

**DESARROLLO DE UN MATERIAL HÍBRIDO NATURAL DE
LAMINAS DE PLÁTANO CON FIQUE/BIOEPOXI PARA
APLICACIONES EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN**

NIYISETH RUIZ LLORENTE

**PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA,
MECATRÓNICA E INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURAS**



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
Pamplona, Noviembre 25 de 2015**

DESARROLLO DE UN MATERIAL HÍBRIDO NATURAL DE LAMINAS DE PLÁTANO CON FIQUE/BIOEPOXI PARA APLICACIONES EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN

NIYISETH RUIZ LLORENTE

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de INGENIERO MECÁNICO

Director: BLADIMIR AZDRUBAL RAMON VALENCIA

Dr. Ingeniería de Materiales

baramon12@gmail.com

**PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA,
MECATRÓNICA E INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURAS
UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
Pamplona, Noviembre 25 de 2015**

DEDICATORIA

Al creador de todas las cosas Dios.

A mi madre Ana Llorente por ser mi más grande motivación, mi fuerza, mi polo a tierra, lo eres todo MADRE esto es por ti y para ti.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco infinitamente a mi director de trabajo de grado, Bladimir Ramón Valencia por su tiempo, espacio y esfuerzo puesto en la realización de la presente investigación, gracias por creer en mí.

A cada una de las personas que de una u otra forma intervinieron en el desarrollo de este proyecto, al investigador Fabuer Ramón Valencia, por su aporte en la fabricación; al Ing. Junior Núñez torres por la ayuda en la parte de simulación.

Un agradecimiento especial a cada uno de los miembros de mi familia por el apoyo brindado durante estos años, sin su esfuerzo y amor, esto hoy no sería una realidad, gracias familia.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCION.....	10
2. JUSTIFICACION.....	11
3. OBJETIVOS.....	12
3.1 Objetivo general	12
3.2 Objetivos específicos.	12
4. ESTADO ACTUAL.....	13
4.1 Materiales compuestos	13
4.1.1 Materiales biocompuestos	17
4.1.2 Matrices para materiales compuestos	18
4.1.3 Fibras naturales como refuerzo	20
4.2 Comportamiento mecánico en materiales compuestos.....	24
4.3 Fabricación de materiales compuestos.....	26
4.3.1 Procesos por molde abierto.....	26
4.3.2 Procesos por molde cerrado.....	28
4.4 Simulación por elementos finitos.....	30
4.5 Antecedentes de materiales compuestos con fibras naturales	32
5. METODOLOGIA EXPERIMENTAL.....	34
5.1 Materiales.....	34
5.1.1 Fibra de plátano.....	34
5.1.2 Fibra de fique.....	35
5.1.3 Resina bioepoxi	37
5.1.4 Preparación del material.....	38
5.2 Caracterización mecánica	39
5.2.1 Ensayo de flexión	39
6. RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS.....	48
6.1 Fabricación.....	48
6.1.1 Presión de vacío	48
6.1.2 Catalizador	49
6.1.3 Cantidad de refuerzo	50
6.1.4 Tiempo de curado.....	51
6.2 Caracterización mecánica	52

6.2.1	Propiedades mecánicas a flexión del material híbrido (láminas de plátano, fique/bioepoxi).....	52
6.2.2	Propiedades mecánicas a flexión del material biocompuesto (fibra de fique con bioepoxi).....	53
6.2.3	Comparación entre las propiedades mecánicas a flexión del material híbrido y el biocompuesto	53
6.3	Densidad.....	55
6.4	Microscopia electrónica de barrido.....	56
6.4.1	Microscopia electrónica de barrido para el biocomposite de fibra de fique con resina bioepoxi	56
6.4.2	Microscopia electrónica de barrido para el material híbrido de láminas de plátano, fique con resina bioepoxi	58
6.5	Selección de posibles sustitutos de materiales por medio del uso del software CES-EDUPACK.....	60
6.6	Simulación por ANSYS	65
6.6.1	Parte analítica.....	65
6.6.2	CAD (Diseño Asistido por Computador)	70
6.6.3	Preparación de la simulación.....	71
6.6.4	Resultados de la simulación	73
7.	CONCLUSIONES	79
8.	RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS	80
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	81

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades de matrices termoplásticas.....	19
Tabla 2. Matrices termoestables para compuestos.....	20
Tabla 3. Propiedades mecánicas de la fibra de fique.....	36
Tabla 4. .propiedades térmicas y mecánicas de la resina bioepoxi SuperSap 100/1000	38
Tabla 5. Propiedades mecánicas para el material híbrido.....	52
Tabla 6. Propiedades mecánicas para el material biocompuesto	53
Tabla 7. Propiedades mecánicas para ambos materiales.....	53
Tabla 8. Parámetros de diseño para la viga.....	63
Tabla 9. Cargas vivas para uso residencial.....	67
Tabla 10. Cargas requerida de acuerdo al uso	68
Tabla 11. Resumen de los datos de parametrización según el espesor	76

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de los materiales	14
Figura 2. Partes de un material compuesto.....	15
Figura 3. Situación del mercado mundial de materiales compuestos por área geográfica.....	15
Figura 4. Distribución sectorial de los materiales compuestos.....	16
Figura 5. Clasificación de las fibras naturales	22
Figura 6. Composición química de las fibras naturales	23
Figura 7. Modos de fallas de un material compuesto	24
Figura 8. Esquema de la técnica de fabricación de infusión en vacío	27
Figura 9. Fibra de plátano usada en el material híbrido	35
Figura 10. Fibra de fique usada en el material híbrido de estudio	36
Figura 11. Resina bioepoxi SuperSap 100/1000	37
Figura 12. Ilustración fabricación del material por infusión en vacío	39
Figura 13. Máquina universal de ensayos SHIMADZU UH-600 kN.....	40
Figura 14. Accesorio para pruebas de flexión simple.....	41
Figura 15. Ilustración ensayos de flexión del material híbrido	42
Figura 16. Microscopio electrónico de barrido JEOL, modelo JSM 6490- LV	43
Figura 17. Probetas ensayadas para microscopia electrónica de barrido	44
Figura 18. Interfaz gráfica del software CES-EDUPACK	45
Figura 19. Interfaz del software ANSYS	46
Figura 20. Bomba de vacío usada en el proceso de fabricación	49
Figura 21. Catalizador usado en la fabricación	50
Figura 22. Porcentaje de refuerzo usado en la fabricación del material.....	51
Figura 23. Material híbrido de láminas de plátano con fique/bioepoxi.	52
Figura 24 . Gráfico de las propiedades de los materiales híbrido y biocompuesto	54
Figura 25. Valores de densidad para los materiales	55
Figura 26. Caracterización SEM para el material biocompuesto.....	56
Figura 27. Caracterización SEM para el material híbrido	59
Figura 28. Pantallazo del programa CES para delimitar las propiedades	61
Figura 29. Selección de materiales sustitutos por medio del software CES-EDUPACK.....	61
Figura 30. Lista de materiales que pueden ser sustituidos	62
Figura 31. Selección para una viga estructural.	62
Figura 32. Selección de materiales de acuerdo a los índices.....	64
Figura 33. Materiales seleccionados de acuerdo a los índices	64
Figura 34. Usos de la madera	65
Figura 35. Cubiertas en viviendas resaltado las vigas horizontales	66
Figura 36. Ilustración de la aplicación	69
Figura 37. Diagramas cortantes y momento flector para la viga	70
Figura 38. CAD de la vida a simular.....	71
Figura 39. Mallado del CAD	72
Figura 40. Cargas y soluciones.....	72
Figura 41. Deformación y esfuerzo respectivamente para la viga de 10 mm de espesor.	73

Figura 42. Deformación y esfuerzo respectivamente para la viga de 20 mm de espesor.	73
Figura 43. Deformación y esfuerzo respectivamente para la viga de 30 mm de espesor.	74
Figura 44. Deformación y esfuerzo respectivamente para la viga de 40 mm de espesor.	74
Figura 45. Deformación y esfuerzo respectivamente para la viga de 50 mm de espesor.	75
Figura 46. Deformación y esfuerzo para la viga de 100 mm de espesor	75
Figura 47. Deformación y esfuerzo respectivamente para la viga de 200 mm de espesor	76
Figura 48. Deformación vs espesor para los distintos valores en la simulación....	77
Figura 49. Esfuerzo vs espesor para los distintos valores de simulación.....	77

1. INTRODUCCION

Durante los últimos años, Colombia ha experimentado un proceso de cambios políticos, culturales y sociales que están de cierta forma relacionados con el desarrollo y evolución de la economía nacional a través de la industria, generando de esta forma un importante consumo en todo el sector industrial.

La preocupación radica en que la mayoría de los materiales usados para el desarrollo industrial, vienen de recursos fósiles los cuales afectan de una u otra manera al medio ambiente. Esta problemática, ha impulsado investigaciones orientadas en la síntesis de nuevos materiales que cuenten con las mismas propiedades o en su defecto mejores, pero menos agresivos con el medio ambiente. En este contexto, los investigadores en ciencia e ingeniería de materiales, han encontrado en los materiales híbridos de fibras naturales con resinas tanto termoplásticos como termoestables, una alternativa de materiales sostenibles medio-ambientalmente, con propiedades mecánicas altamente funcionales, de fácil producción y de bajos costo.

La siguiente propuesta de trabajo ofrece un apoyo al descubrimiento de nuevos materiales, mediante la combinación de resina bioepoxy reforzado con fibras naturales. La primera fase consiste en la determinación de las variables del proceso de conformado a través de métodos convencionales de resinas termoestables. Posteriormente, se realizaran diferentes pruebas de flexión con el objeto de obtener los valores de las propiedades mecánicas que me determinan el efecto de las fibras naturales en el compuesto. Como un segundo objetivo, se ha planteado el uso de SEM (microscopia electrónica de barrido) como alternativa de análisis estructural, así realizar una selección que me permita conocer los materiales convencionales que se puede sustituir por el híbrido. Para finalizar y con la ayuda de la herramienta computacional ANSYS se pretende realizar una simulación de algún elemento De construcción, en este último apartado, se estudiara durante el transcurso de la investigación el material de construcción que cumpla con las especificaciones de la simulación.

2. JUSTIFICACION

Actualmente se están manufacturando grandes cantidades de productos para aplicaciones navales, militares, aeronáuticas, de deporte y de construcción con materiales compuestos, los cuales usan fibras sintéticas (vidrio, carbono) como refuerzo y una matriz polimérica termoestable difíciles de reciclar debido a las propiedades de estos mismos.

Las fibras naturales cada vez son más atractivas debido a una variedad de aplicaciones que permiten disminuir los costos, peso y la dependencia de fuentes primarias del petróleo, su aumento en la reciclabilidad, su bajo consumo de energía son unas de las ventajas que conlleva el uso de estas.

El desarrollo de materiales compuestos ecológicos está en aumento por la creciente conciencia ambiental que se ha venido dando en los últimos años, el decrecimiento de los recursos petroquímicos y la abundante contaminación que hace el reciclado de materiales plásticos. Por tanto, el planteamiento de la siguiente propuesta investigación se encamina por el desarrollo de nuevos materiales compuestos que reemplacen los actuales, en este sentido, se optó por un material híbrido de fibras naturales con resina bioepoxy con el fin de poder estudiar la viabilidad de este en la industria de materiales de construcción.

Igualmente cabe mencionar el uso de una resina bioepoxy, que a diferencia de las resinas convencionales provenientes de fuentes no renovables del petróleo, esta clase de resina de nombre comercial Super-Sap Bioepoxy, proviene de fuentes que contiene materiales bio-renovables de sub-productos de residuos de otros procesos industriales, tales como pasta de madera y la producción de biocombustibles.

Por tanto, la combinación de resina bioepoxy con fibras naturales constituyen una propuesta novedosa para la fabricación de partes industriales y en especial de productos comerciales de construcción. Además, el nuevo material es un 90% más biodegradable que los compuestos tradicionales de fibra de vidrio, representado beneficios ecológicos.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un material híbrido natural de láminas de plátano con fique/bioepoxi para aplicaciones en el sector de la construcción.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Caracterizar de forma mecánica (flexión) el material híbrido de láminas de plátano con fique/bioepoxi.
- Analizar mediante SEM (microscopía electrónica de barrido) la morfología del material.
- Seleccionar posibles sustitutos de materiales haciendo uso del software CES-EDUPACK.
- Simular en ANSYS, aplicaciones de construcción con el nuevo material propuesto.

4. ESTADO ACTUAL

4.1 Materiales compuestos

La evolución de la humanidad, ha sido condicionada por el desarrollo y descubrimiento de nuevos materiales. Las edades de piedra, del cobre, del bronce, del hierro constituyen etapas en la historia de la humanidad en las cuales a través del conocimiento y manejo de nuevos materiales y técnicas, permitieron al hombre desarrollar nuevas estructuras políticas y sociales gracias a esos materiales.

Al contrario de lo que se pudiera pensar, el concepto de material compuesto es tan antiguo como la naturaleza misma, evidenciando esto con ejemplos encontramos la madera, en la cual las fibras de celulosa se unen mediante una matriz de lignina, en el caso de los huesos, existen estructuras reforzadas con fibras.

Mediante la elección de un sistema de matriz adecuado y su asociación con fibras de refuerzo, se obtiene un material con cualidades que no son alcanzables por cada uno de los materiales homogéneos que lo componen. (1)

El reto actual de los materiales compuestos consiste en dar con las mejores asociaciones de fibra-matriz, proporcionando cada vez materiales con mejores prestaciones para el fin que son concebidos, con esto se entiende que el desarrollo tecnológico de los materiales compuestos responde a la necesidad de mejorar y optimizar el empleo de los materiales tradicionales y, además, lograr una reducción de su peso y costo. (2)

En la naturaleza son escasos los materiales constituidos por un solo elemento, la mayor parte son una mezcla de diferentes componentes que al combinarse producen un material compuesto que presenta un desempeño, generalmente, mejor que el de cada uno de los materiales por separado, conociendo como materiales los siguientes mostrados. (3)

Figura 1. Clasificación de los materiales

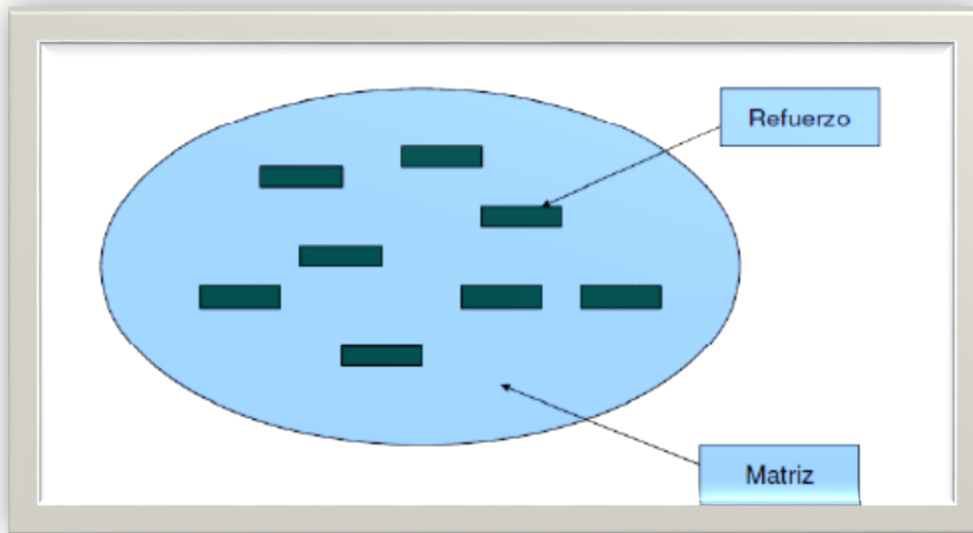


Fuente: (3)

De acuerdo a lo anterior, los materiales compuestos se fabrican con la aportación de dos o más materiales simples, el conjunto se le denominan material multifase, en otras palabras, un material compuesto se da por la unión de dos materiales para conseguir propiedades que no es posible obtener de los materiales originales, (2) usualmente se seleccionan estos materiales para lograr combinaciones poco usuales y lograr satisfacer unos requisitos muy específicos en relación a su aplicación en un dispositivo concreto en el que se haga pleno uso de su mayor resistencia con respecto al peso y/o a su mayor rigidez, rendimiento a altas temperaturas, resistencia a la corrosión, dureza entre otro. (4) (5).

En un material compuesto encontramos la matriz, siendo esta la fase continua en la que el refuerzo queda “embebido”. Tanto 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 y tiene como función principal distribuir los esfuerzos entre las fibras, es decir actuar como ligante para mantener unidas las fibras por medio de fuerzas adhesivas y cohesivas, además de esto permite la fijación y protección a esfuerzos de compresión y a medios externos como humedad y un refuerzo, siendo este el elemento resistente en el material es la fase discontinua que se agrega a la matriz para conferir al compuesto alguna propiedad que la matriz no posee. (6) 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. El refuerzo puede ser en forma de partículas o de fibra. (1)

Figura 2. Partes de un material compuesto

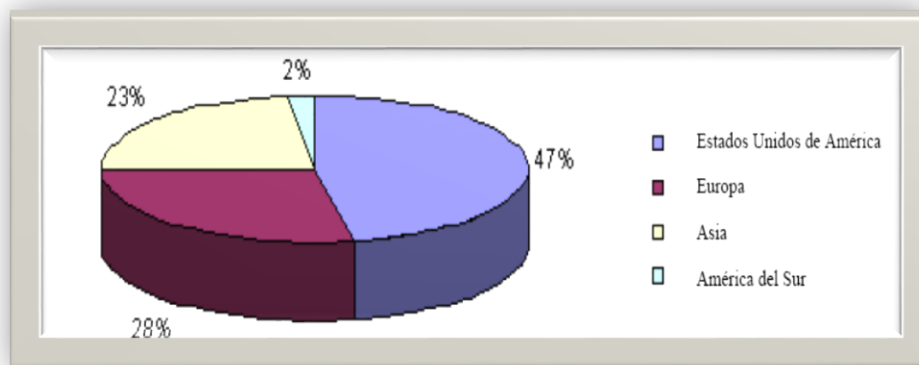


Fuente: (7)

Los materiales compuestos reforzados con fibras tienen la facilidad de conseguir una mejor resistencia a la fatiga, una mejor rigidez y de igual forma una mejor relación resistencia-peso, debido a que el material de la matriz transmite la fuerza a las fibras soportando la mayor parte de la fuerza aplicada. (2)

La importancia de estos materiales radica en la amplia gama de aplicaciones en los diferentes campos que estos tienen, vale la pena mencionar la situación de los mercados de estos materiales a nivel mundial como lo muestra la figura 3.

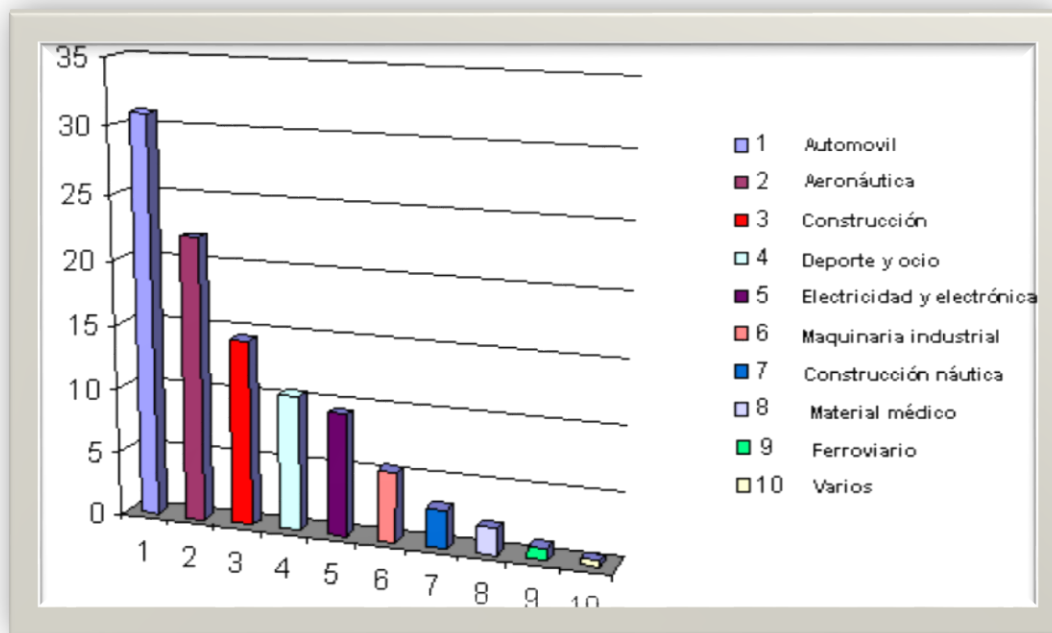
Figura 3. Situación del mercado mundial de materiales compuestos por área geográfica



Fuente: (8)

Así mismo, se puede notar que la distribución sectorial del mercado de materiales, si bien se logra ver en la imagen que el tercer lugar se ubica los materiales para construcción con un buen porcentaje, siendo el tema que nos compete en este estudio.

Figura 4. Distribución sectorial de los materiales compuestos



Fuente: (8)

Campos de aplicaciones para materiales compuestos:

Electrónica: Los equipos eléctricos y electrónicos que se utilizan actualmente se basan en su mayoría en materiales compuestos por la economía que estos brindan.

Construcción: La facilidad de montaje y durabilidad hace que los materiales compuestos, dentro de este campo uno muy interesante para su uso.

Medicina: La prolongación de la vida es solo un ejemplo de lo que estos materiales han logrado en este campo.

Aeronáutica: La tecnología aeronáutica ha evolucionado, concediendo a los materiales compuestos un papel muy importante dentro de este campo. La

ligereza de los MC permite proteger el combustible ante diferencias de presión ambiental.

