laminado durante el curado, reducir la humedad y optimizar el contenido de matriz en el material compuesto.

Podemos distinguir tres métodos de producción por vacío: laminado manual asistido por vacío, laminado con pre impregnados y laminado con pre impregnados parciales.

Moldeo por vía líquida:

Las técnicas de moldeo de materiales compuestos por vía líquida se caracterizan por el hecho de que la resina y las fibras de refuerzo entran en contacto por primera vez en el interior del molde cerrado. La presión de compactación se consigue mediante el uso de contra moldes o técnicas auxiliares de vacío.

Las dos técnicas de moldeo por vía líquida son: infusión y RTM.

- Infusión:

Esta es una extensión del hand lay-up en donde el laminado es consolidado con la ayuda de una bomba de vacío y una bolsa hermética. En este proceso se coloca el laminado sobre el molde. Por sobre el laminado se aplican capas de mantas perforadas (de sangrado) que sirven para retener el exceso de resina que sale del laminado.

Por sobre el conjunto se coloca una bolsa herméticamente sellada. Acto seguido se realiza vacío entre el molde y la bolsa para extraer las burbujas de aire y retirar el exceso de resina (consolidado). El curado se realiza generalmente en vacío. Para este proceso se pueden emplear tanto resinas epoxi y fenólicas, como resinas poliéster; mientras que las fibras a utilizarse pueden presentarse en una gran variedad de mantas.

Se pueden lograr mayores concentraciones de fibras en el laminado que con el laminado por contacto manual; con menores concentraciones de burbujas, mejor humectación de las fibras por la presión y el flujo de resina a través de la estructura de las fibras hasta alcanzar los materiales de la bolsa.

- RTM:

En este proceso un molde es rellenado con el material de refuerzo. Una pre-presión es aplicada sobre el refuerzo para que éste tome correctamente la forma del molde y, luego, es mantenido sujeto por medio de amarras. Esta preforma es entonces cerrada por la contraparte del molde y la resina es inyectada dentro de la cavidad.

Puede ser aplicado vacío al conjunto para asistir al flujo de la resina dentro de la cavidad y a la eliminación de aire atrapado. Una vez que toda la preforma es humedecida por la resina se cierra el molde a la salida de resina sobrante y comienza el curado. Durante la etapa de inyección de resina el frente de avance de la misma va eliminando el aire del refuerzo.

Este proceso se diferencia de los de moldeo por presión en que la resina es introducida en el molde cuando éste se encuentra cerrado.

Por medio de este proceso se pueden obtener formas complejas de manera eficiente, en cortos tiempos y económicos con alta fracción de fibras y baja concentración de burbujas; siendo una técnica segura y limpia para el operador. Ambas caras del material tienen buena terminación superficial y es viable agregar molde fácilmente inserto y fibras especiales.

En contrapartida, el diseño del molde es crítico y requiere gran pericia; las propiedades son equivalentes a las de las piezas fabricadas por moldeos a presión, pero no son tan buenas como otros materiales compuestos realizados por técnicas como enrollamiento filamentario o moldeo de pre-impregnados; el control de la uniformidad de la resina puede ser difícil especialmente en zonas con radios marcados, como también puede ocurrir desplazamiento del refuerzo.

Moldeo con autoclave:

El proceso de autoclave consiste en someter a piezas laminadas, normalmente pre-impregnados, para someterlas a una mayor presión de compactación y a una temperatura de curado más elevada.

Los resultados que obtenemos con este procedimiento son los mejores en comparación con los demás métodos y también son los que tienen mayores propiedades físicas y mecánicas. El problema de este método es que es demasiado costoso, cosa que dificulta su expansión en el mercado.

Enrollamiento filamentario:

El enrollamiento filamentario (filament winding) es un proceso automatizado en el que un haz de fibras continuas, ya sean pre-impregnadas o húmedas impregnadas con resina, se enrollan en un mandril con un patrón determinado.

El proceso de devanado se compone de un bobinado de monofilamentos impregnados o bandas de fibra, que son enrollados a grandes velocidades y de forma precisa sobre un mandril que rota entorno a su eje de giro.

La orientación angular del refuerzo de fibra se determina en función de la velocidad de la cabeza del bobinado que se mueve a lo largo del mandril en relación con la rotación del mandril.

El ángulo de enrollado puede variar desde bajos ángulos “longitudinales” (00) hasta altos ángulos “circunferenciales” (90o) con respecto al eje del mandril. Por lo que puede ser realizado cualquier tipo de ángulo helicoidal.

Es un proceso muy rápido, automatizado y económico; se puede controlar muy acertadamente la concentración de resina, alcanzándose valores muy altos de fracciones en peso de fibras; por no emplearse mantas o tejidos, se minimiza el costo de la fibra a utilizar; las propiedades estructurales de los laminados pueden ser muy altas ya que las fibras pueden ser colocadas en ángulos bien definidos por el proceso.

Moldeo por estampación de termoplásticos reforzados:

El estampado es un método muy utilizado en la fabricación de piezas de material termoplástico reforzado con fibra de vidrio.

El proceso se alimenta de placas de termoplástico reforzado rígidas que pueden ser previamente calentadas para ser más maleables. Las piezas son transportadas hasta un molde donde son estampadas con una prensa.

El método de estampación ofrece la posibilidad de fabricar piezas de gran tamaño y complejidad con espesores variables y grandes volúmenes de producción. Tienen buenas propiedades mecánicas gracias a su gran volumen de fibra.

5.8.1 Wet lay up.

Procesos de moldeo en húmedo

La capa húmeda es un proceso de moldeo que combina capas de fibra reforzada con resina líquida para crear un laminado de alta calidad [15].

Técnica de colocación en húmedo

Este proceso implica el posicionamiento del material de refuerzo en o contra un molde en capas.

Estas capas se impregnan luego con un sistema de resina líquida, ya sea con un cepillo o rodillo, para asegurar una buena humectación del material de refuerzo. El paso se repite hasta conseguir el grosor del refuerzo.

El curado se puede realizar a temperatura ambiente o bajo calor, dependiendo de la selección del sistema de resina. Esto se puede lograr con o sin el uso de un proceso de embolsado al vacío (recomendado para una pieza de mayor calidad).

Beneficios de la colocación húmeda

- Fácil procesamiento
- Baja inversión de capital
- Conveniente para producción de bajo volumen.

5.9. Aplicaciones y limitaciones de los materiales compuestos.

Las aplicaciones actuales exigen materiales de baja densidad y buenas propiedades mecánicas (elevada rigidez y resistencia). Esta combinación de propiedades no se puede conseguir con los materiales convencionales: metales, polímeros y cerámicos. El desarrollo de los composites ha permitido la mejora de las propiedades de los materiales [21].

Ventajas que presentan los materiales compuestos

- Alta resistencia específica (resistencia/densidad) y rigidez específica (rigidez/densidad)
- Posibilidad de adaptar el material el esfuerzo requerido gracias a la anisotropía.

Los materiales compuestos de matriz polimérica se utilizan en la industria automovilística, naval, aeronáutica, aeroespacial, electrónica, de material deportivo y de la construcción, reemplazando a los metales y otros materiales en muchas aplicaciones.

En general, la desventaja más clara de los materiales compuestos es el precio. Las características de los materiales y de los procesos encarecen mucho el producto.

Para ciertas aplicaciones las elevadas propiedades mecánicas, tales como la alta rigidez específica, la buena estabilidad dimensional, la tolerancia a altas temperaturas, la resistencia a la corrosión, la ligereza o una mayor resistencia a la fatiga que los materiales clásicos compensan el alto precio

Las aplicaciones actuales exigen materiales de baja densidad y buenas propiedades mecánicas (elevada rigidez y resistencia).

Esta combinación de propiedades no se puede conseguir con los materiales convencionales: metales, polímeros y cerámicos. El desarrollo de los compuestos ha permitido la mejora de las propiedades de los materiales.

5.10. Selección de fibra.

El presente trabajo se centrará en la creación de un material compuesto de matriz polimérica y resina epoxi. Esto debido a las características que otorga como la resistencia mecánica y eléctrica.

La selección de la fibra natural fue basada en un tipo de vegetación de Baja California, en la que se encuentran diversas plantas como el eucalipto, palma, laurel entre otras, siendo las de mayor abundancia las que se utilizaron para pruebas en la creación de materiales compuestos, en las cuales destacó la hoja de palma debido a la maleabilidad y que se lograba realizar el trabajo de manera artesanal.

5.11. Selección de tratamiento.

Las fibras aportan propiedades únicas al material compuesto final, a pesar de esto, se busca mejorar aún más estas propiedades facilitando la unión entre la fibra y la resina, para esto se selecciona un tratamiento químico con el cual se mejorará la acción de la fibra, siendo este el tratamiento alcalino.

Las fibras se sumergen en una disolución acuosa de hidróxido de sodio (NaOH) al 2% p/v, diluido con agua destilada en diferentes proporciones (*vistas en la parte de experimentación*) durante diez minutos a 25°C. Este tratamiento fue seleccionado debido a las propiedades finales que se presume puede aportar, siendo estas la mejor adhesión entre la fibra y la resina, así como la disminución de la humedad, lo cual es un punto principal para el mejor desempeño del material.

