

**PROPUESTA DE DISEÑO DE PROCESO PARA LA FORMACIÓN DE UNA
GEORED A PARTIR DE FIBRA NATURAL DE BAMBÚ (GUADUA ANGUSTIFOLIA)
COMO REFUERZO DE UN GEOTEXTIL PARA LA EMPRESA PAVCO-WAVIN
COLOMBIA**

ALEJANDRA MURCIA LIZ

PAULA JIMENA HINCAPIE MURILLO

**Proyecto integral de Grado para optar al título de
INGENIERO QUÍMICO**

Director

LUIS ALBERTO FIGUEROA CASALLAS

MEng Ing. Químico.

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA

BOGOTÁ D.C

2021

NOTA DE ACEPTACIÓN

Presidente Jurado.

Jurado 1.

Jurado 2.

Bogotá D.C., febrero de 2021

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente Institucional de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García-Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dr. María Claudia Aponte González

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretaria General

Dr. Alexandra Mejía Guzmán

Decano Facultad de Ingenierías

Ing. Julio Cesar Fuentes Arismendi

Director Programa de Ingeniería Química

Ing. Iván Ramírez Marín

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables de los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

DEDICATORIA

Este proyecto representa un gran logro para mi vida tanto personal como profesional, es por esta razón que me lleno de agradecimiento primeramente con Dios, por darme la fuerza y sabiduría; con mi madre, quien siempre ha sido mi ejemplo a seguir, mi apoyo incondicional, quien me ha formado como persona de bien y me ha brindado toda su paciencia, amor y dedicación; a mi familia, por cada consejo, los cuales han sido una guía en mi camino; y finalmente, a mis amigos y demás personas que han estado presentes en mi proceso, y de una u otra forma han contribuido a culminar esta hermosa e importante etapa de mi vida.

Paula Jimena Hincapie Murillo

Dedico esta tesis a mi familia, por haberme guiado en el camino del aprendizaje e impulsarme a pesar de las adversidades, en especial a mi madre, quién fue el motor de todo, la persona que logró sacarme adelante con cada sacrificio y esfuerzo, a mi hermano por estar a mi lado y permitirme estar al suyo , a mi padre por su apoyo incondicional, a mis abuelos quienes siempre me apoyaron y estuvieron ahí, por cada consejo, preocupación y esfuerzo, a mis tíos quienes estuvieron presentes dándome el ejemplo de salir adelante, por sus consejos , comprensión y apoyo , a los amigos que surgieron en el camino y me enseñaron el valor de la amistad y a aquellas personas que aparecieron dejando un granito de arena; Solo siento mucha gratitud hacia todos, por haber hecho parte de una etapa tan importante para mi vida y lograr que este sueño se haga realidad.

Alejandra Murcia Liz

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia queremos agradecerle a Dios por la culminación de esta etapa y el inicio de otra como Ingenieras Químicas, por brindarnos la sabiduría y paciencia para lograr los objetivos propuestos.

Agradecemos a la empresa Pavco-Wavin, por darnos la oportunidad y abrirnos las puertas, para la realización de nuestro proyecto; a la Universidad de América por formarnos como profesionales íntegros y capaces; a los docentes que hicieron parte de nuestro proceso de formación apoyándonos y brindándonos su conocimiento.

Le damos las gracias a nuestro Director de trabajo de grado Luis Alberto Figueroa Casallas, por su dedicación, su apoyo, paciencia y los conocimientos transmitidos, siendo de gran valor para la culminación de nuestro proyecto.

Por último, y no menos importante, agradecemos a nuestros padres, son quienes hicieron esto posible, con su amor, esfuerzo, y apoyo incondicional.

CONTENIDO

	pág.
1. COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISCO-QUÍMICAS DE LA FIBRA DE BAMBÚ (<i>Guadua Angustifolia</i>) COMO REFUERZO PARA MATERIAL POLIMÉRICO	19
1.1. Fibras naturales	19
1.1.1. Composición química	20
1.1.2. Limitaciones de las fibras naturales	20
1.2. Fibra de <i>Guadua Angustifolia</i>	21
1.2.1. Bambú en Colombia	22
1.2.2. Localización	22
1.2.3. Condiciones de cultivo.....	23
1.2.4. Parámetros físicos óptimos	25
1.2.5. Composición química	26
1.2.6. Propiedades mecánicas	28
1.2.7. Microscopia electrónica de barrido.....	29
1.3. Geosintéticos	30
1.3.1. Geotextil.....	30
1.3.2. Geored.....	31
1.3.3. Pruebas de calidad.....	35
1.3.4. Propiedades mecánicas	35
1.3.5. Propiedades químicas.....	36
1.3.6. Matriz comparativa	37
2. FACTORES QUE INTERVIENEN PARA LA ADECUACIÓN DE LA FIBRA DE BAMBÚ COMO REFUERZO DE GEOTEXTIL	44
2.1. Matrices Orgánicas.....	44
2.2. Matrices Termoplásticas.	45

2.2.1. Características Generales.....	45
2.2.2. Condiciones de Operación.....	46
2.3. Material de refuerzo	46
2.3.1. Estructura de la fibra de la planta	47
2.3.2. Estabilidad térmica de la fibra	47
2.3.3. Longitud y diámetro	48
2.3.4. Carga y orientación de la fibra	49
2.3.5. Presencia de vacíos	50
2.3.6. Contenido de absorción fibra de Bambú	51
2.3.7. Contenido de fibra	52
2.4. Adherencia entre fibra-matriz termoestable.....	53
2.4.1. Tratamiento a la fibra y modificación	53
2.4.2. Tratamiento alcalino	54
2.5. Resinas	57
2.5.1. Resinas sintéticas.....	58
2.6. Métodos de fabricación	60
2.6.1. Moldeo de transferencia asistida por vacío (VARTM)	60
2.6.2. Moldeo de transferencia de resina (RTM).....	61
3. DISEÑO DE PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DEL GEOCOMPUESTO	62
3.1. Etapas de proceso	62
3.1.1. Composición Química	62
3.1.2. Extracción fibra de bambú.....	64
3.1.3. Lavado.....	64
3.1.4. Digestión alcalina.....	65
3.1.5. Lavado.....	70

3.1.6.	Blanqueo	70
3.1.7.	Lavado.....	72
3.1.8.	Secado	72
3.1.9.	Hilado.....	73
3.1.10.	Tejido	73
3.1.11.	Método RTM.....	73
3.1.12.	Elongación.....	77
3.1.13.	Perforado	77
3.1.14.	Curado de resina.....	77
3.1.15.	Tratamiento térmico	77
3.2.	Balance global de caja negra.....	78
3.3.	Diagrama de bloques	79
3.4.	Balance de masa por etapas.....	82
3.4.1.	Extracción	82
3.4.2.	Lavado.....	83
3.4.3.	Digestión Alcalina	85
3.4.4.	Lavado.....	91
3.4.5.	Blanqueo	93
3.4.6.	Lavado.....	95
3.4.7.	Secado	97
3.4.8.	Hilado.....	102
3.4.9.	Tejido	103
3.4.10.	Mezclado de Resina	104
3.4.11.	Método RTM.....	105
3.4.12.	Elongación.....	106

3.4.13.	Curado	107
3.4.14.	Perforado	108
3.4.15.	Tratamiento térmico	109
3.5.	Equipos.....	111
3.6.	Condiciones de Operación	122
3.7.	Diagrama PFD.....	123
4.	ANÁLISIS DE COSTOS DEL PROYECTO	128
4.1	Plan de Inversión.....	128
4.2	Datos del Proyecto	131
4.3	Costo Unitario de Materia Prima	132
4.3	Depreciación mensual	133
4.4	Depreciación anual.....	134
4.5	Nómina.....	135
4.6	Presupuesto Materia Prima y Ventas	137
4.7	Presupuesto CIF	139
4.8	Presupuesto General.....	141
4.9	Amortización.....	142
4.10	Flujo de Caja	142
4.11	Indicadores	144
5.	CONCLUSIONES.....	145
6.	RECOMENDACIONES	146
7.	BIBLIOGRAFÍA	147
8.	INDICE DE TÉRMINOS TÉCNICOS	154
9.	ANEXOS.....	156

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación Geográfica de Caicedonia en el Valle del Cauca.....	23
Figura 2. Partes de una planta de Bambú.....	24
Figura 3. Micrografías SEM del área transversal de haces de fibra de guadua a una escala de 20-100 μm	30
Figura 4. Geomalla coextruída mono-orientada	32
Figura 5. Geomalla coextruída Bi-orientada.....	33
Figura 6. La distribución de la carga actúa en forma radial.....	34
Figura 7. Área de abertura geomalla biaxial.....	34
Figura 8. Diámetro medio Vs Resistencia a la tensión.....	49
Figura 9. Microscopía SEM en la superficie de falla de una probeta de ensayo a tensión indicando la distribución no homogénea de fibras. Escala de 2mm a 10mm.....	51
Figura 10. Microscopía SEM en la superficie de falla de una probeta a flexión, indicando la propagación de grietas	52
Figura 11. Microscopía SEM en la superficie de falla de una probeta a flexión, indicando la propagación de grietas	53
Figura 12. Esquema del método VARTM	60
Figura 13. Esquema del método RTM.....	61
Figura 14. Diferentes formas de haces vasculares en secciones transversales de la pared del culmo.	62
Figura 15. Esquema del proceso de recuperación de residuos del proceso Kraft.....	68
Figura 16. Balance global del proceso de obtención del Geodrén.....	78
Figura 17. Diagrama de bloques (BFD).....	80
Figura 18. Esquema proceso de extracción de fibra de Bambú.....	82
Figura 19. Esquema proceso de lavado.....	84
Figura 20. Esquema del proceso de la digestión alcalina.	89
Figura 21. Esquema del proceso de lavado.....	92
Figura 22. Esquema del proceso de blanqueo.....	94
Figura 23. Esquema del proceso de lavado.....	96
Figura 24. Esquema del proceso de secado.	98

Figura 25. Esquema del proceso de hilado.	102
Figura 26. Esquema del proceso de tejido.	103
Figura 27. Esquema de proceso de mezclado de resina.	104
Figura 28. Esquema del proceso RTM	105
Figura 29. Esquema proceso elongación	106
Figura 30. Esquema de proceso de Curado.....	107
Figura 31. Esquema del proceso perforado.....	108
Figura 32. Esquema de proceso del tratamiento térmico.....	110
Figura 33. Diagrama PFD.....	124
Figura 34. Balance de masa	126

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Parámetros físicos óptimos de la Guadua Angustifolia	25
Tabla 2. Composición Química fibra de Bambú	26
Tabla 3. Composición Química de distintas especies de Bambú (Guadua Angustifolia)	27
Tabla 4. Propiedades mecánicas fibra de Bambú	28
Tabla 5. Propiedades mecánicas fibra de Bambú (Guadua Angustifolia)	29
Tabla 6. Uso de Geotextiles en Norteamérica por área de aplicación	31
Tabla 7. Rangos de composición química fibra de bambú general con fibra de bambú de artículo base	37
Tabla 8. Comparación de las propiedades mecánicas de la fibra de bambú general con el artículo base y la geomalla PEAD	39
Tabla 9. Pruebas de múltiples rangos para resistencia a la compresión por sección	40
Tabla 10. Comparación de resistencia a la compresión de la fibra de bambú general con el artículo base y la geomalla PEAD	41
Tabla 11. Ponderación propiedades mecánicas	42
Tabla 12. Cuantificación en la escala de 1 a 10 de las alternativas propuestas	42
Tabla 13. Matriz comparativa-evaluativa de las alternativas propuestas	43
Tabla 14. Características generales de las matrices termoplásticas y termoestables	46
Tabla 15. Valores promedio de algunas de las características determinadas a través de las diferentes técnicas	57
Tabla 16. Análisis comparativo de pros y contras de las resinas epóxicas, poliéster y viniléster	59
Tabla 17. Composición de las fibras Guadua Angustifolia por el método Van Soest	63
Tabla 18. Condiciones de cocción para la extracción de haces de fibra de guadua	66
Tabla 19. Propiedades de resinas epóxicas viniléster en el mercado actual	74
Tabla 20. Ponderación propiedades mecánicas	75
Tabla 21. Matriz comparativa resina epoxi viniléster	76
Tabla 22. Balance de masa proceso de extracción	83
Tabla 23. Balance de masa de la corriente de entrada del proceso de lavado	84
Tabla 24. Balance de masa proceso de extracción	85
Tabla 25. Nueva composición de fibra	89

Tabla 26. Balance de masa de las corrientes de entrada para el proceso de Digestión Alcalina..	90
Tabla 27. Composición de inorgánicos obtenidos en la reacción que ocurre en la digestión alcalina (Reacción de Neutralización).....	90
Tabla 28. Balance de masa de la corriente de salida para el proceso de digestión alcalina	91
Tabla 29. Balance de masa de las corrientes de entrada para el proceso de lavado	92
Tabla 30. Balance de masa de las corrientes de salida para el proceso de lavado.....	93
Tabla 31. Balance de masa de las corrientes de entrada para el proceso de blanqueo	94
Tabla 32. Balance de masa de las corrientes de salida para el proceso de blanqueo.....	95
Tabla 33. Balance de masa de las corrientes de entrada para el proceso de lavado	96
Tabla 34. Balance de masa de las corrientes de salida para el proceso de lavado.....	97
Tabla 35. Propiedades del agua y aire del proceso de secado	98
Tabla 36. Condiciones requeridas para proceso de secado.....	99
Tabla 37. Condiciones de operación del aire en el secador	99
Tabla 38. Especificaciones del secador	100
Tabla 39. Balance de masa de las corrientes de entrada y salida para el proceso de secado.....	100
Tabla 40. Propiedades fisicoquímicas del aire.....	101
Tabla 41. Condiciones de operación del calentador	101
Tabla 42. Balance de masa de las corrientes de entrada y salida para el proceso de hilado.....	102
Tabla 43. Balance de masa de las corrientes de entrada y salida para el proceso de tejido.....	103
Tabla 44. Balance de masa de las corrientes de entrada y salida para el proceso de mezclado de resina.....	104
Tabla 45. Balance de masa de las corrientes de entrada y salida para el proceso de método RTM	106
Tabla 46. Balance de masa proceso de elongación.....	107
Tabla 47. Balance de masa proceso de Curado.....	108
Tabla 48. Balance de masa del proceso perforado.....	109
Tabla 49. Propiedades fisicoquímicas del gas natural	110
Tabla 50. Condiciones de operación Gas natural.....	110
Tabla 51. Balance de masa para el proceso de tratamiento térmico	111
Tabla 52. Equipos para la elaboración del Geocompuesto	112
Tabla 53. Bombas y válvulas en el proceso	119

Tabla 54. Dimensionamiento de equipos.....	121
Tabla 55. Condiciones de operación del proceso.....	122
Tabla 56. Plan de Inversión proyecto	128
Tabla 57. Datos del proyecto	132
Tabla 58. Costos Unitario de Materia Prima	133
Tabla 59. Depreciación mensual de activos.....	133
Tabla 60. Depreciación anual de activos	135
Tabla 61. Nómina mano de obra directa.....	136
Tabla 62. Nómina mano de obra Indirecta.....	137
Tabla 63. Prestaciones sociales.....	137
Tabla 64. Unidades a producir y vender nacional anual.....	138
Tabla 65. Costos variables totales.....	139
Tabla 66. Presupuesto CIF.....	140
Tabla 67. Presupuesto General	141
Tabla 68. Amortización	142
Tabla 69. Flujo de caja.....	143
Tabla 70. Indicadores financieros	144

RESUMEN

Con este proyecto, se busca elaborar un diseño de proceso para obtener un material Geocompuesto, industrialmente llamado Geodrén, para la empresa PAVCO-Wavin; implementando un material más amigable con el medio ambiente y que a su vez aporta mayores y mejores características al producto final, es por ello que la materia prima en la que se basa el proyecto es la fibra de bambú de la especie *Guadua Angustifolia*.

Teniendo en cuenta la información disponible de la fibra de bambú, se plantea un proceso alternativo al que viene trabajando la empresa, con el objetivo de sustituir la Geored sintética adquirida al proveedor externo. Las propiedades mecánicas que caracterizan este compuesto es su resistencia a la tensión, compresión y módulo de la elasticidad, asimismo debe presentar resistencia química a agentes externos, es por esto, que se tiene que partir de la caracterización de la fibra con el fin de suplir estos requerimientos, ya que estos son quienes determinan las propiedades mecánicas de la misma al mismo tiempo es necesario desarrollar un diseño de proceso donde se logre obtener un producto terminado como sistema de drenaje, finalmente, se desarrolla el análisis financiero, evaluando los indicadores tales como : TIR, TIO, VPN, Índice de Rentabilidad y Relación Costo/Beneficio para identificar la viabilidad del proyecto.

Como resultado, se obtiene una alta viabilidad del proyecto tanto por la composición química de la fibra de bambú (*Guadua Angustifolia*) siendo 12% de lignina, 60,83% de celulosa y 10,56% de hemicelulosa; como de las propiedades mecánicas, siendo estas comparables con el material polietileno de alta densidad con el que se fabrica actualmente la Geodrén (resistencia a la compresión 700 kPa, resistencia a la tensión 4,8 kN/m). En cuanto al diseño de proceso, se realizó la adecuación, para garantizar un acople entre la fibra y la matriz termoplástica, teniendo en cuenta parámetros como la temperatura y presión a lo largo del proceso, con el fin de evitar la degradación de la fibra. Por último, se obtuvo indicadores financieros (TIO 20%, TIR, 115%, VPN 2.312.590.179, IR 4,2, B/C 6,85) que permiten predecir la rentabilidad del proyecto, puesto que para el primer año se puede cumplir con la inversión inicial, y al mismo tiempo obtener ganancias. Palabras claves: Geocompuesto, *Guadua Angustifolia*, Geodrén, geotextil, resina.

INTRODUCCIÓN

Los Geosintéticos son manufacturados a partir de materiales sintéticos derivados del petróleo, con el objetivo de mejorar la interacción entre las capas constitutivas del suelo, es decir, contribuye a su estabilización, control de erosión, refuerzo, drenaje, entre otras. El Geodrén es un material usado primordialmente como sistema de captación de agua para su transporte a través de un sistema de tuberías que permita la evacuación del fluido, esta acción drenante es importante para el tratamiento de residuos y su migración, como es el caso de los rellenos sanitarios. Otro uso común es en la estabilización de estructuras como los muros de contención y terraplenes, asimismo para cubiertas verdes.

Si bien, el Geodrén está constituido por un geotextil que actúa como agente filtrante y la Geored como agente drenante, estos son elaborados a partir de materias primas sintéticas que generan un gran impacto ambiental, siendo estas sustancias nocivas que, a corto, mediano y largo plazo ocasionan la producción de vertidos, lixiviados provocando la contaminación de fuentes hídricas. En contramedida, las fibras naturales emergen como una solución a una amplia gama de problemas ambientales del sector, no solo por su bajo costo, también por las propiedades físico-químicas que presenta y las hace aptas para cualquier tipo de aplicación industrial, a su vez promueve la reducción de la huella de carbono ocasionado por la implementación de materiales no biodegradables, que deterioran el medio ambiente y propician el aumento de gases de efecto invernadero al transcurso del ciclo de vida del producto.

La fibra natural de Bambú, de la especie *Guadua Angustifolia* posee propiedades mecánicas potenciales para su uso como reforzamiento de Geosintéticos, diversos estudios han demostrado su versatilidad como materia prima para la elaboración de materiales compuestos, es por esto y otras ventajas que fue escogida para la elaboración de la Geored. La problemática global del proyecto es la dependencia del proveedor externo para la fabricación de la Geored, es por esto que se propone la fibra de Guadua como materia prima para su elaboración y de esta manera eliminar esta dependencia, asimismo disminuir el impacto ambiental ocasionado por el uso de fibras sintéticas y diversificar la materia prima.