Ocio: La amplia gama de propiedades disponibles en estos materiales, los ha hecho formar parte de todo tipo de deportes y equipos acuáticos, terrestres y actividades aéreas. Las ruedas de los patines, que son abrasivas, llevan poliuretano resistente. Las raquetas de tenis se modelan utilizando plásticos reforzados con fibras de vidrio, aramida, carbono, etc. Los esquís están formados por MC laminados reforzados especialmente para eliminar las vibraciones a altas velocidades. Una alta tecnología avanzada como esta es la que se aplica a las tablas de surf, sticks de hockey, veleros, canoas y otros equipos. (8)

4.1.1 Materiales biocompuestos

Los materiales compuestos derivados de fuentes naturales o renovables han sido de gran interés los últimos años debido a la conciencia ambiental que ha tenido por la problemática mundial de contaminación, estos materiales brindan una mayor sostenibilidad ambiental, siendo atractivos para los mercados de alto volumen. (9)

Los beneficios ambientales de los materiales de fuentes biológicas incluyen la baja energía incorporada, la reducción de agotamiento de los recursos fósiles lo que conlleva a la disminución clara de las emisiones de CO₂ y un impacto positivo en la agricultura. (10)

Un número de polímeros y resinas de origen natural se han puesto en marcha en el mercado, el más notable siendo el ácido poliláctico (PLA) a partir de almidón de maíz y resinas de alcohol de la caña de azúcar de residuos de la biomasa. Sin embargo, muchos más tipos actualmente en fase de desarrollo, a partir de fuentes que incluyen almidones y aceites de cultivos. Más recientemente, las combinaciones de estas fibras naturales y polímeros de origen biológico se han demostrado tener apelando propiedades compuestas, ofreciendo la tentadora perspectiva de que los materiales compuestos totalmente bio-basados son una aumentando realidad comercial.

Los biocompuestos los podemos definir como materiales compuestos a base de fibra natural como refuerzo (derivadas de planta o celulosa) y derivados del petróleo como lo son los polímeros no biodegradables (PP, PE) o polímeros biodegradables (PLA-PHA).

Por mejoras tecnológicas brindan propiedades específicas llegando a soportar altas cargas estructurales haciéndolos útiles en muchas áreas.

Los Biocompuestos son materiales basados en más de la mitad de materiales naturales o de base biológica. Esto significa que más del 50% de peso por cada componente en el compuesto es extraído de fuentes biológicas.

Los principales biopolímeros utilizados actualmente son a base de ácido láctico (PLA) por fermentación del azúcar, de aceites vegetales polihidroxialcanato (PHA), de base celulosa polihidroxibutirato PHB, a base de almidón y algunas investigaciones han utilizado la soya como base para la producción de biopolímeros. (11).

4.1.2 Matrices para materiales compuestos

Las matrices que se han venido usando para los materiales compuestos son las poliméricas, proveniente de recursos fósiles las cuales se dividen en termoplásticas y termoestables. (11)

Termoplásticas: podemos hablar de matrices termoplásticas cuando las fuerzas de unión de estos filamentos entre sí son tan intensas que llegan a igualar a las de construcción de ellos mismos, se romperán antes de separarse, lo que implica que al incrementar la temperatura no podrán cambiar de estado sólido a líquido.

Son polímeros deformables a temperaturas ambientes y que al calentarse se funden, endureciéndose cuando se enfrían lo suficiente para que alcance su estado vítreo, obtienen su resistencia y rigidez de las propiedades inherentes a las unidades monoméricas y de su peso molecular elevado. (7)

Los polímeros termoplásticos son reciclados físicamente, es decir, que generalmente son recolectados, lavados y molidos. Una vez molidos se les calienta para ser fundidos, al alcanzar su más alta de sus transiciones térmicas y así poder darle la forma deseada en su próxima aplicación, este proceso es sencillo pero no se puede aplicar a toda la gama de plásticos ni tampoco realizarse numerosas veces, ya que al ser reciclados se vuelven de menor calidad que un material nuevo o un material virgen. (12)

Normalmente se usan estas matrices con refuerzo de fibra en aplicaciones que requieren moldeo por inyección, extrusión, soplado y termo formado, ya que la temperatura máxima de trabajo para los productos moldeados son bastante más bajas que la temperatura de ablandamiento o de fusión. (7) (13)

La obtención de matrices termoplásticas se da en dos etapas:

- En la planta química se polimeriza parcialmente el monómero formando cadenas lineales

- En la planta de producciones donde se completa la reticulación bajo calor y presión.

-

Matrices termoplásticas

- Resina de poliéster insaturado
- Resinas vinil éster
- Resinas fenólicas
- Resinas epoxi

Las anteriores son las matrices más usadas en los materiales compuestos (14)

Tabla 1. Propiedades de matrices termoplásticas

<i>Material</i>	<i>Density (kg/m³)</i>	<i>Tensile strength (MPa)</i>	<i>E-modulus (GPa)</i>
Thermo set			
Polyimide	1430-1890	100-110	3.1-4.9
Epoxy	1110-1400	49-85	2.6-4.5
Phenol Formaldehyde	1300-1500	17	4.1
Polyester	1100-1460	23-68	1.0-4.6

Fuente: (15)

Termoestables: las resinas termoestables, son aquellas que cambian irreversiblemente bajo la influencia del calor, de la luz, de agentes fotoquímicos y de agentes químicos, pasando de un material fusible y soluble a otro no fusible e insoluble, debido a la formación de un retículo tridimensional covalente. En el proceso reactivo de endurecimiento o curado, las cadenas poliméricas reaccionan entre si y, a la vez, con un agente entrecruzado, formando macromoléculas orientadas en todas las direcciones con numerosos enlaces covalentes entre ellas. (16)

Un termoestable incluye uno o dos componentes que en condiciones de uso sufre un proceso químico en el que se genera una nueva estructura de carácter tridimensional que hace que el producto presente una alta resistencia térmica, rigidez, estabilidad dimensional, resistencia a disolventes entre otras cosas que no tenía el compuesto de partida, cabe aclarar que estas reacciones hacen también que el producto no sea susceptible de utilización posterior. (12)

Suelen utilizarse en aplicaciones como componentes de misiles, aplicaciones domésticas, automoción, construcción, herramientas entre otra gran cantidad de utilidades. (15)

Las matrices termoestables más usadas en compuestos tenemos

- Polietileno
- Polipropileno
- Poli estireno
- Policarbonato

Tabla 2. Matrices termoestables para compuestos

<i>Material</i>	<i>Density (kg/m³)</i>	<i>Tensile strength (MPa)</i>	<i>E-modulus (GPa)</i>
Thermoplastic			
Polyamide	1040-1140	70-84	1.5-3.3
Polyethylene	940-970	44	0.8
Polypropylene	900	31-42	1.1-2
Polycarbonate	1200	70	2.3
Polystyrene	1040-1090	50	3.3

Fuente: (15)

4.1.3 Fibras naturales como refuerzo

El desarrollo tecnológico está marcado por el tipo de materiales que se usan en ingeniería, es por lo anterior que desde la década de 1990, los compuestos de fibras naturales surgen como alternativas realistas a los materiales compuestos tradicionales reforzados con vidrio que se han venido utilizando en una gran cantidad de aplicaciones. (3)

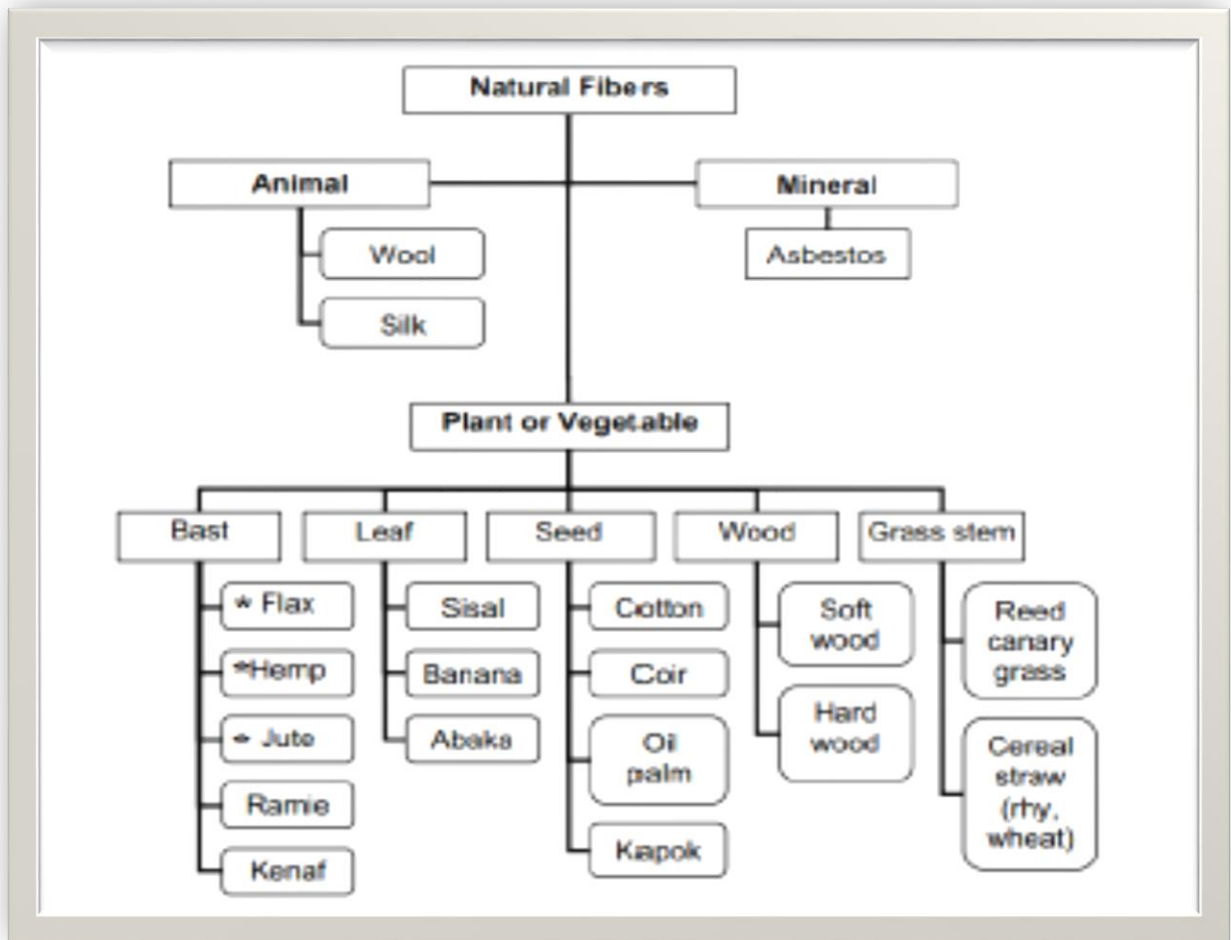
Los compuestos de fibras naturales como el cáñamo fibra-epoxi, fibra de lino-polipropileno (PP), son particularmente atractivos en aplicaciones de automoción debido a su menor costo y menor densidad. Las fibras utilizadas para materiales

compuestos tienen densidad de 2,6 g / cm³ y el costo de entre \$ 1,30 y \$ 2,00 / kg. En comparación, la fibra de lino tiene una densidad de, 1,5 g / cm³ y el costo entre \$ 0,22 y \$ 1,10 / kg. Mientras, las fibras naturales tradicionalmente se han utilizado para llenar y reforzar termoestables y termoplásticos, puesto que han atraído una mayor atención debido a su ventaja añadida de reciclabilidad, ofrecen ventajas ambientales como la reducción de la dependencia de las fuentes de energía no renovable, las emisiones contaminantes más bajas, menor las emisiones de gases de efecto invernadero, la recuperación de energía mejorada y final de biodegradabilidad vida de los componentes. Dado que, tal desempeño ambiental superior es un importante motor de aumento en el uso futuro de materiales compuestos de fibra naturales, un minucioso análisis exhaustivo de la relación del medio ambiente impactos de los materiales compuestos de fibra natural y convencional materiales compuestos, que cubren todo el ciclo de vida, es justificada. (17)

Clasificación de las fibras naturales: las fibras naturales son filamentos de origen natural, artificial o sintético cuya longitud es variable y se clasifican según su origen en sintéticas y naturales, las primeras son elaboradas con los materiales básicos y las otras son de origen vegetal, animal o mineral (18).

Para efectos de este trabajo trataremos con las segundas en las cuales encontramos que estas son de cuatro tipos: pelos de semillas, fibras de hojas, fibras vegetales, de estas las más usadas como polímeros para compuestos hallamos el yute, lino, ramio.

Figura 5. Clasificación de las fibras naturales

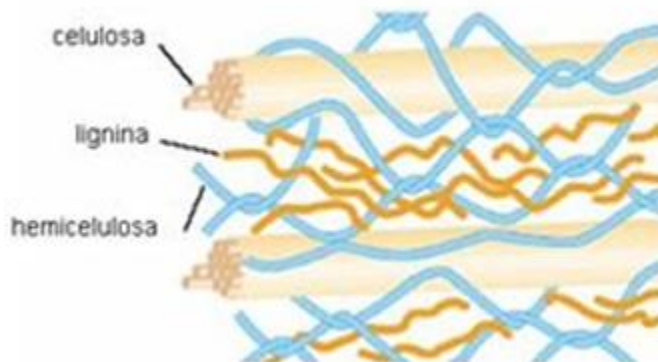


Fuente: (10)

Composición química de las fibras naturales: las fibras naturales son biopolímeros y por su estructura son considerados como materiales compuestos, en donde los biopolímeros son considerados como materiales biodegradables ya que pueden sufrir fácil descomposición o degradación.

Estas están compuestas principalmente de celulosa, hemicelulosa, lignina y pectina con una pequeña cantidad de extractivos. (11)

Figura 6. Composición química de las fibras naturales



Fuente: (19)

Celulosa: es un biopolímero compuesto de moléculas de β -glucosa que es el mayor constituyente de las paredes celulares de las plantas. En la naturaleza, la celulosa es altamente cristalina y alto peso molecular, responsable de la resistencia mecánica de las fibras. (11)

Lignina: es un polímero complejo de hidrocarburos alifáticos y aromáticos que está asociado con la hemicelulosa y celulosa dentro de las paredes celulares de las plantas. La lignina es totalmente amorfa e hidrofóbica en naturaleza y es considerada como un polímero termoplástico. Constituye el segundo material más abundante en las plantas, es responsable de la resistencia, rigidez y protección de los patógenos microbianos de las paredes de la célula. Las propiedades mecánicas son inferiores a las reportadas por la célula. (9).

Hemicelulosa: la conforman heteropolisacáridos como la glucosa, la galactosa o fructosa que forman una cadena lineal ramificada. Después de la celulosa, es reportada como el segundo carbohidrato en las paredes celulósicas de las plantas. Se caracteriza por la alta absorción de agua, como la observada en la fibra de lino (19)

Pectina: Son un tipo de heteropolisacáridos entre polímeros ácidos y neutros muy ramificados. La cantidad de pectinas en las fibras naturales es baja, pero están ubicadas estratégicamente en la estructura de la planta. Las pectinas junto con las hemicelulosas se llaman polisacáridos de la matriz en las plantas y mantienen los tejidos unidos. (11)

4.2 Comportamiento mecánico en materiales compuestos

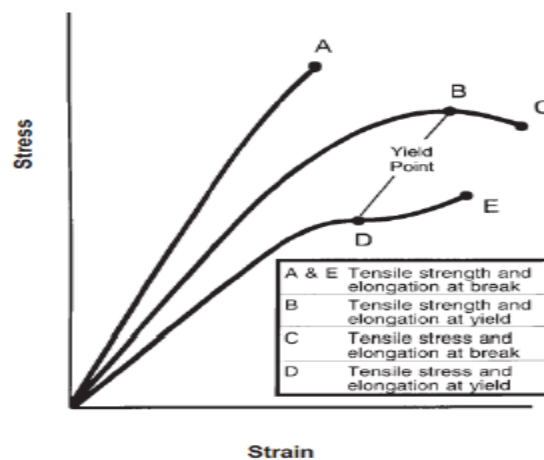
A medida que avanza la ciencia de los materiales, se han venido realizando mejores materiales para soportar mayor estrés mecánico, estos materiales deben ser mecánicamente probados para verificar cuáles son sus aplicaciones en la ingeniería, además si se puede poner en práctica los procesos continuos de fabricación, teniendo en cuenta que basado en el análisis matemático desarrollado por la integración de las propiedades mecánicas, se puede obtener el comportamiento mecánico diferente en el laminado compuesto.

Los materiales compuestos tienen diferentes respuestas mecánicas a los esfuerzos aplicados, esto es debido a su manufactura, configuración (capas de laminación y ángulos de laminación) y los materiales que lo conforman; esto es un afecto beneficioso que no tienen los materiales metálicos (homogéneos), que en su mayoría responden de manera similar a cualquier esfuerzo aplicado. (20)

Relación esfuerzo/deformación

El comportamiento a tensión de materiales compuestos de ingeniería es generalmente caracterizado por las curvas esfuerzo-deformación, así como aquellas mostradas en la figura 7. La norma ASTM (*Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*), define varios términos claves para tensión a falla citados a continuación:

Figura 7. Modos de fallas de un material compuesto



Fuente: (18)

Dónde:

- Resistencia a la tracción (Tensile Strength): Máximo esfuerzo a tracción durante la prueba.
- Deformación (Strain): El cambio en la longitud por unidad de longitud en una dirección dada.
- Punto de Fluencia (*Yield Point*): Primer punto en la curva esfuerzo-deformación, donde un incremento en la deformación ocurre sin un incremento en el esfuerzo.
- Límite Elástico (*Elastic Limit*): Grandes esfuerzos que un material puede soportar sin deformarse permanentemente.
- Módulo de Elasticidad (*Modulus of elasticity*): La relación de esfuerzo a deformación por debajo del límite proporcional.
- Límite Proporcional (*Proportional Limit*): Grandes esfuerzos que un material puede soportar con comportamiento lineal.

Relación resistencia/tensión

La relación resistencia/tensión R o relación entre la resistencia máxima o última y las tensiones aplicadas. Suponemos que nuestro material elástico lineal, entonces para cada estado de tensiones combinadas existe un estado correspondiente a deformaciones combinadas. Podemos también suponer la proporcionalidad de las cargas; es decir, todas las componentes de deformaciones y tensiones varían en la misma proporción.

Si:

Cuando $R=1$ aparece rotura.

Cuando $R>1$, por ejemplo $R=2$, el margen de seguridad es dos; es decir, las tensiones aplicadas pueden multiplicarse por dos sin aparecer rotura.

Cuando $R<1$, por ejemplo $R=0.5$, las tensiones aplicadas han excedido la resistencia por un factor de dos. Esto no es físicamente comprensible pero constituye una información útil para el diseño; por ejemplo la carga puede reducirse a la mitad o duplicar el número de láminas como un factor de corrección. Estas relaciones no pueden ser aplicadas a cargas en flexión porque las tensiones en las capas del compuesto, en las fibras de refuerzo y en el espesor no están relacionadas linealmente.

Cuando las tensiones o las deformaciones aplicadas son la unidad, la relación de resistencia resultante es la propia resistencia. Esto constituye un método sencillo para calcular la resistencia. (18)

4.3 Fabricación de materiales compuestos

En la fabricación de materiales compuestos hay diferentes métodos que se clasifican en procesos por molde abierto y molde cerrado.

4.3.1 Procesos por molde abierto

Moldeo por contacto a mano. El moldeo por colocación manual, o moldeo por contacto es denominado así debido a las bajas o nulas presiones que necesita y fue la primera técnica que se empleó en el laminado de los plásticos reforzados con fibra de vidrio, siendo todavía una de los procesos más utilizados. Presenta inconvenientes de un ambiente de trabajo molesto, producción lenta, mayor necesidad de mano de obra, acabado fino sólo por una de las caras, y calidad sometida a la especialización y sensibilidad del operario. Por otro lado, las características mecánicas y físicas alcanzadas son inferiores a las obtenidas mediante otros procesos, debido sobre todo a la limitación del porcentaje de fibra de vidrio de los laminados (21)

El método operativo consta de las siguientes fases:

- a) Preparación del molde.
- b) Preparación del refuerzo.
- c) Aplicación del gel *coat* (opcional)
- d) Preparación de la resina.
- e) Realización del estratificado.
- f) Endurecimiento.
- g) Desmoldeo.
- h) Desbarbado de la pieza.
- i) Control de calidad.