5.12 Descripción de prueba mecánica.

Se denomina prueba de tensión al ensayo que permite conocer las características de un material cuando se somete a esfuerzos de tracción.

El objetivo es determinar la resistencia a la fractura y las principales propiedades mecánicas del material. En el ámbito de la impermeabilización, conocer las propiedades de cada producto nos ayudan a determinar su capacidad para soportar los esfuerzos estructurales de los soportes sobre los que se aplica.



Figura 4: Máquina utilizada para las pruebas de tensión.

Fuente: El Autor

6. Metodología.

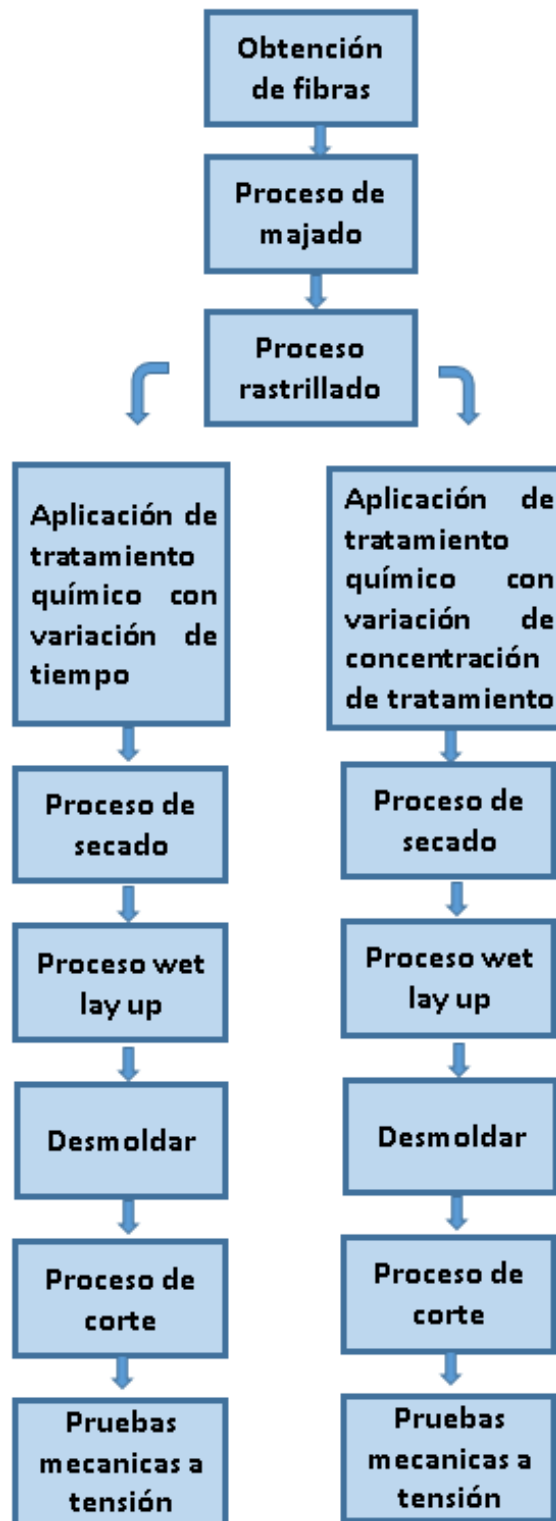


Diagrama.1. Metodología del proceso de esta investigación.

Se comenzó por seleccionar la fibra natural que se volvería el refuerzo del material compuesto, en este caso se utilizaron hojas de palma washingtoniana debido a su abundancia en la región de Baja California, aunque la palma misma no es originaria de la región es muy común ver esta palma por toda la región, esto la vuelve un candidato a para la realización del material compuesto. Una de las razones más importantes por las que se utilizan las fibras naturales en la manufactura de materiales compuestos a base de fibras naturales es la fácil obtención del material, lo que brinda una rápida respuesta ante la demanda de estos materiales.

La forma de la hoja brinda una fácil obtención de las fibras. Esta condición fue otra de las razones por la que fue seleccionada esta palma.

Para separar las fibras se utilizaron 2 procesos.

El primero de ellos implicó el majado de las fibras para separar pedazos grandes de hoja, este proceso consistió en realizar repetidos golpes con un marro a un manojo de hojas sobre un tronco de madera.

El segundo proceso se realizó un rastrillado de las fibras para reducir su grosor. Después de pasar repetidamente las fibras por un rastrillo las fibras quedan separadas esto ayuda a purgar pedazos cortos de fibra para tener fibras largas y de tamaño similar

Una vez que las fibras están libres de impurezas son sumergidas en un tratamiento químico de ácido acético, este proceso se realiza para cada conjunto de fibras a tratar y cada conjunto correspondió a un laminado, la aplicación se realizó con distintas concentraciones y tiempos de exposición. El tratamiento químico se elaboró en un ambiente controlado, se realizaron disoluciones en una cámara de extracción debido a que el ácido acético evapora lentamente cuando entra en contacto con el aire.

Obtenido el tratamiento químico las fibras fueron separadas por lotes, a cada lote se le aplicó una concentración de tratamiento, las fibras fueron sumergidas verticalmente en un probeta. Para evitar salpicaduras, primero se colocaron las fibras dentro de la probeta, posteriormente se vertió el tratamiento químico con mucho cuidado en las probeta para impregnar el tratamiento en las fibras. Es importante resaltar que en todo momento se utilizó equipo de protección personal (lentes de seguridad, bata de laboratorio, y cofia) debido a que el tratamiento en contacto con la piel u ojos causar irritación.

Aplicado el tratamiento se prosiguió un proceso de secado de 24 horas, con el fin de asegurarse que las fibras estuvieran completamente secas y evitar problemas al momento de laminar.

Con el tratamiento químico aplicado a los refuerzos y completo el proceso de secado se procedió a unir el refuerzo con la matriz polimérica, para esta acción se utilizó el proceso de wet lay up.

Se utilizó una placa de aluminio rectificada, esta debe estar libre de imperfecciones (golpes, irregularidades en la superficie, etc.) de otro modo pueden comprometer el laminado final. El proceso comienza con la limpieza de la placa, la placa fue limpiada con algodón impregnado de diluyente, esto ayuda a eliminar los residuos que pudieran alojarse en la placa rectificada.

El método para asegurar que el material compuesto no se adhiriera a la placa rectificadora es aplicando una capa de desmoldante esperar a que seque y aplicar la siguiente capa de desmoldante.

Es importante por ningún motivo tocar o poner objetos sobre la superficie debido a que pueden remover el desmoldante

.Para asegurar que la resina se impregnara adecuada y uniformemente le aplico peso a los laminados, durante todo el proceso de curado. El proceso de curado fue de alrededor de 12 horas.

Concluido el proceso de curado se prosiguió a desmoldar para ello se utilizaron espátulas de plástico, estas se insertaron por debajo del laminado con mucha delicadeza para evitar a toda costa generar algún daño.

Una vez cortadas las muestras se prosigue a transformar los laminados en muestras individuales mediante un proceso de corte. Para este proceso se delimito la superficie del laminado con un marcador y se prosiguió a cortar el laminado con un bafer.

Una vez curado el material se prosiguió a cortarlo, se midió y se cortó de acuerdo a la norma ASTM D3039. Las muestras fueron probadas en una máquina de tensión.

7. Experimentación.

7.1. Obtención de fibras.

Se cortaron plantas sanas y completas de palma washingtonia, para el obtener fibras en óptimas condiciones. Para poder separar las fibras se dejaron secar 1 semana expuestas constantemente al sol hasta que tornaron en un color amarillo uniforme a lo largo de la hoja. Las fibras pasaron por dos procesos: majado y rastrillado para convertirse de una hoja a fibras separadas.

Majado. Este proceso consistió en tomar manojos de fibra apoyándolos contra un tronco de madera y golpeados con un marro repetidamente para separar las fibras de manera parcial, se debe tener cuidado de no lastimar las fibras solo separarlas. [figura 5].



Figura 5. Herramientas del majado

Fuente: el autor

Rastrillado. Para este proceso se utilizó un cepillo, este se hizo pasar repetidas veces para separar adecuadamente las fibras. Este proceso es clave, se deben seleccionar cuidadosamente las fibras a utilizar verificando la condición de las mismas asegurándose que no tengan fracturas o sean muy delgadas al grado de romperse con facilidad. [Figura 6].



Figura 6. Fibras de palma antes (abajo) y después (arriba) del proceso de rastrillado.

7.2. Tratamiento químico acetal.

La aplicación del tratamiento y encontrar la combinación óptima de concentración de tratamiento y tiempo de exposición al mismo se dividió en dos partes la investigación.

Para seleccionar el mejor tratamiento se utilizaron 3 tiempos distintos de exposición al tratamiento, y 3 concentraciones distintas de tratamiento disueltas en agua.

Para empezar con el tratamiento primero se le aplicaron 3 concentraciones diferentes diluidos en agua, a las fibras se les aplicó el agente de acetilación a utilizar (ácido acético) durante un periodo de 15 minutos en tres diferentes disoluciones, la primera a un 50% de agua y 50% de solución, la segunda a un 70% de agua y 30% de solución y la tercera a 80% de agua y 20% de solución.