En este trabajo de grado se presenta una propuesta de diseño de proceso, para la implementación de esta fibra como sustituto a la Geored que está actualmente empleada, el desarrollo de este trabajo se basa en cuatro capítulos de los cuales se explicará de manera conceptual cada aspecto importante a tener en cuenta el primero hace referencia a una comparación de las propiedades físico-químicas del Bambú, en el Capítulo 2 se exponen los factores que intervienen en la adecuación de la fibra para su implementación en el proceso productivo del Geodrén, en el Capítulo 3 se desarrolla el diseño de proceso y finalmente en el Capítulo 4 se plantea el análisis financiero del proyecto.

1. COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISCO-QUÍMICAS DE LA FIBRA DE BAMBÚ (*GUADUA ANGUSTIFOLIA*) COMO REFUERZO PARA MATERIAL POLIMÉRICO

En este capítulo se expondrá un marco general de las fibras naturales, haciendo énfasis en la fibra de bambú (*Guadua Angustifolia*), su composición, limitaciones, condiciones óptimas de cultivo y propiedades mecánicas, por otro lado, se explica en un marco global los tipos de Geosintéticos entre los que se destacan el Geotextil y Geored, enfatizando en sus características principales como composición, tipos de mallas, tipos de dominios geométricos, pruebas de calidad, propiedades químicas y mecánicas; con la finalidad de obtener claridad de la materia prima y del producto a elaborar, donde entra en colación la información especificada, brindando parámetros claves para la elaboración de una matriz evaluativa- comparativa que nos permita identificar la viabilidad que tiene la fibra natural como sustituto del material actualmente implementado para la elaboración de la Geored (Polietileno de alta densidad).

1.1. Fibras naturales

Las fibras naturales son aquellas hebras o hilos que se componen de elementos de la naturaleza, es decir, de animales o vegetales, normalmente de plantas fibrosas como el bambú siendo una de las más destacadas. En la actualidad, este tipo de fibra han tomado fuerza en el área de la ingeniería por la constante necesidad de mitigar el impacto ambiental que varios materiales sintéticos producen, y aún más al revisar estudios en los que se demuestra que, al implementar un tipo de fibra natural tratada químicamente como refuerzo, hace que las propiedades mecánicas de ese material mejoren considerablemente, además de disminuir costos de producción, esto hace que de forma general los productos de este tipo sean competitivos en varios aspectos en la industria como lo es en calidad, resistencia, precio y sostenibilidad. [1]

1.1.1. Composición química

Se consideran algunas propiedades de las fibras naturales importantes para la implementación en la industria ya que de ellas dependen las características mecánicas y estructurales del producto final. Estas son:

1.1.1.a. Celulosa: Es una sustancia principal la cual hace parte de la estructura principal de las fibras, esta sustancia determina la resistencia mecánica que la fibra va a llegar a proporcionar, por ende, es importante tener en cuenta el porcentaje que cada planta fibrosa tiene de este elemento. Específicamente la celulosa se compone de carbono, oxígeno e hidrógeno, siendo como menciona Juan Moran un polímero de forma lineal y ordenado, haciendo así que sus enlaces de hidrogeno aumenten la longitud y resistencia mecánica de las fibras. [1]

1.1.1.b. Hemicelulosa: Al igual que la celulosa es de importancia en la composición de las fibras vegetales, esta se encuentra alrededor de la fibra de celulosa, como tal la hemicelulosa lo que hace es agrupar en una matriz la celulosa, gracias a esta característica, hace que uno de las cualidades que les brinda la hemicelulosa a las fibras es la rigidez y resistencia mecánica.

1.1.1.c. Lignina: La característica principal de la lignina es dar la elasticidad a las fibras naturales, una de las principales propiedades mecánicas a tener en cuenta para la elaboración de geo sintéticos. La lignina es un polímero aromático que tiene como función transportar el agua hacia la planta, a esto se le conoce como el proceso de lignificación, de esta sustancia se conoce que está compuesta por fenilpropano. [2]

1.1.2. Limitaciones de las fibras naturales

Las fibras naturales juegan un papel importante, ha ido creciendo las industrias que implementan un compuesto como estos para elaboración de múltiples productos, para ello es necesario tener en cuenta características principales de estas fibras como lo son sus propiedades químicas, tanto contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina; ya que son el contenido de estas son las que le

otorgan las propiedades mecánicas, las cuales con parámetros indispensables a tener en cuenta para elaboración de materiales compuestos.

Otro aspecto a tener en cuenta es el carácter hidrofílico de las fibras naturales, lo cual le da una afinidad por el agua, para poder utilizar las fibras en reforzamientos y que cumpla con los requerimientos de compatibilidad con la matriz polimérica, se necesita disminuir esta característica para ello se utilizan varios tratamientos químicos que a su vez también mejoran las propiedades mecánicas. [3]

1.2. Fibra de Guadua Angustifolia

Colombia es un país rico en biodiversidad, en virtud a su posición geográfica favorable y clima tropical, permitiendo la existencia de ecosistemas, cunas para el surgimiento de distintos tipos de especies, algunos, propiamente autóctonos de la región. El bambú es una planta fibrosa de amplio uso industrial especialmente como materia prima en el campo de la construcción e infraestructura, una de las especies que pertenece a la familia del Bambú es la *Guadua Angustifolia Kunth*, caracterizada por ser objeto de estudio como reforzamiento de distintos tipos de matrices poliméricas, dadas sus propiedades mecánicas y físicas que posee, además es considerada como una de mayor abundancia en el país [2]

La composición físico-química de la *Guadua Angustifolia Kunth*, depende de muchos factores, es un material con un comportamiento anisotrópico, es decir, sufre distintas variaciones debido al direccionamiento interno de los haces de las fibras causado por factores climáticos, cambiando su estructura celular y propiedades mecánicas, de esta forma, “presenta cambios de sus dimensiones debido a la expansión térmica, y cambio de volumen a causa de la humedad. Todo esto hace que la guadua se comporte similar a la madera” [3]

Esta tesis, parte de la caracterización de la *Guadua Angustifolia Kunth* tomado de un trabajo de grado titulado “ **Extracción y caracterización mecánica de las fibras de bambú (*Guadua angustifolia*) para su uso potencial como refuerzo de materiales compuestos**” (2010) realizado

por Martin Estrada Mejía de la Universidad de los Andes para optar el título de Magister de ingeniería.

1.2.1. Bambú en Colombia

Colombia es uno de los países con mayor cantidad de especies de bambú, esto es gracias a su clima y a su gran biodiversidad. Las zonas en donde se encuentra la mayor cantidad de cultivos en el país, se encuentran entre 2000 a 3000 m.s.n.m., específicamente la especie *Guadua Angustifolia*, se encuentra en mayor proporción en la zona cafetera [4], esto es debido a que este tipo de bambú presenta rangos óptimos de temperatura entre 20 a 26°C, si se presenta una temperatura por debajo o encima de este rango el bambú se adapta, pero tiene menor velocidad de propagación y crecimiento en cuanto al diámetro del tallo. Un factor importante a tener en cuenta es la precipitación, ya que de esta va a depender la eficiencia del cultivo, lo cual se favorece en climas tropicales o subtropicales, debido a que estos aseguran la cantidad de agua necesaria para su crecimiento óptimo, es por esta razón que es favorable una siembra antes de la época de lluvia, ya que después de este periodo inicial (1 año) la planta puede soportar periodos de sequía prolongados de (hasta 8 meses) [5].

1.2.2. Localización

En esta investigación [2], el autor estudia las fibras de Bambú de la especie *Guadua Angustifolia Kunth* con el objetivo de conocer su potencial para su uso como reforzamiento de matrices poliméricas, presenta de manera detallada desde la localización geográfica para la extracción de fibra hasta la obtención del material compuesto, describiendo procedimientos, métodos y resultados obtenidos de los haces vasculares de fibra de Bambú.

En primera instancia, se parte de la localización en donde se va a extraer la fibra, este factor es muy importante, ya que la composición química de la fibra será definida a partir de las condiciones climatológicas en que se desarrolla, por ende, su procesamiento será distinto, además se tomó de referencia la escogencia de un estudio el cual la extracción de las fibras fuera dada dentro mapa de Colombia, considerando las condiciones atmosféricas y de cultivo. En este estudio, las fibras

fueron tomada del municipio de Caicedonia del departamento de Valle del Cauca ubicado en la región Andina de Colombia. A continuación, se ilustra su ubicación geográfica en la figura 1.

Figura 1.

Ubicación Geográfica de Caicedonia en el Valle del Cauca.



Nota: La figura muestra la ubicación geográfica de Caicedonia en el Valle del Cauca Tomado de: Google maps [online]. Disponible en: <https://www.google.com/maps/place/Valle+del+Cauca/@3.999272,-76.6023781,8z/data=!4m5!3m4!1s0x8e36f22a860c418f:0xeb83e1617a654ca0!8m2!3d3.8008893!4d-76.6412712>

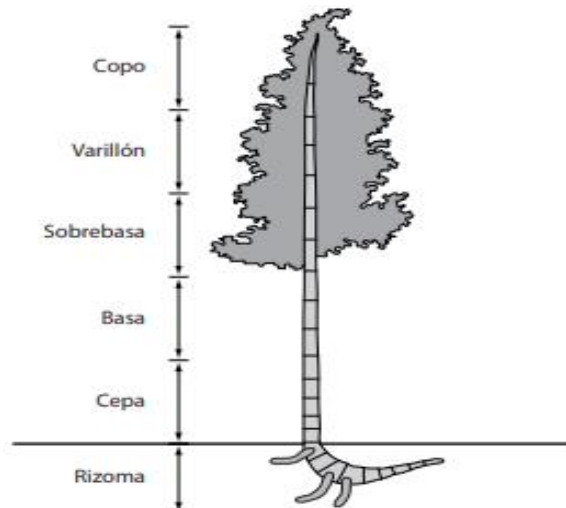
1.2.3. Condiciones de cultivo

Las condiciones de cultivo, son de suma importancia ya que definen las características de las fibras naturales a obtener y su aplicabilidad a nivel industrial. A su vez, tener un perfil en la estabilidad de la fibra de Guadua en términos de composición según la región o proveedor permiten estandarizar el proceso y que este sea más eficiente, y más importante aún, que la calidad del compuesto final no varíe de manera significativa, sin embargo, estudios han demostrado la falta de información acerca de esta estandarización, limitando la utilización masiva de fibras de bambú para reforzar compuestos puesto que esto debe venir de la mano con la estandarización de un proceso óptimo de extracción de fibras o haces vasculares. [2]

El bambú se divide en dos regiones principales; rizoma y culmo; este último tiene subdivisiones que dependiendo de la altura se definen de la siguiente forma: Cepa, Basa, Sobrebasa, Varillón y Copo, como se observa en la figura 2. Según la literatura, los haces de fibras con propiedades mecánicas superiores se encuentran en la zona media [6], sin embargo, en la zona apical se encuentra un alto contenido de fibra y bajo porcentaje de lignina, pero sus propiedades mecánicas (resistencia a la tensión) son bajas, por tal motivo la zona óptima para la extracción de fibras es la región basal puesto que presenta uniformidad de diámetro, grosor de paredes y relación de peso constante.

Figura 2.

Partes de una planta de Bambú



Nota: La figura muestra las partes del bambú y sus regiones según su altura. Tomado de: Estrada, M. (2010). (Tesis de maestría). Extracción y caracterización mecánica de las fibras de bambú (*Guadua angustifolia*) para su uso potencial como refuerzo de materiales compuestos. Bogotá, Colombia, Universidad de los Andes.

La guadua tiene principalmente cuatro fases de crecimiento: fase joven, adulta, madura y sobremadura; dependiendo de la etapa en que se encuentre, se obtendrá un estado de madurez distinto, asimismo se dispone de una variabilidad con respecto a sus propiedades mecánicas, ya que su arreglo estructural interno cambia, por ende, su campo de aplicación.

La Guadua generalmente es considerada joven, aproximadamente antes de los 3 años, caracterizándose por desarrollar un color verde lúcido y brillante, además no presenta tantos líquenes o musgos alrededor. Un punto diferenciador, entre el paso de la fase joven a madura, es la generación de manchas de un tono blanco, propagadas alrededor del culmo.

“Entre los 3 y 6 años de edad la guadua tiene su mayor resistencia y dureza siendo apta para la construcción; su tallo tiene una coloración verde oscura, líquenes y manchas de hongos. Se conoce la guadua de esta edad como madura o adulta. A partir de los 6 años en promedio, cuando la guadua está sobremadura o seca, el tallo toma un color amarillento y pierde resistencia” [7]

1.2.4. *Parámetros físicos óptimos*

Para un buen aprovechamiento de las propiedades físico-mecánicas de la Guadua, se debe tener en cuenta, distintos factores climáticos sujetos a su ubicación geográfica. La Guadua se ha acondicionado a distintos escenarios climáticos, incrementando el auge de nuevas especies, desarrollándose desde zonas tropicales, a zonas donde la temperatura se encuentra por debajo de los 0°C. La *Guadua Angustifolia*, se ve afectada por ciertos factores climáticos. A continuación, en la tabla 1, se presenta los parámetros óptimos para la *Guadua Angustifolia* en Colombia.

Tabla 1.
Parámetros físicos óptimos de la Guadua Angustifolia

Factor Climático	Rango Óptimo
Temperatura	20-26°C
Altitud	1.000-1.600 m.s.n.m
Precipitación (Lluvia)	2.000-2.500 m.m./año
Humedad Relativa	75-85%
Brillo Solar	1.800-2.000 horas/luz/año

Nota: En la tabla, se estable los rangos óptimos de distintos factores climáticos. Tomado de: L. F. Ramus Mateus y M. A. Torres Rico. *Revisión de la literatura para hallar los factores determinantes en la producción y uso de la guadua*, tesis pre. Facultad de Ingeniería, Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia, 2018, pp. 33-34.

El municipio del Valle del Cauca, el cual la fibra de *Guadua Angustifolia* fue extraída (Caicedonia), tiene unas condiciones climatológicamente aptas para el cultivo de guadua, ya que está localizada a una altitud de 1100 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m) y la temperatura promedio es de 22 °C. [2]

1.2.5. Composición química

La composición química de los materiales orgánicos presenta gran variabilidad, por los factores descritos anteriormente; Sin embargo, existe un rango, el cual puede ser viablemente potencial para su uso en aplicaciones como refuerzo de matrices polimérica y sean una fuente de materia prima potencial para sustituir materiales sintéticos que generalmente son usados para este tipo de procesos.

A continuación, en la tabla 2, se muestran los rangos de la composición química de la fibra de Bambú adecuados para obtener buenas propiedades tribológicas como refuerzo de materiales compuestos.

Tabla 2.

Composición Química fibra de Bambú

Fibra	Celulosa (%)	Hemicelulosa (%)	Lignina (%)	Pectina (%)	Ceras (%)	Residuos (%)
Bambú	48,7-73,8	12,5-73,3	10,2-21,4	0,37	ND	2,3

Nota: Esta tabla, muestra los rangos de composición química de la fibra de Bambú. Tomado de: Quintero Giraldo, L.J., Cruz, L.J., García, J.A., Alcaraz, A., González, E. y Osorio, J.A. Incidencia del tratamiento de mercerización en las propiedades mecánicas de haces de fibra de bambú "*Guadua Angustifolia* Kunth" de Colombia origen. Revista DYNA. Vol. 86, No. 210, pp.158, Jul, 2019. doi: <https://doi.org/10.15446/dyna.v86n210.71782>

En el estudio [2], el autor presenta la composición Química de la *Guadua Angustifolia*, determinada mediante dos métodos; El método Van Soest y el ASTM, donde las fibras previamente fueron retiradas del interior de los culmo, secadas y tamizadas.

El método Van Soest consiste, mediante el uso de un detergente ácido (FDA) romper la estructura de la pared celular de las fibras con el objetivo de oxidar la lignina con permanganato, mientras que, el método ASTM, permite determinar la cantidad de lignina insoluble mediante una hidrólisis acida, por medio de una solución caliente de NaOH con una concentración del 1%. Los resultados, de estos dos métodos, se muestran en la tabla 3, con su respectiva cuantía, en relación a los componentes principales de la estructura de la pared celular (celulosa, lignina y holocelulosa) a distintas especies del Bambú.

A partir de la tabla 3. Se concluye que, para el método ASTM se obtiene las composiciones químicas, únicamente de la lignina y holocelulosa, la razón por la cual no se establece la composición de la celulosa, es debido al bajo contenido de mismo, ya que no existe un proceso estandarizado para obtenerlo según fuentes bibliográficas.

Tabla 3.

Composición Química de distintas especies de Bambú (Guadua Angustifolia)

Especie	Lignina (%)	Celulosa (%)	Holocelulosa (%)
<i>Guadua Angustifolia (Van Soest)</i>	15,21	60,83	71,39
<i>Guadua Angustifolia (ASTM)</i>	23,75	-	24,97

Nota: En esta tabla, es específica la composición química de su estructura celular, de diferentes especies de Bambú. Tomado de: Estrada, M. (2010). (Tesis de maestría). Extracción y caracterización mecánica de las fibras de bambú (*Guadua angustifolia*) para su uso potencial como refuerzo de materiales compuestos. Bogotá, Colombia, Universidad de los Andes, pp. 40.

Los resultados de composición química en la tabla 3, para el método de Van Soest entran dentro del parámetro de composición establecidos en la tabla 2, con un alto contenido de celulosa, que confiere mayor resistencia tanto a la tracción como tensión, además presenta una baja concentración de lignina, que es un factor crítico ya que un alto contenido del mismo, por su naturaleza hidrofílica disminuye y debilita las propiedades mecánicas entre la interfaz de matriz/fibra.

Por otro lado, el contenido de humedad del culmo de guadua y de las fibras extraídas fue de 4.12 % y 9.71 % [2]. Conforme a varios estudios realizados sobre la caracterización de la *Guadua Angustifolia*, existen variaciones sobre el porcentaje de humedad de los haces de fibra, debido al tipo de proceso que se implemente, ya sea, meramente mecánico, o, adicionando otros agentes líquidos, Este factor es muy importante, puesto que tiene incidencia directa, sobre las propiedades mecánicas de las fibras de Bambú

1.2.6. Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas de las fibras naturales, se pueden ver afectadas en su mayoría por la composición química y el tipo de método de extracción de las mismas. En la tabla 4, describe las propiedades mecánicas de mayor influencia y los rangos óptimos para la fibra de Bambú.

Tabla 4.

Propiedades mecánicas fibra de Bambú

Fibra	Densidad (g/cm^3)	Resistencia a la Tensión (MPa)	Módulo de elasticidad (GPa)	Elongación (%)
Bambú	1,1	391-713	18-55	-

Nota: esta tabla muestra las propiedades mecánicas generales de la fibra de Bambú Tomado de: Quintero Giraldo, L.J., Cruz, L.J., García, J.A., Alcaraz, A., González, E. y Osorio, J.A. Incidencia del tratamiento de mercerización en las propiedades mecánicas de haces de fibra de bambú "*Guadua Angustifolia Kunth*" de Colombia origen. Revista DYNA. Vol. 86, No. 210, pp.158, Jul, 2019. doi: <https://doi.org/10.15446/dyna.v86n210.71782>

Las propiedades mecánicas, de los haces de fibra de Bambú (*Guadua Angustifolia*), obtenidos de la investigación [2], se representan en la tabla 5, Por consiguiente, se afirma que la fibra tomada como base de la investigación, presenta unas propiedades mecánicas que en referencia a la tabla 3, están posicionados en un rango alto, obteniendo buenos resultados respecto al módulo de elasticidad (44.04Gpa), no obstante, la resistencia a la tensión está permisible dentro de un rango alto, interpretando estos resultados altamente potenciales para su uso como refuerzo de matrices poliméricas, dadas sus propiedades mecánicas claves.

Tabla 5.