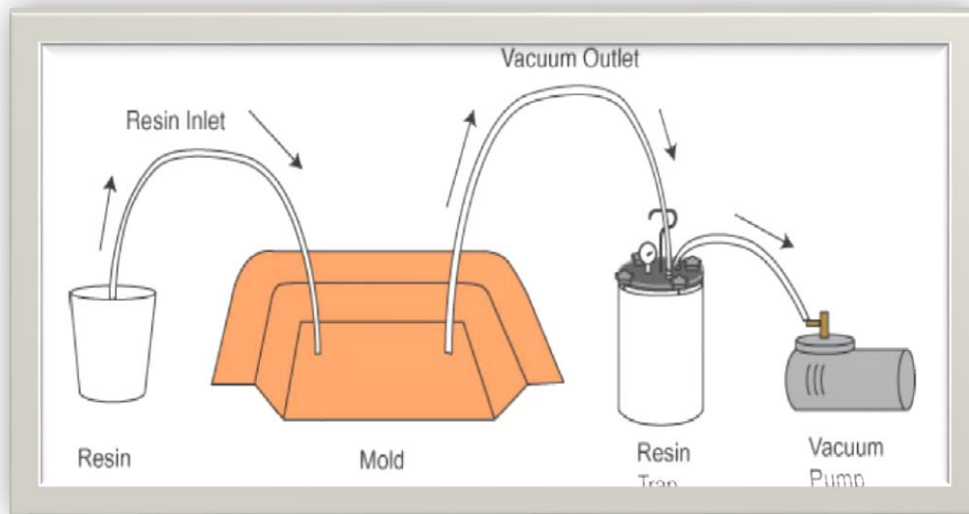
Hand lay-up. Es un método simple para producción de materiales compuestos. Un molde debe ser usado para partes fabricadas mediante *Hand lay-up* a menos que el material compuesto que se esté fabricando deba ser unido directamente a otra estructura. El molde puede ser tan simple como una hoja plana o tener infinidad de curvas o bordes. Para algunas formas, los moldes deberán ser unidos en secciones, así ellos puede ser tomados aparte para remover partes después del curado. Antes del *lay-up* el molde es preparado con un agente desmoldante para asegurarse que la parte no se adherirá al molde. Las fibras de refuerzo pueden ser cortadas y ubicadas en el molde. La resina entonces debe ser catalizada y agregada a las fibras. Un cepillo, rodillo o escobilla de goma pueden ser usados para impregnar las fibras con la resina. El técnico en *lay-up* es responsable por controlar la cantidad de resina y la calidad de saturación. (18)

Infusión en vacío (*Vacuum Infusion*). Este proceso puede ser introducido a un taller de moldeo con una inversión mínima. Existen moldes abiertos que pueden

ser usados con mínimas modificaciones o ninguna, y el proceso es aceptable para grandes o pequeños componentes.

Las resinas para uso en el proceso de infusión en vacío, necesitan ser bajas en viscosidad y también podrían requerir propiedades exotérmicas controladas, para grandes secciones o componentes de espesor considerable, El proceso de infusión en vacío (VIP) es una técnica que usa presión de vacío para dirigir resina hacia un laminado. Los materiales son colocados en seco dentro del molde y el vacío es aplicado antes de introducir la resina. Una vez el completo vacío es alcanzado, la resina es literalmente succionada dentro del laminado vía tubería ubicada cuidadosamente. (22)

Figura 8. Esquema de la técnica de fabricación de infusión en vacío



Fuente: (23)

En un típico hand lay-up, los refuerzos son colocados dentro del molde y manualmente impregnados usando brochas, rodillos o a través de otros medios. Una mejora en el método es usar una bolsa de vacío para succionar el exceso de resina fuera del laminado. Las bolsas de vacío mejoran en gran medida la proporción fibra-resina, y los resultados de un producto más fuerte y ligero.

Algunos de los beneficios del proceso de infusión en vacío son:

Mejor Proporción fibra-matriz.

- Menor desperdicio de resina.
- Consistencia de la resina muy homogénea.
- Tiempo ilimitado de instalación.

- Proceso limpio.

4.3.2 Procesos por molde cerrado

Moldeo por inyección de termoestables: en el proceso de moldeo por inyección, el material compuesto formado por las fibras, la matriz termoestable y las cargas toma la forma de gránulos y su alimentación se realiza mediante una tolva. El material compuesto es transportado al molde mediante un tornillo sinfín más corto que en una inyectora de termoplásticos para evitar el curado prematuro y la posterior solidificación del polímero termoestable. Este mecanismo está en el interior de un tambor al que se calienta mediante un circuito cerrado de agua o aceite. Este calor externo junto con el generado por el giro del tornillo sinfín, hace que el compuesto se mantenga en estado viscoso. A la salida del tornillo la temperatura es aproximadamente 93 °C para la mayoría de matrices termoestables. Cuando se ha acumulado suficiente material fundido en el tornillo, se inyecta en el molde calentado entre 150 y 230°C, donde ocurre el encadenamiento transversal que endurece el polímero termoestable. El curado es el paso que consume más tiempo en el ciclo (los tiempos de los ciclos son de 1 a 10 min). Los principales termoestables que se moldean por inyección son los fenólicos, los polímeros insaturados, las melaminas, los epóxidos y la urea formaldehído. (18)

Moldeo por inyección con reacción: consiste en la mezcla de dos líquidos altamente reactivos que se inyectan inmediatamente en la cavidad de un molde donde la reacción química genera la solidificación. Los dos ingredientes forman los componentes usados en los sistemas activados catalíticamente o sistemas termoestables activados por mezcla. Los uretanos, los epóxidos y la urea formaldehído son ejemplos de estos sistemas. El RIM se desarrolló con el poliuretano para producir componentes automotrices grandes, como defensas, spoilers y parachoques, y esta clase de partes constituye aún la mayor aplicación del proceso.

Pultrusión: es un proceso de fabricación de estructuras de materiales (21)compuestos automático, continuo y muy versátil, con el que se obtiene perfiles de sección constante. Estas secciones pueden ser en forma de barra, tubo, viga, cajón, placa o en formas más complejas siempre respetando ciertas restricciones del proceso que serán descritas más adelante. El término pultrusión se refiere tanto al producto final como al proceso de fabricación. En todos los casos se usa una fibra de refuerzo que va embebida en una resina termoestable, que reacciona químicamente cuando se le aplica calor, generando una reacción exotérmica. El

perfil resultante es conformado hasta el punto de que no pueda ser alterada su forma dentro del rango de temperaturas de operación del mismo.

Este proceso de fabricación puede ser comparado con la extrusión convencional. Sin embargo, en vez de empujar el material a través de una determinada sección, se tira (pull) de él para evitar roturas y desalineamiento de fibras. La pultrusión permite la incorporación de materiales muy diversos al proceso, desde la fibra más habitual, que es la fibra de vidrio, hasta fibras como el carbono o la aramida. Dentro de las resinas, las más habituales son las resinas poliéster y de viniléster. Las resinas de epoxi, y las fenólicas e incluso algunas termoplásticas son también pultrusionables. (24)

SMC (Sheet Molding Compound). El moldeo por compresión de pre-impregnados o SMC consiste en el moldeo de una resina termoestable reforzada generalmente con fibra de vidrio presentada en forma de hilos cortados continuos, obteniendo la pieza final a través de la polimerización de la resina mediante un proceso combinado de presión y temperatura.

El SMC presenta como características principales una buena estabilidad dimensional, un excelente acabado superficial por ambas caras, la posibilidad de obtener geometrías complejas y una alta capacidad de automatización, con lo que resulta un proceso ideal para la producción de grandes series, siendo el automóvil su principal campo de aplicación. Debido a ello, el SMC es actualmente el método más utilizado en la fabricación de materiales compuestos con resinas termoestables. Las materias primas utilizadas en SMC son semi-productos moldeados denominados pre-impregnados.

RTM (Resin Transfer Molding). El RTM o moldeo por transferencia de resina y sus procesos derivados han ido ganando popularidad en la industria aeroespacial, automovilística, militar y de infraestructuras. El RTM nació a mediados de la década de los 40, pero no llegó a ser comercialmente competitivo hasta los 60 y 70, cuando comenzó a ser usado para fabricar bañeras, teclados de ordenador, contenedores.

El RTM solamente es rentable para un número de piezas entre 500 a 50.000 piezas por año para la industria automovilística donde se requiere bajo coste / gran volumen de producción, o entre 50 a 5.000 piezas por año para la industria aeronáutica donde se requiere alto rendimiento / pequeño volumen.

EL RTM o moldeo por transferencia de resina es un proceso de fabricación de molde cerrado a baja presión que permite obtener piezas de material compuesto en un amplio rango de complejidad y tamaño, así como artículos de alto rendimiento. El proceso se diferencia de otros procesos de moldeo en que el

refuerzo seco y la resina se juntan dentro de un molde para formar una pieza de material compuesto. El refuerzo (fibra), que puede estar preformada se coloca dentro de la cavidad del molde, después el molde se cierra. Un tubo conecta el molde cerrado con un depósito de resina, la cual es bombeada o transferida dentro del molde para impregnar la fibra, y finalmente se produce el curado.

4.4 Simulación por elementos finitos

La forma natural de proceder de un ingeniero consiste en separar los sistemas de sus componentes individuales o elementales, en el que su comportamiento pueda conocerse sin dificultad y reconstruir el sistema original a partir de dichos elementos.

En muchos casos se obtiene un modelo adecuado utilizando un número finito de componentes bien definidos, a estos problemas le denominamos discretos, estos se pueden resolver sin dificultad utilizando el ordenador, aun cuando el número de elementos es muy elevado. (25)

En el caso de problemas que solo pueden resolverse mediante el uso matemático se denominara continuo, pero se ha venido demostrando a lo largo de la historia que se puede sustituir las propiedades del continuo de un modo más discreto, suponiendo su comportamiento de cierta forma simplificada lo que le da origen a la expresión de "elemento finito"

Hoy en día los elementos finitos se presentan como procedimiento general de discretización de los problemas continuos planteados por expresiones definidas matemáticamente. (26) Es por lo anterior que el modelado mediante el método de elementos finitos (FEM) se ha vuelto una herramienta muy importante para el desarrollo de investigaciones.

La simulación por elementos finitos nace de la necesidad de realizar, prototipos, ensayos físicos y mejoras iterativas que a su vez ocasionan una disminución en las inversiones económicas y de tiempo.

La fundamentación matemática del MEF y su estructura básica han sido propuestos desde hace tiempo (50 años), sin embargo el avance de las maquinas computacionales personales ha permitido el desarrollo del método a pasos agigantados, existiendo hoy día una gran cantidad de programas a disposición de los usuarios para la realización de simulación por elementos finitos que garantizan buenos resultados. (27)

Así cada vez es más común el uso de modelos y de la simulación dada la complejidad de los proyectos y las posibilidades de modelado y simulación que ofrecen las nuevas tecnologías que ya permiten crear gran número de propiedades del producto y del proceso. (26)

Modelado: se podría realizar una clasificación de los modelados que se pueden emplear.

a) En atención al carácter del sistemas

Estáticos: si sus características no varían con el tiempo

Dinámicos: en el caso de que sus características, atributos o símbolos varíen con el tiempo

b) Por su relación con el prototipo, se encuentran los modelos materiales

Modelos icónicos: producen ciertos aspectos de los sistemas

Modelos analógicos: son aquellos que sin tener parecido directo poseen propiedades esenciales.

c) Modelos simbólicos

Modelos descriptivos: expresados en términos de un lenguaje natural.

Modelos simbólicos matemáticos: recurren a símbolos manipulados mediante matemáticas

d) Modelos estructurales: como diagramas de flujo, diagramas de circuitos, diagramas de bloques funcionales.

e) Modelos a escalas. Como modelos a escalas de vehículos barcos. Comportamiento aerodinámico de resistencia.

f) Modelos matemáticos: son modelos de sistemas continuos mediante ecuaciones diferenciales, como el análisis cinemático y dinámico. (26)

Simulación: siendo el proceso por el cual se diseña un modelo o un sistema real y se llevan a cabo experiencias con él, con la finalidad de aprender y entender sobre el comportamiento del sistema o de evaluar las diferentes estrategias para el funcionamiento de este mismo. (26)

Las situaciones bajo las que es apropiado usar la simulación son:

No existe una formulación matemática del sistema que se estudia.

Existen modelos y métodos pero el procedimiento son tan complicados que resulta más sencillo simular.

Se desea experimentar con el modelo antes de construir un sistema.

La experimentación es posible pero por razones éticas o legales lo impiden.

La simulación permite estudiar sistemas en tiempo real.

4.5 Antecedentes de materiales compuestos con fibras naturales

Durante los últimos años se han venido realizando una serie de investigaciones que han tenido como tema principal los materiales híbridos de matrices plásticas y reforzados con fibras naturales, entre los estudios más relevantes encontramos:

(28) Desarrollaron un material híbrido de fibras de coco y vidrio con resina poliéster para la elaboración de tableros, para ello fabricaron el material tipo sándwich vidrio-coco-vidrio el cual caracterizaron de forma mecánica (flexión y tracción) bajo normas ASTM, de estos ensayos determinaron que el módulo elástico y el esfuerzo máximo aumentaron en un 231% y 40% respectivamente finalmente se elaboraron tableros mucho más resistentes y funcionales a los convencionales.

(29) Quisieron comparar las propiedades dieléctricas en un material híbrido, utilizando fibras naturales de yute y bambú reforzadas con resinas termoestables y termoplásticas, primeramente las fibras se sometieron a un tratamiento para mejorar la adhesión entre fibra-matriz usando el hidróxido de sodio con una concentración en peso de 5% empapando la fibra por 48 horas en la concentración, para su posterior fabricación en la cual se utilizó el método de prensado en caliente, se halló en varios casos la constante dieléctrica y se encontró que esta aumenta en el contenido de fibra si se usa pura, mientras que la constante en las fibras tratadas es más baja por la reducción de la humedad.

(30) Estudiaron el comportamiento mecánico y térmico de un material híbrido basado en fibra de pino, arcilla con polipropileno, para el desarrollo de este se añadió un agente de acoplamiento y un tratamiento de mercerización a las fibras y se determinó en el estudio mecánico que las propiedades a tracción como el módulo de Young incrementaron, la resistencia se mantuvo estable, se observó un aumento en la resistencia a la tracción, en cuanto al comportamiento térmico se evidenció que la degradación térmica del material disminuye con la adición de fibras.

(31) Investigaron para comparar las propiedades mecánicas y térmicas de yute y fibra de vidrio con resina epoxi, para dicho estudio utilizaron láminas de las fibras en las siguientes relaciones en peso (69/31/0, 68/25/7 and 64/18/19) para formar compuestos los cuales se caracterizaron con ensayos de flexión, tracción, impacto, densidad y absorción térmica. Este estudio mostro que la fibra de yute y

la fibra de vidrio con epoxi aumenta la densidad, la energía de impacto, la resistencia a la tracción, la resistencia a la flexión, pero disminuye la pérdida de masa en función de la temperatura y la absorción de agua.

(32) Realizó un estudio de Polímeros Híbridos Estratificados de Matriz Poliéster Reforzada con Fibra de Vidrio y Cabuya como Material Alternativo y su incidencia en las propiedades mecánicas en Guardachoques para Buses. La investigación se basa en la caracterización mecánica del material compuesto con el que actualmente se fabrican los guardachoques de buses y determinar sus propiedades mecánicas a Tracción, Flexión e Impacto para determinar los parámetros de evaluación de la caracterización del material híbrido propuesto, estratificado a compresión y en función de las configuraciones y fracciones volumétricas ensayadas. De la caracterización y análisis de los ensayos se determinó que los Materiales de configuración Fibra Corta (FCo 1 - 30%) y Fibra Larga (FL 30%) tuvieron mejor comportamiento mecánico a Flexión e Impacto; sin embargo el material híbrido de configuración Fibra Larga al 30% y en un orden de capas (FV+FC+FV) se determinó como potencial refuerzo del material híbrido alternativo por presentar mejores propiedades a Tracción, realizando al final un procedimiento para la aplicación de este en la fabricación de guardachoques para buses.

5. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

La presente investigación se llevó a cabo por medio de la Universidad de Pamplona UP (Colombia) y en colaboración con la Universidad del País Vasco UPV (España), buscando un mayor desarrollo tecnológico en cuanto a materiales compuestos. La Universidad del País Vasco aportó lo correspondiente a la fabricación del material, la caracterización SEM se llevó a cabo en la Universidad de los Andes Bogotá, mientras en la Universidad de Pamplona se realizaron los estudios correspondientes como ensayos de flexión, selección y simulación por medio del software ANSYS lo que conllevó al desarrollo completo del proyecto.

5.1 Materiales

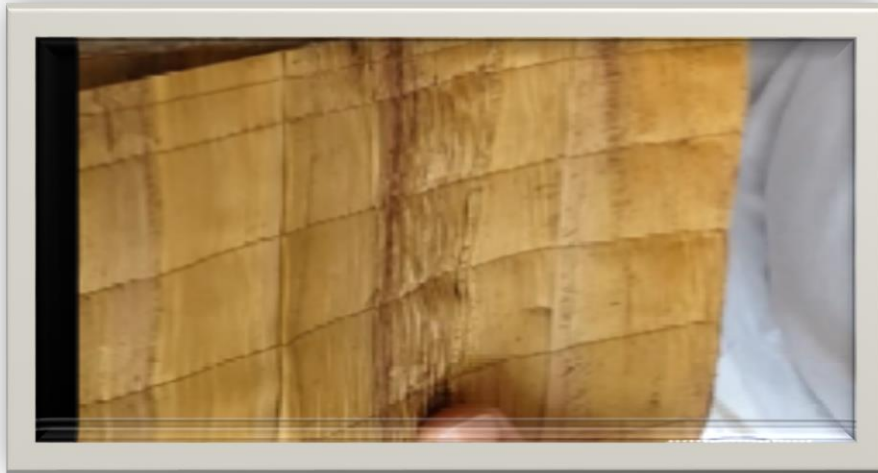
5.1.1 Fibra de plátano

(Musa paradisiaca) es una fruta tropical de alto consumo especialmente en países de África, Latinoamérica y el Caribe. Colombia es el segundo productor mundial, después de Uganda, alcanzando en el 2011 una producción de 2.925.000 toneladas. Se estima que del área cultivada en plátano en Colombia, un 87%, se encuentra como cultivo tradicional asociado con café, cacao, yuca y frutales, y el restante 13% equivalente a 409.330 hectáreas es monocultivo tecnificado.

La práctica agronómica del corte de la planta de plátano para que crezca otra, genera día a día grandes cantidades de residuos que son descartados cerca de las orillas de los ríos o quebradas y en los caminos, causando un problema ambiental. En los últimos años ha surgido un fuerte interés por darle un manejo adecuado y eficiente a los residuos agroindustriales y aprovecharlos para el desarrollo de bioprocesos en los que se involucran como sustratos para la producción de ácidos orgánicos, etanol, enzimas y otros metabolitos secundarios importantes para la industria farmacéutica y alimentaria. (33)

La fibra se obtuvo de la planta, en las siembras que se dan en Córdoba, más exactamente en Tuchín- Córdoba donde se tejieron láminas de 200x200 mm, para la previa fabricación del material.

Figura 9. Fibra de plátano usada en el material híbrido



Fuente: Niyiseth Ruiz

5.1.2 Fibra de fique

El fique es una planta natural nativa de la zona intertropical del continente Americano, que se produce principalmente en Colombia, Venezuela y Ecuador; de dicha planta se extrae una fibra natural de 2.5 m de longitud aproximadamente, utilizada generalmente en la fabricación de productos artesanales, hilos, tejidos, empaques entre otros. (34)

El fique (*furcraea-agave*) es una fibra dura que se extrae por medios mecánicos a partir de las hojas de la planta, aparte de lo dicho anteriormente suele utilizarse como protección, refuerzo de materiales para la construcción y como cuerdas para cercar sembrados.

Es una fibra biodegradable que al descomponerse se emplea como alimento y abono, además no contamina al agua lo que permite hacer producciones limpias, sus ventajas son tantos ambientales como económicas.

Tabla 3. Propiedades mecánicas de la fibra de fique

Propiedades mecánicas de la fibra de fique			
Propiedad	Promedio	Mínimo	Máximo
Resistencia a la tensión MPa	305.15	200	625.2
Módulo de elasticidad GPa.	7.52	5.5	25.5
Porcentaje de elongación a la fractura %	4.96	3.2	5.7

Fuente: (18)

Es importante saber que de la planta un 4% es fibra el otro 96% se desecha por desconocimientos de sus innumerables usos. Por tal razón en los últimos años se han venido creando diferentes opciones para usar el fique, entre estas la sustitución de las cuerdas de plástico que sostienen las plantas de ciertos cultivos.

La fibra, al ser biodegradable, se usa además como biomanto o manto natural para proteger sembrados y como agro textil para reducir los daños por erosión en carreteras, vías, oleoductos y gasoductos. (35)

Para efectos de este trabajo las láminas de fique se obtuvieron por colhilados empresa radicada en San Gil Santander y suministrada por el laboratorio de fabricación de la Universidad del País Vasco, quien coopero en esta investigación como se mencionó anteriormente.

Figura 10. Fibra de fique usada en el material híbrido de estudio



Fuente: Niyiseth Ruiz

5.1.3 Resina bioepoxi

Aunque algunos de los conocimientos y la tecnología necesarios para producir bio-resinas han existido desde la década de 1930 su uso se limitaba siempre debido a sus métodos de producción costosos y propiedades mecánicas inferiores. Sin embargo, la evolución de la investigación y el desarrollo en los últimos años han dado lugar a una serie de prometedores avances técnicos, en un intento de superar nuestra comercial adicción al petróleo crudo y petro-químicos y teniendo en cuenta que la Bio-resina se puede utilizar exactamente de la misma manera como resina transparente de poliéster de colada, pero no tiene las implicaciones de salud y seguridad que acompañan a los poliésteres. (36)

La matriz de resina bioepoxi con referencia SuperSapTM100/1000 suministrada por Entropy Resins, es un sistema epoxi líquido de dos componentes diseñado específicamente para Wet lay-up y curado a temperatura ambiente de compuestos reforzados con fibras. En oposición a las resinas epoxis tradicionales, las materias primas que constituyen las bioresinas, son principalmente de configuraciones que contienen sub-productos de origen bio, como sub-productos de otros procesos industriales como la pulpa de madera o producción de biocombustibles. (37)

Figura 11. Resina bioepoxi SuperSap 100/1000



Fuente: Niyiseth Ruiz

Esta resina tiene excelente elongación y excepcionales propiedades de adhesión. Algunas de las propiedades térmicas y mecánicas suministradas por el fabricante, las podemos enumerar en la tabla 4.