Todas las disoluciones están realizadas a partir de una solución base de ácido acético al 50% para observar la variación en las propiedades de las probetas al someterlas a pruebas de tensión. Para la solución se requiere aproximadamente 500 ml y a partir de esta, se solventan las disoluciones.

Se prosiguió en todos los pasos que menciona la metodología y se determinó cual fue la concentración que mostro los mejores resultados. Con esta información se prosiguió a realizando pruebas en busca del mejor tiempo de exposición, por lo que se volvió a iniciar desde el primer paso para obtener más fibras y tratarlas.

7.3 Proceso de secado.

El proceso de secado consistió en dejar reposar las fibras en un recipiente durante 24 horas, las fibras ya separadas se colocaron separadas entre ellas para evitar contacto entre las fibras con distintos tratamientos [Figura 7].



Figura 7. Fibras tratadas separadas por lotes según la concentración de tratamiento.

7.4 Laminados.

Las muestras se realizaron por el proceso de wet lay up, para este proceso se requirió una resina de baja densidad. Se realizó a temperatura ambiente. Para unir el refuerzo con la resina y generar un material compuesto se prosiguió a preparar la resina.

La relación de la resina utilizada tiene una relación de 4:1, para verificar que fue una relación adecuada se utilizó un recipiente graduado [figura 8], de esta forma se pesaron ambas partes de la resina (catalizador y la resina).

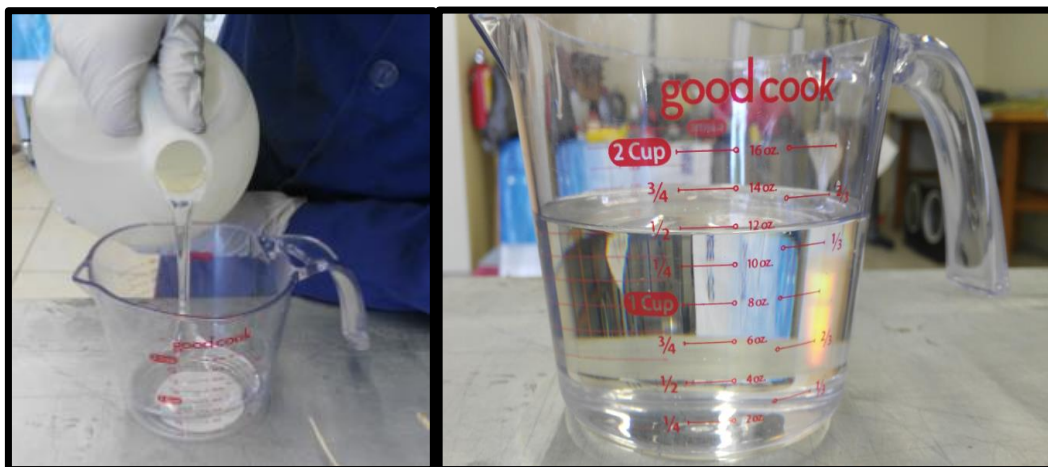


Figura 8. Reciente graduada.

Fuente: el autor.

Una vez lista el área de trabajo se procede a colocar las fibras de la forma en la que se desea obtener el laminado final, en este trabajo se buscó el menor espesor posible de esto provocó que la resina se impregnara adecuadamente a la fibra, otra razón por la que se buscó tener un espesor pequeño menor a 3mm fue para poder ser probadas por la norma ASTM D3039.

Antes de unir las dos partes de la resina es importante asegurarse que se cuenta con todo el equipo de seguridad necesario y las herramientas necesarias para la elaboración del trabajo, debido a que una vez unidas ambas partes de la resina se tiene un periodo de alrededor de 15 minutos para la aplicación de la misma antes de que comience a endurecerse la resina.

Una vez obtenida la cantidad correcta de ambas partes de la resina se vierten en un mismo recipiente y se mezclan alrededor de 30 a 60 segundos hasta que la mezcla se vuelve de un color homogéneo. Una vez que esta lista la resina se aplica uniformemente sobre las fibras.

La resina se aplica con ayuda de una espátula, se requiere practica para este trabajo se debe saber que requiere el laminado ya sea que se necesite remover excesos de resina, llenar huecos entre las fibras, orientar de manera correcta las fibras, etc.

Para esta investigación la fibra se dejó curar durante 24 horas, mientras se curaba la matriz del material se le colocó una carga encima para reducir el espesor del material, y obtener un mejor acabado en la superficie.

7.5. Desmolde.

Una vez listo el laminado se retiró la carga que tiene encima y se examinó visualmente el laminado. Para retirar el laminado de la placa rectificadora se utilizaron espátulas de plástico, se debe tener mucho cuidado al momento de desmoldar para evitar generar algún daño al laminado.

La manera en la que se realizó el desmolde del laminado se realizó insertando una espátula entre el laminado de material compuesto y la placa rectificadora. Es muy importante verificar que esta acción no genere fracturas en el laminado de ser así hay que retirar la espátula y buscar otro lado por donde desmoldar esta acción no debe llevar mucho trabajo, si se convierte en una tarea complicada es importante examinar el laminado una vez terminada esta acción para verificar que el laminado no tiene grietas, fisuras, hoyos, etc.

7.6. Proceso de corte.

Los laminados se marcaron para obtener cupones individuales de 1X11 inches, esta operación se realizó con un marcador y una regla, se le dio un espacio de 0.125in de separación entre cada cupon debido a que el equipo de corte que se utilizó necesitaba una tolerancia abierta para el corte manual de la pieza [figura 9]. Se debe verificar que el corte sea recto y coincida con la orientación de las fibras para que la fuerza de acción se distribuya de manera correcta en el refuerzo del material.



Figura 9. Laminados desmoldados y laminado marcado.

Fuente: el autor.

Los laminados fueron colocados en una mesa y la sujeción del laminado se realizó con un par de pinzas de sujeción [figura 10].



Figura 10. Herramienta de sujeción.

El corte manual se realizó con un bafer [figura 10].



Figura 10. Herramienta de corte..

A continuación se muestran los cupones finales después de todas las operaciones [figura 11].



Figura 11. Probetas terminadas.

7.7 Pruebas

Las muestras se colocan entre un par de mordazas de una máquina de prueba universal con una separación de agarre específica (una pulgada aproximadamente) y se les aplica una carga hasta llegar al punto de falla [figura 12]. Para ASTM D3039, la velocidad de prueba puede determinarse por la especificación del material o el tiempo hasta la falla (de 1 a 10 minutos). Una velocidad de prueba típica para probetas estándar es de 2 mm / min (0.05 in / min). Se usa un extensómetro o medidor de tensión para determinar la elongación y el módulo de tracción. Según el refuerzo y el tipo, puede ser necesario realizar pruebas en más de una orientación.



Figura 12. Probetas montadas máquina de tracción.

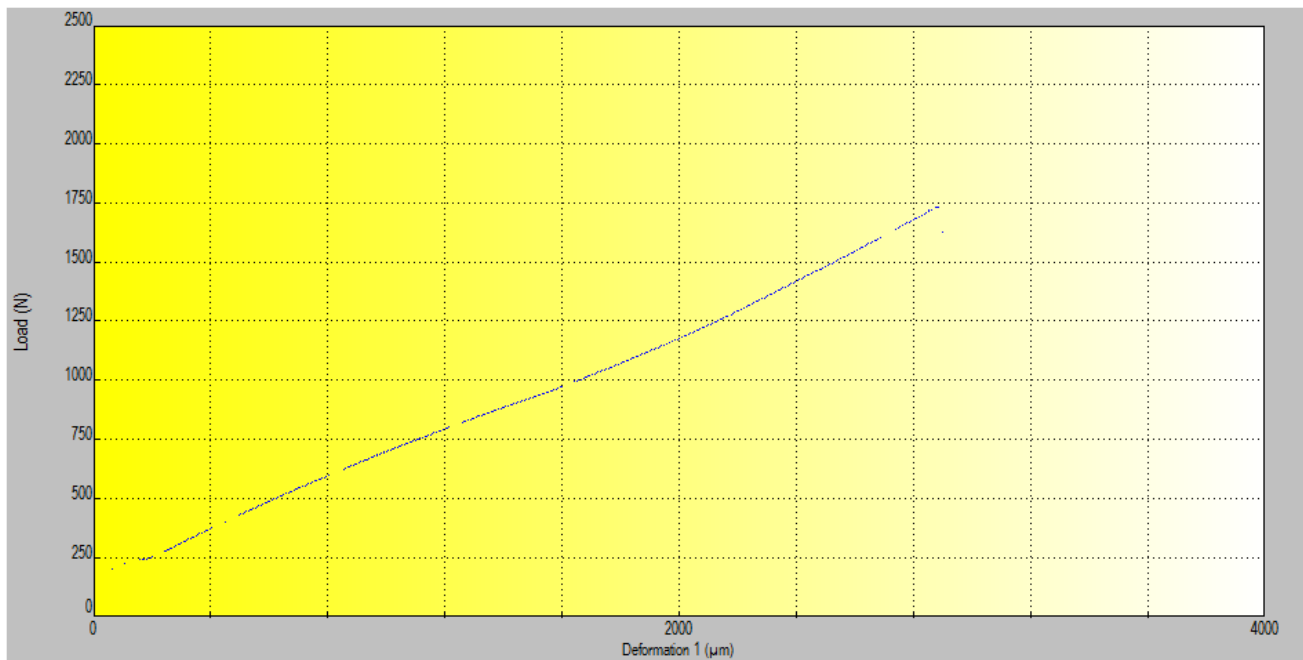
8. Resultados

A continuación, se presentan las gráficas y tablas resultados obtenidos en las pruebas de tensión realizadas, se muestran las tablas con la carga máxima soportada, así como la gráfica que representa el comportamiento que mostró el material durante la prueba.