Propiedades mecánicas fibra de Bambú (Guadua Angustifolia)

Propiedades Mecánicas Bambú	
Módulo de Elasticidad (GPa)	Resistencia a la tensión (MPa)
44,04	461,79

Nota: Esta tabla, muestra las propiedades mecánicas (Modulo de elasticidad y resistencia a la tensión) de distintas especies de bambú. Tomado de: Estrada, M. (2010). (Tesis de maestría). Extracción y caracterización mecánica de las fibras de bambú (*Guadua angustifolia*) para su uso potencial como refuerzo de materiales compuestos. Bogotá, Colombia, Universidad de los Andes, pp. 45.

1.2.7. Microscopia electrónica de barrido

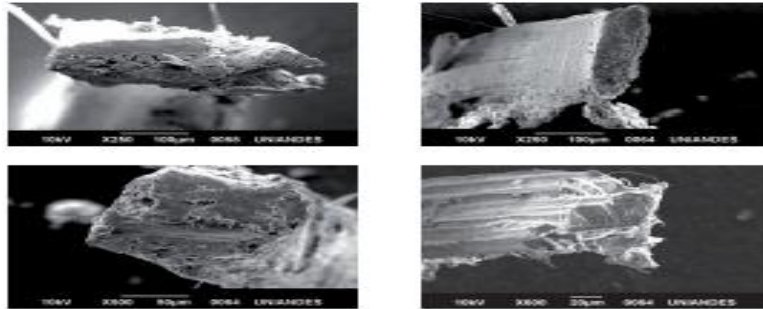
La microscopia electrónica de barrido (SEM), permite realizar una caracterización de materiales, creando una imagen, mediante el desplazamiento o barrido del haz de electrones sobre la superficie de la muestra. Este tipo de tecnología, es ampliamente usada, ya que revela información sustancial sobre la composición, estructura y morfología del material.

Es importante realizar este análisis a los haces de fibras naturales usadas como refuerzo de matrices poliméricas, con el objeto de determinar fracturas, puntos donde la dispersión de fibras no es homogénea y existe una disminución en sus propiedades mecánicas, creando una interfaz débil, además, morfológicamente determinar acumulaciones que reducen la adherencia matriz/fibra, junto con la porosidad asociada con el procesamiento por el cual se obtuvo el compuesto.

A continuación, se muestra en la figura 3, las micrografías del área transversal de haces de fibra de guadua, con el propósito de identificar el área requerida.

Figura 3.

Micrografías SEM del área transversal de haces de fibra de guadua a una escala de 20-100 μm



Nota: En la figura 3, se ilustra unas fotografías realizadas mediante la microscopía electrónica de barrido para los haces vasculares de la fibra de Guadua. Tomado de: Estrada, M. (2010). (Tesis de maestría). Extracción y caracterización mecánica de las fibras de bambú (*Guadua angustifolia*) para su uso potencial como refuerzo de materiales compuestos. Bogotá, Colombia, Universidad de los Andes, pp. 39.

1.3. Geosintéticos

Los Geosintéticos han cambiado la trayectoria del concepto sostenible, es una tecnología que permite no solo disminuir la huella de carbono, también la generación de variedad de productos, para distintos tipos de aplicaciones con una alta calidad, mayor eficiencia y menor impacto ambiental.

1.3.1. Geotextil

1.3.1.a. Generalidades: Es un tipo de Geosintético, hecho a partir de material sintético, por lo regular se usan polímeros tales como: polipropileno (PP) y poliéster para su proceso de fabricación. Son usados para una amplia gama de aplicaciones, tal como se identifica en la tabla 6, registrando un aumento de la implementación del Geotextil para el año 2000 cuyas unidades se encuentran en millones de metros cuadrados, destacándose su uso principal con fines de separación/estabilización de suelos, evitando agrietamientos e inestabilidades de determinadas zonas.

Tabla 6.

Uso de Geotextiles en Norteamérica por área de aplicación

Aplicaciones	1987	1990	1992	1995	2000
Separación/Estabilización	65	85	87	115	130
Refuerzo	12	16	18	25	35
Filtración / Drenaje	31	35	37	55	62
Protección de geomembranas	14	30	58	85	90
Control de Erosión	12	15	16	20	35
Cortina para sedimentos	12	15	17	23	30
Cubiertas asfálticas	75	88	88	77	60
Mercado total	221	284	321	400	442

Nota: La tabla 4, describe las aplicaciones del geotextil en el lapso de tiempo [1987-2000] en Norteamérica. Tomado de: Manual y Software de diseño Geosoft Pavco. 9ª ed., Departamento de Ingeniería – Geosistemas, Pavco-Wavin Colombia, Bogotá D.C, 2012, pp. 14. [En línea]. Disponible en: http://www.geosoftpavco.com/manual_geosinteticos.html

1.3.1.b. Composición: La empresa Pavco-Wavin Colombia, se encarga de la producción de Geosintéticos; entre sus productos se encuentra el geotextil, este es un geotextil no tejido cuya composición, es en su totalidad fibra de polipropileno, se producen mediante la incorporación de fibras o filamentos superpuestos de forma aleatoria conformando una capa textil con altas propiedades mecánicas, sus funciones son varias, usados principalmente para procesos de filtración, drenaje, refuerzo, protección (incluyendo control de erosión) e impermeabilización.

1.3.1.c. Polipropileno (PP): Es un polímero altamente usado a nivel industria, debido a las propiedades físico-químicas y termo-mecánicas que presenta. Es un polímero con alta versatilidad, utilizado para múltiples aplicaciones, se clasifica como un polímero termoplástico

1.3.2. Geored.

1.3.2.a. Generalidades: Es una malla extruida elaborado con polietileno de alta densidad, actualmente usada como sistema de drenaje en el área de ingeniería de suelos y otras aplicaciones;

esta malla debe permitir el paso de agua provenientes de los suelos filtrada por medio de un geotextil, además debe transportarla hacia un sistema de evacuación.

En cuanto a las medidas tiene un espesor de 7mm comúnmente, su presentación es en rollo de mínimo 50m y un ancho de 1,08m, esta es de color negro y tiene un peso de 700g/m con una variabilidad del 5%. [8]

1.3.2.b. Composición: Como se indica anteriormente la composición de la malla extruida a la que llamamos Geored está compuesta de polietileno de alta densidad, este es un polímero considerado un termoplástico, formado por múltiples unidades de etileno, cuenta con una estructura de tipo lineal, y características muy favorables para conformar la Geored, esto debido a que tiene alta resistencia a la tracción e impacto, y una de las más importantes es la baja absorción de agua, esto permite que el paso de agua como sistema de drenaje se cumpla y logre su función.

1.3.2.c. Características estructurales: Existen diversos tipos de mallas , destacándose dos de ellas las cuales se describen a continuación: En primera instancia las Geomallas coextruídas mono orientadas como se observa en la figura 4, a parte del proceso de extracción, hay un alargamiento en una sola dirección, lo que forma unas aberturas largas en forma de elipse; en cuanto a su composición son principalmente elaboradas con polietileno de alta densidad esto primeramente genera alta resistencia a la tensión y a la compresión, además la hace inerte frente a condiciones químicas y biológicas.

Figura 4.

Geomalla coextruída mono-orientada



Nota: esta figura presenta la geomalla coextruída mono-orientada. Tomado de: Manual y Software de diseño Geosoft Pavco. 9ª ed., Departamento de Ingeniería – Geosistemas, Pavco-Wavin Colombia, Bogotá D.C, 2012, pp. 15. [En línea]. Disponible en: http://www.geosoftpavco.com/manual_geosinteticos.html

Por otro lado, las Geomallas coextruídas Bi-orientadas, son similares a las mallas anteriormente mencionadas, difieren en parte del proceso, ya que el estiramiento ya no se hace solo de forma longitudinal, si no también transversal, como se puede observar en la figura 5 la malla que se obtiene es uniforme; las propiedades mecánicas de esta malla son alta resistencia a la tensión y alto módulo de elasticidad. Finalmente, en cuanto a las condiciones biológicas y químicas son inertes, por lo que son utilizadas en pavimentos, rígidos y flexibles.

Figura 5.

Geomalla coextruída Bi-orientada



Nota: esta figura presenta la geomalla coextruída Bi-orientada. Tomado de: Manual y Software de diseño Geosoft Pavco. 9ª ed., Departamento de Ingeniería – Geosistemas, Pavco-Wavin Colombia, Bogotá D.C, 2012, pp. 16. [En línea]. Disponible en: http://www.geosoftpavco.com/manual_geosinteticos.html

1.3.2.d. Tipos de dominios geométricos: Existen distintos arreglos geométricos para las geomallas dependiendo del campo de aplicación a ser usados, ya que proporciona propiedades mecánicas distintas, entre estos se encuentran dos tipos de geomallas: Triaxial y Biaxial. La geomalla Triaxial se caracteriza por que la apertura geométrica se dispone en forma triangular, proporcionando mayor refuerzo, por ende, mayor rigidez. Además, presentan otras ventajas, entre estas se encuentran: mejorar la vida útil de las estructuras y menores costos asociados ya que se requieren menores espesores. [9] A continuación, se presenta en la figura 6 la incidencia de la distribución de carga en este tipo de geomallas con arreglo radial.

Figura 6.

La distribución de la carga actúa en forma radial

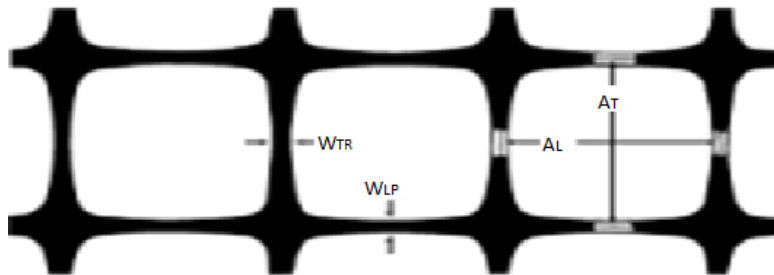


Nota: En esta figura se muestra la incidencia la distribución de la carga de forma radial. Tomado de: Geomallas Tensar® TriAx®, Tensar International Corporation, Georgia.

Por otro lado, las geomallas biaxiales, se caracterizan por proporcionar propiedades mecánicas de manera uniforme en ambas direcciones (longitudinal y direccional), lo cual permite obtener mayor resistencia a la tensión y alto módulo de elasticidad.

Figura 7.

Área de abertura geomalla biaxial



Nota: Área y grosor de aberturas de geomallas biaxiales, donde A_T es área transversal y A_L es área longitudinal. Tomado de Lizárraga López, J. M. (2013). (Trabajo de maestría). Diseño y Construcción de Pavimentos Flexibles Aplicando Geomallas de Polipropileno como Sistema de Reforzamiento Estructural. Universidad nacional autónoma de México.

En la figura 7 se muestra la relación entre el área y el grosor de las aberturas de las geomallas biaxiales, bajo el fundamento de que, “El área de abertura es un porcentaje del área total de la geomalla medida en sentido horizontal. Para todos los tipos de geomalla este porcentaje debe de

ser entre el cincuenta y ochenta por ciento del área total. Las geomallas con mayor estabilidad de apertura tienen un mejor desempeño en campo” [10].

1.3.3. Pruebas de calidad

Las pruebas de calidad, realizadas al Geodrén, siendo esta la unión entre geotextil y Geored, se diagnostican en base al gradiente hidráulico que presenta el Geocompuesto, mediante: **El método de ensayo para determinar la tasa de flujo y la transmisividad hidráulica de un Geosintético utilizando una cabeza constante ASTM D 4616-03**, ya que, como su nombre lo especifica, la principal función del Geodrén, es el drenaje, permitiendo el paso y transporte de agua, mientras retiene componentes sólidos del suelo.

1.3.4. Propiedades mecánicas

Cada material cuenta con propiedades mecánicas específicas, que son las que determinan la resistencia de un material que va a soportar diferentes tipos de cargas en el entorno de aplicación. En el campo de la ingeniería lo que se busca de estas propiedades es que sean lo más elevadas posibles, con el fin de tener alta resistencia mecánica, sin llegar a tener costos excesivos, estas propiedades son las que permiten definir un diseño, material, dimensiones, entre otros parámetros de los Geosintéticos y otros productos.

Algunas de las propiedades mecánicas que abarcan la investigación son, resistencia a la tensión, resistencia a la compresión y módulo de elasticidad. Para la elaboración de pruebas para determinar las propiedades mecánicas se utiliza la máquina universal de ensayos, para tener los mejores resultados hay normas que rigen este tipo de pruebas son las ASTM, hay una determinada para cada uno de los ensayos. Para ello se deben elaborar probetas con el material a estudiar, estas muestras son con las que se realiza el ensayo en la máquina universal, este ejerce una fuerza y así evidenciar cada propiedad.

El ensayo de tensión se necesita para lograr determinar la resistencia que tiene determinado material frente a una fuerza estática o que se aplica lentamente. “se ha establecido una prueba en la cual se aplica una fuerza de tensión sobre una probeta de forma cilíndrica y tamaño normalizado, que se maneja universalmente entre los ingenieros. Este ensayo se lleva a cabo a temperatura ambiente entre 10°C y 35°C.” [11]

En cuanto a la resistencia a la compresión se maneja en la misma maquina universal de ensayos, sin embargo esta prueba determina la resistencia que tiene determinado material al implementar en él un esfuerzo, para ello se tiene en cuenta el área que resiste la carga y esa carga de ruptura que resiste el material; finalmente para el módulo de elasticidad el cual hace referencia a una relación entre el incremento en la fuerza de tensión y al mismo tiempo el incremento de la deformación del material.

Como tal las geomallas extruidas implementadas para la producción del Geocompuesto cuenta con propiedades mecánicas altas, estas son resistencia a la tensión correspondiente a 4,8 kN/m obtenido bajo la norma ISO 10319 ASTM 4595; y la resistencia a la compresión es de 700kPa regido por la norma ASTM D1621. [12]

1.3.5. Propiedades químicas

La geomalla extruida de polietileno de alta densidad, debe conferir ciertas propiedades químicas para su correcto funcionamiento. Las propiedades químicas positivas es que debe conferir resistencia a: “Ácidos fuertes (sulfúrico, Clorhídrico, Nítrico, fórmico, Fluorhídrico). Bases (Soda cáustica, Hidróxido de potasio, Carbonato de Sodio, Hidróxido de amonio). Además, detergentes, Alcoholes, Sales, Aceites, Peróxido de hidrogeno.” [14].

Las propiedades químicas deben otorgar resistencia negativa a: Cloroformo, Xileno, Tolueno, Tricloroetileno. [14]

1.3.6. Matriz comparativa

La composición química de las fibras naturales es de gran importancia, ya que influyen de manera significativa en las propiedades mecánicas, dentro de la pared celular se destacan tres compuestos principales, los cuales son la celulosa, hemicelulosa y lignina; cada uno confiere características que intervienen en el proceso de compatibilidad entre matriz polimérica y fibra natural. En la tabla 7, se puede observar el rango de composición química de los parámetros anteriormente mencionados para la fibra de *Guadua Angustifolia*, y a su vez el parámetro base para la investigación.

Se toma esta composición dado que las propiedades mecánicas vienen determinadas por el porcentaje de celulosa, como se observa en la tabla, la fibra de bambú, en relación a la celulosa presenta un rango de (48,2% a 73,8%) y el obtenido en el artículo base es del 60,83%, por lo que se deduce que la fibra posee altas propiedades mecánicas. Así mismo, se tiene un porcentaje de lignina del 15,21%, donde el rango es de 10,2% a 21,4%.

Tabla 7.

Rangos de composición química fibra de bambú general con fibra de bambú de artículo base

Parámetros estándar Fibra de Bambú			Fibra de Bambú artículo base
Componente	Parámetro		
	Min	Máx.	
Celulosa (%)	48,2	73,8	60,83
Hemicelulosa (%)	12,5	73,3	10,56
Lignina (%)	10,2	21,4	15,21

Nota: esta tabla indica los valores de los parámetros de composición química fibra de bambú general con fibra de bambú de artículo base. Tomado de: Elaboración propia

A partir de la tabla 7 se puede afirmar que la fibra de *Guadua Angustifolia* tomada como base entra en los parámetros establecidos, para la fibra de bambú, por un lado se obtiene alta composición de

celulosa, siendo este el componente que confiere resistencia mecánica; en cuanto a la hemicelulosa y lignina, requieren ser removidas debido a su carácter altamente hidrofílico, a pesar que estos polisacáridos otorgan rigidez y elasticidad, respectivamente, se requiere menor contenido de la lignina, puesto que es el principal factor de incidencia en la degradación térmica de las fibras, en la tabla 7 se evidencia que esta fibra tiene bajo contenido de lignina (15,21%).

El trabajo base de la investigación, es la comparación de la implementación de la fibra de bambú *Guadua Angustifolia* como sustituto de una geomalla de polietileno de alta densidad, esta comparativa se realizó en base a las propiedades mecánicas de cada material, estas a su vez se ven condicionadas por la cantidad de fibra, la longitud y diámetro de la misma.

En la tabla 8 se muestra los rangos de las propiedades mecánicas de la fibra de bambú y las propiedades del artículo base en el que está orientada la investigación, junto con la geomalla para realizar un análisis comparativo.

En primera instancia se obtiene una resistencia a la tensión alta en comparación a la geomalla de polietileno de alta densidad gracias al alto porcentaje de celulosa existente en la fibra y con un módulo de elasticidad de 44,04, esta propiedad la otorga el porcentaje de lignina. Estas propiedades mecánicas tenidas en cuenta para la elaboración de la matriz, son de gran importancia, ya que estas son quienes se ven afectadas por la composición química que posee la fibra de bambú, además estas propiedades son parámetros que Pavco dicta como requisitos a tener en cuenta para la elaboración de la Geored con el fin de obtener un material con la capacidad hidráulica deseada.

Tabla 8.

Comparación de las propiedades mecánicas de la fibra de bambú general con el artículo base y la geomalla PEAD

Material Propiedades Mecánicas	Fibra de Bambú Guadua Angustifolia		Fibra de Bambú con artículo base	Geomalla PEAD
	Mínimo	Máximo		
Resistencia a la tensión (kPa)	391000	713000	461790	4,8
Resistencia a la compresión (kPa)		-	-	700
Módulo de elasticidad (GPa)	18	55	44,04	-

Nota: esta tabla indica la comparación de las propiedades mecánicas de la fibra de bambú general con el artículo base y la geomalla PEAD. Tomado de: Elaboración propia.

Debido a que el artículo no ofrece suficiente información acerca de otras pruebas de laboratorio como lo es la compresión, parámetro fundamental para la geomalla, se opta por realizar una investigación sobre esta propiedad mecánica para las fibras de bambú, como se evidencia en la tabla 9. Para ello se utilizan variables como lo son la media, la desviación estándar, el coeficiente de variación, mínimo, máximo y límites; en tres secciones del culmo siendo la parte inferior, la media, y la parte superior. De estos datos se tiene en cuenta los rangos de la resistencia a la compresión de la fibra de bambú.

Tabla 9.

Pruebas de múltiples rangos para resistencia a la compresión por sección

Datos estadísticos	Sección			TOTAL
	inferior	media	Superior	
Casos	44	44	42	130
Media (MPa)	36,93 ^b	36,47 ^b	40,60 ^a	38
Desviación estándar (MPa)	4,77	4,59	5,03	5,11
Coefficiente de variación (%)	12,99	12,63	12,43	13,5
Mínimo (MPa)	25,47	25,87	32,02	25,47
Máximo (MPa)	22,7	49,35	49,64	49,64
Límite inferior (MPa)	35,5	35,04	39,14	36,95
Límite superior (MPa)	38,35	37,89	42,06	38,72

Nota: a indica una diferencia significativa con un nivel del 95% de confianza, b secciones homogéneas, no existe diferencias significativas entre ellos. Tomado de: A. F. Capera Osorio y w. j. Erazo Espinosa. *Resistencia a la compresión paralela a la fibra y determinación del módulo de elasticidad de la guadua angustifolia del municipio de Pitalito-Huila*, tesis pre. Facultad de Ingeniería. Universidad Sur Colombia, Neiva, Colombia, 2012, pp.76-77.