Tabla 4. .propiedades térmicas y mecánicas de la resina bioepoxi SuperSap 100/1000

PROPIEDAD	VALOR
Densidad	1000 (Kg/m ³)
Tg	120°C
Esfuerzo de Fluencia	62 (Mpa)
Elongación a ruptura	7%
Viscosidad	2000-4000 (cPs)
Módulo de tensión	2.5(Gpa)
Tiempo de curado	7 (días)

Fuente: (37)

5.1.4 Preparación del material

El método de fabricación usado para la obtención del material fue llevado a cabo infusión en vacío, siendo esta una técnica que utiliza presión de vacío para dirigir resina hacia un laminado. Los materiales son colocados en seco dentro del molde y el vacío es aplicado antes de introducir la resina. Una vez, se completa el vacío, la resina es literalmente succionada dentro del laminado vía tubería ubicada cuidadosamente.

Se realizó en la Universidad del País Vasco a una temperatura ambiente de 20°C, tiempo de curado de 8 horas. Se utilizó el catalizador SuperSap® INF Hardener suministrado por el fabricante Entropy resins®, el porcentaje de mezcla resina/endurecedor utilizado fue de 100:33, cien partes de resina por treinta tres partes de endurecedor. La presión de vacío aplicada durante el tiempo de curado fue de -0,8 bares.

Figura 12. Ilustración fabricación del material por infusión en vacío



Fuente: Niyiseth Ruiz

5.2 Caracterización mecánica

5.2.1 Ensayo de flexión

Este es un procedimiento útil para determinar la deformación experimentada por un material híbrido a velocidad constante, los ensayos mecánicos a flexión se realizaron de acuerdo a la norma ASTM D7264 que muestra los parámetros adecuados para la obtención de las propiedades a flexión de un material compuesto con fibras obteniendo de este:

- Máximo esfuerzo.
- Máxima deformación.
- Esfuerzo último.
- Modulo elástico en flexión.

Se efectuaron en el laboratorio de materiales de la Universidad de Pamplona en la máquina universal de ensayos SHIMADZU serie UH-I Modelo 600 KN.

Figura 13. Máquina universal de ensayos SHIMADZU UH-600 kN.



Fuente: Niyiseth Ruiz

El tipo de ensayo seleccionado fue el de flexión simple, el cual consiste en tres puntos como se muestra en la figura, y básicamente se apoya el material en dos puntos conocidos como apoyos fijos y se aplica en el centro superior de la probeta una carga constante mediante un mandril móvil sujeto a la máquina universal de ensayos de esta manera la probeta flexiona.

Figura 14. Accesorio para pruebas de flexión simple



Fuente: Niyiseth Ruiz

Las dimensiones de las probetas se estandarizaron bajo la norma ASTM D7264 con las siguientes longitudes:

Largo de 120 mm

Espesor de 4 mm

Ancho de 13 mm

Las condiciones del ensayo también se hacen bajo norma a excepción de la temperatura, y estas fueron:

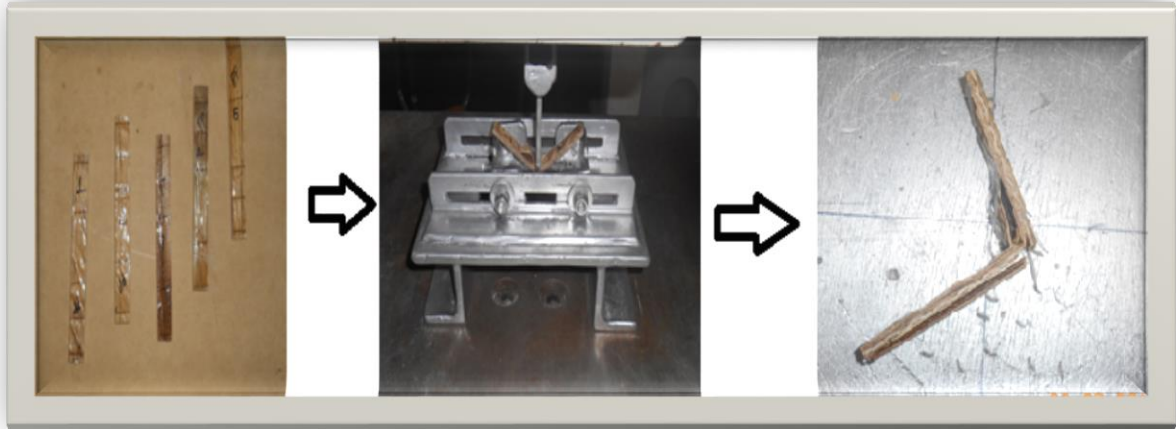
Carga máxima 30KN

Velocidad de avance 1mm/min

Temperatura ambiente 18°C

Final de ensayo: rotura

Figura 15. Ilustración ensayos de flexión del material híbrido



Fuente: Niyiseth Ruiz

5.4. SEM (microscopia electrónica de barrido)

La microscopia electrónica de barrido (“*Scanning Electron Microscope*”, SEM) explora la superficie de la imagen punto a punto y crea una imagen ampliada de la superficie de un objeto, no siendo necesario cortarlo en capas. Su funcionamiento se basa en recorrer la muestra con un haz muy concentrado de electrones, de forma parecida al barrido de un haz de electrones, que pueden dispersarse de la muestra o provocar la aparición de electrones secundarios. Los electrones perdidos y secundarios son recorridos y contados por un dispositivo electrónico situado a los lados de la muestra. Cada punto leído corresponde a un pixel en un monitor, cuanto mayor sea el número de electrones contados por el dispositivo más brillara el pixel en la pantalla. (7)

Este ensayo se realizó en el laboratorio de microscopia de la Universidad de los Andes, edificio B laboratorio 102, dispone de un microscopio JEOL, modelo JSM 6490-LV de última generación que opera en los modos de alto y bajo vacío, tiene integrados cuatro detectores que permiten la obtención de imágenes de electrones secundarios (tridimensionales), imágenes de electrones retrodispersados (topográficas, composicionales y de sombra) e imágenes de mapas de puntos EDS (mapping). El detector de espectroscopía por dispersión de energía (EDS) permite además la realización de microanálisis cualitativos y cuantitativos. (38)

Figura 16. Microscopio electrónico de barrido JEOL, modelo JSM 6490- LV



Fuente: (38)

Para la preparación de las muestras, las probetas fueron recubiertas en un baño de (oro/carbono) que permite la conductividad eléctrica del material en estudio. Inmediatamente se pasa a un secador de punto crítico que trabaja a temperatura ambiente, estando lista las probetas para su análisis se tienen en cuenta las siguientes condiciones: tensión de 20KV y aislamiento en alto vacío.

Las imágenes obtenidas de SEM se tienen luego de la fractura de las probetas ensayadas de forma mecánica de los materiales en investigación, compuesto de fibra de plátano con bioepoxi, compuesto de fibra de fique con bioepoxi y por el último y más importante compuesto híbrido de plátano, fique con bioepoxi.

Figura 17. Probetas ensayadas para microscopia electrónica de barrido



Fuente: Niyiseth Ruiz

Esta técnica es indispensable para la investigación debido a la información que se nos brindan en cuanto a la morfología de los componentes como lo es la adhesión entre resina y matriz, de igual forma respalda los valores obtenidos en la caracterización mecánica.

5.5. Selección por CES-EDUPACK

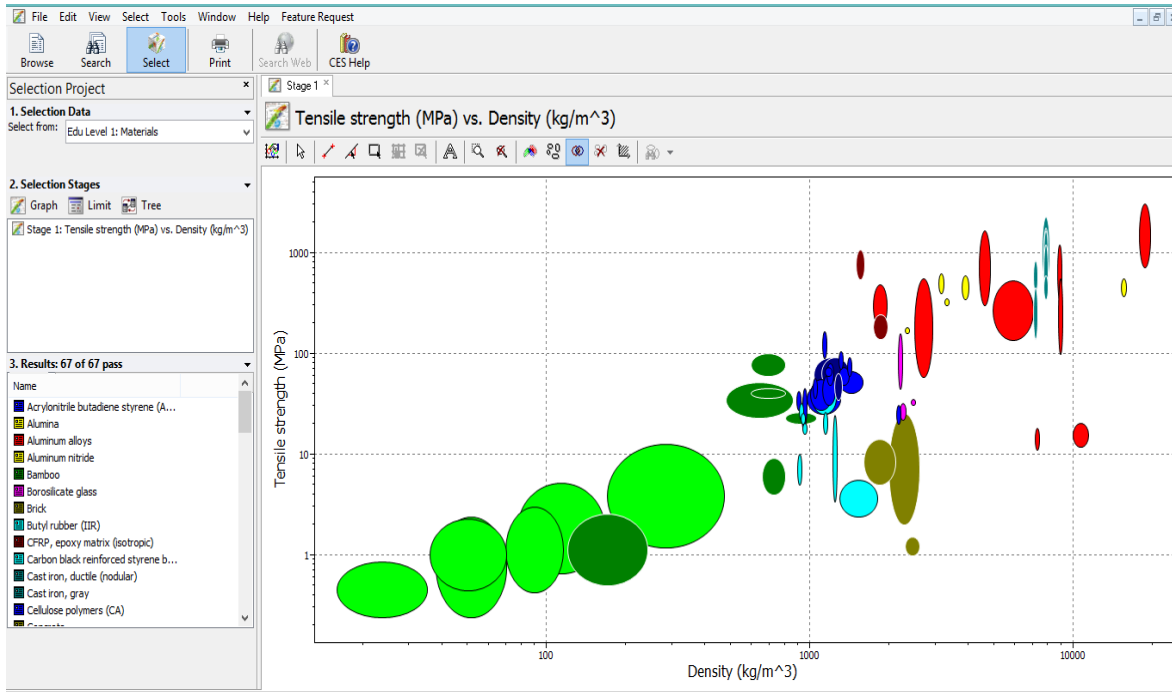
La mayoría de avances tecnológicos logrados en la sociedad moderna, se han apoyado en el descubrimiento y desarrollo de materiales de ingeniería y procesos de fabricación usados en su obtención. Una adecuada selección de materiales y procesos, garantiza a los diseñadores un buen funcionamiento. (39)

Existen diversos métodos a la hora de realizar la selección de un material desde el punto de vista práctico que garantiza una mayor eficiencia en la selección correcta del material para un fin específico.

La mayoría de los métodos parten de la disponibilidad de un amplia gama de materiales, los cuales se deben analizar ya sea con la ayuda de métodos tradicionales, métodos gráficos o base de datos, en general la selección de materiales se hace de acuerdo con las propiedades exigidas por el componente a

diseñar y sustentando con criterios como: disponibilidad, facilidad de obtención, vida de servicio, factores ambientales y costos entre otros. De esta forma se llega a la selección de un único tipo de material, el cual debe resultar el más apropiado para el fin determinado.

Figura 18. Interfaz gráfica del software CES-EDUPACK



Fuente: Niyiseth Ruiz

Para la realización de la adecuada selección de materiales que puedan ser sustituidos con el material híbrido propuesto en la investigación es necesario tener el conocimiento de ciertas propiedades, las cuales se obtuvieron en los pasos anteriores, como lo son la resistencia a la flexión, módulo de Young y densidad. Los pasos serían:

Datos del gráfico: en este ítem se tienen en cuenta las propiedades que se desean en los ejes como se observa en la figura 20, en la cual se tiene un gráfico de esfuerzo vs densidad.

Límites: estos son los que como su nombre indican limitan en el mapa de burbujas los materiales que se contemplan según las propiedades que se incluyan.

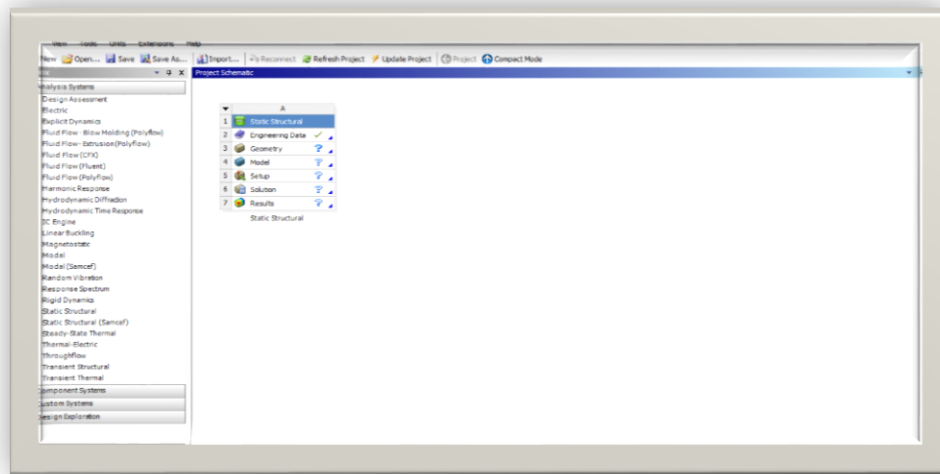
5.6. Simulación por ANSYS

El método de elementos finitos ha venido adquiriendo gran importancia en la solución de problemas ingenieriles durante los últimos años debido a que permiten resolver casos que hasta hace poco eran casi imposibles, este permite un modelo de cálculos del sistema real, sin embargo no deja de ser un método aproximado debido a las hipótesis básicas del método. (27)

El método de elementos finitos debe su desarrollo a los avances informáticos, ya que aunque su estructura básica es conocida hace tiempo su utilización se ha visto reflejada en los últimos años, cabe resaltar que el manejo de los software para MEF exige un alto conocimiento del tema en cuestión así como de las condiciones básicas con las cuales se desea trabajar para que los resultados y análisis se ajusten a la realidad.

Para efectos de este trabajo el software usado para realizar la simulación de vigas expuesta a flexión en materiales de construcción fue ANSYS en su versión 16.0. En la figura 19 se muestra la interfaz denominada Workbench del ANSYS y es básicamente los ítem que se realizaron para darle cumplimiento a la simulación en estado estático planteada.

Figura 19. Interfaz del software ANSYS



Fuente: Niyiseth Ruiz

Los pasos para la realización de la simulación mediante el software CAE ANSYS son las siguientes:

Asignación del material
Diseño de la pieza a estudiar
Aplicación de sujeciones
Aplicación de cargas
Mallado y ejecución del método
Visualización de resultados

La importancia de la implementación de este estudio se debe a las herramientas que nos brinda el software, más cuando la investigación trabaja con nuevos materiales que no han sido caracterizados, este método nos brinda la posibilidad del conocimiento del material en un uso específico sin tenerlo.

Lo que hace interesante las posibilidades de este mismo ahorrando tiempo y costos de implementación.

6. RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS

Esta sección del libro esta específicamente dedicada al análisis de los datos y resultados obtenidos de cada uno de los objetivos propuestos para cumplir a cabalidad la investigación propuesta.

Se dio inicio al proyecto con la fabricación del material, llevada a cabo por el método convencional de infusión en vacío y para el cual se tuvieron en cuenta variables como la presión de vacío, catalizador, cantidad de refuerzo y tiempo de curado.

Posteriormente se caracterizó de forma mecánica por ensayos de flexión, lo cual nos permitió tener un conocimiento del comportamiento mecánico del material, al obtener la resistencia de este mismo.

Se realizó microscopia electrónica de barrido para analizar lo pertinente a la adhesión entre fibra- matriz con que cuenta el material compuesto, lo que respaldar los datos arrojados en la caracterización mecánica.

Se seleccionó mediante el software CES-EDUPACK los materiales que pueden ser sustituidos por el material de esta investigación, y en ellos los que se usan en construcción.

Por último, se usó la herramienta computacional ANSYS 16.0 para simular el nuevo material en la aplicación de vigas horizontales para viviendas.

6.1 Fabricación

La fabricación se llevó a cabo mediante el método convencional de infusión en vacío por las características y ventajas que este presenta en cuanto a los otros métodos estudiados, para llevar a cabalidad este se determinaron variables importantes como los son:

6.1.1 Presión de vacío

Siendo el vacío la ausencia total de materia de un determinado sistema o lugar, y teniendo en cuenta que el vacío absoluto no puede ser alcanzado por ningún medio ya que eliminar la materia por completo se hace casi imposible, es por eso que cuando nos referimos al vacío, la hacemos refiriéndonos a un sistema donde hay poca materia contenida, su densidad de partículas es muy baja. (40)

De acuerdo a lo anterior y al requerimiento de fabricar un material limpio la presión de vacío que se estimó para este fue de 0.8 bar la cual puede proporcionarnos el menor número de impurezas en el material.

Figura 20. Bomba de vacío usada en el proceso de fabricación



Fuente: Niyiseth Ruiz

6.1.2 Catalizador

La función del catalizador en la fabricación de un material es producir radicales libres que provoquen la iniciación de la reacción de polimerización necesaria para el endurecimiento de la resina. (1)

El peso correspondiente de catalizador para la fabricación es de 66 gr lo que genera un porcentaje en peso del 25 % en cuanto a la resina.

Figura 21. Catalizador usado en la fabricación



Fuente: Niyiseth Ruiz

6.1.3 Cantidad de refuerzo

El refuerzo para el material viene dado por las fibras naturales de plátano y fique utilizado en forma de Sandwich plátano-fique-plátano, para determinar la cantidad de refuerzo se pesó el material y se determinó que fue 44,06 gr de láminas de plátano esto por dos laminas, y 24, 26 gr por una lámina de fique.

Dando un porcentaje en peso de refuerzo de 33%

Figura 22. Porcentaje de refuerzo usado en la fabricación del material



Fuente: Niyiseth Ruiz

6.1.4 Tiempo de curado

Como su nombre lo indica es el tiempo necesario para que el material este totalmente fabricado, este suele depender de las condiciones climáticas, y debido a esto se obtuvo un tiempo de 8 horas.

Después de esto se observa el material híbrido fabricado como se muestra en la figura 23.

Figura 23. Material híbrido de láminas de plátano con fique/bioepoxi.



Fuente: Niyiseth Ruiz

6.2 Caracterización mecánica

Se realizó para obtener conocimiento del comportamiento mecánico del material en estudio obtenida por flexión simple, mediante condiciones estandarizadas que nos brinda la norma ASTM D7264, velocidad de avance de 1mm/mm, carga máxima de 30 KN y temperatura ambiente de 18°C, bajo estas condiciones se ensayaron cinco probetas.

6.2.1 Propiedades mecánicas a flexión del material híbrido (láminas de plátano, fique/bioepoxi)

Tabla 5. Propiedades mecánicas para el material híbrido.

PROPIEDADES MECÁNICAS PARA EL MATERIAL HÍBRIDO (PLÁTANO, FIQUE/BIOEPOXI)			
CARGA (KN)	ESFUERZO DE FLEXIÓN (Mpa)	DEFORMACIÓN (%)	MÓDULO ELASTICO (Gpa)
0,2567	160,4296	4,0565	2,169

La tabla 5. Nos muestra las propiedades mecánicas del material híbrido reforzado con láminas de plátano y fique con bioepoxi y en la cual se puede observar la carga máxima, esfuerzo máximo a flexión, deformación y módulo elástico porcentual que reflejan el comportamiento del material.

6.2.2 Propiedades mecánicas a flexión del material biocompuesto (fibra de fique con bioepoxi)

Tabla 6. Propiedades mecánicas para el material biocompuesto

PROPIEDADES MECÁNICAS PARA EL MATERIAL BIOCOPUESTO (FIQUE/BIOEPOXI)			
CARGA (KN)	ESFUERZO DE FLEXIÓN (Mpa)	DEFORMACIÓN (%)	MÓDULO ELASTICO (Gpa)
0,2098	131,1328	9,5972	1.563

La tabla 6 presenta los valores de las propiedades mecánicas para el material biocompuesto de láminas de fique con resina bioepoxi. En ella se puede ver el comportamiento de este luego de realizarse las pruebas correspondientes a flexión de las 5 probetas ensayadas.

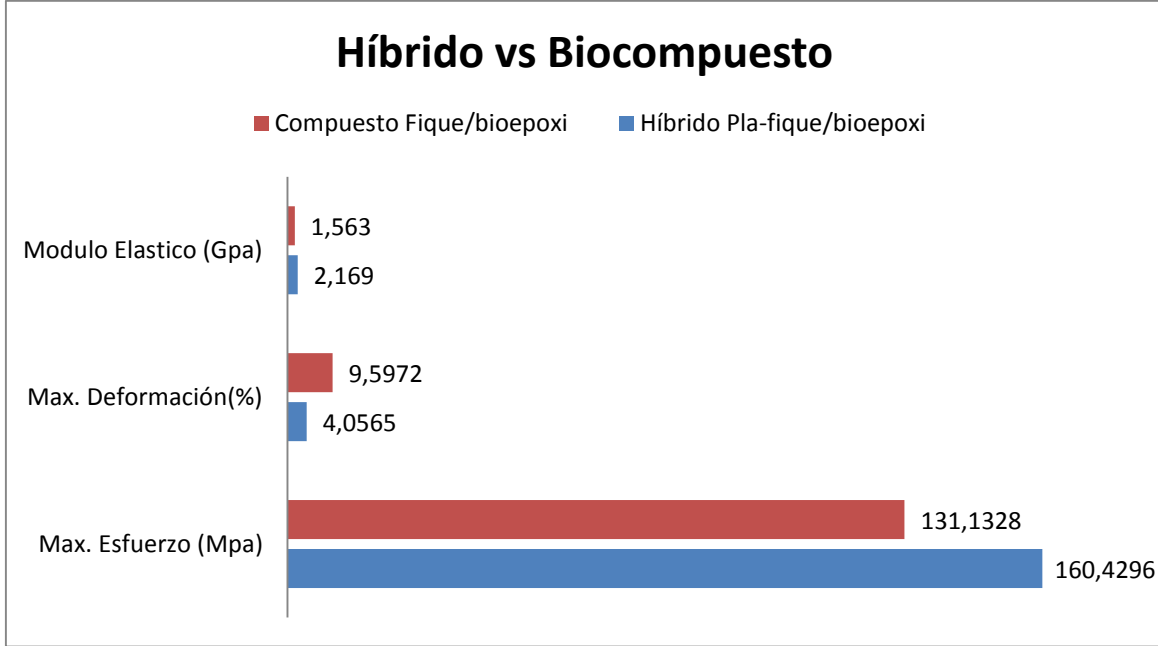
6.2.3 Comparación entre las propiedades mecánicas a flexión del material híbrido y el biocompuesto

Tabla 7. Propiedades mecánicas para ambos materiales

	Max. Esfuerzo (Mpa)	Max. Deformación(%)	Modulo Elastico (Gpa)
■ Compuesto Fique/bioepoxi	131,1328	9,5972	1,563
■ Híbrido Pla-fique/bioepoxi	160,4296	4,0565	2,169

Fuente: Niyiseth Ruiz

Figura 24 . Gráfico de las propiedades de los materiales híbrido y biocompuesto



Fuente: Niyiseth Ruiz

La figura 24 nos muestra un gráfico comparativo de los parámetros obtenidos en las pruebas de flexión para ambos materiales, observando la coherencia en los resultados se observa un aumento significativo de las propiedades en el material híbrido comparado con el material compuesto.