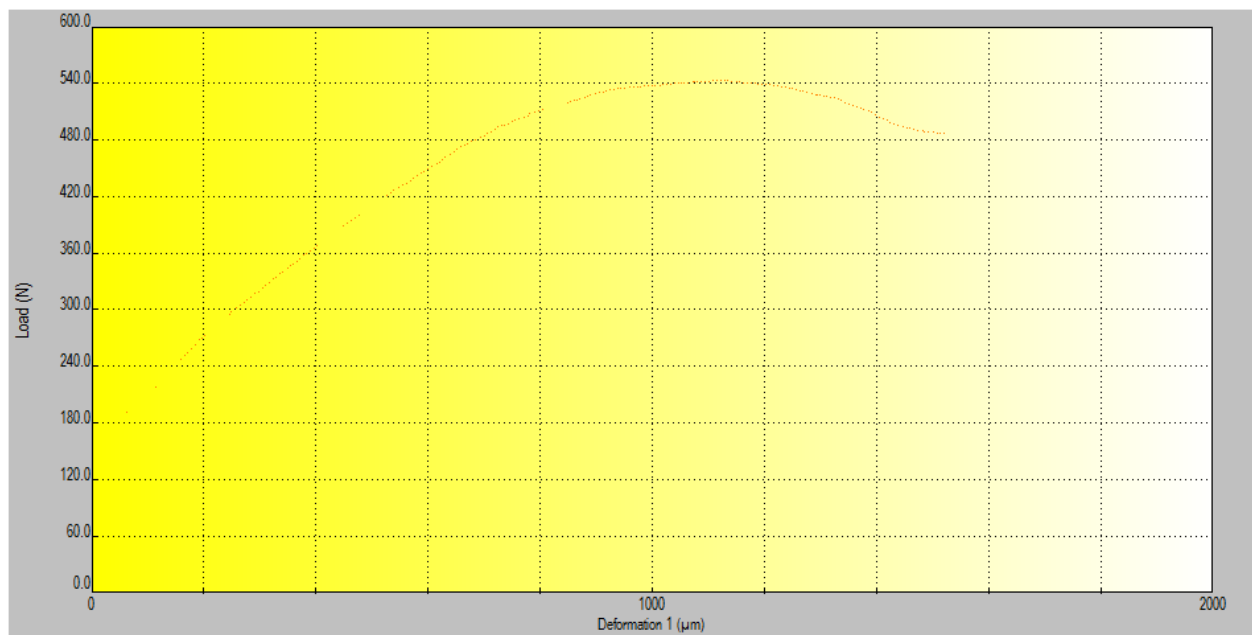
Fibras sin tratamiento. [Tabla 1]

Prueba	Carga máxima	Ancho	Espesor
1	1733 N	32 mm	3 mm
2	543 N	29 mm	2 mm
3	328 N	31 mm	2 mm
4	707 N	28 mm	3 mm

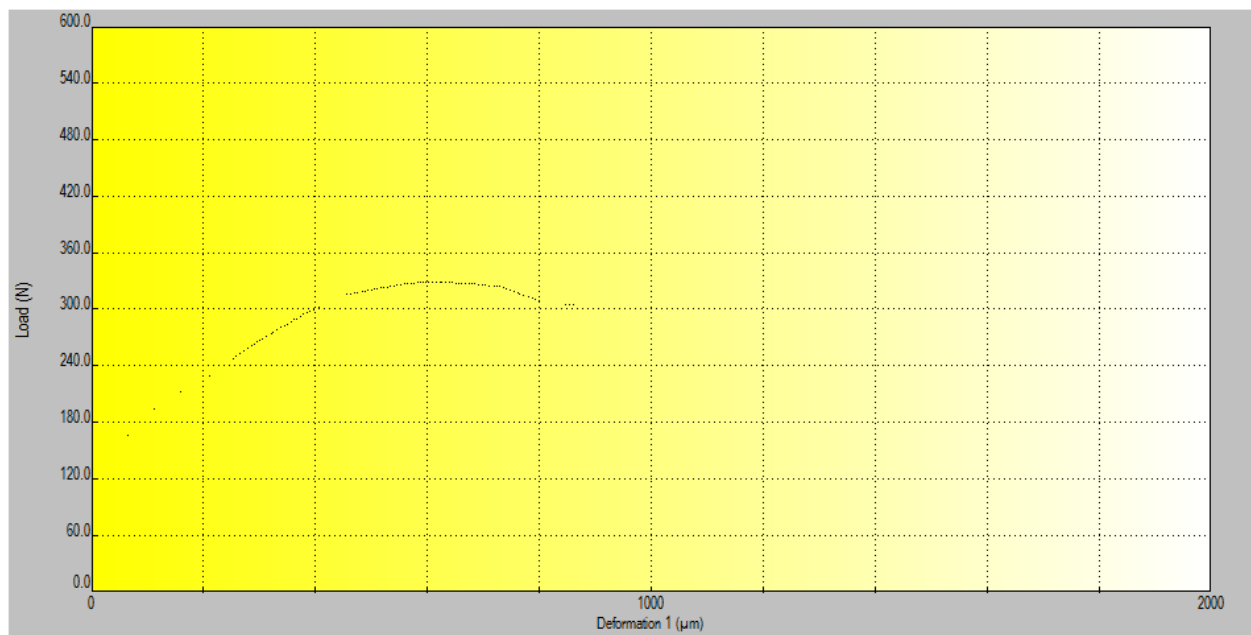
Tabla1. Tabla de resultados (fibras sin tratar).



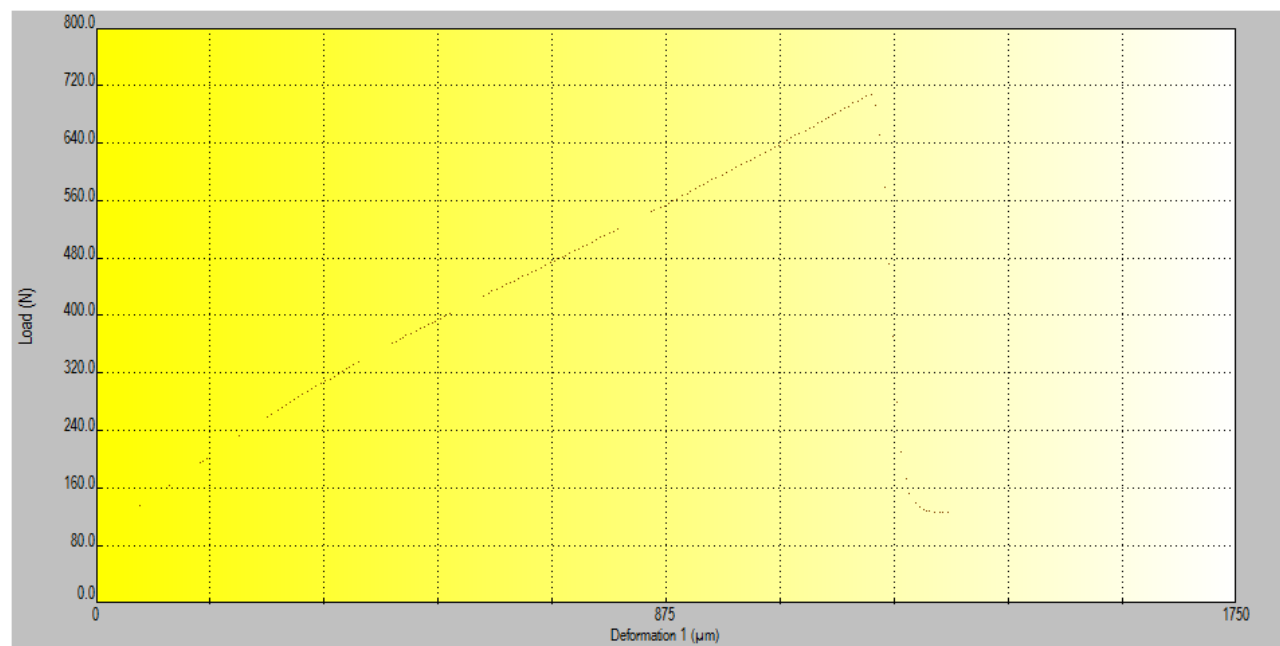
Gráfica de resultados (fibras sin tratar-Prueba 1).



Gráfica de resultados (fibras sin tratar-Prueba 2).



Gráfica de resultados (fibras sin tratar-Prueba 3).