Este es un artículo en el cual estudia la misma especie de bambú (*Guadua Angustifolia*) localizada en el municipio de Pitalito, Huila. “La resistencia a la compresión dependen de la edad del corte de la planta, la sección del culmo y de las propiedades físicas como lo es la humedad, densidad aparente, entre otros aspectos.

La determinación de la resistencia en un material se considera de suma importancia para conocer las características intrínsecas al comportamiento del mismo” [11]

Tabla 10.

Comparación de resistencia a la compresión de la fibra de bambú general con el artículo base y la geomalla PEAD

Material Propiedades mecánicas	Fibra de Guadua Angustifolia		Fibra de Guadua Angustifolia con artículo base	Geomalla PEAD
	Mínimo	Máximo		
Resistencia a la compresión (kPa)	36930	40600	38765	700

Nota: esta tabla indica la comparación de las resistencias a la compresión de la fibra de bambú general con el artículo base y la geomalla PEAD. Tomado de: Elaboración propia

Este artículo nos proporciona un rango de la resistencia a la compresión analizado en diferentes secciones del culmo de guadua, mediante un análisis estadístico se determina la media para todos los ensayos realizados, obteniendo un promedio de 38765 kPa, siendo este un valor muy superior al proporcionado por la geomalla, como se observa en la tabla 10.

Por otro lado, en la tabla 11 se evidencia la ponderación dada a cada propiedad mecánica, según su relevancia e importancia en el Geocompuesto en colaboración con la empresa Pavco, donde la resistencia a la tensión hace referencia a la capacidad máxima que presenta un material previo a su ruptura; la resistencia a la compresión hace referencia a la carga máxima que soporta un material ante una fuerza de aplastamiento, y el módulo de elasticidad, es una característica del material el cual determina su rigidez y tenacidad. [13]

Para propiedades mecánicas como resistencia a la tensión y módulo de elasticidad, tiene un mayor grado de afectación en el producto final, por lo que son parámetros de mayor importancia, sin embargo, la resistencia a la compresión también es un factor que influye, es un parámetro establecido en la ficha técnica de la geomalla, por lo cual se debe tener en cuenta.

Tabla 11.

Ponderación propiedades mecánicas

Criterios	Ponderación
Resistencia a la tensión (kPa)	35%
Resistencia a la compresión (kPa)	30%
Módulo de elasticidad (GPa)	35%

Nota: esta tabla muestra la ponderación dada a partir del grado importancia en el Geocompuesto. Tomado de: Elaboración propia

Para poder evaluar las propiedades mecánicas de las alternativas planteadas (alternativa 1: fibra de bambú, alternativa 2: geomalla PEAD), se establece una escala numérica para cuantificar (1 a 10, siendo 10 el mayor valor que corresponde a el cumplimiento de la propiedad mecánica entre los rangos establecidos y 1 el menor valor que significa un incumplimiento del parámetro), esto se realiza según la importancia de la propiedad, como se establece en la tabla 12. Se asignaron estos valores con base al resultado de cada propiedad mecánica para cada material, es por ello que la resistencia a la tensión tiene una calificación para la geomalla de PEAD de 2 y para la fibra de bambú de 10, así como la resistencia a la compresión y módulo de elasticidad, dando a conocer que la fibra de bambú presenta mejores y mayores valores en cada una de estas propiedades.

Tabla 12.

Cuantificación en la escala de 1 a 10 de las alternativas propuestas

Criterios	Alternativa 1 (fibra de bambú)	Alternativa 2 (geomalla)
Resistencia a la tensión (kPa)	10	2
Resistencia a la compresión (kPa)	10	4
Módulo de elasticidad (GPa)	7	6

Nota: en esta tabla se presenta la Cuantificación en la escala de 1 a 10 de las alternativas propuestas (alternativa 1: fibra de bambú, alternativa 2: geomalla PEAD). Obtenido de: Elaboración propia

Para la propiedad mecánica referente al módulo de elasticidad, no se encontró con exactitud la información de este valor, sin embargo, para la geomalla se requiere un módulo de elasticidad alto debido a su área de aplicación.

Tabla 13.

Matriz comparativa-evaluativa de las alternativas propuestas

Criterios	Ponderación	Alternativa 1 (fibra de bambú)		Alternativa 2 (geomalla)	
		Escala	Valor	Escala	Valor
Resistencia a la tensión (kPa)	35%	10	3,5	2	0,7
Resistencia a la compresión (kPa)	30%	10	3	4	1,2
Módulo de elasticidad (GPa)	35%	7	2,45	6	2,1
TOTAL		8,95		4	

Nota: esta tabla presenta la evaluación de las alternativas propuestas. Tomado de: Elaboración propia

A partir de la tabla 13 se deduce que la alternativa 1, en la cual se implementa la fibra de bambú (*Guadua Angustifolia*) es más viable, en base a sus propiedades mecánicas comparadas con la geomalla de polietileno de alta densidad, y sus propiedades obtenidas de la ficha técnica.

2. FACTORES QUE INTERVIENEN PARA LA ADECUACIÓN DE LA FIBRA DE BAMBÚ COMO REFUERZO DE GEOTEXTIL

Para el desarrollo de materiales compuestos, en este caso, la unión entre fibra natural (*Guadua Angustifolia*) y matriz polimérica, se necesita en conjunto, estudiar los diversos factores que pueden generar una disminución o aumento en la interacción de estos respectivamente, y que pueden repercutir directamente en la obtención del compuesto final. A continuación, en este capítulo, se expondrá de manera detallada los principales factores que intervienen en el proceso.

2.1. Matrices Orgánicas

Las matrices poliméricas reforzadas con fibras naturales, han permitido el desarrollo de diversos productos para su uso en distintas aplicaciones, de esta manera se sustituye el uso de fibras sintéticas convencionales, contribuyendo a la disminución de la huella de carbono, y consecuentemente al impacto ambiental ocasionado por estos materiales no biodegradables.

Las fibras naturales comparadas con las sintéticas, ofrecen varias ventajas, entre las que se destacan, su bajo costo por el hecho de ser un recurso renovable y su baja densidad, asimismo, su combustión no ocasiona residuos sólidos y no se generan gases tóxicos, siendo este último, un factor importante, en especial para el personal de trabajo que tienen una mayor exposición en el proceso, reduciendo las probabilidades de efectos negativos a la salud [3].

Por otro lado, desde el punto de vista de procesamiento para los materiales compuestos, es viable, en el sentido de que no se genera abrasión en los equipos, puede soportar las temperaturas del procesamiento de polímeros, sin llegar a degradarse. Incluso si se compara con una lámina de metal normal, los materiales compuestos de fibras naturales son menos sensibles a las vibraciones, los costos de ensamblaje son menores, se reduce el peso, el costo es menor, y además se puede lograr una superficie más lisa [12].

La matriz polimérica toma un papel importante en la creación de materiales compuestos debido a que, esta proporciona propiedades mecánicas dependiendo de la composición química que tenga,

mejorando su resistencia y creando una mayor cohesión estructural, además permite mejorar las propiedades físicas ante agentes externos, que pueden disminuir la eficiencia y reducir la vida útil del material.

En base a lo anterior, la matriz transmite los esfuerzos a las fibras y proporciona ductilidad al compuesto, mientras que las fibras soportan la mayor parte de la fuerza o tensión aplicada; En la actualidad, las matrices poliméricas más implementadas a nivel industrial como reforzamiento a partir de fibras naturales, son las termoplásticas y termoestables [14].

2.2. Matrices Termoplásticas.

2.2.1. Características Generales

Las matrices termoplásticas, generalmente se caracterizan por la estructura lineal que existe entre las moléculas; entre sus ventajas, se tiene que presentar altas resistencias mecánicas, se puede reciclar y reutilizar para un nuevo proceso, debido a que presenta una singularidad en su procesamiento y es que este se puede dar de forma reversible, de manera que cuando se somete a procesos térmicos, donde se plastifica el material, se ubica en un molde, y pasa por una última etapa que es el enfriamiento para obtener la pieza final, se puede lograr nuevamente el cambio de fase (de sólido a líquido) tan solo con el cambio de temperatura, lo cual no es posible con las matrices termoestables, generando una disminución de costos.

Debido a que gran parte de las fibras naturales son térmicamente estables hasta los 200°C, lo más común es el uso de matrices termoplásticas, como el polipropileno (PP) y el polietileno (PE), que funden por debajo de dicha temperatura [14]. En este trabajo de grado, se va a hacer énfasis en el uso de polipropileno como materia prima, debido a que, el geotextil fabricado por la empresa Pavco-Wavin está compuesto en su totalidad por este polímero.

2.2.2. Condiciones de Operación

La integridad y estabilidad de las moléculas, está sujeta a factores térmico-mecánicos de procesamiento, puesto que, si no se opera bajo las condiciones óptimas de temperatura, se puede ocasionar la degradación del polímero, por ende, la reducción de sus propiedades mecánicas. En la tabla 14, se muestra de forma general una comparación entre las características para las matrices termoplásticas y termoestables de mayor relevancia.

Tabla 14.

Características generales de las matrices termoplásticas y termoestables.

Parámetro Tipo de Matriz	Temperatura de Proceso	Tiempo de proceso	Temperatura de Uso	Resistencia a disolventes	Tenacidad
Termoplástica	Alta	Baja	Baja	Baja	Alta
Termoestable	Baja	Alta	Alta	Alta	Baja

Nota: En esta tabla se presenta una comparación entre las características generales de las matrices termoplásticas y termoestables. Tomado de: Lozano Tafur, C. (2016). (Trabajo de maestría). Deformación y fractura de una resina epóxica reforzada con fibras de algodón. Universidad Nacional de Colombia, pp. 23.

2.3. Material de refuerzo

Las fibras naturales son comúnmente usadas como refuerzo de matrices poliméricas, estas confieren mejores propiedades mecánicas, que le brindan una mejora notable a los productos en los que se aplica este tipo de adherencia. Sin embargo, para poder hacer un producto de este tipo es necesario entrar a considerar varios aspectos como lo es el tipo de fibra, la geometría de la misma y su composición química.

2.3.1. Estructura de la fibra de la planta

Las plantas fibrosas están constituidas por tres componentes principales, estos ya se mencionaron anteriormente, son la celulosa, lignina y hemicelulosa. Por parte de la celulosa su estructura dentro de las fibras es cristalina y amorfa, en esta área de cristal hay una gran cantidad de enlaces de hidrogeno, por lo tanto, genera que esta área celulósica sea en forma de bloque, por ende, en el momento de utilizar una fibra natural la celulosa es quien no permite la penetración de productos químicos, sin embargo, en su área amorfa logra penetrar tintes, resinas, entre otros.

En cuanto a la hemicelulosa y a la lignina tienen un alto contenido de agua y son las que le dan el carácter hidrofílico a la fibra, y es este mismo el que se quiere retirar al realizarle los tratamientos químicos en el proceso de obtención, por qué viene determinado por la matriz polimérica, ya que esta propiedad de los compuestos reduce la adherencia entre fibra-matriz; se trata de modificar tanto la superficie como la estructura de la fibra [15].

2.3.1.a. Zona de extracción de la fibra: En la fibra de bambú, para la extracción de la fibra se realiza en el culmo constituyendo entre un 40 y 50% de fibra en el interior del culmo, se realiza este proceso con el fin de obtener fibras con la mayor cantidad de sus componentes químicos, es decir, la celulosa, hemicelulosa, y lignina. La extracción puede tardar entre 2 y 3 semanas, el proceso más común es con molinos de bolas, buscando ocasionar el menor daño posible a la fibra. Para la orientación de este trabajo la caracterización de la fibra se hizo con estudios anteriores de *Guadua Angustifolia* proveniente de Caicedonia departamento del Valle del Cauca, Colombia.

2.3.2. Estabilidad térmica de la fibra

El amplio campo de aplicación de las fibras naturales está determinado por factores a tener en cuenta, esto para poder llegar a lograr el objetivo de su fabricación; hay tratamientos que la fibra no podría soportar, por ende, es necesario tenerlos en cuenta. La temperatura es importante, normalmente una fibra natural soporta 240°C, después de este valor esta comienza su degradación, esto es debido a su composición química como lo es la celulosa, hemicelulosa y lignina; compuestos sensibles a diferentes rangos de temperatura.

En primera instancia la celulosa y la hemicelulosa son los más resistentes, son los que alcanzan a soportar las mayores temperaturas, claramente en el rango de degradación; mientras que la lignina a unos 200°C empieza su proceso de degradación. Para mejorar esta propiedad térmica en la práctica se utilizan tratamientos químicos, como la alcalinización, en el que básicamente constituye la eliminación de cierta cantidad de hemicelulosa y lignina; así logra que las fibras naturales sean de mayor aplicación en la industria. [15].

2.3.3. Longitud y diámetro

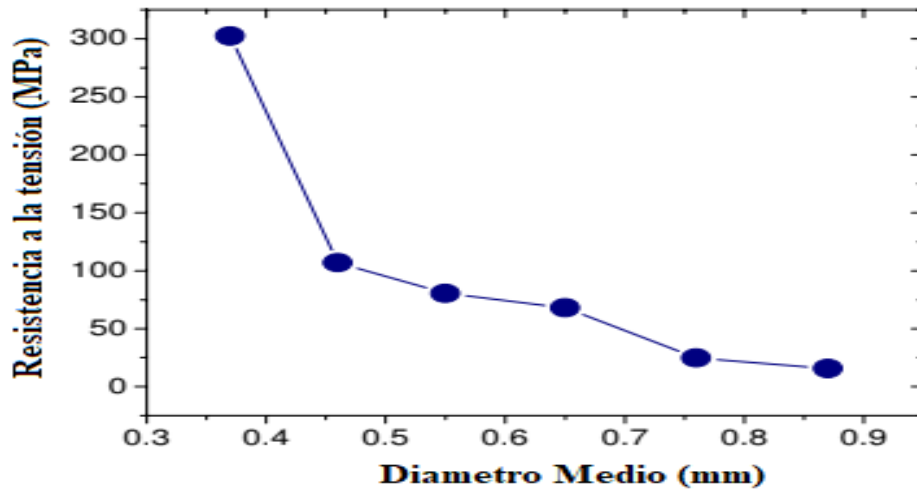
Las fibras naturales son muy versátiles esto depende principalmente de la región de cultivo, sin embargo, otros factores importantes a tener en cuenta es la relación que existe entre la longitud y diámetro de la fibra.

En el momento que se le aplica a la matriz una carga, ocasiona que el cizallamiento tanto a lo largo como en los extremos de la fibra realice una transferencia de tensión, el alcance que puede llegar a tener esta transferencia de carga viene determinada por la longitud de las fibras, así mismo su dirección y orientación.[15]

Por otro lado, la relación de diámetro y resistencia a la tensión es inversamente proporcional, por tal motivo es un parámetro el cual hay que tener en cuenta, puesto que, a menores diámetros, mayores serán las cargas que puede soportar, tal como se aprecia en la figura 8.

Figura 8.

Diámetro medio Vs Resistencia a la tensión



Nota: esta grafica muestra la variación de la resistencia a la tensión a media que cambia el diámetro medio. Tomado de: L. Lopes Da costa, F. Neves Monteiro y R. Leite Loiola. “Mechanical behavior of polyester composites reinforced with continuous bamboo fibers”, TMS (The Minerals, Metals & Materials Society), 2010, pp. 213.

2.3.4. Carga y orientación de la fibra

Dependiendo de factores anteriormente mencionados se obtienen varios tipos de compuestos, los primeros que se pueden evidenciar son aquellos en los que sus compuestos están alineados longitudinalmente, esto permite que tengan mayores y por ende mejores propiedades mecánicas en cuanto a la resistencia de tracción, sin embargo para el caso de la resistencia a la compresión disminuye; otro tipo que se puede obtener es aquel en el que las fibras tienen una dirección transversal, de modo contrario que el primer tipo, su forma genera una disminución en la propiedad mecánica definida como resistencia a la matriz; y finalmente el tercer tipo es aquella en la que no hay una uniformidad en la dirección de la fibra, es decir, es de orden aleatorio, esta fibra es de difícil aplicación ya que es muy versátil en cuanto a sus componentes y propiedades mecánicas. [15]

2.3.5. Presencia de vacíos

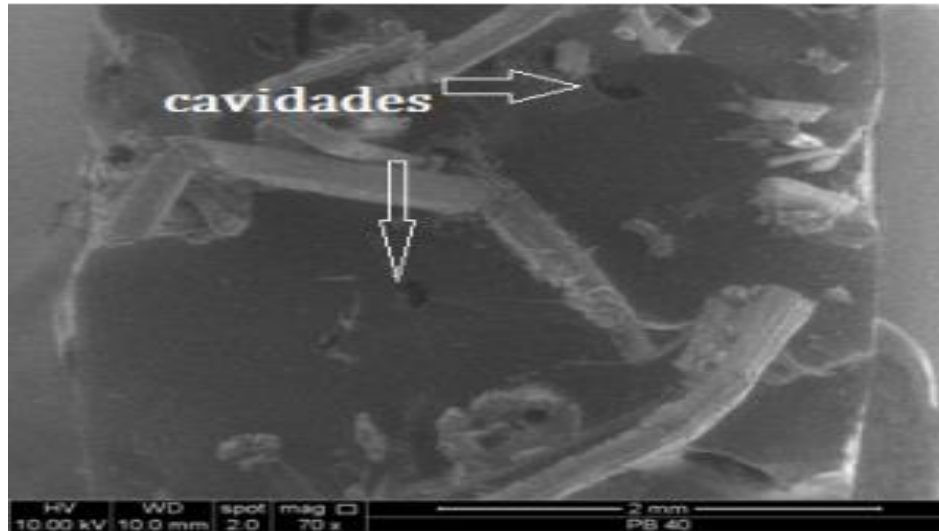
Al momento de realizar el reforzamiento por distintos métodos, ya sea, *hand lay-up*, vacío, compresión, entre otros, se forman unos vacíos o espacios entre fibra-matriz que debilitan la estructura del compuesto por distintas razones, ya sea el aire que queda atrapado, volátiles que se acumulan o la misma disposición de los haces de la fibra natural que repercuten de manera directa sobre las propiedades mecánicas, causando una disminución de las mismas.

Un estudio desarrollado por July Taborda, Luz Cañas y José Tristancho de la Universidad Tecnológica de Pereira del año 2017 se basó en hacer un análisis comparativo de las propiedades mecánicas de la resina poliéster reforzado con fibra de bambú, como material sustituto de la fibra de vidrio. [16] Al realizar las modificaciones físico-químicas respectivas, se procede a realizar unas probetas para someterlas a distintos ensayos mecánicos y mediante microscopía electrónica de barrido se logra evidenciar la formación de discontinuidades a lo largo del compuesto.

En la figura 9 se visualiza los espacios vacíos debido a la falta de adherencia de la fibra, provocando el desprendimiento y el deslizamiento de la misma. Una de las razones por la que causa esto, se le atribuye a la técnica usada para hacer el reforzamiento, las técnicas manuales están sujetas a la manipulación y la distribución correcta de las capas, usualmente se presentan discontinuidades, agrupaciones que, al ser sometidos a pruebas mecánicas, puede causar deformaciones locales, que nucleen la zona, genere grietas y provoque falla incluso antes que alcance la resistencia máxima esperada.

Figura 9.

Microscopía SEM en la superficie de falla de una probeta de ensayo a tensión indicando la distribución no homogénea de fibras. Escala de 2mm a 10mm.



Nota: en esta microscopía SEM, se muestra la superficie de falla de una probeta de ensayo a tensión indicando la distribución no homogénea de fibras. Tomado de: L. A. Cañas Mendoza, J. L. Tristancho Reyes y J. A. Taborda Ríos. “Estudio comparativo de las propiedades mecánicas de la resina de poliéster reforzada con fibra de bambú como material sustituto de fibra de vidrio”. Revista DYNA, Vol. 84, no. 202, pp. 38, Jul, 2017, doi: <https://doi.org/10.15446/dyna.v84n202.57334>.