La resistencia del material híbrido aumenta en un 20% de igual forma el módulo de Young sufre un incremento notable del 72% en cuanto a la deformación se observa que es menor en el híbrido, lo que corresponde a un tipo de material frágil, vale destacar que es capaz de soportar una mayor carga.

A la vista de los resultados observados en los gráficos se puede decir que es evidente la alteración en los cambios de las propiedades cuando el material tiene un atribuyente, en este caso la fibra de plátano, esta aporta sus propiedades mecánicas al material híbrido y por ende estas aumentan.

6.3 Densidad

La densidad es una propiedad física que está definida como el cociente entre la masa y el volumen.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

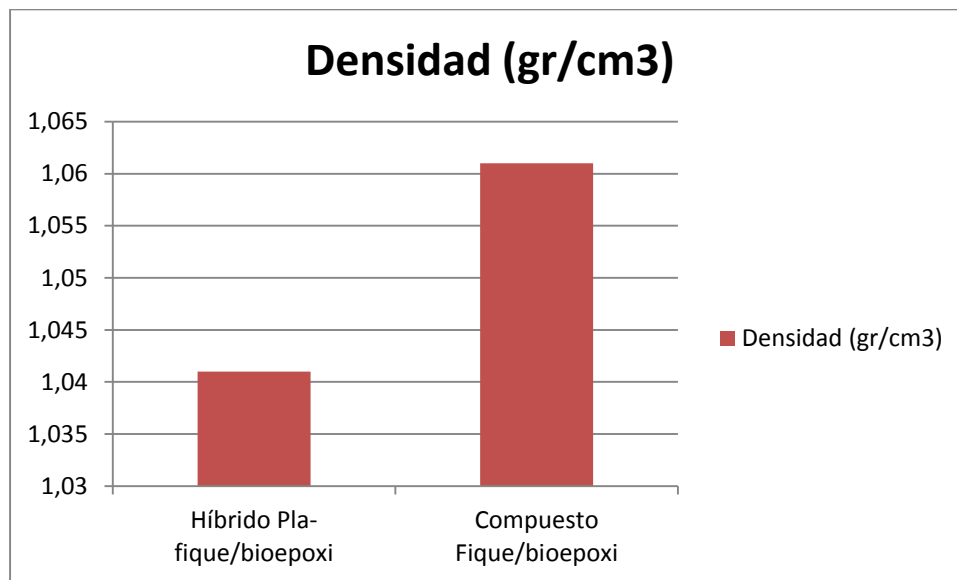
Esta propiedad es vital para los procesos de selección y simulación requerida en el proyecto, de igual forma nos da un punto de vista de la diferencia de densidades entre el material híbrido propuesto y el biocompuesto.

Como resultado de los promedios para ambos materiales fueron:

$$\rho_{\text{Híbrido}} = 1,041 \text{ gr/cm}^3$$

$$\rho_{\text{Compuesto}} = 1,061 \text{ gr/cm}^3$$

Figura 25. Valores de densidad para los materiales



Fuente: Niyiseth Ruiz

En la figura 25, podemos observar la diferencia de densidades de los materiales en cuestión y en la cual se observa que para el material híbrido esta es menor. Estos resultados son importantes porque al ser mejor la densidad, se mejoran de igual manera las propiedades específicas del material.

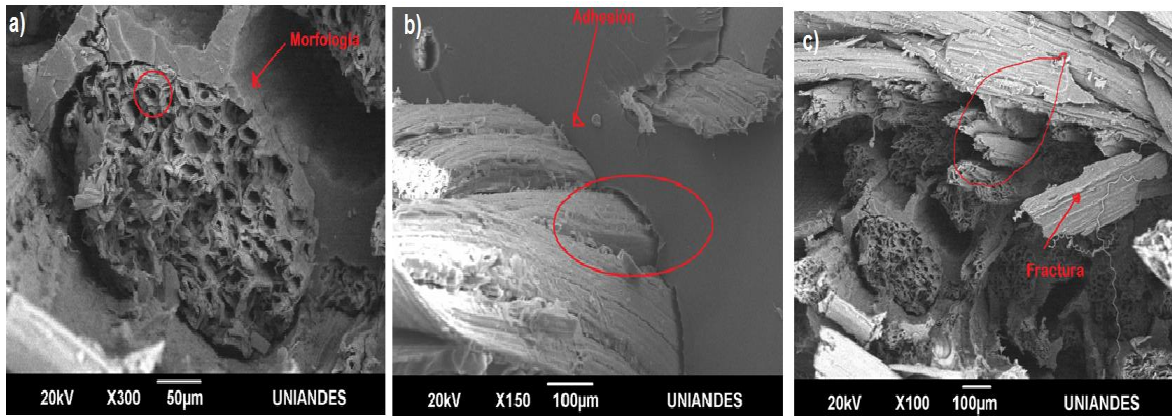
6.4 Microscopía electrónica de barrido

Se obtuvieron diferentes imágenes correspondientes a la morfología y estructura a escala micrométrica de los materiales en estudio. Las mismas enseñan la adhesión fibra-resina, tipos de rotura, con el fin de justificar el comportamiento mecánico antes evaluado.

6.4.1 Microscopía electrónica de barrido para el biocomposite de fibra de fique con resina bioepoxi

En la figura 26 se observan las imágenes de microscopía electrónica de barrido para el biocompuesto de láminas de fique con resina bioepoxi. En cada una de ellas puede obtener información importante de la morfología, la adhesión del material y el tipo de fractura respectivamente si se tiene en cuenta que las muestras fueron analizadas en la zona convexa de las probetas ensayadas a flexión.

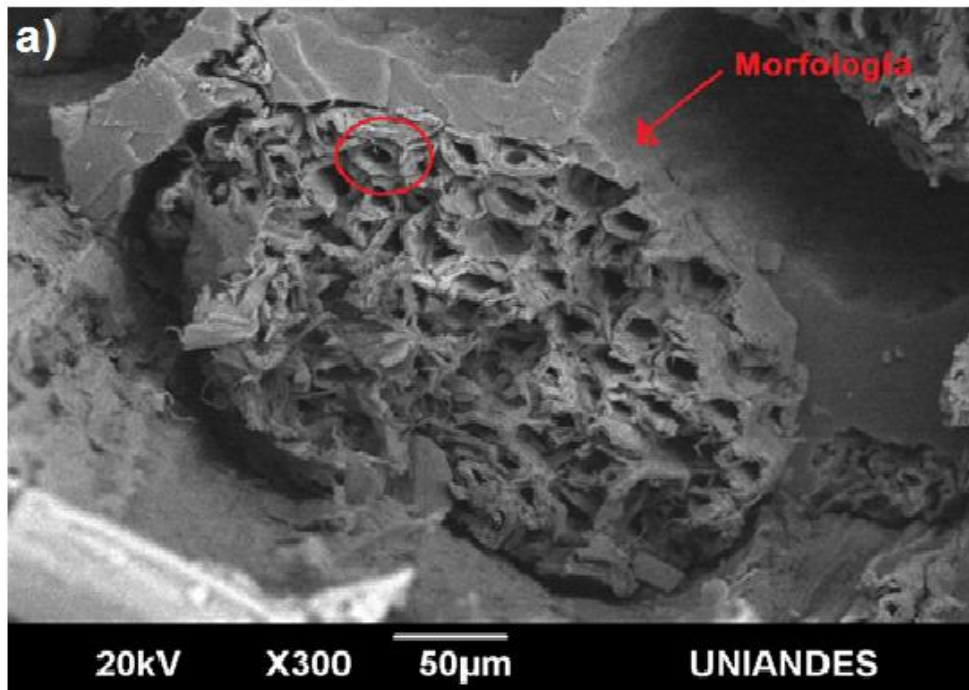
Figura 26. Caracterización SEM para el material biocompuesto



Fuente: Niyiseth Ruiz

Para la figura 26 (a) se observa la morfología de la fibra de fique que como lo indica los estudios es similar a las demás fibras vegetales por el tipo de lumen que se observa en el círculo rojo, y que podría ser de 4 micrómetros de diámetro aproximadamente.

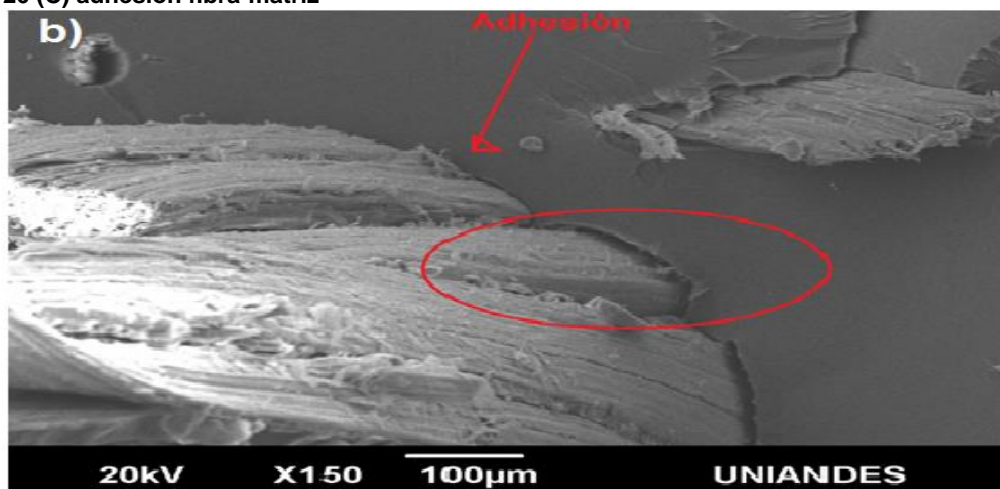
Figura 26 (a). Morfología de la fibra de fique



Fuente: Niyiseth Ruiz

La figura 26 (b) muestra claramente adhesión fibra-matriz y aunque no se puede considerar excelente, por la abertura observada podríamos decir que es buena y considerar mejorarla, esto justifica el rendimiento del material en cuanto a propiedades mecánicas, es importante destacar que la imagen está al 150X lo que nos da un indicio de que tan grande es la brecha de la adhesión si nos basamos en los parámetro de medida de la imagen estaría alrededor de los 10 micrómetros.

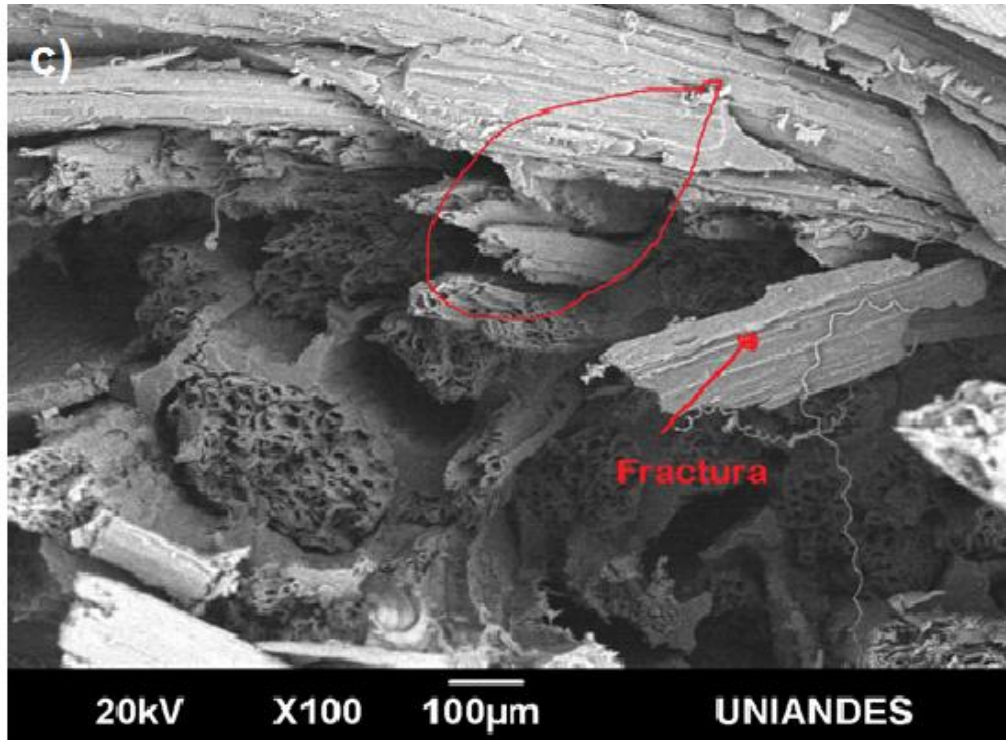
Figura 26 (C) adhesión fibra-matriz



Fuente: Niyiseth Ruiz

En la figura 26 (c) se observa el tipo de fractura que se da en la probeta por la forma del corte que presenta, considerándola frágil y corroborando el dato de los resultados anteriores en donde se observó lo correspondiente a esfuerzo vs deformación, y en el cual el material se comporta como frágil de igual forma.

Figura 26 (c). Fractura del material biocompuesto

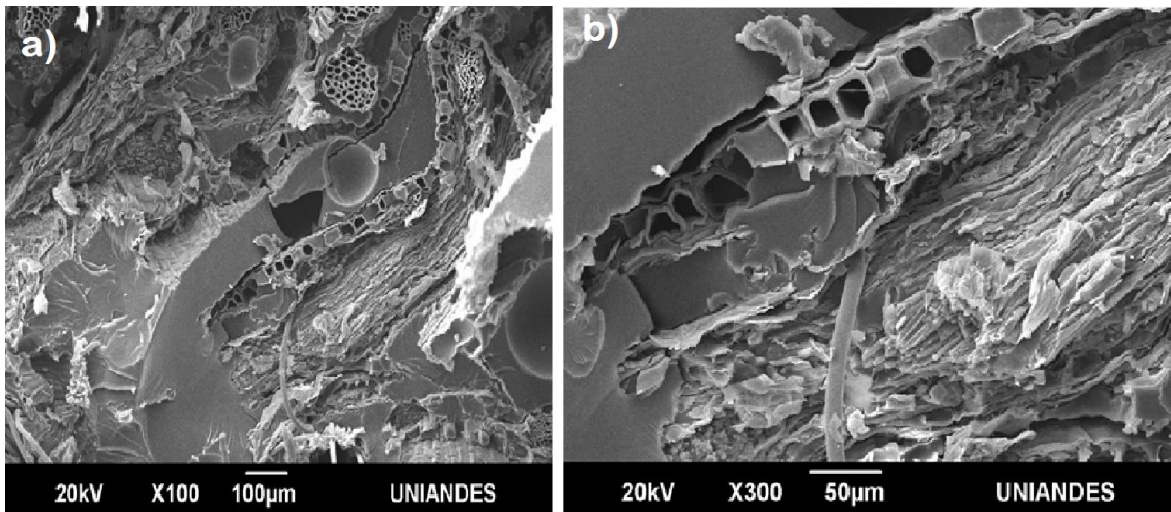


Fuente: Niyiseth Ruiz

6.4.2 Microscopia electrónica de barrido para el material híbrido de láminas de plátano, fique con resina bioepoxi

La figura 27. Muestra la caracterización por microscopia electrónica de barrido para el material híbrido de láminas de plátano, fique con resina bioepoxi. en ellas se observa la morfología, adhesión y tipo de fractura que se dio luego del ensayo de caracterización mecánica.

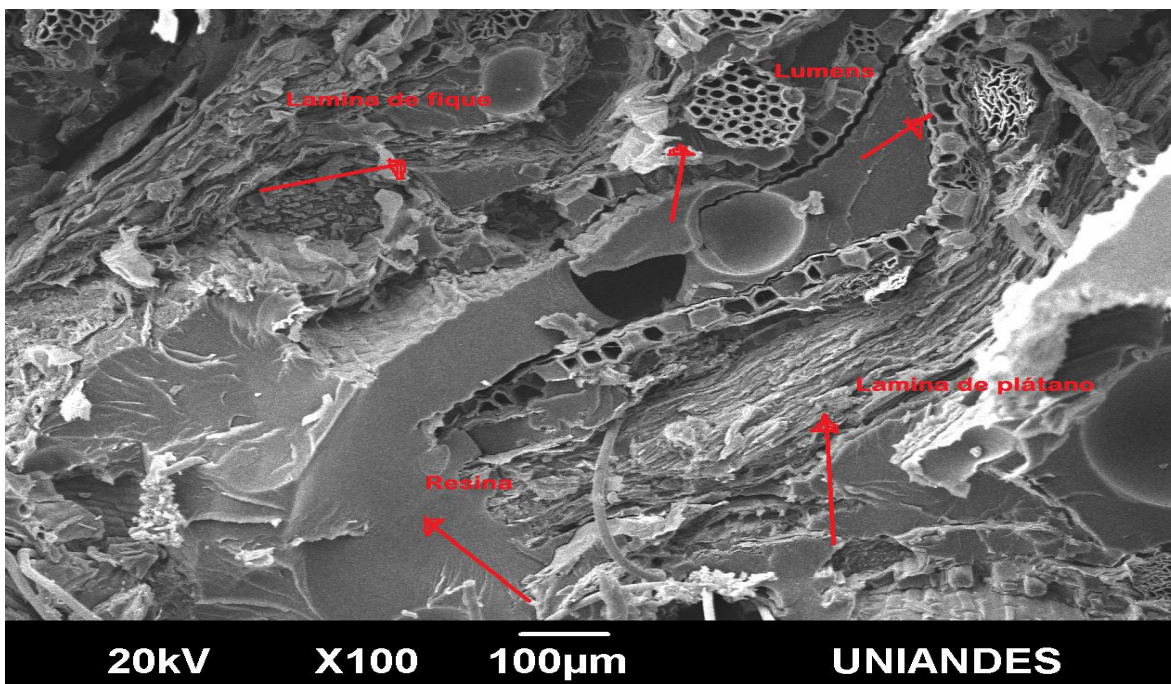
Figura 27. Caracterización SEM para el material híbrido



Fuente: Niyiseth Ruiz

La figura 27 (a) muestra las fases presentes en el material híbrido (plátano-fique-bioepoxi) de igual forma se observa la morfología de este mismo, se puede ver el lumens de la fibra de plátano que es muy similar al de la fibra de fique, por ser ambas fibras vegetales, y la resina presente en este.

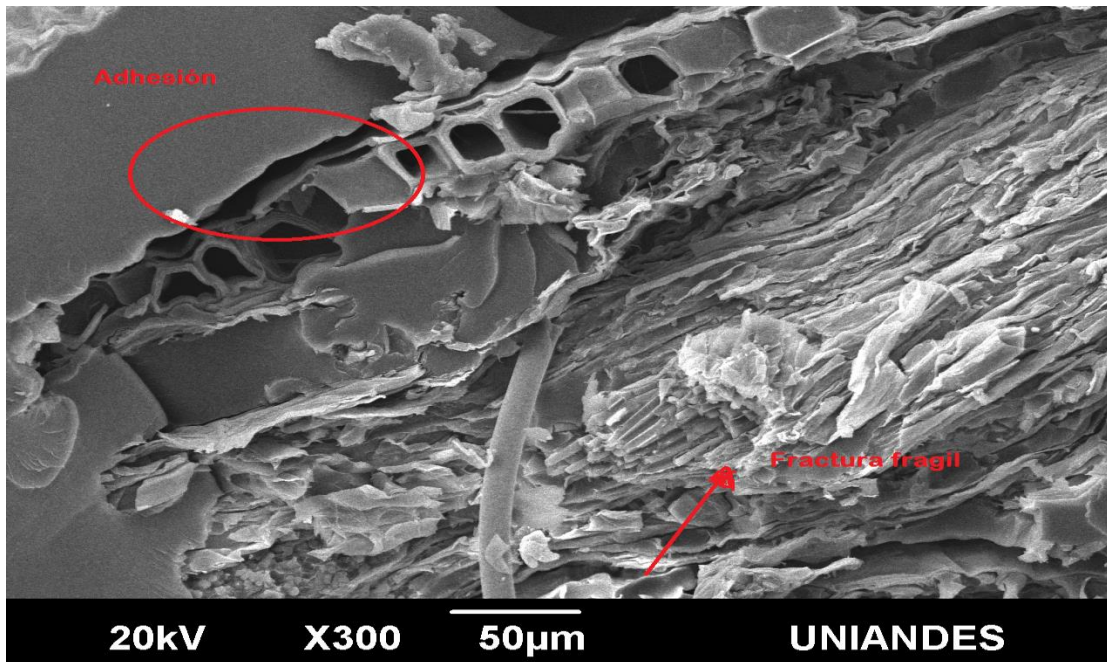
Figura 27(a). Fases presentes en el material híbrido



Fuente: Niyiseth Ruiz

En la figura 27 (b) podemos destacar el tipo de fractura (frágil) de la probetas ensayadas por la estructura que presenta el corte y la adhesión fibra-matriz que para el caso se considera como buena, teniendo en cuenta los valores del comportamiento mecánico y basándose en que la unidad de medida indicada en la imagen es relativamente pequeña o insignificante.