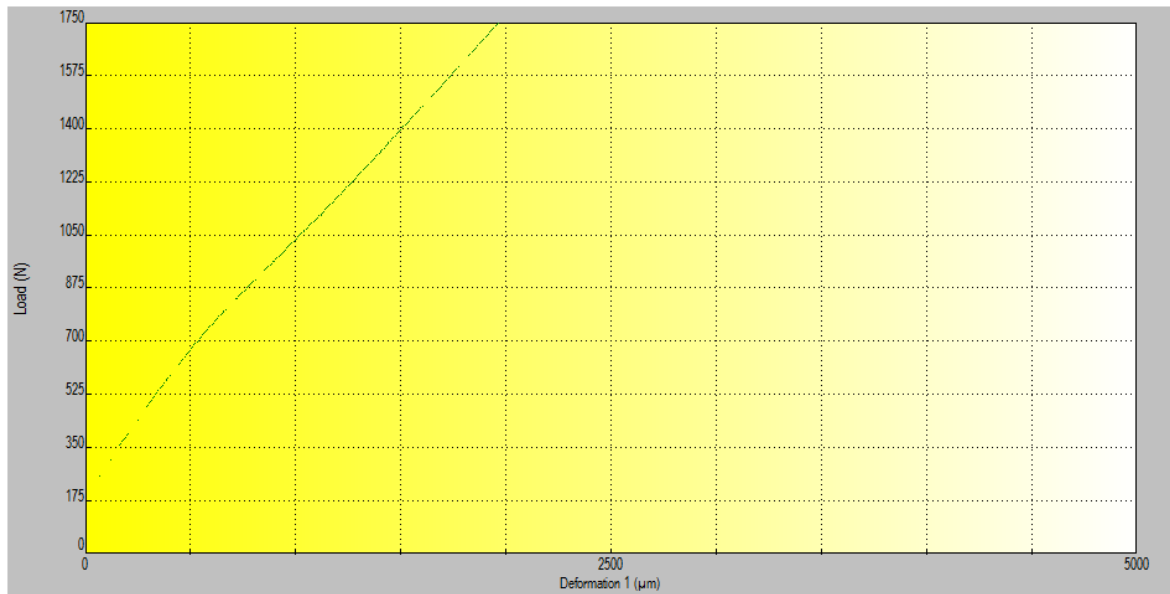


Gráfica de resultados (fibras sin tratar-Prueba 4).

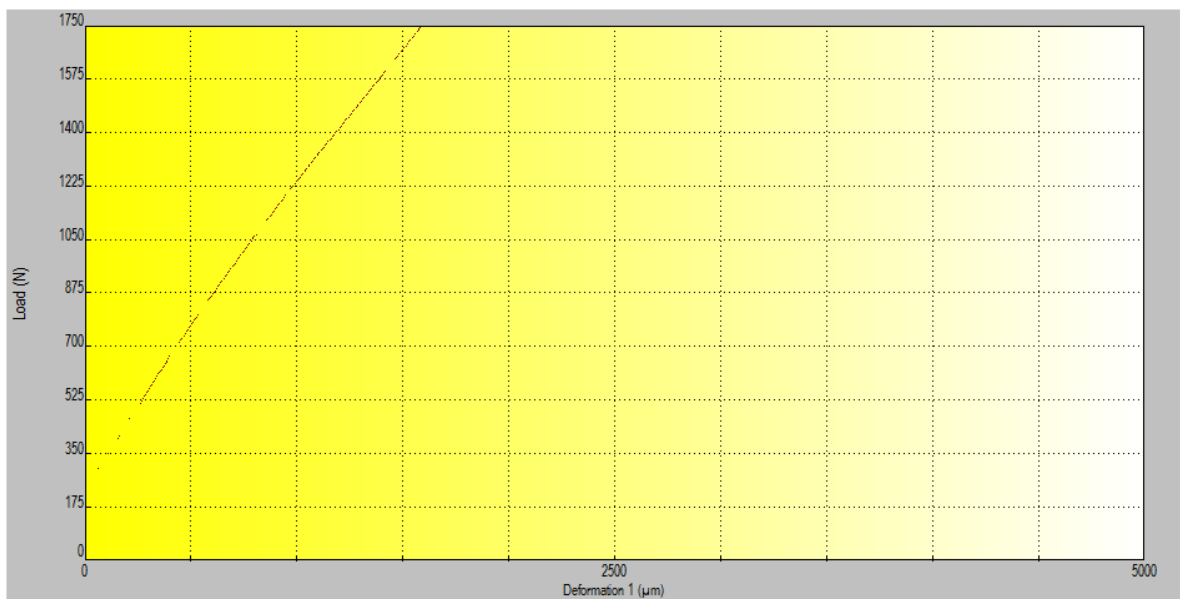
Fibras al 70% agua / 30% solución. [Tabla 2].

Prueba	Carga máxima	Ancho	Espesor
1	2,181 N	29 mm	3 mm
2	2,438 N	29 mm	3 mm
3	2,114 N	30 mm	3 mm
4	2,973 N	35 mm	3 mm

Tabla 2. Tabla de resultados (fibras 70%/30%).



Gráfica de resultados (fibras 70%/30%-Prueba 1).



Gráfica de resultados (fibras 70%/30%-Prueba 2).

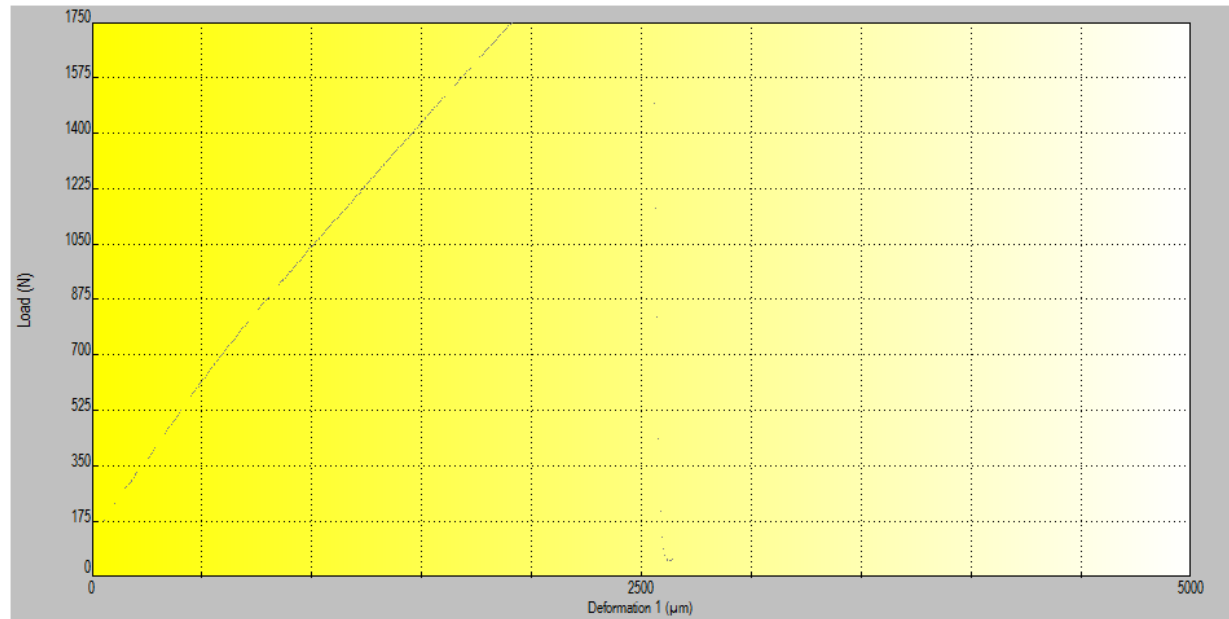
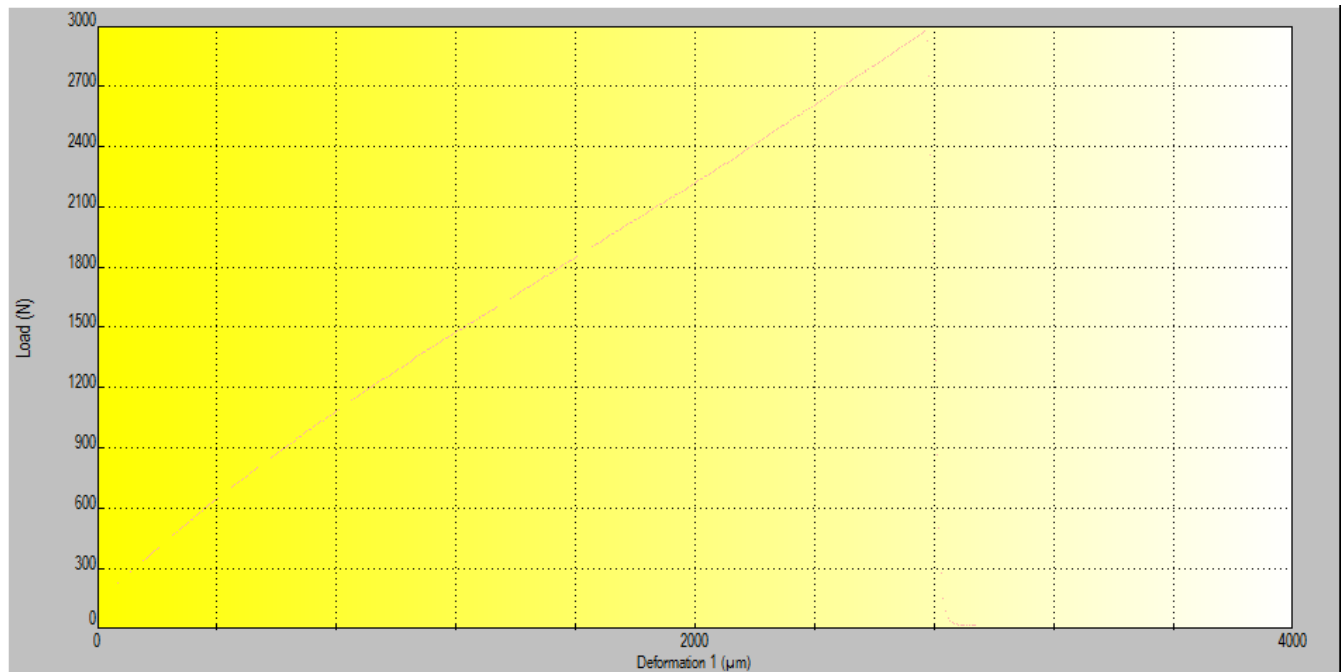