No obstante, existen otros factores que tienen una gran incidencia sobre la formación de estos espacios, como el alto contenido de vacío (más del 20% en volumen), puesto que es responsable de causar una menor resistencia a la fatiga, por consiguiente, una mayor afinidad a la difusión del agua y una mayor variación (dispersión) en las propiedades mecánicas, asimismo, el curado, la velocidad de enfriamiento y el alto contenido de fibra también son responsables de la formación de vacíos dentro del material compuesto[15]

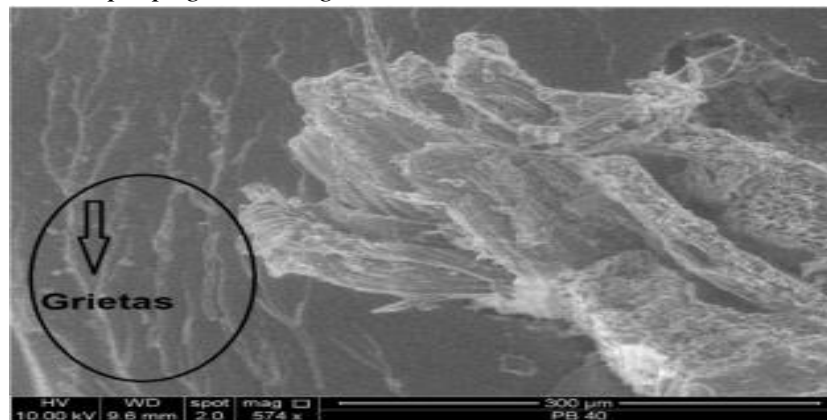
2.3.6. Contenido de absorción fibra de Bambú

La naturaleza hidrofílica de la fibra, contribuye a la capacidad de absorción de agua, esto es debido a que la estructura de la pared celular de las fibras está compuesta por grupos hidroxilos que, al estar en contacto con el agua este grupo funcional se rompe y da lugar a la generación de moléculas de agua que ocasionan el hinchamiento de la fibra, debilitando la adhesión entre fibra-matriz que a su vez genera una inestabilidad dimensional sobre el material compuesto e incluso puede

provocar grietas en la estructura. A continuación, se muestra en la figura 10, mediante la electroscopía electrónica de barrido (SEM), del estudio previamente mencionado [16], la superficie de falla de una probeta hecha a partir de fibra de Bambú donde se visualiza la propagación de grietas en el compuesto.

Figura 10.

Microscopía SEM en la superficie de falla de una probeta a flexión, indicando la propagación de grietas.



Nota: En esta figura se muestra una microscopía SEM en la superficie de falla de una probeta a flexión, indicando la propagación de grietas. Tomado de: L. A. Cañas Mendoza, J. L. Trisancho Reyes y J. A. Taborda Ríos. “Estudio comparativo de las propiedades mecánicas de la resina de poliéster reforzada con fibra de bambú como material sustituto de fibra de vidrio”. Revista DYNA, Vol. 84, no. 202, pp. 39, Jul, 2017, doi: <https://doi.org/10.15446/dyna.v84n202.57334>.

Por lo tanto, es necesario eliminar el mayor contenido de humedad que presentan estos haces de fibra previamente, mediante modificaciones químicas, con el fin de mejorar la interfaz del material.

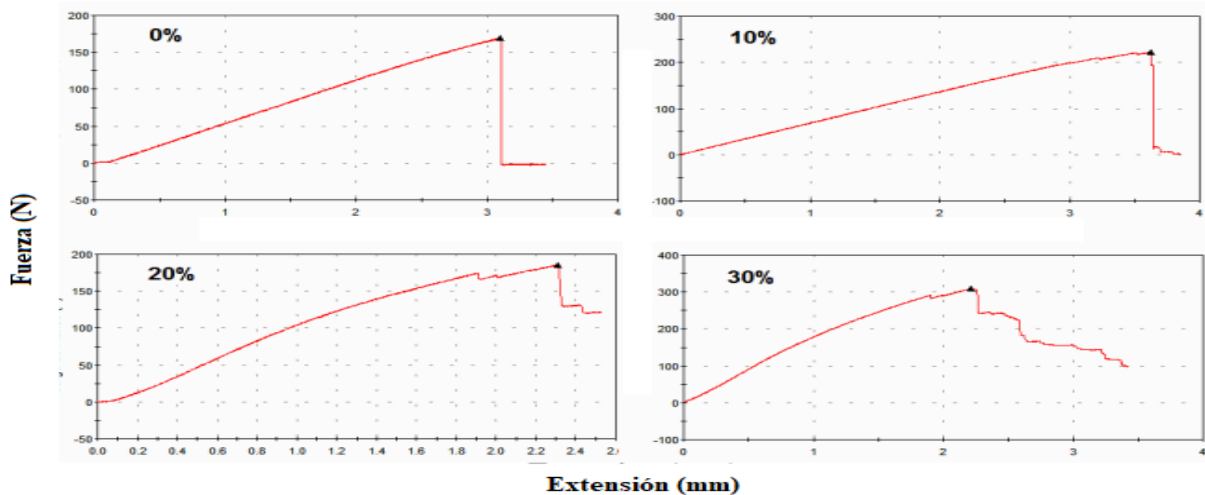
2.3.7. Contenido de fibra

La extensión de la fibra tiene una relación directa con la fuerza que se ejerce sobre esta, como se muestra en la figura 11. Se observa el efecto del porcentaje de fibra, como se evidencia el mejor de los casos es cuando el porcentaje de fibra es del 30%, en este alcanza a soportar una fuerza de 300N con un diámetro relativamente pequeño de 2,3 aproximadamente. Por esta razón se puede

concluir que el porcentaje de fibra es un parámetro de relevancia y significativo para la elaboración de la Geored, debido a que en la primera grafica en una matriz polimérica sin adición de fibra, la fuerza que resiste es de 170N aproximadamente con un diámetro de 3mm; en las gráficas se muestra la adición de fibra continua con un aumento del 10%, en la que se va aumentado a su vez la fuerza a la tensión y por lo general ocasiona una disminución en el diámetro, sin embargo, a pesar que en la gráfica en la que se trabaja con 30% de fibra natural se obtienen mejores resultados, presenta uniformidades, previo a la ruptura y posterior a la misma, ya que cuando son superpuestas las fibras en la matriz y al aplicar la carga se nuclean las zonas ocasionadas por el deslizamiento de las fibras.

Figura 11.

Relación de la fuerza y el diámetro a diferentes porcentajes de contenido de fibra



Nota: Esta figura muestra la relación de la fuerza y el diámetro a diferentes porcentajes de contenido de fibra. Tomado de: L. Lopes Da costa, F. Neves Monteiro y R. Leite Loiola. “Mechanical behavior of polyester composites reinforced with continuous bamboo fibers”, TMS (The Minerals, Metals & Materials Society), 2010, pp. 214.

2.4. Adherencia entre fibra-matriz termoestable

2.4.1. Tratamiento a la fibra y modificación

Existen distintos tratamientos químicos para modificar el carácter hidrofílico de las fibras naturales y de esta manera mejorar la adherencia entre la interfaz que se genera entre matriz-fibra. Dentro

de estas técnicas, la alcalinización es un proceso muy usado para este tipo de procesos, ya que logra cambiar la orientación interna de los compuestos lignocelulósicos, logrando eliminar la lignina, hemicelulosa, aceites y ceras que cubren la superficie de la fibra.

El mecanismo de acción al adicionar la solución acuosa, generalmente NaOH, es romper los grupos hidroxilos generando moléculas de agua que se desplazan afuera de la estructura de la fibra, de esta forma se debilita ese grupo funcional, mejora el área superficial y la acondiciona para conseguir mejores propiedades mecánicas.

Su eficiencia depende del tipo y concentración alcalina, el tiempo de tratamiento y la temperatura utilizada para la modificación, ya que si se tiene un exceso puede deligar la fibra, que la debilidad y puede terminar en una degradación parcial. [17].

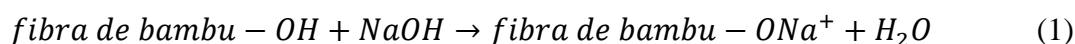
2.4.2. Tratamiento alcalino

El tratamiento químico de alcalinización, es usado comúnmente para realizar modificaciones en la composición y factores estructurales a las fibras naturales, para la implementación de este tratamiento se utiliza hidróxido de sodio (NaOH), debido a que la parte cristalina de la fibra no permite la penetración de productos químicos, por ende este es uno de los puntos claves, por lo tanto uno de los beneficios de este tratamiento es el aumento de la región amorfa de la celulosa, y así mismo el aumento de la penetración de los productos químicos.

La región amorfa de la celulosa se encuentra separada con una distancia considerable, esos espacios que se generan están llenos de moléculas de agua, Con los grupos (OH) hidroxilos reacciona el agua y se mueven fuera de la estructura de la fibra, Las moléculas restantes crean enlaces de fibra, celulosa, oxígeno y sodio, y es allí en donde se mejoran una de las propiedades más importantes y es la disminución del carácter hidrofílico de las fibras, al mismo tiempo aumenta la resistencia de humedad. Otro factor que mejora la implementación del tratamiento alcalino es la eliminación de cierta cantidad de hemicelulosa y lignina, esto genera la eliminación de los huecos, ocasionando mejora en la resistencia a la tensión. [15]

La influencia del tratamiento alcalino en la fibra es la reducción de su diámetro y esto genera un aumento en la relación (longitud/diámetro), todo esto ocasiona ventajas para la adherencia de la fibra con la matriz dado que aumenta el área superficial. Además de esto este tratamiento químico mejora el compuesto como tal tanto en las propiedades mecánicas como en la resistencia térmica del material como tal. [15]

2.4.2.a. Solución alcalina: La reacción 1 se aplica para el tratamiento químico alcalino como implementación de la fibra de bambú como refuerzo.



Para la implementación del tratamiento químico alcalino se utiliza hidróxido de sodio (NaOH) como se observa en la reacción química. Kabir et al., expone lo siguiente “a causa de las altas concentraciones de NaOH, se produce en la estructura de las fibras, la eliminación de los componentes de hemicelulosa y lignina, de manera acelerada, siendo mayor la velocidad de deslignificación, que la de sustitución de los grupos hidroxilo (OH-) por el catión sodio (Na+) de la solución alcalina, desestabilizando a la fibra químicamente” [15]

Como parámetro condicional se debe tener en cuenta la concentración de álcali, ya que si esta es muy grande puede ocasionar una disminución casi que total de la lignina de la fibra, y esto genera un daño en la fibra.

2.4.2.b. Efecto de la temperatura: La temperatura es un factor importante en el procesamiento de la materia prima, puesto que un mal manejo de condiciones de temperatura fomentaría la degradación como tal de la fibra y por consiguiente el daño de todo el proceso. Por lo general, las fibras naturales empiezan su degradación a 240°C, la hemicelulosa se descompone en un nivel más bajo rango de temperatura (220-315 ° C) que la celulosa (300-400 ° C), mientras que la lignina se descompone en un amplio rango de temperaturas (150–900 ° C) [18].

La descomposición de la fibra cambia la orientación y la cristalinidad de la fibra, por tal motivo se debe tener un mayor control de este parámetro.

2.4.2.c. Efecto de la absorción: La naturaleza de los componentes lignocelulósicos que conforman la estructura de la pared celular anteriormente mencionados, es de carácter hidrofílico, es decir, presentan afinidad con el agua, lo cual tienden a absorber y retener gran parte de este componente, provocando un efecto de absorción.

Las matrices poliméricas al ser hidrofóbicas, una vez al entrar en contacto con los haces de fibra natural (hidrofílica), sus enlaces son incompatibles y no existe un enclavamiento que permita tener una mayor adhesión del material. Por lo general, la estructura microfibril de las fibras son huecas, lo cual al absorber humedad o entrar en contacto con una matriz polimérica de distinta naturaleza, estas se tienen a hinchar, lo que ocasiona un efecto negativo en la superficie de la matriz, produciendo un debilitamiento de la fuerza de unión de la misma e implica tener una inestabilidad dimensional, causando agrietamientos de la matriz por las mismas razones que se tienen con pobres propiedades mecánicas del compuesto.

Existen estudios, los cuales han determinado los valores promedios de ciertas características físicas para la Guadua Angustifolia para su uso como material de refuerzo, la investigación titulada “el estudio de las características físicas de haces de fibra de guadua” del año 2007 realizada por Luís Moreno, Efraín Trujillo y Lina Rocio , presentan las características físicas realizadas por distintas técnicas obteniendo un promedio del cual se recomienda su uso como material de reforzamiento, tal como se aprecia en la Tabla 15.

Tabla 15.

Valores promedio de algunas de las características determinadas a través de las diferentes técnicas.

Características físicas	Valores promedio
Porcentaje de contenido de humedad (% C.H)	7.13±0.73
Porcentaje de absorción de agua	45.88±19.01
Densidad a 0 %C.H (g/cm ³)	1.38±0.011
Densidad a 7.13% C.H (g/cm ³)	1.40±0.009
Densidad a 45.88% C.H (g/cm ³)	1.52±0.007

Nota: La tabla muestra los valores promedio de algunas de las características determinadas a través de las diferentes técnicas. Tomado de: L. E. Moreno Montoya, E. E. Trujillo y L. R. Osorio Serna.” Estudio de las características físicas de haces de fibra de guadua angustifolia”. Revista Scientia Et Technical, Vol. 1, no. 34, May, 2005, pp. 615-616.doi: <https://doi.org/10.22517/23447214.5719>

En este estudio, la Guadua Angustifolia presentó una humedad de 7,1 , que en comparación al contenido de humedad presentado por otras fibras (Fique, Yute, Lino, Kenaf, Cábamo, Algodón y Ramio) fue el que menor contenido de humedad tuvo, este valor le proporciona una ventaja comparativa frente a otras puesto que a menor porcentaje de contenido de humedad mayor posibilidad de adherencia entre el refuerzo y la matriz y mayor estabilidad dimensional, siendo potencial para su uso como posible material de refuerzo [19].

2.5. Resinas

Es una sustancia orgánica, comúnmente en la presencia de aire se solidifica, cuenta con importantes propiedades químicas se utiliza en muchos procesos industriales, existen resinas de origen natural y de origen sintético, las más comunes a gran escala son de tipo sintético, estas cuentan con características de bajo costo, sencilla implementación y logra uno de los objetivos principales de su utilización y es el mejoramiento de la resistencia mecánica.

2.5.1. Resinas sintéticas

Este tipo de resinas es un líquido que se solidifica en contacto con el aire, tienen propiedades similares a las de las resinas de tipo natural. Sin embargo cuenta con ventajas notorias por su fácil acceso y por generar las propiedades que se necesitan en su implementación.

2.5.1.a. Resinas viniléster: Es un tipo de resina viniléster es sintética proveniente de la resina epóxica esterificada reaccionando con ácido mono carboxílico insaturado, son flexibles comparadas con otras resinas como el poliéster, esto hace que ante impactos tenga menor riesgo. Estas resinas son de alto rendimiento y sencillo desmolde, y es sensible a la radiación UV para mejorar esta degradación se implementan aditivos a la mezcla [20]

2.5.1.b. Resina poliéster: Este tipo de resina es ampliamente usada en aplicaciones industriales de carácter comercial, debido a su bajo costo, facilidad en el manejo, al igual que estabilidad dimensional, sin embargo, no presenta altos rendimiento ya que están limitados en su procesamiento, los poliésteres generalmente tienen menos capacidad de temperatura, propiedades mecánicas inferiores y resistencia a la intemperie inferior, y exhiben más encogimiento durante el curado. [19].

2.5.1.c. Resina Epóxicas: Las resinas epóxicas presentan altos rendimientos, razón por la cual son el material más usado para compuestos de matrices, asimismo, poseen alta combinación de fuerza proporcionando mayores propiedades mecánicas y térmicas, tal como se presenta en la tabla, de igual forma presenta una buena adhesión, bajo encogimiento (contracción) y versatilidad de procesamiento, debido a que los precursores de resina contienen al menos una función epoxi que dan lugar a generación de compuestos para diversas aplicaciones.

En materiales termoendurecibles, los epoxis se combinan actualmente con una amplia gama de reactivos, los llamados agentes de curado, como aminas, anhídridos, y amidas. [18] Sus tiempos de curado son más largos lo cual es una ventaja ya que se pueden usar en aplicaciones críticas, donde se requiera un mayor control del proceso y de esta forma mejorar la relación entre rendimiento y costo.

En la siguiente Tabla 16, se aprecia el análisis comparativo de pros y contras de las resinas epóxicas, poliéster y viniléster. Se maneja una escala de signos de “- - “a “++” en donde – es la propiedad que no aplica para ese tipo de resina, y ++ es la propiedad que mejor cumple en el tipo de resina; los valores intermedios se presentan como “- “y “+”. Se logra evidenciar que la resina viniléster se destaca en cuenta a la resistencia química y ambiental, sin embargo, por otro lado, la resina epóxica presenta mejores resultados en relación a las propiedades mecánicas y térmicas.

Tabla 16.

Análisis comparativo de pros y contras de las resinas epóxicas, poliéster y viniléster.

Propiedades	Resina Epóxica	Resina Poliéster	Resina Viniléster
Costo	--	++	+
Facilidad de uso	-	++	-
Resistencia Química	+	-	++
Resistencia ambiental	+	-	++
Resistencia a la corrosión	+	-	++
Propiedades mecánicas	++	-	+
Propiedades térmicas	++	-	+
Tiempo de trabajo	+	--	+
Encogimiento	-	++	+

Nota: En esta tabla se muestra un análisis comparativo de pros y contras de las resinas epóxicas, poliéster y viniléster. Tomado de: Rajpurohit, A y Henning, F. Compuestos termoestables de bio-fibras. Materiales ligeros y sostenibles para aplicaciones automotrices. 2017.

2.6. Métodos de fabricación

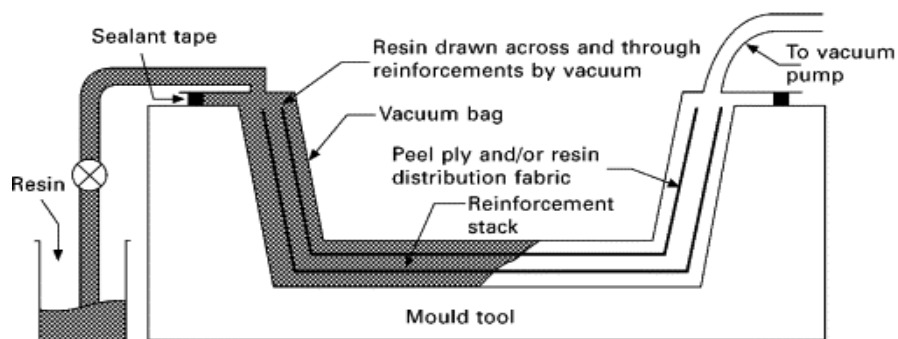
2.6.1. Moldeo de transferencia asistida por vacío (VARTM)

Es una nueva técnica de moldeo que consiste en incorporar la resina a un molde mediante vacío, a este molde se le instala una cubierta (generalmente una película de bolsa de plástico) para crear un sello hermético, de forma que al aplicar vacío permite el flujo continuo de la resina que entra por puertos específicos estratégicos produciendo la dispersión simétrica de un lado al otro de la preforma, el vacío elimina burbujas de aire atrapadas al interior del molde, finalmente se lleva a cabo el proceso de curado, como se muestra en la figura 12.