Figura 27 (b) tipo de fractura y adhesión en el material híbrido



Fuente: Niyiseth Ruiz

6.5 Selección de posibles sustitutos de materiales por medio del uso del software CES-EDUPACK

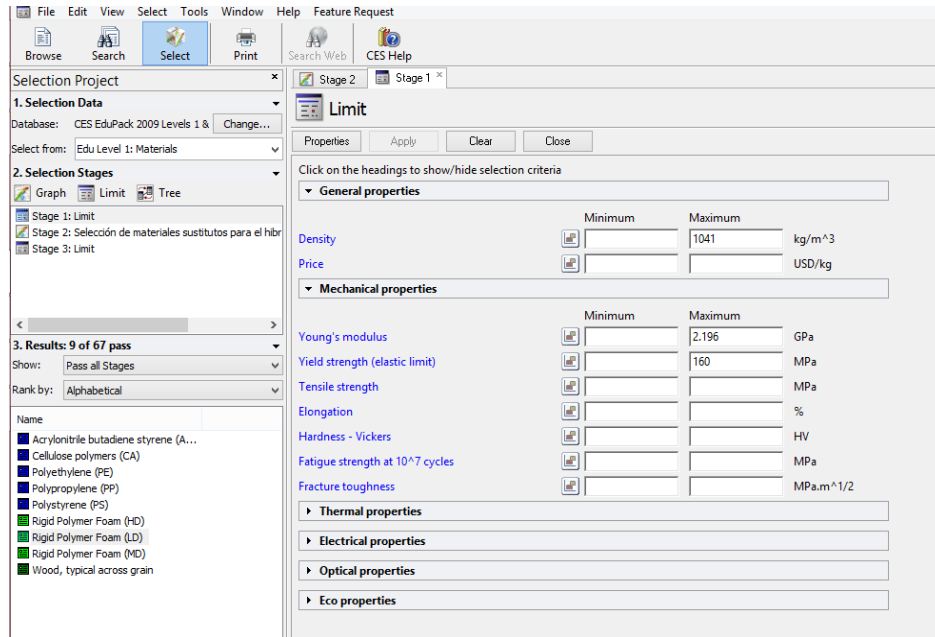
La selección se realizó para tener una gama de posibles sustitutos de materiales convencionales, esta se llevó a cabo por medio del software CES-EDUPACK 2009.

Es esencial tener el conocimiento de las propiedades generales como la densidad y las propiedades mecánicas que se obtuvieron de las pruebas en flexión.

La selección se realizó en un gráfico de burbujas módulo de Young vs densidad como se muestra en la figura 29. Para la selección se utilizó la opción del programa CES (ver figura 28), en donde se limita los valores tanto de la resistencia y el módulo como los de la densidad. Los valores utilizados para delimitar las propiedades mecánicas son los obtenidos en la caracterización de las

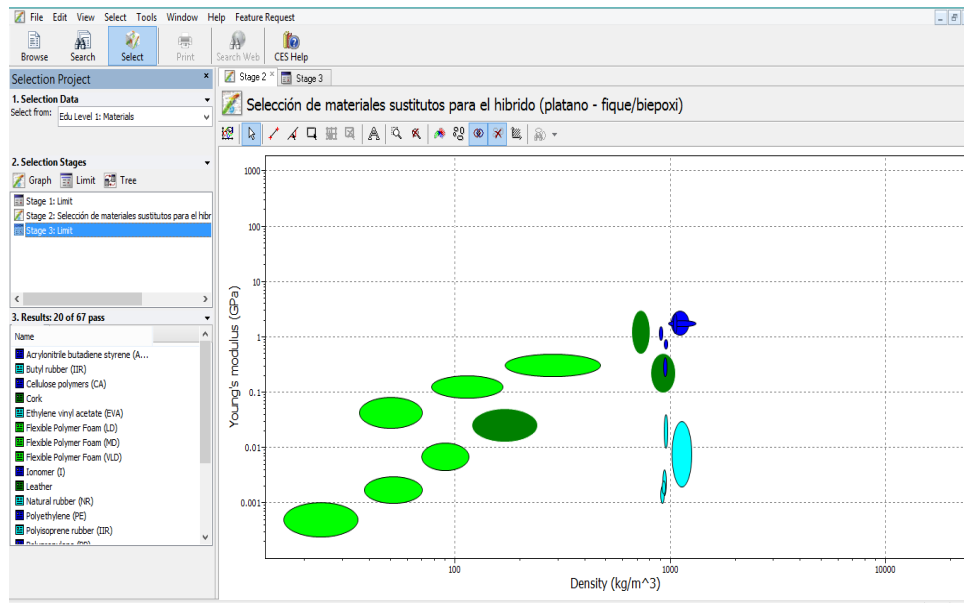
propiedades mecánicas como: Módulo de Young, esfuerzo máximo y el cálculo de la densidad.

Figura 28. Pantallazo del programa CES para delimitar las propiedades



Fuente: Base de datos CES-EDUPACK

Figura 29. Selección de materiales sustitutos por medio del software CES-EDUPACK



Fuente: Base de datos de CES-EDUPACK

De la figura 29 se puede resaltar en el gráfico de burbujas todos los materiales convencionales que pueden ser sustituidos por el nuevo material híbrido propuesto en esta investigación.

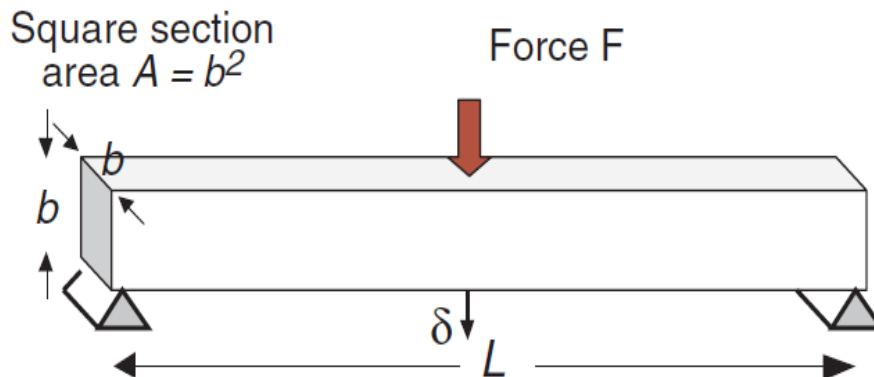
En el software se seleccionó el nivel uno y en el cual hacen parte 77 materiales, de ese porcentaje, 20 de ellos se pueden sustituir por el híbrido pues se acoplan a las propiedades, de manera general y estos se pueden ver en la figura 30.

Figura 30. Lista de materiales que pueden ser sustituidos

Name
Acrylonitrile butadiene styrene (A...
Butyl rubber (IIR)
Cellulose polymers (CA)
Cork
Ethylene vinyl acetate (EVA)
Flexible Polymer Foam (LD)
Flexible Polymer Foam (MD)
Flexible Polymer Foam (VLD)
Ionomer (I)
Leather
Natural rubber (NR)
Polyethylene (PE)
Polyisoprene rubber (IIR)
Polypropylene (PP)
Polystyrene (PS)
Polyurethane
Rigid Polymer Foam (HD)
Rigid Polymer Foam (LD)
Rigid Polymer Foam (MD)
Wood, typical across grain

Fuente: Base de datos CES-EDUPACK

Figura 31. Selección para una viga estructural.



Fuente: (41)

Tabla 8. Parámetros de diseño para la viga

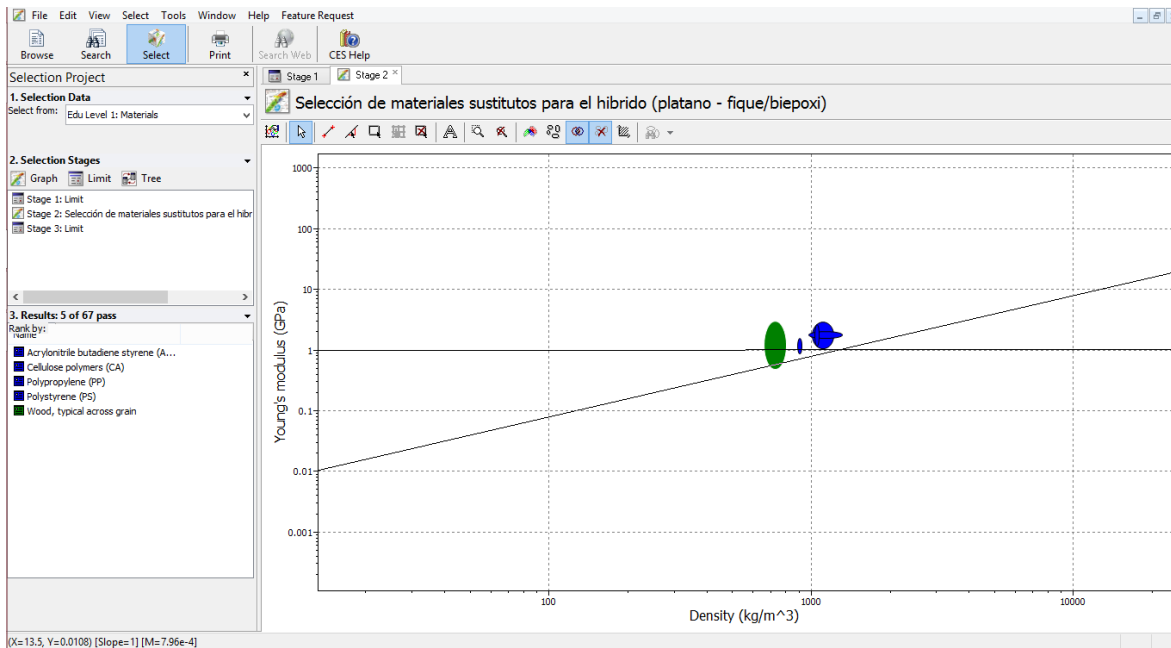
VIGA ESTRUCTURAL	
FUNCIÓN	➤ Soportar cargas a flexión.
RESTRICCIONES	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Resistencia a la flexión: 160Mpa. ➤ Módulo de Young : 2.169GPa ➤ Densidad: 1041Kg/m³ (Se trabajará con la densidad menores a la especificada). ➤ Carga de diseño 4.5 NK/m
OBJETIVOS	➤ Minimizar el peso.
VARIABLES LIBRES	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Color. ➤ Textura.

Basándose en los índices de selección de acuerdo al material en estudio, se realizó una selección acorde a la aplicación requerida (figura 31), la cual arrojo los materiales cercanos a dichas propiedades y los idóneos para una viga estructural, para esta se tiene en cuenta:

$$C = \frac{E}{\rho}$$

$$\text{Log}(E) = \text{Log}(\rho) + \text{Log}(C)$$

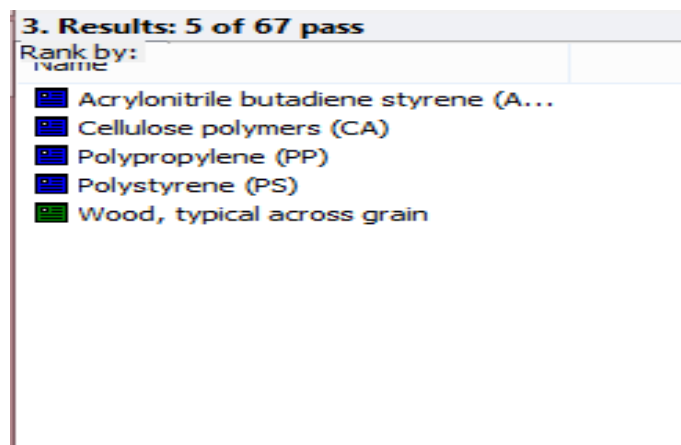
Figura 32. Selección de materiales de acuerdo a los índices



Fuente: Niyiseth Ruiz

De acuerdo a las características de selección, se puede conocer en el mapa de burbujas los materiales que pueden ser utilizados para la aplicación mencionada, de los cuales se obtuvieron 5 materiales. (Figura 33)

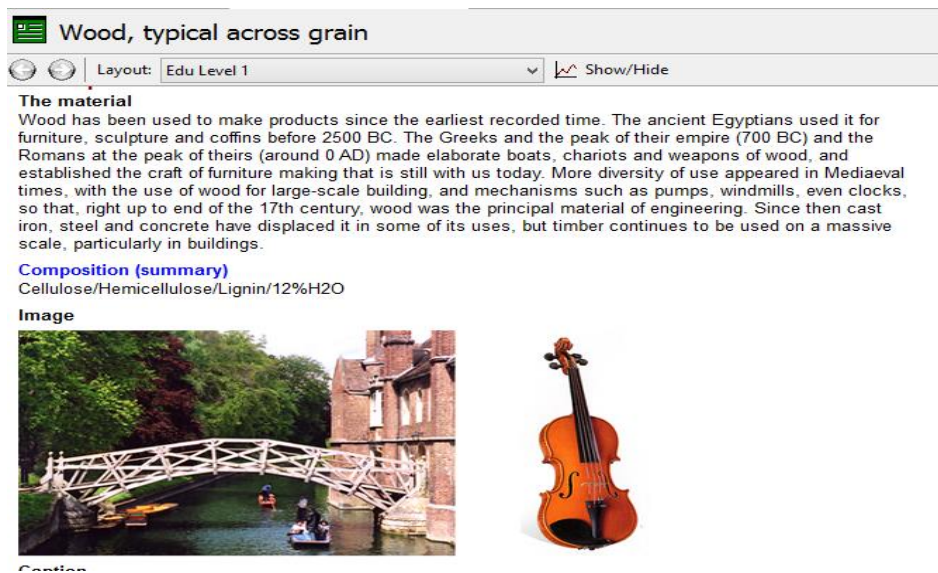
Figura 33. Materiales seleccionados de acuerdo a los índices



Fuente: Niyiseth Ruiz

Vale la pena aclarar que el proyecto se hizo con el fin de que el material sea utilizado en aplicaciones de construcción, siendo más específicos para una viga sometida a flexión, de la selección se puede notar que en ambas arrojo que uno de los materiales a sustituir es la madera, dando un indicio del potencial del material en estudio para dicha aplicación, en la figura 34 se nota para lo que comúnmente se usa.

Figura 34. Usos de la madera



Fuente: (Base de datos CES-EDUPACK, 2009)

Se puede observar que esta es utilizada en la construcción de estructuras como se nota en la figura 34, en puentes que por las condiciones mostradas es capaz de soportar altas cargas, siendo de uso peatonal y teniendo en cuenta que para estos es importante tener en cuenta los factores de seguridad si se trabaja con vidas.

Por lo anterior nuestro material se puede considerar apto para aplicación deseada en construcción de estructuras como lo son las vigas horizontales y en el siguiente apartado se mostrara con más precisión, cabe aclarar que se debe a las propiedades mecánicas obtenidas del material, y las cuales se obtuvieron por flexión.

6.6 Simulación por ANSYS

6.6.1 Parte analítica

En el área de construcción hay una variedad de aplicaciones bastante amplias, para efectos del proyecto la aplicación debía ser más específica y considerando la parte de selección por se consideró realizarla en la parte de viviendas, usando el material en vigas horizontales en cubiertas como se muestra en la figura 35.

Figura 35. Cubiertas en viviendas resaltado las vigas horizontales



Fuente: Niyiseth Ruiz

De acuerdo a la aplicación requerida es necesario conocer las necesidades que supe, en este caso al hablar de una viga horizontal de soporte es indispensable conocer las cargas y esfuerzos a los que normalmente esta sometida este sistema, por lo anteriorse requiere obtener la carga que puede soportar la viga, la cual se hallo por medio de la norma NRS10 (Reglamento colombiano de construccion sismo resistente) en el titulo B (Cargas).

Carga viva (L): Titulo B.4

De la tabla B.4.2.1 se observa que para el uso residencial se tienen en cuenta, balcones, cuartos y escaleras.

Tabla 9. Cargas vivas para uso residencial

Cargas vivas mínimas uniformemente distribuidas

Ocupación o uso		Carga uniforme (kN/m ²) m ² de área en planta	Carga uniforme (kgf/m ²) m ² de área en planta
<i>Reunión</i>	Balcones	5.0	500
	Corredores y escaleras	5.0	500
	Silletería fija (fijada al piso)	3.0	300
	Gimnasios	5.0	500
	Vestíbulos	5.0	500
	Silletería móvil	5.0	500
	Áreas recreativas	5.0	500
	Plataformas	5.0	500
<i>Oficinas</i>	Escenarios	7.5	750
	Corredores y escaleras	3.0	300
<i>Educativos</i>	Oficinas	2.0	200
	Restaurantes	5.0	500
	Salones de clase	2.0	200
	Corredores y escaleras	5.0	500
<i>Fábricas</i>	Bibliotecas		
	Salones de lectura	2.0	200
	Estanterías	7.0	700
<i>Institucional</i>	Industrias livianas	5.0	500
	Industrias pesadas	10.0	1000
<i>Comercio</i>	Cuartos de cirugía, laboratorios	4.0	400
	Cuartos privados	2.0	200
	Corredores y escaleras	5.0	500
<i>Residencial</i>	Minorista	5.0	500
	Mayorista	8.0	800
	Balcones	5.0	500
<i>Almacenamiento</i>	Cuartos privados y sus corredores	1.8	180
	Escaleras	3.0	300
<i>Garajes</i>	Liviano	6.0	600
	Pesado	12.0	1200
<i>Coliseos y Estadios</i>	Garajes para automóviles de pasajeros	2.5	250
	Garajes para vehículos de carga de hasta 2.000 kg de capacidad.	5.0	500
<i>Coliseos y Estadios</i>	Graderías	5.0	500
	Escaleras	5.0	500

Fuente: (42)

Si sumamos la carga residencial total nos da un valor de **9,8 KN/mm²**

9,8/ 3 = 3,26 KN/mm² este es el valor para la carga viva

Carga muerta (D)

Esta se determina por la tabla B.4.2.1-2 de la norma mencionada.

Tabla 10. Cargas requerida de acuerdo al uso

Tipo de cubierta	Carga uniforme (kN/m ²) m ² de área en planta	Carga uniforme (kgf/m ²) m ² de área en planta
Cubiertas, Azoteas y Terrazas	la misma del resto de la edificación (Nota-1)	la misma del resto de la edificación (Nota-1)
Cubiertas usadas para jardines de cubierta o para reuniones	5.00	500
Cubiertas inclinadas con más de 15° de pendiente en estructura metálica o de madera con imposibilidad física de verse sometidas a cargas superiores a la aquí estipulada	0.35	35
Cubiertas inclinadas con pendiente de 15° o menos en estructura metálica o de madera con imposibilidad física de verse sometidas a cargas superiores a la aquí estipulada	0.50	50

Fuente: (42)

De acuerdo a la aplicación la carga ideal seria para las cubiertas inclinadas obteniendo así:

0,35 KN/mm² de carga muerta.