Figura 19 Gráfica de resultados (fibras 70%/30%-Prueba 3).

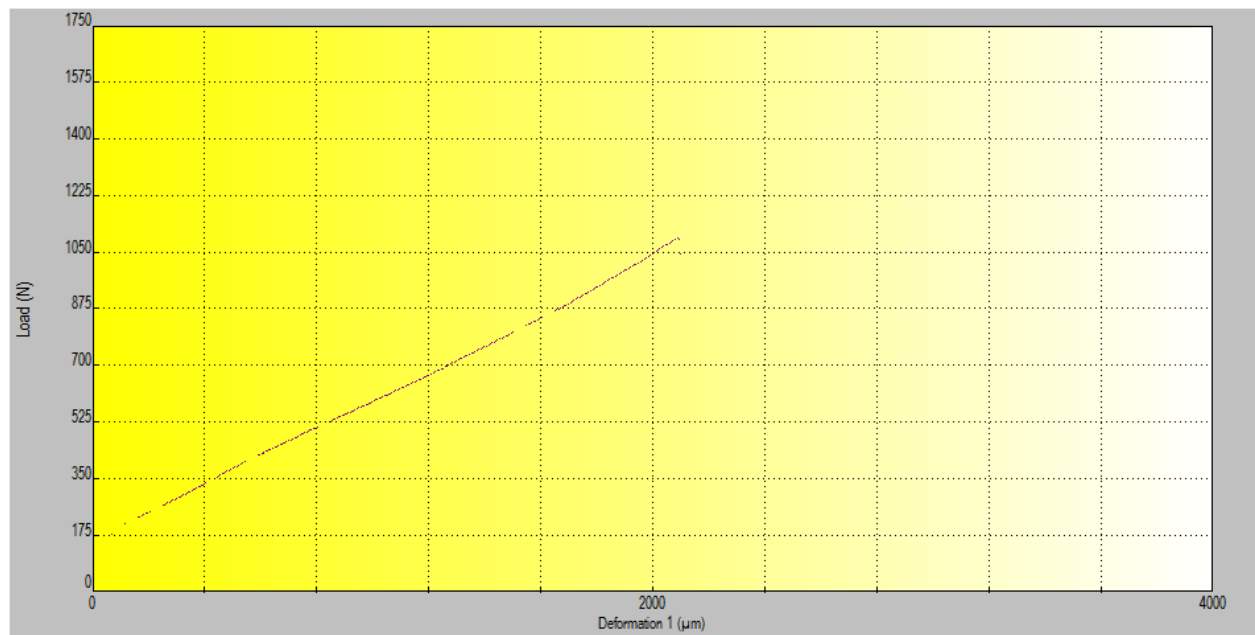


Gráfica de resultados (fibras 70%/30%-Prueba 4).

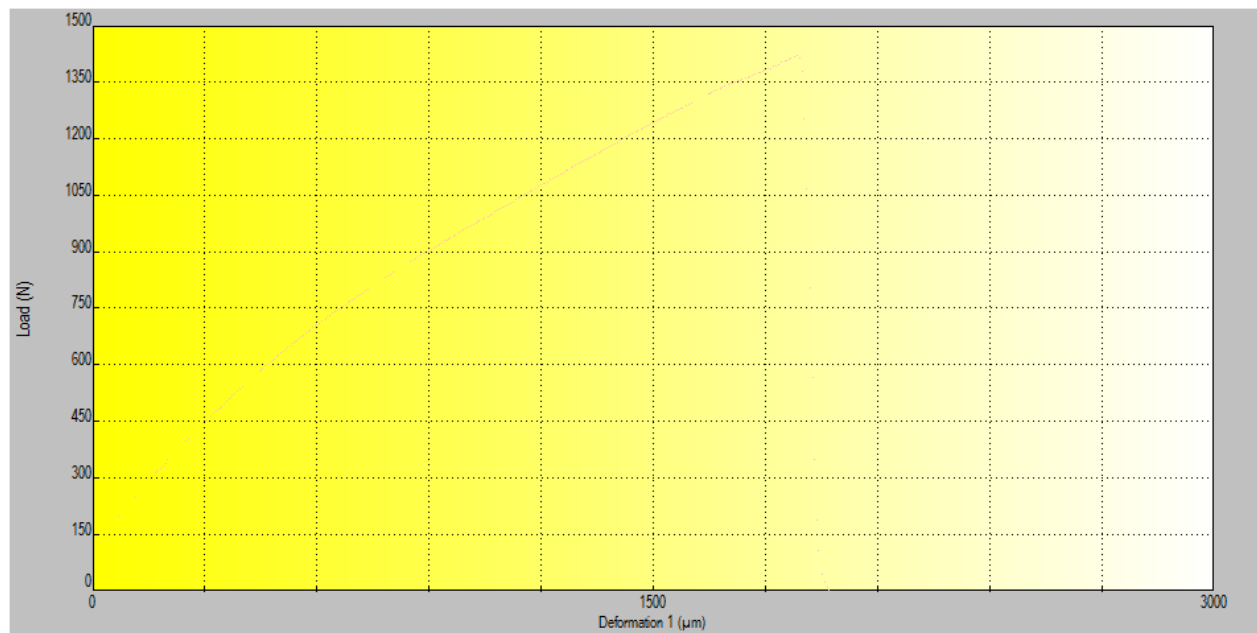
Fibras al 80% agua / 20% solución.

Prueba	Carga máxima	Ancho	Espesor
1	1,093 N	27 mm	3 mm
2	1,420 N	34 mm	3 mm
3	1,466 N	29 mm	2 mm
4	1,229 N	25 mm	2 mm

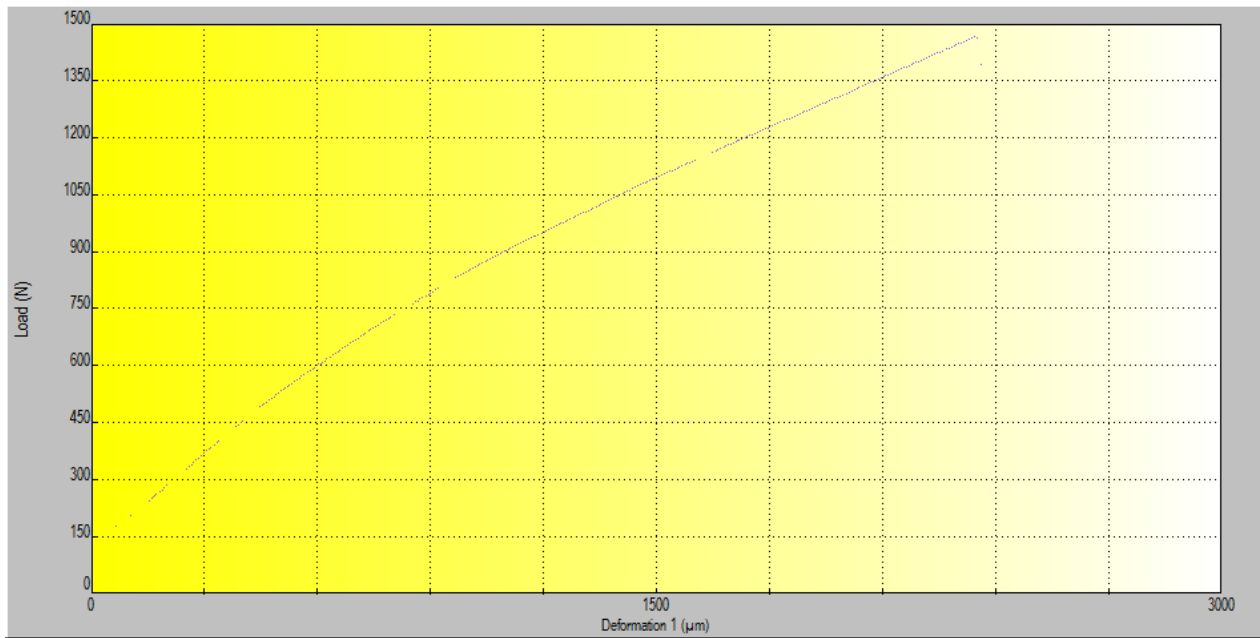
Tabla 3. Tabla de resultados (fibras 80%/20%).