El contenido de la fibra en el producto final puede llegar a obtener un 70% en relación del volumen fibra, una alternativa a este proceso, es el uso de doble bolsa, que utiliza una bomba de vacío unida a la bolsa interna para extraer volátiles y aire atrapado, y una segunda bomba de vacío en la bolsa externa para compactar el laminado [21]. Este proceso no requiere el manejo de temperatura y presión convirtiéndolo en uno de los métodos más accesibles, de bajo costo, permitiendo obtener piezas de distintos tamaños y complejidades, sin embargo, existen dificultades en el proceso, puesto que no hay control en el proceso de curado, simetría y a nivel dimensional.

Figura 12.

Esquema del método VARTM



Nota: En esta figura se muestra el método VARTM. Tomado de: D. Verma, G. Joshi y R. Dabral, Processing Technologies for Green Composites Production. Universidad Graphic Era Hill, India, pp. 31. 2016.

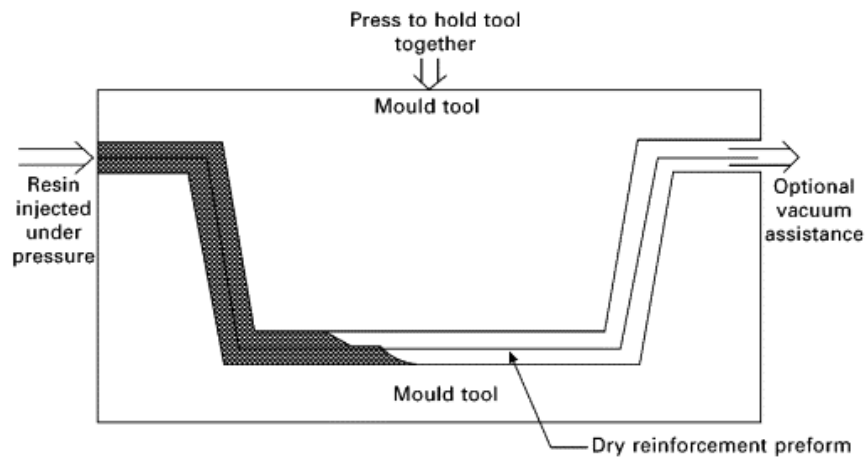
2.6.2. Moldeo de transferencia de resina (RTM)

Es un proceso en el cual es pasado una resina catalizada a través de un molde cerrado, este a su vez contiene material de fuerza que, al ser impregnado de resina, la preforma es comprimida según la fracción del volumen de la fibra, pasando a la siguiente fase denominado “curado”, obteniendo finalmente el material compuesto, como se muestra en la figura 13.

Mediante la aplicación de presión se logra eliminar el exceso de aire contenido dentro del molde, permitiendo la fabricación de distintos materiales compuestos conformados por fibra de cualquier naturaleza, obteniendo piezas en 3D con buenos acabados.

Figura 13.

Esquema del método RTM



Nota: En esta figura se muestra el método RTM. Tomado de: D. Verma, G. Joshi y R. Dabral, Processing Technologies for Green Composites Production. Universidad Graphic Era Hill, India, pp. 30. 2016.

3. DISEÑO DE PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DEL GEOCOMPUESTO

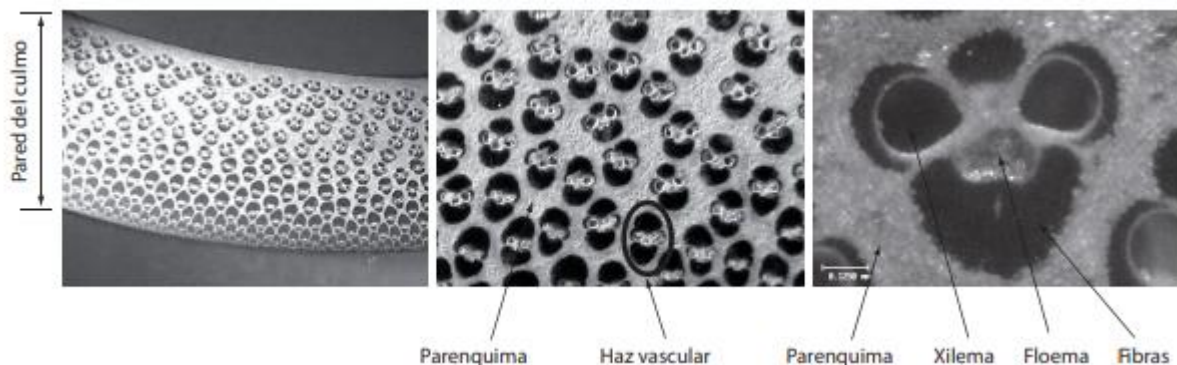
3.1. Etapas de proceso

3.1.1. Composición Química

A nivel morfológico, las fibras de bambú se encuentran localizadas a lo largo del culmo, cuyo crecimiento es apical y el diámetro varía a lo largo de este, presentado su diámetro máximo en la parte superior de la raíz (rizoma) una vez surge el brote hacia la superficie y una reducción notable en la región del Bambú comúnmente llamado copo ubicado en la parte extrema apical de la planta. En la figura 14 se muestra las distintas formas de haces vasculares en secciones transversales de la pared del culmo.

Figura 14.

Diferentes formas de haces vasculares en secciones transversales de la pared del culmo.



Nota: En la figura _ se muestra las diferentes formas de haces vasculares en secciones transversales de la pared del culmo. Tomado de: Estrada, M. (2010). (Tesis de maestría). Extracción y caracterización mecánica de las fibras de bambú (*Guadua angustifolia*) para su uso potencial como refuerzo de materiales compuestos. Bogotá, Colombia, Universidad de los Andes, pp. 8.

La sección transversal del culmo presenta tres componentes típicos muy bien diferenciados en cuanto a la anatomía: la epidermis (corteza exterior), la capa interior de la pared del tallo y el área fibro-vascular. [22] El tejido del tallo está constituido por células parenquimáticas, fibra y tejido conductivo donde se encuentran los haces vasculares. La fibra de bambú se identifica por

presentarse en forma de laminillas delgadas dispuestas de manera longitudinal, de geometría cilíndrica, con forma de huso, es decir, es más estrecha de extremo a extremo y con inclinación curva a lo largo de la misma. La composición de tejidos en un culmo de *Guadua angustifolia* es 40% fibra, 51% parenquima y 9% de tejido conductivo. El contenido de fibra es más alto en el segmento apical (56%) que en el segmento medio (26%) y Basal (29%). [23]

A continuación, se especifica en la Tabla 17 la composición química de la alternativa propuesta en el Capítulo 1, como punto de partida para establecer las etapas de proceso que se quieren para la elaboración del material compuesto.

Tabla 17.
Composición de las fibras Guadua Angustifolia por el método Van Soest

Fibra de Bambú Artículo base	
Celulosa (%)	60,83
Holocelulosa (%)	71,39
Lignina (%)	15,21
%Humedad fibras	9,71

Nota: En la Tabla 17 se representa la composición de las fibras de *Guadua Angustifolia* del artículo base. Tomado de: Estrada, M. (2010). (Tesis de maestría). Extracción y caracterización mecánica de las fibras de bambú (*Guadua angustifolia*) para su uso potencial como refuerzo de materiales compuestos. Bogotá, Colombia, Universidad de los Andes, pp. 40.

En la tabla 17 se muestra las composiciones de los componentes principales que conforman la fibra (celulosa, holocelulosa y lignina), el porcentaje de hemicelulosa se calcula a partir de la ecuación 2:

$$\%holocelulosa = \%hemicelulosa + \%celulosa \quad (2)$$

$$\%hemicelulosa = 71,39\% - 60,83\% = 10,56\%$$

A partir de este resultado, se calcula la composición de fibra la cual es del 86,6%, ya que esta no está compuesta en su totalidad por fibra, el 13,4% faltante hace referencia al agua contenida dentro de las mismas (9,71%) y residuos presentes.

3.1.2. Extracción fibra de bambú

Se realizará en el culmo, específicamente en la región de la basa que se caracteriza por presentar uniformidad de diámetro y grosor de paredes junto con una relación de peso constante, además es la parte que puede alcanzar varios metros de longitud que oscilan entre 4 a 8 metros. [24] La extracción de la fibra se realizará de manera longitudinal ya que como se explicó anteriormente este aspecto mejora la resistencia a la tracción.

Se debe tener precaución al momento de realizar la extracción puesto que puede ocasionar el debilitamiento de las mismas fibras cuando se usan procesos mecánicos de alto impacto como molinos o rodillos que pueden lograr a romper la fibra y como consecuencia el proceso será menos eficiente y no se logrará una correcta separación de la fibra con los demás componentes que no son de utilidad en el proceso, lo que se traducirá en mayores etapas , aumentado costos y convirtiéndose en un proceso poco rentable.

En este proceso unitario se logra separar la fibra contenida en los culmo de la corteza, la composición de la planta de Bambú es 40% fibra y 60% corteza [2]

3.1.3. Lavado

El proceso de lavado consiste en retirar la mayor cantidad de residuos que acompaña la fibra usando agua, estos residuos generalmente son extractos y cenizas, el contenido de estos depende de distintos factores climatológicos y a su vez de la edad de la guadua. Los extractivos dentro de la planta son componentes que pueden reaccionar y consumir los reactivos de la digestión, lo cual disminuye la velocidad de digestión. [2] con esto se disminuye la eficiencia del proceso debido a que se debería disponer de más reactivos lo que causa un aumento en los costos de producción y a su vez se incrementaría los costos operacionales.

Los extractivos son materiales que se adhieren a las fibras, se pueden retirar mediante solventes orgánicos o agua y su depuración se facilita ya que estos se encuentran en bajas concentraciones [25]. Por otro lado, las cenizas son sustancias inorgánicas constituido por componentes minerales, estas son insolubles en agua y su eliminación debe incluir otros tratamientos como lo son térmicos o empleando detergentes.

Distintos estudios han realizado la caracterización de la fibra de *Guadua Angustifolia* Kunth y se ha presentado variaciones en los resultados respecto a la cantidad de extractivos y cenizas , un estudio titulado” Determinación comparativa de ceniza, extractivo, celulosa y lignina en las especies de bambú procedente del bosque reservado de la universidad nacional agraria de la selva” realizado por Yaqueline Caballero del año 2010 presenta una comparativa de distintas especies de *Guadua*, el porcentaje de extractivos obtenido para la *Guadua Angustifolia* fue del 9,8% y cenizas del 4.36%. [25]. De igual forma, Ismael Muñoz en conjunto con Aneira Cuellar (2009) realizaron un artículo con el nombre de “Fibra de guadua como refuerzo de matrices poliméricas” en donde presentan los resultados de la composición química de la fibra de *G angustifolia* Kunth, obteniendo un 6,47% de extractivos y 3,8% de cenizas [26].

Considerando que el 86,6% es fibra, el 9,71% es el contenido de humedad, el 3,69% corresponde a las cenizas, debido a que en el artículo tomado como base [2] se eliminaron los extractivos del material bruto para la realizar de la composición de la fibra. Adicionalmente se debe tener en cuenta el porcentaje de absorción que tiene la fibra, lo cual afectara la composición a la salida del proceso, un estudio realizado por Pacarina Visarrea de la Universidad Técnica del Norte titulado como “Estudio Comparativo del grado de transpirabilidad de la humedad en fibras de bambú y algodón” muestra mediante las pruebas de absorción vertical de humedad el porcentaje de absorción tanto de la fibra de algodón como la fibra de bambú, obteniendo un valor para esta última de 6,684%. [27]



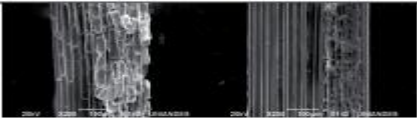

3.1.4. Digestión alcalina

La digestión alcalina, es un proceso que permite deslignificar la fibra natural mediante el uso de una solución, denominada licor blanco, compuesta por hidróxido de sodio, sulfuro de sodio y agua,

al adicionar la fibra de Bambú previamente acondicionada junto con el licor blanco al digestor, empieza un proceso de cocción donde los reactivos que conforman el licor blanco permiten cambiar la orientación interna de la pared estructural de la fibra y se logra la separación de la hemicelulosa y lignina , el líquido resultante de este proceso se denomina licor negro debido al color característico que corresponde a la lignina y compuestos residuales que hayan quedado remanentes luego de la reacción y este debe someterse a una serie de procesos que permita su recuperación debido a que es un líquido residual peligroso.

En el estudio de Estrada (2010) sobre la Extracción y caracterización mecánica de las fibras de bambú se realizaron distintos ensayos para el proceso de digestión variando las concentraciones de los reactivos que conforman el licor blanco para hacer una formulación con la finalidad de obtener una mayor cantidad de lignina extraída tal como se aprecia en la tabla 18 a distintas condiciones de cocción.

Tabla 18.
Condiciones de cocción para la extracción de haces de fibra de guadua

Digestión	AE (%)	S (%)	HM (5)	K	Monografías
F-01	15	0	4	17,6	
F-02	15	0	15	18,7	
F-03	15	15	4	12,1	
F-04	15	15	15	10,8	
F-05	20	20	4	24,9	
F-06	20	20	3	19,5	
F-07	20	50	4	23,6	
F-08	20	50	3	19,6	

Nota: Se muestran los resultados de ensayos con distintas concentraciones de reactivos para la deslignificación de la fibra de Guadua. Tomado de: Estrada, M. (2010). (Tesis de maestría). Extracción y caracterización mecánica de las fibras de bambú (*Guadua angustifolia*) para su uso potencial como refuerzo de materiales compuestos. Bogotá, Colombia, Universidad de los Andes, pp. 36.

En la tabla 18 se muestran las variables %AE, %S, HM, e índice Kappa (k). Donde k corresponde al grado de deslignificación que se obtuvo en el proceso, AE hace referencia a la concentración de los componentes alcalinos involucrados en la reacción ($NaOH$ y Na_2S) y viene dado por la ecuación 3:

$$EA = NaOH + \frac{1}{2}Na_2S \quad (3)$$

La letra S corresponde a la sulfidez y determina la concentración de sulfuro de sodio presente en la solución alcalina, es decir, como se muestra en la ecuación 4:

$$S = \frac{Na_2S}{NaOH + \frac{1}{2}Na_2S} \quad (4)$$

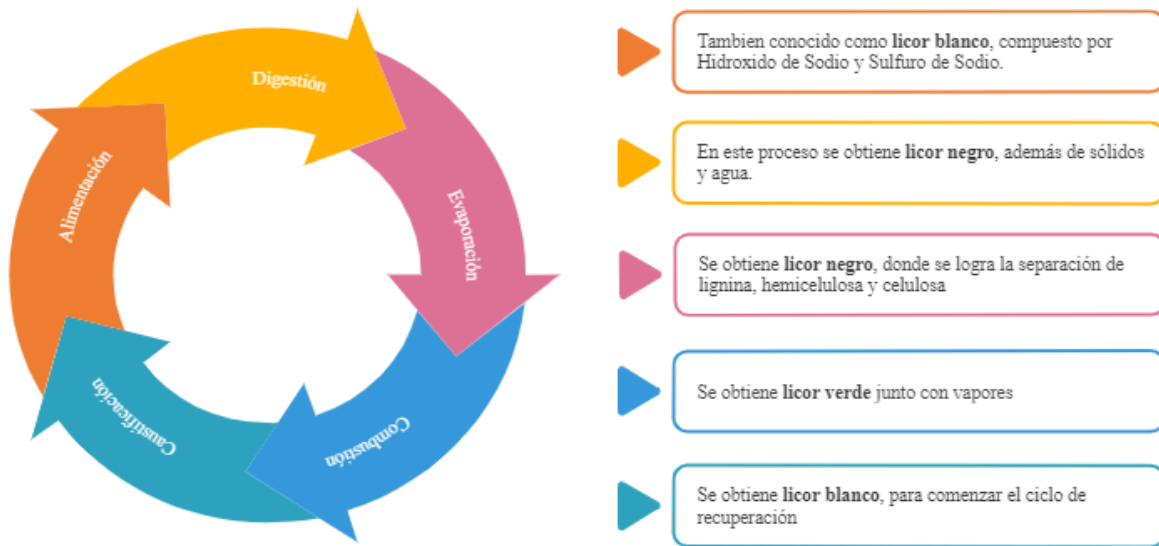
HM significa hidromódulo, representa la cantidad de agua para la digestión total, es decir la contenida en las fibras como en la solución alcalina y está dada por la ecuación 5:

$$HM = \frac{V_{H_2O}}{W_{ASTILLAS}} \quad (5)$$

La pulpa de fibra es retirada del licor negro y este a su vez es altamente tóxico y peligroso por su alto contenido de reactivos, lignina, hemicelulosa, celulosa y resinas. Sin embargo, se puede tratar por medio de un proceso de combustión en un horno de recuperación. En la figura 15 se muestra el esquema de proceso de recuperación de residuos para obtener nuevamente licor blanco y se genere el ciclo.

Figura 15.

Esquema del proceso de recuperación de residuos del proceso Kraft.



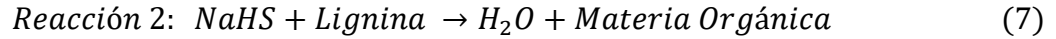
Nota: En esta figura se muestra una representación acerca del proceso de recuperación de residuos del proceso Kraft. Tomado de: Estrada, M. (2010). (Tesis de maestría). Extracción y caracterización mecánica de las fibras de bambú (*Guadua angustifolia*) para su uso potencial como refuerzo de materiales compuestos. Bogotá, Colombia, Universidad de los Andes, pp. 14.

En este ciclo, el licor negro pasa por tres etapas: evaporación, combustión y caustificación para su recuperación.

En el estudio tomado como referencia realizada por Estrada, plantea la mejor formulación para un mayor grado de deslignificación de la fibra la cual corresponde a un álcali efectivo (EA) del 15%, sulfidez (S) del 20% y un hidromódulo (HM) de $3 \frac{L}{kg}$ [2].

El proceso involucra las siguientes reacciones 6 y 7:





En la corriente de licor negro se obtiene una solución acuosa de residuos que contiene lignina, orgánicos e inorgánicos. Los componentes orgánicos hacen referencia a los sólidos que se obtienen de la degradación de la lignina de alto peso molecular, también contiene una fracción de extractivos, junto con productos obtenidos de la descomposición de las moléculas de polisacáridos (entre los cuales se encuentra la hemicelulosa) que están presentes en la estructura de la fibra, también está presente sodio y azufre en pequeñas composiciones. Por otro lado, los componentes inorgánicos consisten en productos químicos de cocción activos residuales y otros compuestos, que son carbonato de sodio, hidróxido de sodio, sulfato de sodio, tiosulfato de sodio, sulfito de sodio y polisulfuros de sodio. [28]

En cuanto a composición, los sólidos obtenidos en el licor negro corresponden al 15% de la corriente, donde el 10% p/p hace referencia a los componentes inorgánicos y 5% p/p son orgánicos. [29]. Con el objeto de tener la misma nomenclatura y tener claridad en el balance de masa, la corriente identificada como “residuos” proveniente del proceso de lavado corresponde a la biomasa residual que contiene los culmos de guadua, por tal motivo esta composición hace referencia a los componentes orgánicos.

El porcentaje de remoción de lignina se calcula a partir del número Kappa y este significa la cantidad de lignina con la que queda la fibra de Guadua, a estas condiciones (15% AE, 20%S y 3g/l HM) [2] se tiene un valor de 10,45. El bambú se clasifica como una planta frondosa [30], para este tipo de espécimen usualmente los rangos el número Kappa se encuentra entre 15-20 (2,4-3,3% de lignina) [31]. Es decir, un 1,58% queda de lignina retenido en la fibra y el 98,42% conforma el licor negro con la lignina residual.

Una vez la fibra entra al digestor, se lleva un calentamiento durante 1 hora y media (fase inicial), hasta alcanzar una temperatura de 175°C, a una presión de 7 bares (fase media), en esta fase ocurre las reacciones (5) y (6), formando subproductos inorgánicos por la acción del agua (hidrolisis), en esta etapa se obtiene una velocidad de reacción alta en comparación con la fase anterior con un pH básico de 13 dado el medio alcalino que se encuentra, además el Na₂S actúa como un catalizador en la reacción ocasionado la remoción de la lignina, luego se mantiene estas condiciones durante

un periodo de 3 horas ya que a mayor tiempo de cocción mayor es la lignina removida y finalmente se descarga la pulpa en la línea del proceso (fase final) [32].