La carga de diseño se halla por la formula:

$$W_m = 1,2(L) + 1,6(D)$$

Entonces:

$$W_m = 1,2(3,26) + 1,6(0,35)$$

$$W_m = 4,472 \approx 4.5 \text{ KN/mm}^2$$

Aferencia (0,90m ó 1m)

$$A_f = 1\text{m}$$

$$W_m = (4.5 \text{ KN/mm}^2) * (1\text{m})$$

$$W_m = 4.5 \text{ KN/m} \rightarrow \text{carga de diseño}$$

Figura 36. Ilustración de la aplicación

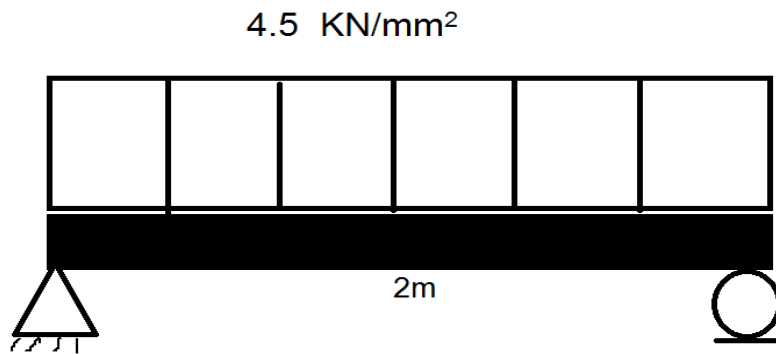
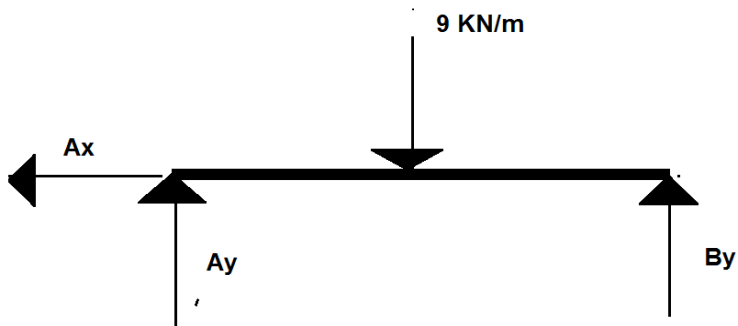


Diagrama de cuerpo libre



Fuente: Niyiseth Ruiz

Por sumatoria de momentos:

$$\zeta M_a = 0;$$
$$B_y = 4.5 \text{ KN}$$

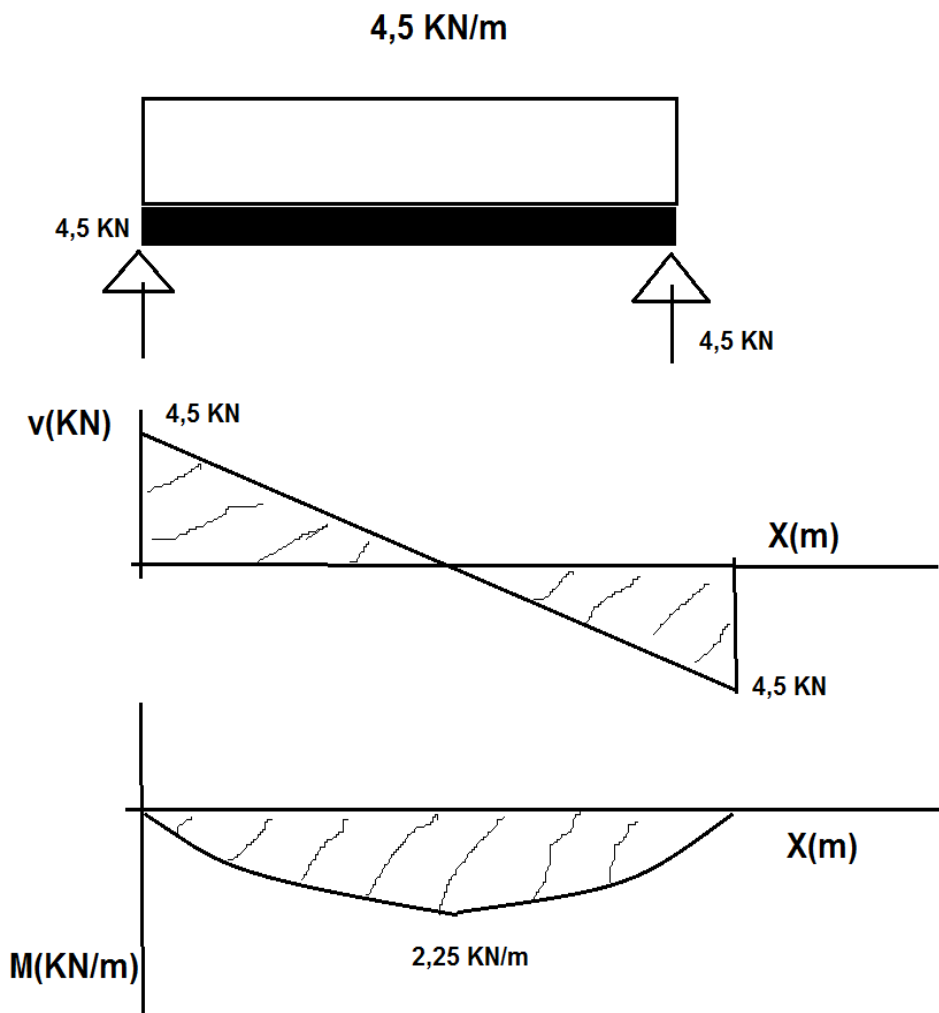
Por sumatoria de fuerzas:

$$\zeta F_y = 0;$$
$$A_y = 4.5 \text{ KN}$$

$$\zeta F_x = 0;$$
$$A_x = 0$$

Diagrama cortante y momento flector

Figura 37. Diagramas cortantes y momento flector para la viga

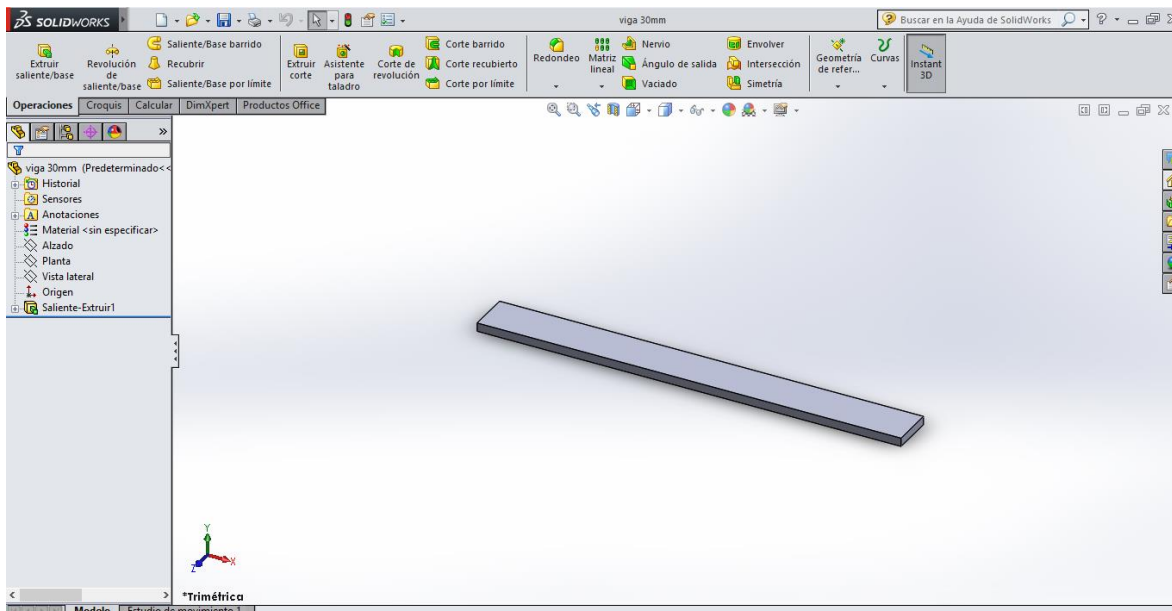


Fuente: Niyiseth Ruiz

6.6.2 CAD (Diseño Asistido por Computador)

Para poder realizar una simulación en el software ANSYS es necesario tener el diseño o sólido que se desea simular (CAD), que como se había mencionado es una viga y se realizó en el software Solid Word, mostrada en la figura 38.

Figura 38. CAD de la vida a simular



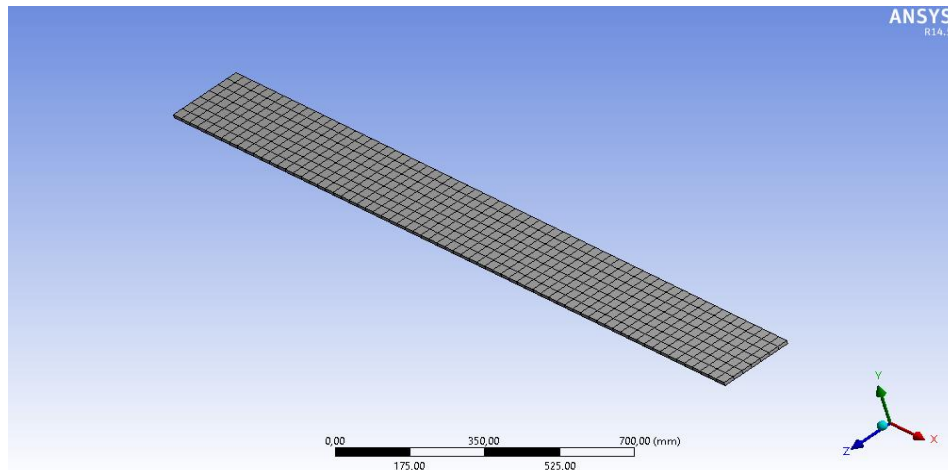
Fuente: Niyiseth Ruiz

6.6.3 Preparación de la simulación

Al estar en el software de simulación, se realiza el mallado del CAD, reparado en el Mechanical de ANSYS, ajustando la malla de la mejor forma posible y la cual se ajusta a la arquitectura del CAD, para efectos de este caso se determinó un mallado de tipo finito, teniendo en cuenta la precisión que se requieren, en cuanto a los cálculos debido a que hace referencia al parámetro de elementos finitos, es decir entre más compacto el mallado se obtiene mayor precisión en los datos arrojados por el software. En la figura 39 se observa el mallado de la viga a simular.

Al momento de desarrollar la parametrización el software por defecto estipula una, no siendo esta la más conveniente el mismo software permite manipular el tipo de mallado conveniente por parámetros de bajo, medio o finito, que como se mencionó este último fue escogido para efectos de una mejor visualización de deformación y esfuerzo.

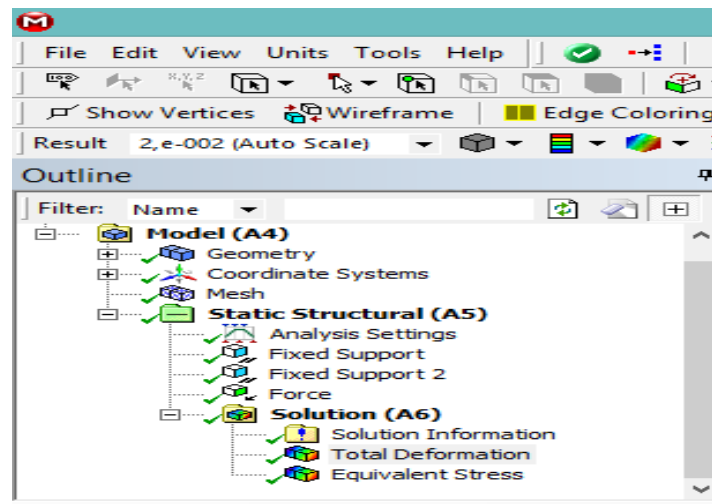
Figura 39. Mallado del CAD



Fuente: Niyiseth Ruiz

Luego de tener el mallado se realiza el análisis estático en el software, en este van las cargas o soportes que se quieren observar en el elemento de estudio.

Figura 40. Cargas y soluciones

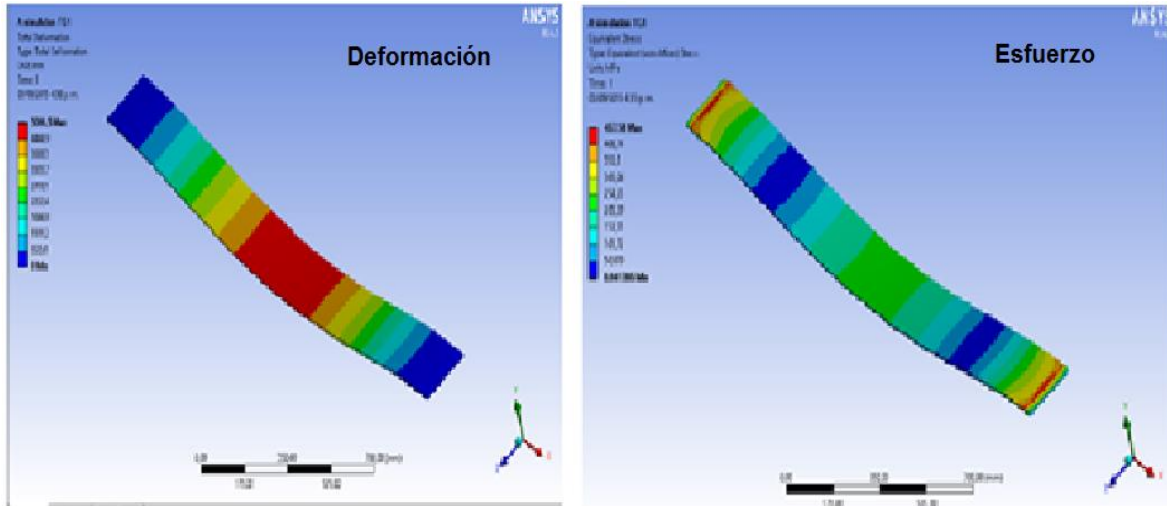


Fuente: Niyiseth Ruiz

En el análisis estático se tuvieron en cuenta:
Dos soportes fijos
Fuerza de 9000 N

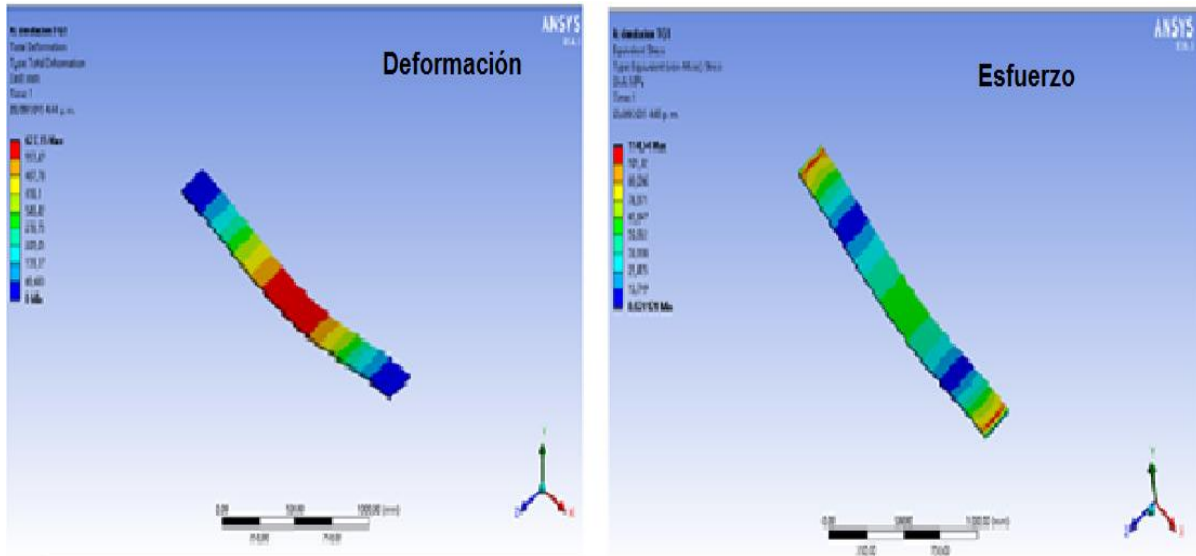
6.6.4 Resultados de la simulación

Figura 41. Deformación y esfuerzo respectivamente para la viga de 10 mm de espesor.



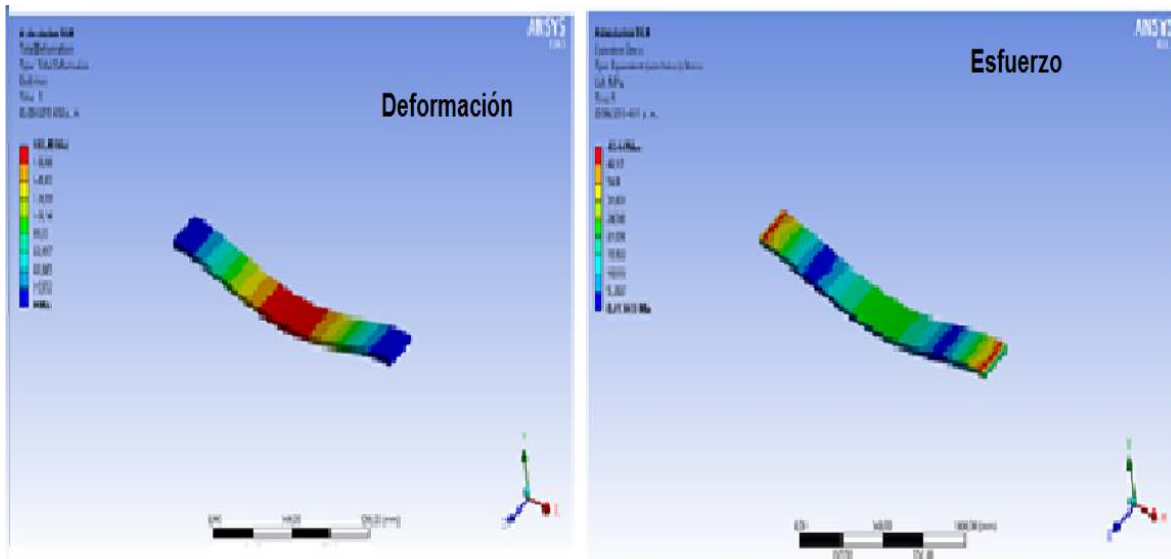
Fuente: Niyiseth Ruiz

Figura 42. Deformación y esfuerzo respectivamente para la viga de 20 mm de espesor.



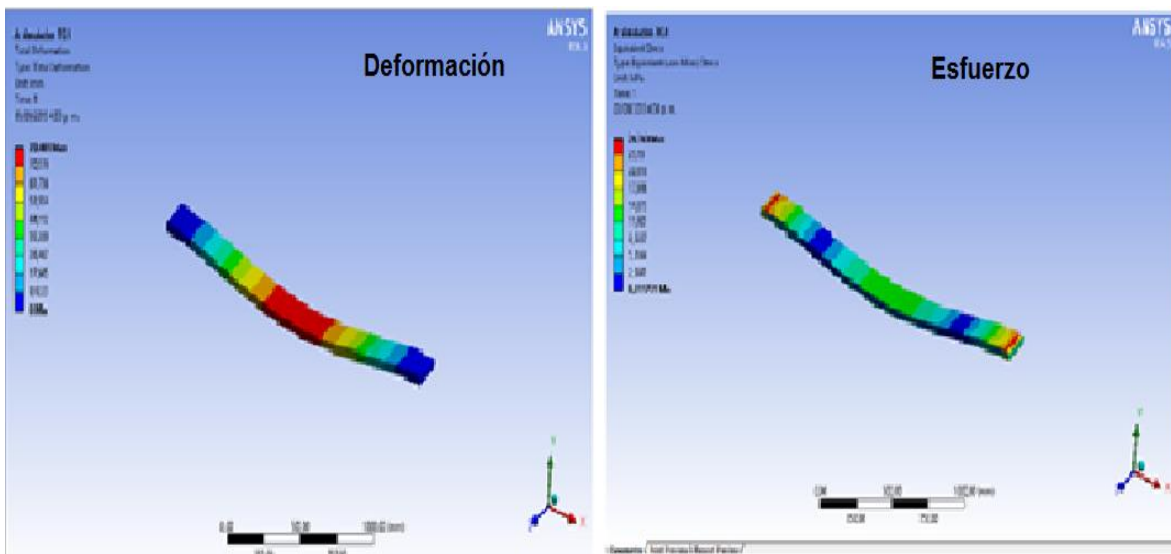
Fuente: Niyiseth Ruiz

Figura 43. Deformación y esfuerzo respectivamente para la viga de 30 mm de espesor.



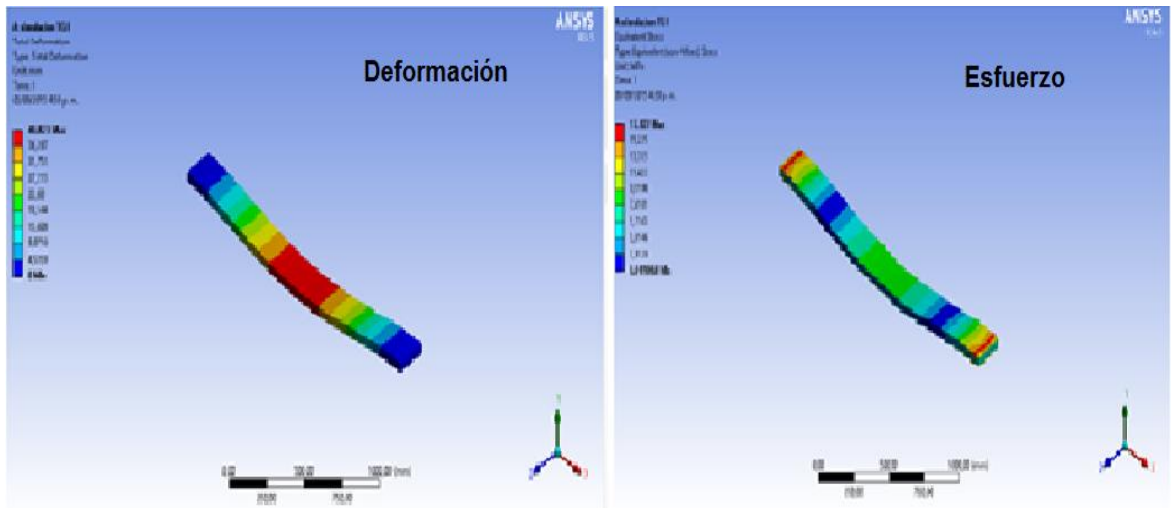
Fuente: Niyiseth Ruiz

Figura 44. Deformación y esfuerzo respectivamente para la viga de 40 mm de espesor.



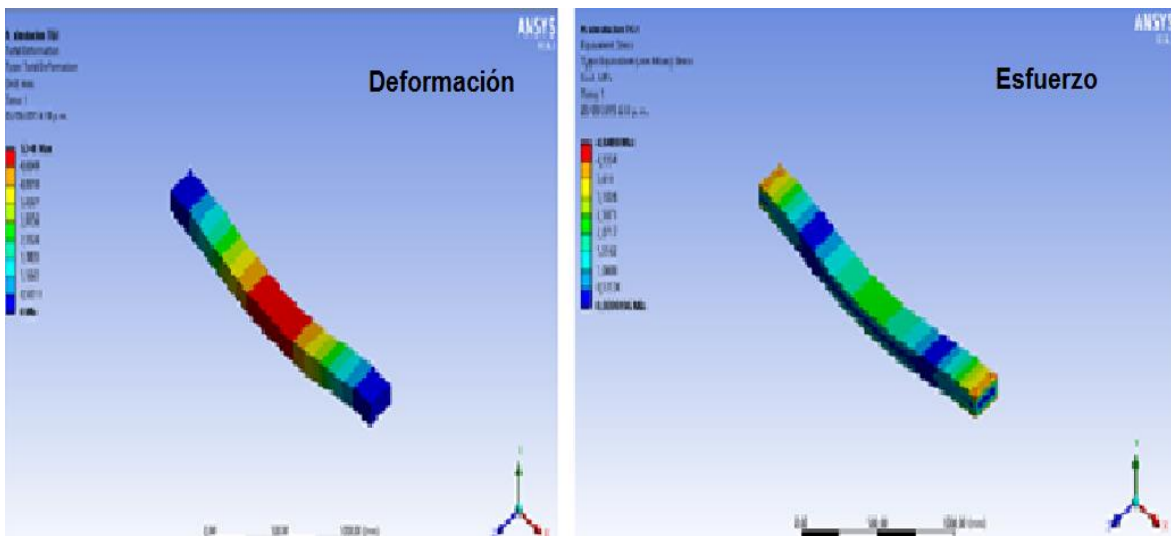
Fuente: Niyiseth Ruiz

Figura 45. Deformación y esfuerzo respectivamente para la viga de 50 mm de espesor.