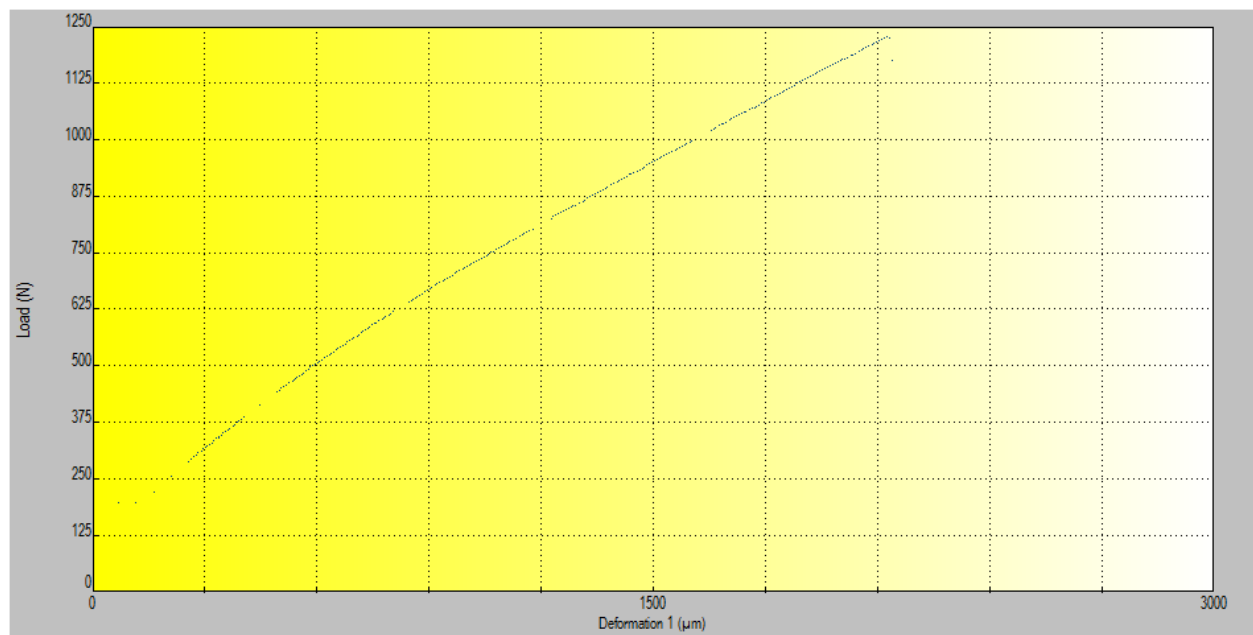
Gráfica de resultados (fibras 80%/20%-Prueba 1).



Gráfica de resultados (fibras 80%/20%-Prueba 2).



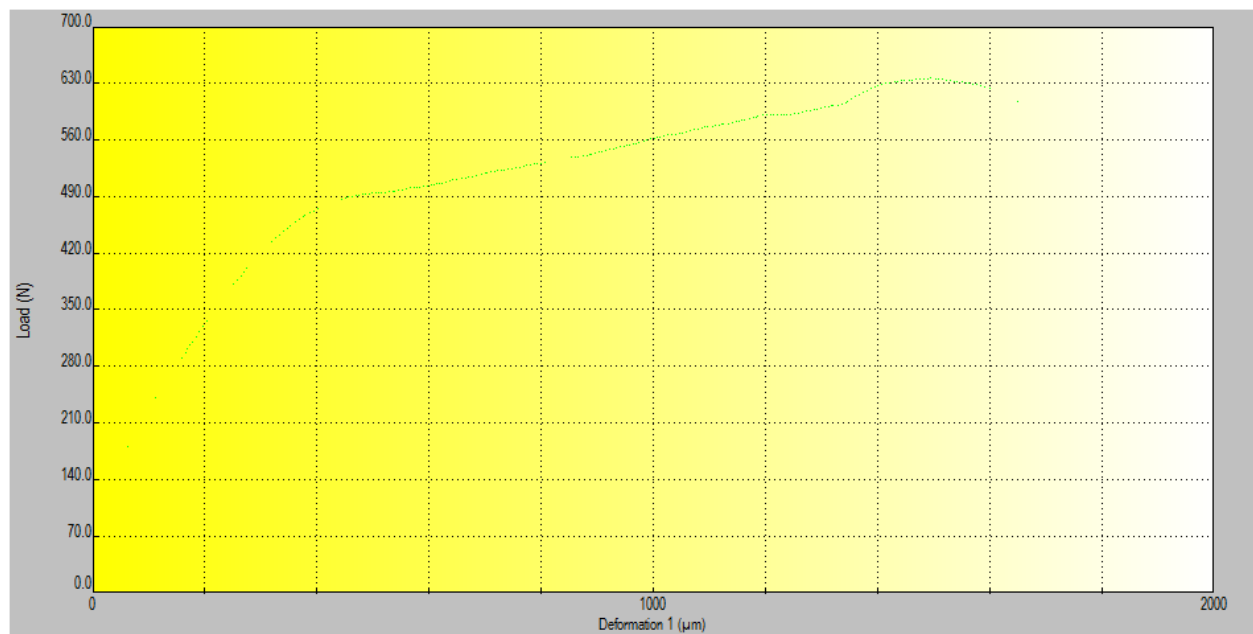
24 Gráfica de resultados (fibras 80%/20%-Prueba 3).



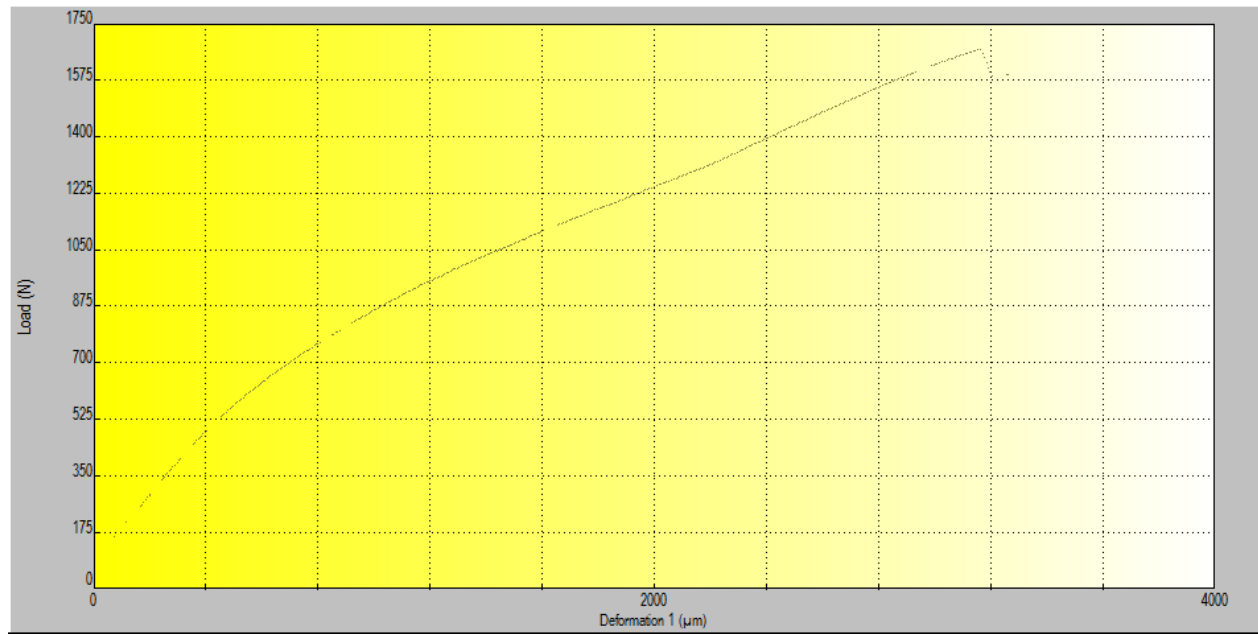
Gráfica de resultados (fibras 80%/20%-Prueba 4).