3.1.5. Lavado

Para este proceso en el que se presenta una nueva etapa de lavado, lo que se desea es retirar la mayor cantidad de residuos que acompaña a la fibra después del proceso de digestión alcalina, ya que, a partir de este, la fibra queda impregnada con varios compuestos que no son necesarios para el producto final, además son componentes que pueden llegar a reaccionar y generar compuestos indeseados. Como resultado de este proceso de lavado se tiene una fibra con mayor contenido de pureza y por ende un proceso más eficiente.

Considerando que la cantidad de Na_2S y NaOH que ingresan en el proceso es considerable, se debe retirar la mayor cantidad posible, es a esta sustancia la que llamamos licor blanco, al implementar la etapa correspondiente al lavado se espera retirar un aproximado del 75%.

3.1.6. Blanqueo

De las etapas anteriores se obtiene una pulpa de fibra, que se puede considerar tiene características de peso para la elaboración del material compuesto que se desea, sin embargo, como se ha mencionado anteriormente lo que se busca en esta parte del proceso es eliminar la mayor cantidad de lignina posible de la fibra de bambú, con la etapa de la digestión alcalina se logra eliminar más de un 98%, sin embargo, se implementa una etapa de blanqueo en la que básicamente se logra eliminar por completo.

El tratamiento de blanqueo implementado, consiste en la adición de NaOH , la cual viene del proceso anterior, y sulfato de magnesio, con base a resultados anteriores se determina que esta etapa es de gran utilidad debido a que a medida que pasa el tiempo en el equipo de blanqueo, se va obteniendo una fibra modificada con el menor contenido de lignina posible.

«Los químicos de cocción alcalinos, reaccionan con la lignina, tiñéndola de un color marrón oscuro. De esta manera, la blancura del material de madera se reduce considerablemente al comienzo de la cocción al sulfato, a pesar de que la lignina se disuelve. Al final de la cocción al sulfato, el color de la materia de la madera disminuye significativamente a medida que la lignina se disuelve. Después de la cocción, la pulpa de coníferas tiene 3-4,5 % de lignina y la madera dura 2-3 % de lignina. La mayoría del color de la pulpa se origina de esta lignina.» [33]

Los beneficios del blanqueo van más allá de una deslignificación ya que consigo trae beneficios en el proceso, como el blanqueo de la fibra, para aportar un mejor aspecto a la hora de obtener el producto final.

«El sistema de blanqueo cambia los grupos carbonilos (C=O) a los grupos carboxilos (-COOH) por oxidación que durante el proceso se libera oxígeno o a los grupos hidroxilos (-OH) por reducción que durante el proceso se absorbe oxígeno. Gracias a ellos, el sistema cromofórico se altera y las fibras envejecidas pierden el color de amarillo parduzco. Al mismo tiempo, los productos deteriorados que no son solubles en agua en este sistema, se cambian. Estos fragmentos serán oxidados o reducidos por el sistema blanqueo y serán de colores más claros.» [34]

Como variables importantes para llevar a cabo un buen proceso de blanqueo es el pH, la temperatura y el tiempo, para esta etapa se recomienda como condiciones de operación óptima un pH inicial de 12, una temperatura de 100°C, durante un periodo de 1 hora.

Normalmente un proceso de blanqueo tiene varias etapas ya que es imposible blanquear la fibra natural en su totalidad, con una sola etapa; para este diseño de proceso, un solo blanqueo es suficiente ya que lo que se busca no es dar un color blanco a la fibra, lo que se desea en si es eliminar lo restante de lignina residual.

3.1.7. Lavado

Esta etapa corresponde a la última de lavado, después del proceso de blanqueo, es necesario eliminar la mayor cantidad de residuos posible que le quitan pureza a la fibra de bambú, es por ello que se implementa; además de la eficiencia que esta etapa genera en el proceso como tal. Se puede decir que un tercer lavado en este proceso proporciona una fibra con mejores características y básicamente lista para empezar el proceso de moldeo, para llegar al producto final, teniendo este una estructura de malla.

Los compuestos químicos utilizados en el blanqueo son en poca cantidad, por su buen rendimiento, esto genera que se necesite una cantidad de agua mínima para llegar a cumplir el objetivo de eliminación de residuos.

3.1.8. Secado

La cantidad de agua en la fibra después del tercer lavado, se debe eliminar por medio de un secado, ya que es necesario obtener una fibra con el menor porcentaje de humedad posible, y gracias a este proceso se puede lograr. Como tal un proceso de secado ofrece grandes ventajas en el producto final estas corresponden a una mayor estabilidad en cuanto a su forma, ya que al secar se reduce considerablemente los cambios que el contenido de humedad genera; además aumenta la resistencia mecánica, reflejadas en sus características físicas, esto es concebido debido a que al eliminar agua de la fibra su masa se reduce ocasionando que su densidad también disminuya, obteniendo un producto final de característica liviana.

Otras de los beneficios de secar la fibra es el aumento que este genera en la resistencia a las cargas axiales, «la relación entre peso - carga máxima y su forma tubular que la hace un material muy apto para estructuras livianas y espaciales donde aparecen fuerzas axiales. Estudios realizados en las propiedades mecánicas de la Guadua con Contenidos de Humedad por debajo de 30%, permiten conocer valores de esfuerzo de rotura, deformaciones en el límite proporcional y recomendaciones para fuerzas admisibles de Compresión, Tracción, Flexión, Esfuerzo Cortante.» [35]

3.1.9. Hilado

El proceso de hilar, consiste en la transformación de la fibra en hilos, se lleva a cabo con el objetivo de darle una estructura propia de malla al material compuesto; este proceso se lleva a cabo mediante retorcimiento de la fibra de bambú con el fin de unirlas y obtener como resultado una hebra, que además de ser continua también posee mayor resistencia mecánica por la nueva estructura. El proceso se lleva a cabo en una hiladora mecánica, quien se encarga de todo el proceso desde la torcedura de la fibra, pasando por un peinado, estiramiento.

3.1.10. Tejido

La estructura final del material compuesto es una malla, es por esta razón que se implementa un tejido en el que se pueda llegar a dar forma, y más que esto que el Geocompuesto cumpla la función que actualmente ejerce, que es el paso de agua, en el sistema de drenaje, también es por esta razón que se implementa un proceso RTM, en el que se le añade un moldeo con resina.

3.1.11. Método RTM

Para el proceso de moldeo de transferencia de resina, se escogerá el tipo de resina mediante una matriz comparativa. En la Tabla 19, se muestra una distintos tipos de resinas tomando como referencia la resina que se usa para la elaboración de la Geored, que está compuesta principalmente por Polipropileno (PP), se eligieron específicamente las resinas epóxicas viniléster, puesto que la resina poliéster, presenta un módulo de elasticidad mayor a 3400 MPa, es decir, confiere mayor rigidez al material, razón por la cual se descarta ya que este se considera un aspecto importante como parámetro final del material compuesto.

Tabla 19.*Propiedades de resinas epóxicas viniléster en el mercado actual.*

Propiedad	Resina PP	Derakane 441-400	Derakane 510B-400	Derakane Momentu m 470-300	Derakane 411-350	Derakane 8084
Resistencia máxima a la tracción (50 mm/min.) (MPa)	32,3	90	90	85	86	76
Elongación al punto de cedencia (50 mm/min.) %	11,75	(5-6) %	5,7	(3-4) %	(5-6) %	(8-10) %
Módulo de Flexión 1% secante (1.3 mm/min.) (MPa)	1257	3800	3450	3800	3400	3300
Dureza, Rockwell	98	35	35	40	35	30
Densidad (g/cm ³)	0,95	1,16	1,16	1,17	1,14	1,14
Resistencia Químico	Ácidos fuertes, Bases (Soda cáustica, Hidróxido de potasio, Carbonato de Sodio, Hidróxido de amonio).	Resistencia a la corrosión, solventes orgánicos (metanol), clorobenceno, metiletilcetona, ácidos, álcalis, blanqueadores y solventes.	Resistencia a la corrosión y a la ignición.	Resistencia a solventes y químicos, resistencia a temperaturas elevadas y resistencia a ambientes oxidantes acídicos.	Resistencia a temperatura cíclica, fluctuaciones de presión y choques mecánicos, ácidos, álcalis, blanqueadores y solventes.	Resistencia química a un amplio rango de ácidos, bases y químicos orgánicos, usado en proceso RTM

Nota: En esta tabla se muestra las propiedades de las resinas epóxicas viniléster en el mercado actual. Tomado de: Ashland inc. Technical datasheet. 2017.

En primera instancia, para la elaboración de la matriz comparativa, se realiza una ponderación, donde se le otorga un valor en porcentaje de 0 a 100, aumentando según la importancia en el proceso.

En la Tabla 20, se expone la ponderación de las propiedades mecánicas corroboradas con la empresa Pavco, mas importantes que debe tener la resina para cumplir las especificaciones del compuesto final, dado que la Geored es el producto al que se le aplica el mayor esfuerzo se debe escoger una resina que además de tener buenas propiedades mecánicas, tenga un bajo módulo de elasticidad, para facilitar el transporte, debido a que este se efectúa en rollos. Los mayores porcentajes hacen referencia a la resistencia a la tensión y el módulo de elasticidad ya que estos son considerados primordiales en el material, sin embargo, los otros términos también se deben tener en cuenta, ya que en conjunto forman describen el comportamiento del material.

Tabla 20.

Ponderación propiedades mecánicas

Criterios	Ponderación
Resistencia máxima a la tracción (50 mm/min.) (MPa)	25%
Elongación al punto de cedencia (50 mm/min.) %	15%
Módulo de Flexión 1% secante (1.3 mm/min.) (MPa)	25%
Dureza, Rockwell	10%
Densidad (g/cm ³)	15%
Resistencia Químico	10%

Nota: En esta tabla se muestra la ponderación para cada parámetro mecánico. Tomado de: Elaboración propia.

Para finalizar, se otorga una calificación de 1 a 10 según el cumplimiento de la condición anteriormente mencionada, tal como se muestra en la Tabla 21.

Tabla 21.

Matriz comparativa resina epoxi viniléster

		Derakane 441-400		Derakane 510B-400		Derakane Momentum 470-300		Derakane 411-350		Derakane 8084	
Criterios	%	Escala		Escala		Escala		Escala		Escala	
Resistencia máxima a la tracción (50 mm/min.) (MPa)	25%	10	2,5	10	2,5	10	2,5	10	2,5	10	2,5
Elongación al punto de cedencia (50 mm/min.) %	15%	5	0,75	5	0,75	4	0,6	5	0,75	8	1,2
Módulo de Flexión 1% secante (1.3 mm/min.) (MPa)	25%	5	1,25	6	1,5	5	1,25	6	1,5	7	1,75
Dureza, Rockwell	10%	6	0,6	6	0,6	5	0,5	6	0,6	7	0,7
Densidad (g/cm ³)	15%	6	0,9	6	0,9	5	0,75	7	1,05	7	1,05
Resistencia Químico	10%	8	0,8	4	0,4	8	0,8	8	0,8	8	0,8
TOTAL		6,8		6,65		6,4		7,2		8	

Nota: En esta tabla se muestra la matriz comparativa para las resinas epoxi viniléster. Tomado de:
Elaboración propia.

Finalmente, la que otorgó una mejor calificación en relación a las propiedades mecánicas es la resina Derakane 8084.

3.1.12. Elongación

Aprovechando la temperatura a la cual sale del proceso RTM, siendo esta no superior a 82°C ya que a esta temperatura se genera la distorsión de la resina DERAKANE 8084, se somete a un estiramiento generado a partir de una serie de rodillos que operan bajo presión y temperatura obteniendo una malla con una orientación longitudinal.

3.1.13. Perforado

Este proceso se realiza con el propósito de obtener la malla, obteniendo los orificios con las dimensiones especificadas.

3.1.14. Curado de resina

Se realiza mediante el uso de un equipo de secado UV, puesto que a temperatura ambiente el tiempo estimado es de 1 día y para no generar tiempos muertos a nivel productivo tan prolongados, se opta por esta tecnología ya que el tiempo de curado se reduce a 6 horas a una temperatura de 80°C.

3.1.15. Tratamiento térmico

Este proceso consiste en lograr el acople de los materiales (geotextil y geomalla) para obtener un material compuesto (Geodrén) mediante la implementación de altas temperaturas, el procedimiento se basa en que a un extremo se encuentra la Geored y por el otro lado el geotextil, estos son transportados mediante una serie de rodillos que operan a una temperatura y velocidades específicas de acuerdo a la zona en que se encuentren, ya sea (alimentación, desenrollador y arrollador) ambos materiales son unidos al pasar por una placa, donde estas ubicadas unas resistencias que usan como fuente de alimentación gas natural, operando a una temperatura de

500°C, obteniendo el Geodrén planar que se caracteriza por tener doble capa de geotextil, donde la geomalla está ubicada en el centro, además se tiene un espacio al extremo , conocido como “bota”, espacio que se reserva para la instalación de la tubería corrugada una vez es ubicada en tierra , para la acción de drenaje.

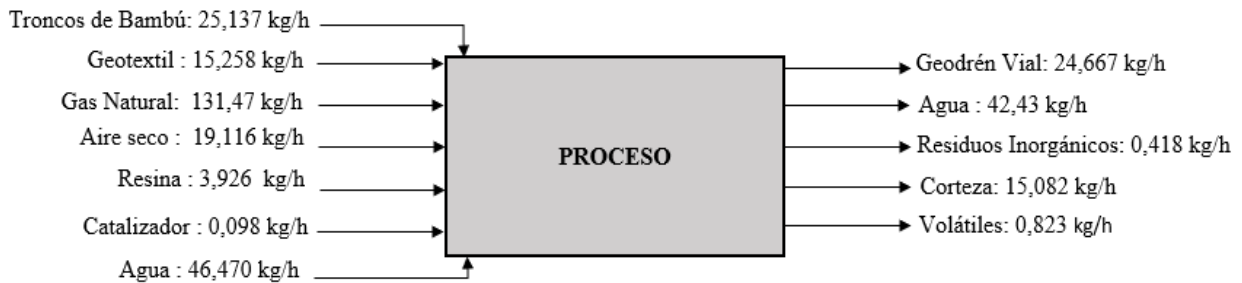
3.2. Balance global de caja negra

El sistema de caja negra del proceso está conformado por las corrientes de entrada las cuales son: Tronco de Bambú, Geotextil, gas natural, aire seco, resina, catalizador y agua, por otra parte, se tiene las corrientes de salida constituidas por el producto de interés (Geodrén vial) y otras corrientes residuales como lo son el agua, residuos inorgánicos (cenizas), corteza y volátiles.

El Geodrén se compone tanto de geotextil como de geomalla en una relación de 2:1 con un porcentaje de 61,8% y 41,2% respectivamente, a su vez la geomalla en el proceso representa un 62% de fibra y 38% de resina y catalizador en conjunto. A continuación, en la Figura 16 se muestra las corrientes anteriormente descritas con sus respectivos flujos másicos.

Figura 16.

Balance global del proceso de obtención del Geodrén



Nota: En esta figura se muestra el balance global del proceso de obtención del Geodrén. Tomado de: Elaboración propia.

3.3. Diagrama de bloques

En el diagrama de bloques se especifica cada etapa del proceso (corrientes de entrada y salida), la secuencia y las condiciones de operación más importantes. Como es presentado en la figura 17. También se puede ver en el Anexo 1.

Figura 17.

Diagrama de bloques (BFD)

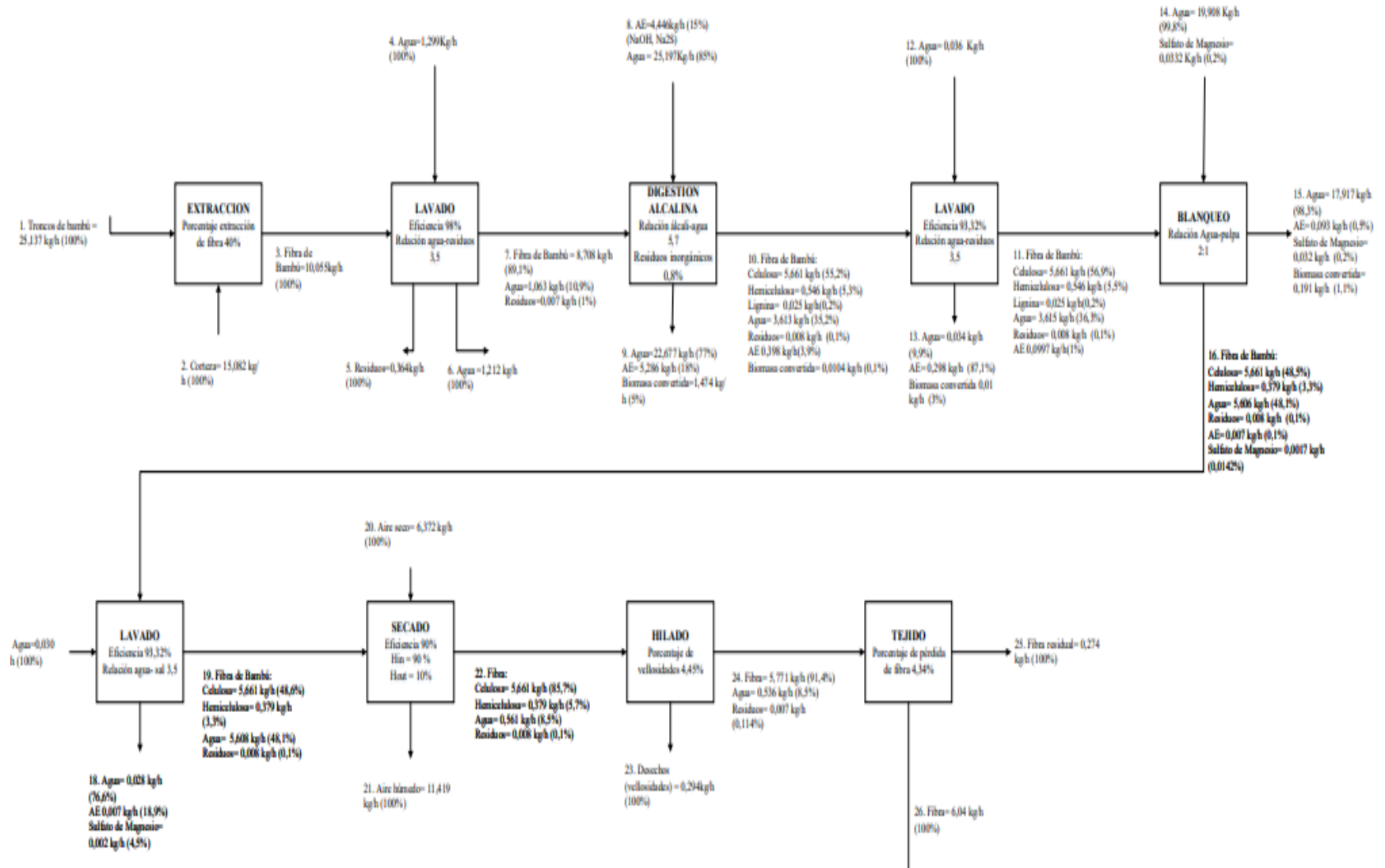
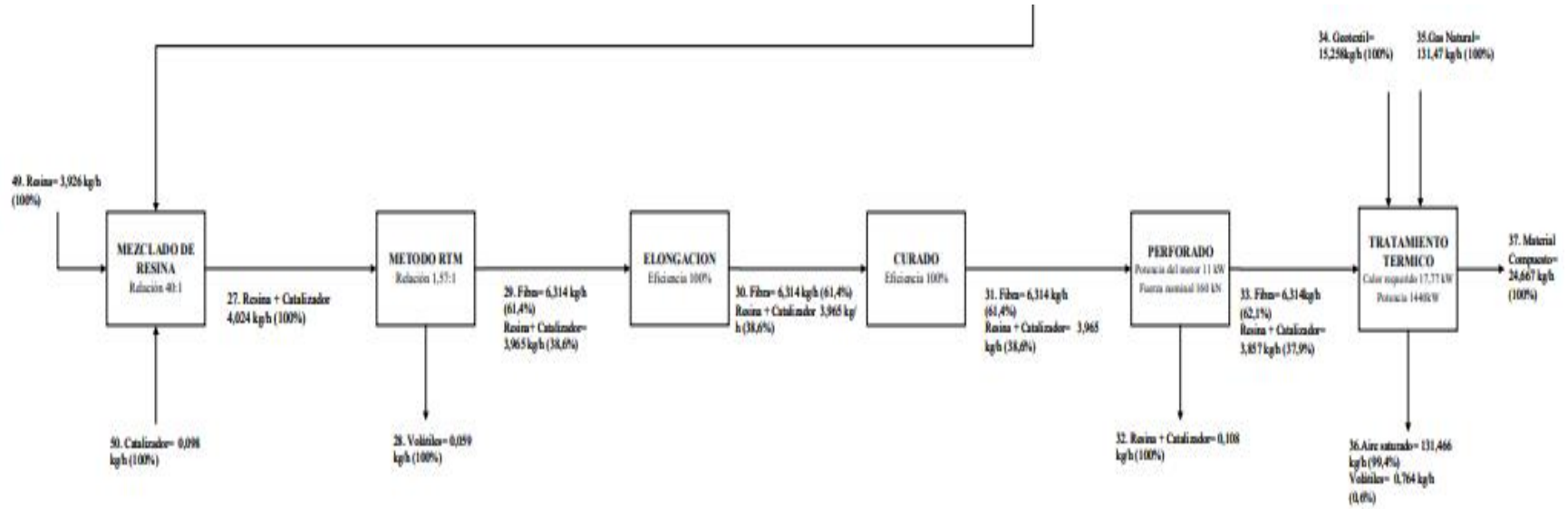