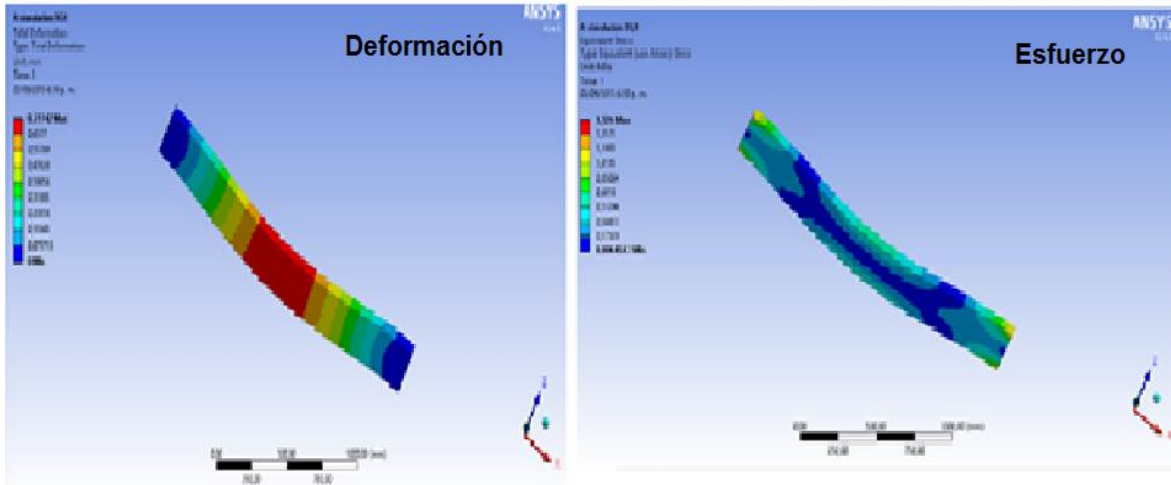
Fuente: Niyiseth Ruiz

Figura 46. Deformación y esfuerzo para la viga de 100 mm de espesor



Fuente: Niyiseth Ruiz

Figura 47. Deformación y esfuerzo respectivamente para la viga de 200 mm de espesor



Fuente: Niyiseth Ruiz

La figuras 41-47 muestra la simulación realizada a la viga con 7 datos de espesor y en todas se ve claramente deformación total de la viga, lo que es algo acorde al estado analítico mostrado, si se tiene en cuenta que el momento máximo se da en el centro de la esta y es ahí donde muestra la máxima deformación.

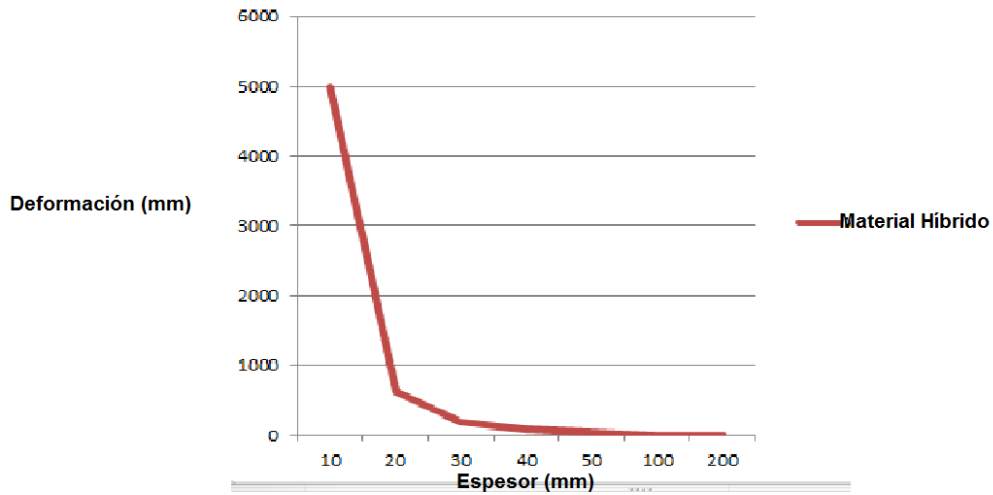
El esfuerzo se halla por el criterio de Von Mises, y se puede observar que este es mayor en los apoyos, siendo estos los que contrarrestan la fuerza aplicada en dicha viga se considera como correcta la simulación.

Tabla 11. Resumen de los datos de parametrización según el espesor

Espesor (mm)	Max. Deformación (mm)	Max. Esfuerzo Von mises (Mpa)
10 mm	5000,5	457,58
20mm	627,15	114,54
30 mm	187,49	47,44
40 mm	79,401	26,763
50 mm	40,823	17,127
100 mm	5,248	4,6490
200 mm	0.71742	1,526

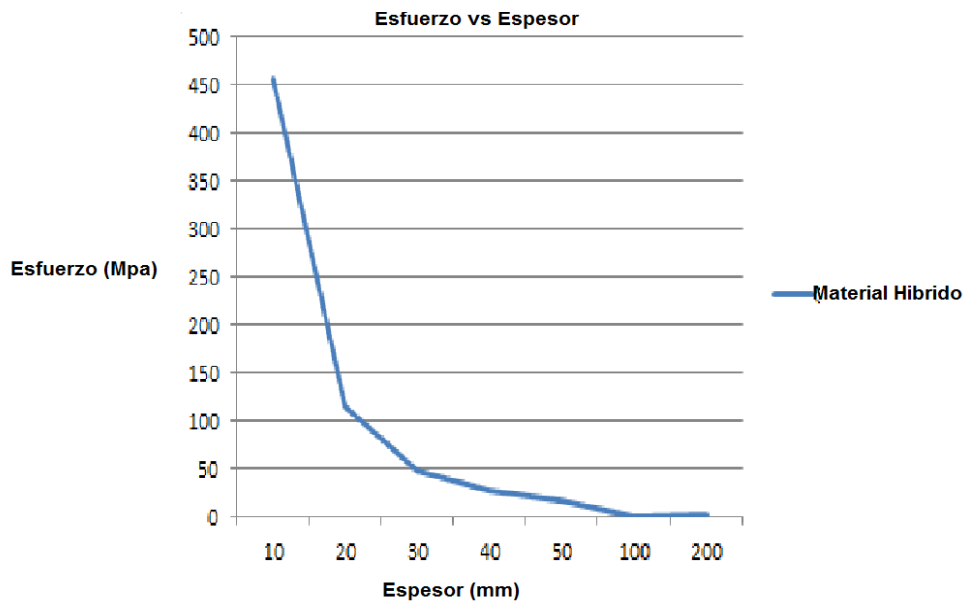
La tabla 11 muestra los valores de deformación y esfuerzo de los distintos valores de espesor que se tomaron para realizar la simulación.

Figura 48. Deformación vs espesor para los distintos valores en la simulación



Fuente: Niyiseth Ruiz

Figura 49. Esfuerzo vs espesor para los distintos valores de simulación



Fuente: Niyiseth Ruiz

Observando La figura 48 y 49 se puede apreciar la importancia del espesor a la hora de seleccionar el más indicado para la viga en estudio, ya que de este depende el esfuerzo al que se expone y de igual forma la deformación que sufre;

es decir, al aumentar el espesor se disminuye la deformación, por tanto se podría considerar que el espesor indicado para la aplicación de vigas horizontales usando el material híbrido propuesto en esta investigación sería de 100mm, debido a que en este el esfuerzo y la deformación son mínimos de acuerdo a lo presentado en la tabla 11.

Por otro lado validamos el uso del material híbrido para estas aplicaciones en el área de la construcción más específicamente en el uso de vigas horizontales de cubiertas para viviendas.

7. CONCLUSIONES

La fabricación por el método de infusión en vacío, es una técnica con excelentes resultados para la manufactura de materiales compuesto y especial para híbridos como los elaborados en este trabajo de investigación.

La selección realizada determino un gran número de materiales convencionales que pueden ser sustituidos por el material propuesto en la presente investigación, evidenciando el claro potencial de este sistema, y la viabilidad de su uso en un área ilimitada de aplicaciones.

La simulación a carga estática realizada en la investigación valida el uso del material híbrido de láminas de plátano, fique con resina bioepoxi en aplicaciones para la construcción. En especial para la sustitución de vigas de madera para la construcción de viviendas que contienen este material (cabañas, casas de verano y de invierno).

El uso del material propuesto no solo es capaz de mejorar los espacios constructivos, sino que contribuye en gran medida a la sostenibilidad ambiental que se busca en la actualidad, avalando el comportamiento de un material híbrido 90% biodegradable.

8. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Trabajar en la mejora de la adhesión del material por medio de tratamientos superficiales ya sean químicos o físicos, que permitan aumentar el área de contacto entre fibra – matriz para buscar de igual forma con este una mejora en las propiedades mecánicas.

Realizar otras caracterizaciones en el material desarrollado en esta investigación como ensayos de impacto, y determinar en qué otras aplicaciones aparte de la expuesta en este escrito puede ser útil.

9. BIBLIOGRAFÍA

1. *Materiales Compuestos*. **Besednjak, A.** 2010, pág. 9.
2. **Askeland, Donald R.** *Ciencia e ingeniería de los materiales*. 2011.
3. **Jaramillo, Eduardo botero y Gonzalez Blandon, Claudia Marcela** . *Development of Ultra-Light Composite Material to Build the Platform of a shaking table*. 2013.
4. *About composite materials and their use in bone surgery*. **Gasser, B.** 2012.
5. —. **Stiftung, Dr Robert Mathys.** 2000.
6. *Flattening simulations of 3D thick sheets made of fiber composite materials*. **Moriokaa, Kotaro y Ohtake, Yutaka.** 2015.
7. **Rojo Recio, Ester.** *Formulación y caracterización de materiales compuestos de matriz fenólica reforzados con fibras celulósicas modificadas tipo viscosa*. Madrid : s.n., 2011.
8. *El uso de los materiales compuestos en la construcción* . 2011.
9. *Polyester Composites Reinforced with Banana/plantain (Musa paradisiaca) Fiber Chemically Modified. Comparison with Fiberglass and Fique (Furcraea andina)*. **Rodriguez, Lady J. y Sarache, William A.** 2014.
10. **Quarshie, Dr Robert.** netcomposites. *TECHNOLOGY OVERVIEW BIOCOPPOSITS*. [En línea] 2015.
11. **Sepúlveda, Lady Joana Rodríguez.** *Elaboración de un material biocmpuesto a partir de fibra de platano*. Bogota : s.n., 2014.
12. **Lucana Masias, Dante Italo.** *DISEÑO DE UN MOLDE PARA LA FABRICACIÓN DE PROBETAS DE MATERIALES COMPUESTOS DE MATRIZ PLÁSTICA Y REFUERZOZ DE FIBRAS NATURALES MEDIANTE COMPRESION TÉRMICA*. Lima-Perú : s.n., 2008.
13. *Curso de procesos de manufactura*. Bogota Colombia : Escuela de Ingenierias Julio Garavito, 2007, pág. 29.
14. **Florez.** *Materiales compuestos de matriz orgánica: Constituyentes*. Bogota Colombia : s.n., 2009, pág. 12.
15. **Nilsson, Torulf.** *MICROMECHANICAL MODELLING OF NATURAL FIBRES FOR COMPOSITE MATERIALS*. Estados Unidos : Lund University, 2006.
16. **Sheldon.** *Características de los termoestables*. China : s.n., 1982, pág. 25.
17. *Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites?* **Joshi, S.V. y Drzal, L.T.** 2003, ELSEVIER, pág. 6.
18. **Barragan, Camilo Hernandez.** *DESARROLLO DE NUEVOS MATERIALES BASADOS EN RESINAS BIOEPOXI CON FIBRAS NATURALES PARA LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ*. Pamplona Colombia : s.n., 2013.
19. *APROVECHAMIENTO INDUSTRIAL DE RESIDUOS DE COSECHA Y POSCOSECHA DEL PLÁTANO EN EL DEPARTAMENTO DE CALDAS*. **Meneses, Miguel Mazzeo.** 2010, Educación en Ingeniería, pág. 12.
20. *ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE MATERIALES COMPUESTOS FIBROREFORZADOS*. **Rivera Ballesteros, Ricardo y García Guzmán, Jaime Alexis.** 2011, Universidad Pontificia Bolivariana, pág. 13.

21. **Stupenengo, Franco.** Materiales y materias primas. *Materiales compuestos*. Buenos Aires- Argentina : educar, 2011, pág. 27.
22. *Vacuum Infusion - The Equipment and Process of Resin Infusion*. 2010.
23. *The Equipment and Process of*. 2012, pág. 14.
24. **Montes, Dairo J. Perez.** *COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LOS COMPUESTOS DE RESINA BIOEPOXI CON FIBRA DE VIDRIO, INMERSOS EN AGUA DE MAR, PARA LA FABRICACIÓN DE EMBARCACIONES NAVALES*. Pamplona Colombia : s.n., 2015.
25. **Mark Vargas, Morelli L.** *Modelado y simulación de un proceso de corte ortogonal termomecánico usando paquetería de elemento finito*. Mexico : s.n., 2015.
26. **Castillo, Alberto de Carlos.** *Análisis de elementos finitos*. Pamplona - España : Universidad Pública de Navarra, 2010.
27. **Cárdenas Díaz, Renzo Humberto.** *SIMULACIÓN CON SOFTWARE DE ELEMENTOS FINITOS DE LA CORONA Y FALDA DEL PISTON MAHLE, BIELA Y BULÓN DE LAS UNIDADES ALLEN 8S37GI*. Bucaramanga- Colombia : UPB Universidad Pontificia Bolivariana, 2009.
28. *Obtención de Materiales Compuestos Híbridos de Matriz Poliéster Reforzada con Fibras de Coco y Vidrio para la Elaboración de Tableros*. **Delgado, F. y Galeas, S.** 2011, ELSEVIER, pág. 9.
29. *Comparative Study of Dielectric Properties of Hybrid Natural Fiber Composites*. **Jayamania, Elammaran y Hamdanb, Sinin** . 2014, ELSEVIER, pág. 9.
30. *Pine cone fiber/clay hybrid composite: Mechanical and thermal properties*. **Arrakhiz, F.Z. y Benmoussa, K.** 2013, ELSEVIER, pág. 6.
31. *Analysis of the mechanical and thermal properties of jute and glass fiber as reinforcement epoxy hybrid composites*. **Braga, R.A y Magalhaes, P.A.** 2015, ELSEVIER, pág. 12.
32. **Paredes Salinas, Juan Gilberto.** *STUDY OF POLYESTER MATRIX STRATIFIED HYBRID POLYMERS REINFORCED WITH FIBERGLASS AND PITA AS ALTERNATIVE MATERIAL AND ITS INCIDE IN THE MECHANICAL PROPERTIES IN BUMPERS FOR BUSES*. Ambato - Ecuador : UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO, 2012.
33. *Utilización de residuos de plátano para la producción de metabolitos secundarios por fermentación en estado sólido con el hongo*. **Grandar R., Diana y Megia G., Amanda.** 2005.
34. **Contreras, F.M.** *Factografía de la fibra natural extraída del fique y de un material compuesto reforzado con tejido de fibra de fique y matriz resina poliéster*. Bogota Colombia : s.n., 2009.
35. *Fique Fibers: Enhancement of the Tensile Strength of Alkali Treated Fibers During Tensile Load Application*. **Gomez Hoyos, Catalina y Alvarez, Vera A.** 2011, ELSEVIER, pág. 9.
36. *A New Bio-resin System*. **Fowler, P.A y Tverezovskiy, V.V.** 2004, The BioComposites Centre,, pág. 10.
37. *Supersap 100/1000*. **RESINS**. 2010, ELSEVIER.
38. **Ferro, Maria Cristina.** Uniandes. [En línea] 2012. [Citado el: 24 de Agosto de 2015.] <https://investigaciones.uniandes.edu.co/index.php/es/centro-de-microscopia/microscopio-electronico-de-barrido-meb>.

39. **Villanova.** Selección de Materiales . *Materiales*. Cataluña- España : Universidad Politécnica de Cataluña, 2010, pág. 132.
40. **Hernandez, Yennissei.** Instituto Tecnológico de Toluca. Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica. Plantilla Awesome Inc.. Imágenes de plantillas de saw. Con la tecnología de Blogger. [En línea] 08 de Septiembre de 2011. [Citado el: 30 de Agosto de 2015.] <http://iqtermodinamica.blogspot.com/2011/09/la-presion-de-vacio-explicada-que-es-el.html>.
41. **Askeland, Donald R.** CIENCIA E INGENIERIA DE LOS MATERIALES . *CIENCIA E INGENIERIA DE LOS MATERIALES* . s.l. : An International Thomson Publishing Company, 1998.
42. *Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente*. Bogota - Colombia : Comisión asesora permanente para el régimen de construcciones sismo resistente, 2010.
43. **Julián Rodríguez Montes, Lucas Castro Martínez, Juan Carlos del Real Romero.** *Procesos industriales para materiales no metálicos*. Madrid : VISION NET, 2009.
44. **MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIAS.** *POLITICA NACIONAL DE SEGURIDAD MINERA*. BOGOTÁ : s.n., 2011. pág. 2.
45. *STABILITY CONSIDERATIONS FOR UNDERGROUND EXCAVATION INTERSECTIONS*. **Gercek, Hasan.** 1986, SCIENCE DIRECT, pág. 9.
46. *Design guidelines for steel arch supports in underground mining*. **Khan, H.S. Mitri and U.H.** 1990, Scienci Direct, pág. 8.
47. *das, da, dafs y adfa, adsfa*. 424e, pág. 412.
48. **HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto, et al.** Metodología de la investigación. 4 ed. México : McGraw-Hill, 2006.
49. **BERMUDEZ, LUIS MIGUEL BEMUDEZ.** CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL SISTEMA DE ENTIBACIÓN DE ALGUNAS MINAS TRADICIONALES DE CARBÓN EN NORTE DE SANTANDER. Pamplona, Norte de Santander, Colombia : s.n., 2013.
50. **Michaeli, Wegener, Capella.** *Tecnología de los composites/ plásticos reforzados*. Barcelona : Hanser, 1992.
51. **Stupenengo, Franco.** *Materiales y materias primas*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. : s.n., 2011.
52. **Hull, Derek.** *Materiales Compuestos* . Barcelona : Reverté, 2003.
53. **Dietrich, Alejandro Besednjak.** *Materiales Compuestos Procesos de fabricación de embarcaciones* . Catalunya : Universitat Politècnica de catalunya, 2005.
54. **Miravete, Antonio.** *Materiales compuestos* . Barcelona : Reverté, 2007.
55. *The effect of immersion in sea water on the dynamic properties of fibre.reinforced flexibilised epoxy composites*. **Singh, R.D. Adams & M.M.** 1995, ELSEVIER, pág. 9.
56. *Flexural properties of epoxy syntactic foams reinforced by fiberglass mesh and/or short glass fiber*. **Lijun Wang, Jing Zhang, Xu Yang, Chun Zhang, Wei Gong, Jie Yu.** 2013, ELSEVIER, pág. 8.
57. *Degradation of basalt fibre and glass fibre/epoxy resin composites in seawater*. **Bin Wei, Hailin Cao, Shenhua Song.** 2010, ELSEVIER, pág. 6.
58. *Los materiales compuestos*. **Besednjak, A.** 2000.

59. **Masias, Dante Italo Lucana.** *Diseño de un molde para la fabricación de probetas de materiales compuestos de matriz plastica y refuerzo de fibras naturales mediante compresión termica.* 2008.
60. *Caracterización de fibras vegetales utilizados como refuerzo en matrices termoplasticos.* **Salvador, M.D y Amigó, V.** 2007.
61. **Rico, Sayra Conde.** *Estudio de la fibra de coco con resina poliéster para la manufactura de palas de aerogeneradores de pequeña potencia .* 2010.
62. *Aprovechamiento industrial de residuos de cosecha y poscosecha del plátano en el departamento de Caldas.* **Mazzeo Meneses, Miguel y León Agatón, Libardo.** 2010.
63. *PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF THERMOPLASTIC COMPOSITE MATERIALS REINFORCED WITH ENGINEERING FIBERS.* **Gonzales, P.I y Ramos, W.** 2008, Revista Mexicana de Ingeniería Química, pág. 9.
64. **Contreras, F.M.** *Factografía de la fibra natural extraída del fique y de un material compuesto reforzado con tejido de fibra de fique y matriz resina poliester.* Bogota Colombia : s.n., 2009.
65. **Recio, Ester rojo.** *Formulación y caracterización de materiales compuestos de matriz fenólica reforzados con fibras celulósicas modificadas tipo viscosa.* Madrid : s.n., 2011.
66. **Bonilla Novillo, Sayuri M.** *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE ANÁLISIS DE ESFUERZOS PARA ENSAYOS DE FLEXIÓN EN SISTEMAS ISOSTÁTICOS E HIPERESTÁTICOS.* Riobamba-Ecuador : s.n., 2012.
67. **Colcha Díaz, Juan Gabriel.** *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO INFORMÁTICO PARA APLICACIONES EN ENSAYOS EN LA MÁQUINA UNIVERSAL.* Riobamba - Ecuador : s.n., 2010.