Prueba	Carga máxima	Ancho	Espesor
1	636 N	29 mm	7 mm
2	1,670 N	29 mm	3 mm
3	1,463 N	29 mm	3 mm

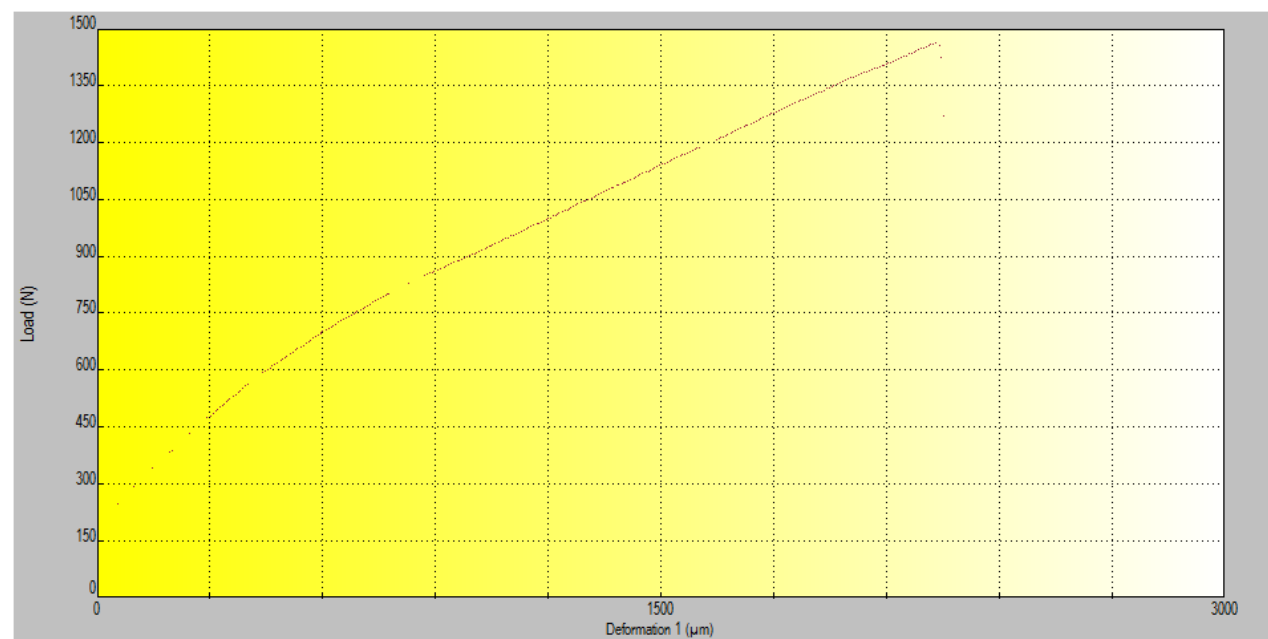
Figura 26 Tabla de resultados (fibras 50%/50%).



Gráfica de resultados (fibras 50%/50%-Prueba 1).



Gráfica de resultados (fibras 50%/50%-Prueba 2).



Gráfica de resultados (fibras 50%/50%-Prueba 3).

Prueba	Carga máxima	Ancho	Espesor
1	463 N	30.5 mm	4 mm
2	357 N	30.5 mm	5 mm
3	2,064 N	31 mm	4 mm
4	2,223 N	31 mm	4 mm

Tabla 1. Fibras al 70% agua/ 30% solución (exposición al tratamiento de 5 minutos).

Prueba	Carga máxima	Ancho	Espesor
1	570 N	30.5 mm	4 mm
2	490 N	30.5 mm	5 mm
3	289 N	30.5 mm	5 mm

Tabla 1. Fibras al 70% agua/ 30% solución (exposición al tratamiento de 10 minutos).\

Prueba	Carga máxima	Ancho	Espesor
1	530 N	30.5 mm	4 mm
2	440 N	30.5 mm	5 mm
3	1,451 N	30.5 mm	4 mm
4	529 N	30.5 mm	4 mm

Tabla 1. Fibras al 70% agua/ 30% solución (exposición al tratamiento de 30 minutos).



Fractura de la probeta 1 concentración 70%/30%10 min de exposición (acetilación)



Fractura de la probeta 1 concentración 70%/30%5 min de exposición (acetilación)



Fractura de la probeta 2 concentración 70%/30% 30 min de exposición (acetilación)

9. Discusión.

- El primer reto de este proceso fue que la resina curara de manera adecuadamente, una vez aplicado el tratamiento se intentó laminar sin esperar a que las fibras secaran por completo, esto provocó que la resina no curara completamente, se crearon muchos espacios grandes entre las fibras, la resina que estaba en contacto con las fibras curo del todo, sin embargo la que estaba más cercana a la superficie exterior del compuesto no lo hizo, por lo que quedo una capa viscosa de resina en la superficie del laminado y un par de manchas de color blanco, fue esta la razón por la que se le dio un tiempo mayor de secado a los refuerzos después de aplicarle el tratamiento químico, al prologar el tiempo de secado a 24 horas dejo de presentar este problema.
- El contenido de fibra es otro parámetro que se debe controlar, al laminar el espesor aumenta, y al tener un exceso de fibra la resina no logra curar adecuadamente dejando huecos que vuelven sumamente débil al laminado.

- Otro aspecto de suma importancia al momento de laminar fue la correcta orientación las fibras, cuando las fibras están orientadas correctamente, las cargas se distribuyen adecuadamente en los refuerzos, lo cual fue complicado de lograr debido a la irregularidad de las fibras, es por ello que se deben seleccionar las fibras adecuadas para esta tarea, con el fin de obtener los mejores resultados.
- Debido a que el proceso de laminación carece de controles robustos resulta ser un proceso muy artesanal lo cual genero discrepancias al momento de realizar las pruebas.

10. Conclusión.

- Se determinó que la concentración de tratamiento con mejores resultados fue la relación de 70%/30%, tuvo un resultado muy superior a las demás concentraciones y a las fibras sin tratamiento.
- Al variar los tiempo se obtuvieron resultados muy bajos debido a que se utilizó resina a base de poliéster, la cual mostro un menor desempeño, sin embargo, la exposición de tiempo de 30 minutos mostro un resultado superior a los demás tratamientos menos a las fibras sin tratamiento.
- La resina epoxi mostro una mejor compatibilidad con el tratamiento y con las fibras de palma, mostrando un mayor desempeño en todas las pruebas.

11. Bibliografía.

[1] Universidad Crlos III de madrid. (2014). DEMEDE aplica la ingeniería verde en la gestión de residuos y en los sectores de nanotecnología y químico. 2019, de Universidad Crlos III de madrid Sitio web:

[http://portal.uc3m.es/portal/page/portal/investigacion/parque_cientifico/actualidad_agenda/DEMEDE-ingenieria-verde-abril14.](http://portal.uc3m.es/portal/page/portal/investigacion/parque_cientifico/actualidad_agenda/DEMEDE-ingenieria-verde-abril14)

[2] CAZAUANG-MARTINEZ, M. N., HERRERA-FRANCO, P. J., GONZALEZ-CHI, P. I., & AGUILAR-VEGA, M. (1991). Physical and mechanical properties of henequen fibers. Journal of Applied Polymer Science, (4), 749.

[3] Steam Stabilization of Jute-based Composites. Roger M. Rowell.

- [4] Journal of Ferrocement: Vol. 20, No. 2, April 1990
- [5] Opportunities for lignocellulosic materials and composites. (1992). ACS Symposium Series (USA), (476) 12-27), 12.
- [6] Rowell, R. M. (n.d.). A New Generation of Composite Materials from Agro-Based Fiber, 659.
- [7] Development and characterization of a HDE-sand-natural fiber composite, P. Herrera-Franco, A. Valadez-Gonzalez and M. Cervantes-Uc.
- [8] Agro-Fiber Thermoplastic Composites, Anand R. Sanadi, Daniel F. Caulfield, and Rodney E. Jacobson
- [9] Effect of Fiber Treatments on Mechanical Properties of Coir or Oil Palm Fiber Reinforced Polyester Composites. C. A. S. HILL, H. P. S. ABDUL KHALIL
- [10] Applications of Bio-Composites in Industrial Products. Prabhu Kandachar. Universidad Autónoma de Baja California | Tesis de Licenciatura
- [11] MODIFICATION OF FLAX FIBERS BY CHEMICAL TREATMENT. Satyanarayan Panigrahi, Lope G Tabil.
- [12] Effect of Treatment of Maleic Anhydride on Mechanical Properties of Natural Fiber: Polystyrene Composites S. Mishra, and J. B. Naik
- [13] J. B. Naik, Departamento de Tecnología Química, Dr. Babasaheb Ambedkar Marathwada University, Aurangabad, 431004, India.
- [14] The effect of fiber surface treatments on the tensile and water sorption properties of polypropylene–luffa fiber composites H. Demira, U. Atiklera, D. Balkořsea, F. Tihminliogřlua,b,
- [15] Surface modification and micromechanical properties of jute fiber mat reinforced polypropylene composites. X. Y. Liu, G. C. Dai.
- [16] Franco Stupenengo. (2011). Materiales compuestos. En Guía didáctica Materiales y materias primas (27). Argentina: Ministerio de educación.
- [17] Santiago Poveda Martínez. (-). REPRESENTACIÓN NORMALIZADA DE PIEZAS DE MATERIAL COMPUESTO. En LECTURAS COMPLEMENTARIAS Materiales Compuestos(23). -: Visual Graphics group.
- [18] Naval composites (2016) Materiales compuestos. Naval composites.
<https://www.navalcomposites.com>
- [19] Mariano. (2011). Tecnología de los plasticos. 2019, de - Sitio web:
<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/07/materiales-compuestos.html>
- [20] Alberto Pérez. (2012). pequeña historia de los materiales compuestos. 2019, de -

[21] Juan Padial. (2017). que son los materiales compuestos. 2019, de curioseando Sitio web: <https://curiosoando.com/que-son-los-materiales-compuestos>