Figura 17.
Continuación



Nota: Esta figura presenta cada una de las etapas de proceso, con sus corrientes de entrada y salida respectivas. Tomado de: Elaboración propia

3.4. Balance de masa por etapas

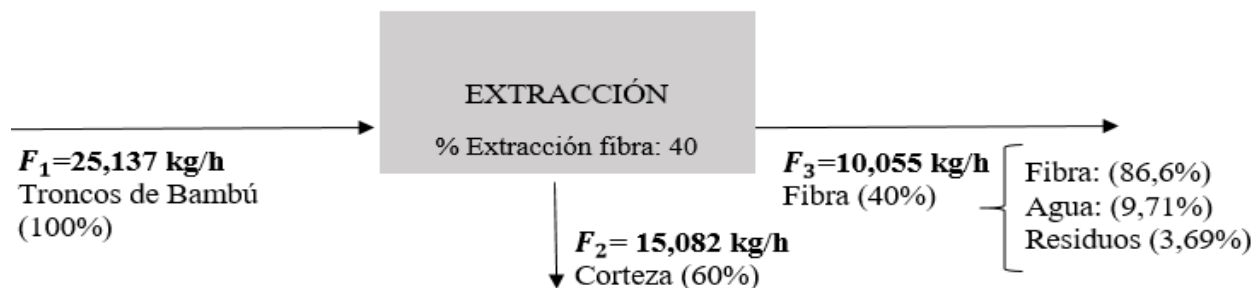
Se estableció como capacidad de producción del proceso el 24% de lo que se produce de Geodrén en el área de Geosistemas Pavco, esto debido a aspectos de seguridad e inicios del proyecto, con el fin de realizar un escalamiento periódico y evaluar la productividad, este 24% corresponde a $16,6 \frac{kg}{h}$, a partir de este valor y teniendo en cuenta que la composición de geotextil y malla en el proceso es 2:1 se calculó la cantidad de malla necesaria para suplir esta producción, que corresponde a un valor de $10,06 \frac{kg}{h}$ y de geotextil $6,54 \frac{kg}{h}$, como esta malla será sustituida por fibra de bambú y a esta a su vez contiene resina, el proceso RTM permite obtener una material compuesto con una composición final de 40% resina y 60% fibra [36] calculando un valor de $6,036 \frac{kg}{h}$ de fibra y $4,024 \frac{kg}{h}$ de resina para suplir la capacidad de producción.

3.4.1. Extracción

La base de cálculo para el proceso fue establecida según las pérdidas de composición a lo largo del proceso para la fibra de Bambú, obteniendo un valor de $25,13 \frac{kg}{h}$ a la entrada del proceso que corresponde a los troncos de Bambú se calculan las corrientes de entrada y salidas del proceso obteniendo un flujo másico de fibra de $10,055 \frac{kg}{h}$. A continuación, en la Figura 18 se muestra el esquema de proceso de extracción de fibra de Bambú.

Figura 18.

Esquema proceso de extracción de fibra de Bambú



Nota: En esta figura se muestra las corrientes de entrada y salida del proceso de extracción de fibra de Bambú. Tomado de: Elaboración propia.

Las corrientes globales del proceso de presentan en la Tabla 22, donde se logra una extracción del 40% con respecto a la fibra y 60% de la corteza.

Tabla 22.

Balance de masa proceso de extracción

	ENTRADA	SALIDA	
	F1 (kg/h)	F3 (kg/h)	F2(kg/h)
	Fracción	Fracción	Flujo (kg/h)
TRONCOS DE BAMBÚ	25,137	0,000	0,000
FIBRA	0,000	0,000	10,055
CORTEZA	0,000	15,082	0,000
TOTAL	25,137	15,082	10,055

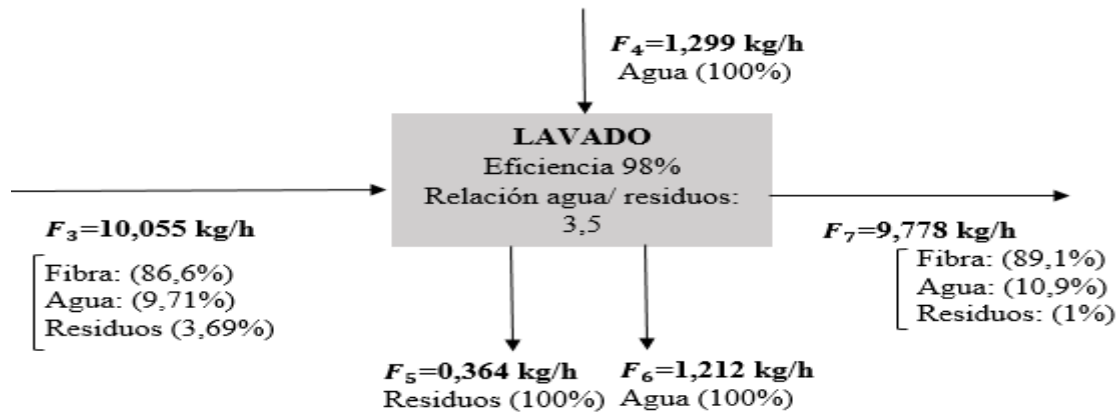
Nota: En esta tabla se muestra el balance de masa para el proceso de extracción. Tomado de: Elaboración Propia.

3.4.2. Lavado

La corriente proveniente del proceso de extracción además de contener fibra, contiene agua y residuos (cenizas). En este proceso se logra retirar estas impurezas que quedan retenidos en la superficie de la fibra, en la Figura 19 se muestra el esquema del proceso con sus respectivas corrientes.

Figura 19.

Esquema proceso de lavado



Nota: En esta figura se muestra el proceso de lavado. Tomado de: Elaboración propia.

Como se trata de un sistema abierto en estado estacionario sin reacción química en donde no existe generación ni consumo de materia en la unidad de proceso, las corrientes de entrada son iguales a las de la salida. Dentro de este marco, el agua ingresa en una relación de 3,5 con respecto a los residuos totales, en la Tabla 23 se aprecia los flujos de ingreso al proceso.

Tabla 23.

Balance de masa de la corriente de entrada del proceso de lavado.

ENTRADA				
	F3 (kg/h)	10,055	F4 (kg/h)	1,299
	Fracción	Flujo (kg/h)	Fracción	Flujo (kg/h)
FIBRA	0,866	8,708	0,000	0,000
AGUA	0,097	0,976	1,000	1,299
RESIDUOS	0,037	0,371	0,000	0,000
TOTAL	1,000	10,055	1,000	1,299

Nota: En esta tabla se muestra el balance de masa de las corrientes de entrada del proceso de lavado. Tomado de: Elaboración propia.

Considerando que la eficiencia de lavado corresponde a un 98%, se obtienen los siguientes flujos de salida mostrados en la Tabla 24.

Tabla 24.
Balance de masa proceso de extracción

	SALIDA					
	F5 (kg/h)	0,364	F6 (kg/h)	1,212	F7 (kg/h)	9,778
	Fracción	Flujo (kg/h)	Fracción	Flujo (kg/h)	Fracción	Flujo (kg/h)
FIBRA	0,000	0,000	0,000	0,000	0,891	8,708
AGUA	0,000	0,000	1,000	1,212	0,109	1,063
RESIDUOS	1,000	0,364	0,000	0,000	0,001	0,007
TOTAL	1,000	0,364	1,000	1,212	1,000	9,778

Nota: En esta tabla se muestra el balance de masa de las corrientes de salida para el proceso de lavado. Tomado de: Elaboración propia.

De este modo se obtiene una corriente de mezcla con una composición de agua de 76,9% y de residuos del 23,1% para un total de 1,575 kg/h.

3.4.3. Digestión Alcalina

A partir de la ecuación de EA, se reemplaza y se tiene la siguiente expresión, correspondiente a la ecuación 8:

$$15\% = NaOH + \frac{1}{2}Na_2S \quad (8)$$

De igual manera se reemplaza el valor de la sulfidez (S)

$$20\% = \frac{Na_2S}{NaOH + \frac{1}{2}Na_2S} \quad (9)$$

Se despeja la expresión de concentración de NaOH, obteniendo:

$$20\%(NaOH + \frac{1}{2}Na_2S) = Na_2S$$

$$20\%NaOH + 10\%Na_2S = Na_2S$$

$$Na_2S = \frac{20\%}{90\%} NaOH = 22\% NaOH \quad (10)$$

Reemplazamos en (8) y obtenemos

$$15\% = NaOH + \frac{1}{2}(22\% NaOH)$$

$$NaOH = \frac{15\%}{\left(\frac{10}{9}\right)} \times 100 = 13,5\%$$

Sustituimos en (10)

$$Na_2S = 22\% NaOH = 22\%(13,5\%) = 0,0297 \times 100 = 2,97\%$$

De esta forma tenemos las composiciones de NaOH (13,5%) y Na_2S (2,97%) en % p/p

Para el cálculo de la cantidad de agua, se tiene la siguiente expresión de HM:

$$3 \frac{l}{kg} = \frac{V_{agua}}{W_{ASTILLAS}} \quad (11)$$

Despejamos el volumen de agua y tenemos

$$V_{Agua} = 3 \frac{L}{kg} * W_{ASTILLAS}$$

El peso de las astillas es calculado bajo el concepto de densidad aparente, un estudio titulado “Condiciones de calidad de *Guadua angustifolia* para satisfacer las necesidades del mercado en el Eje Cafetero de Colombia “realizado por Jorge Hugo García Sierra y Juan Carlos Camargo García [37] presenta una caracterización de la *Guadua Angustifolia* mediante métodos estadísticos multivariados en cuanto a variables de crecimiento y de calidad, como resultado se obtiene una densidad aparente $0,67 \frac{g}{cm^3}$ y volumen aparente de $0,13m^3$, a partir de estos datos calculamos el volumen de agua para la digestión alcalina de la siguiente forma, ecuación 12.

$$W_{ASTILLAS} = \rho_{fibras} \times V_{fibras} \quad (12)$$

$$V_{\text{Agua}} = 3 \frac{L}{kg} \times 670 \frac{kg}{m^3} \times 0,13m^3 = 261,3L$$

Como el concepto de V_{agua} relaciona tanto la cantidad de agua en la solución alcalina como la cantidad de agua presente en las fibras de Guadua y estas tiene un contenido de humedad del 9,71% [2] sumando la cantidad de agua retenida del proceso de lavado para un total de 10,87% se tendría un volumen de agua para la solución de álcali efectivo de 232,9 L. La cocción en el proceso Kraft dura aproximadamente de 2-3 horas gracias al sulfuro de sodio que actúa como catalizador en la reacción. [38]

$$V_{\text{Agua}} = 232,9 L \times 1000 \frac{g}{L} = 232900g$$

$$W_{\text{ASTILLAS}} = \frac{V_{\text{agua}}}{3 \frac{L}{kg}} = \frac{232,9L}{3 \frac{L}{kg}} = 77,93kg$$

Para calcular la cantidad de NaOH:

$$\text{Solvente}_{\text{agua}}(g) = 232900g \times 86,5\% = 201458,5g$$

$$13,5\% = \frac{X}{201458,5g + X}$$

$$X = 31441,5g$$

Para esta solución se requiere disolver 201458,5g de agua 31441,5g (31,44kg) de NaOH

Para calcular la cantidad de Na_2S :

$$\text{Solvente}_{\text{agua}}(g) = 232900 - 201458,5g = 31441,5$$

$$2,97\% = \frac{X}{31441,5g + X}$$

$$X = 962,4g$$

Para esta solución se requiere disolver 31441,5g de agua con 962,4g (0,9624kg) de Na_2S

Bajo el supuesto de que el proceso de cocción dura 3 horas se obtiene un flujo másico de cada componente, dando como resultado:

$$F_{\text{Agua}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right) = \frac{232900\text{g}}{3\text{hr}} \times \frac{1\text{kg}}{1000\text{g}} = 77,63 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$F_{\text{NaOH}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right) = \frac{31441,5\text{g}}{3\text{hr}} \times \frac{1\text{kg}}{1000\text{g}} = 10,48 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$F_{\text{Na}_2\text{S}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right) = \frac{962,4\text{g}}{3\text{hr}} \times \frac{1\text{kg}}{1000\text{g}} = 0,32 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Estos datos obtenidos fueron establecidos según el artículo base de Estrada para una cantidad de astillas de 77,93kg, para nuestro proceso la corriente de fibras que ingresa al proceso tiene un flujo másico de $8,708 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$ (26,124kg).

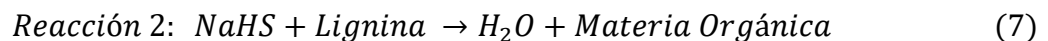
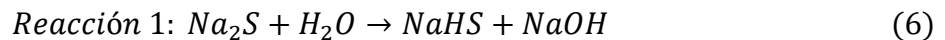
$$F_{\text{Agua}} = \frac{78,07\text{kg}}{3\text{hr}} = 26,023 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$F_{\text{NaOH}} = \frac{10,54 \text{ kg}}{3\text{hr}} = 3,513 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$F_{\text{Na}_2\text{S}} = \frac{0,32 \text{ kg}}{3\text{hr}} = 0,107 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Para un flujo total en la corriente 10 de: $29,643 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$

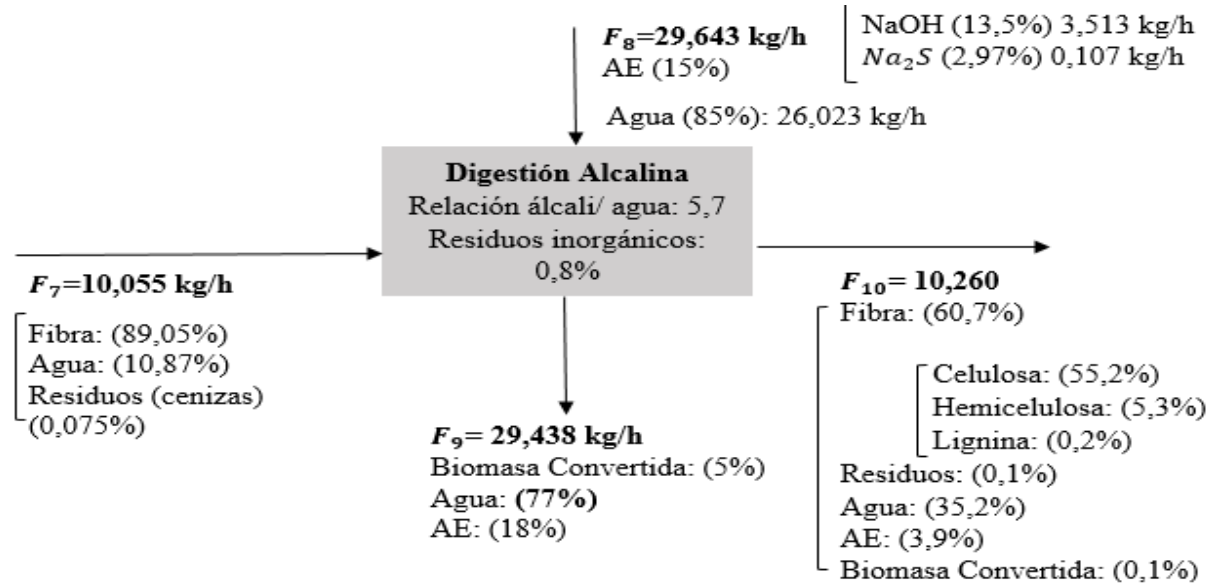
A continuación, se muestran las reacciones presentes en el proceso de digestión alcalina (proceso Kraft), estas se encuentran en proporciones estequiométricas 1:1 tanto reactivos como productos. La reacción principal



En la Figura 20, se muestra el esquema del proceso de digestión alcalina con las corrientes respectivas.

Figura 20.

Esquema del proceso de la digestión alcalina.



Nota: En este esquema se muestra el proceso de la digestión alcalina. Tomado de: Elaboración propia.

En referencia a las composiciones, se toma una base de cálculo del 100% para cada corriente, por tal motivo dependiendo del flujo varia la fracción de cada componente, como se muestra en la Tabla 25.

Tabla 25.

Nueva composición de fibra

Fracción original		Nueva Fracción	
F3 (kg/h)	10,055	F8 (kg/h)	9,778
CELULOSA	0,6083	0,625520333	6,1164565
HEMICELULOSA	0,1056	0,108589425	1,061808
LIGNINA	0,1521	0,156405791	1,5293655
TOTAL, FIBRA	0,866	0,890515549	8,70763
%FIBRA	86,6%	89,1%	

Nota: En esta tabla se muestra la nueva composición de fibra (hemicelulosa, celulosa y lignina). Tomado de: Elaboración propia.

Las corrientes de entrada para el proceso de Digestión alcalina, se presentan en la Tabla 26.

Tabla 26.

Balace de masa de las corrientes de entrada para el proceso de Digestión Alcalina

	ENTRADA			
	F7 (kg/h)	10,055	F8 (kg/h)	29,643
	Fracción	Flujo (kg/h)	Fracción	Flujo (kg/h)
CELULOSA	0,626	6,290	0,000	0,000
HEMICELULOSA	0,109	1,092	0,000	0,000
LIGNINA	0,156	1,573	0,000	0,000
AGUA	0,109	1,093	0,850	25,197
RESIDUOS	0,001	0,008	0,000	0,000
AE (NaOH-Na₂S)	0,000	0,000	0,150	4,446
BIOMASA CONVERTIDA	0,000	0,000	0,000	0,000
TOTAL	1,000	10,055	1,000	29,643

Nota: En esta tabla se muestra las corrientes de entrada del proceso de Digestión Alcalina. Tomado de : Elaboración propia.

La reacción química que se produce en esta etapa, tiene como subproductos componentes orgánicos e inorgánicos, para saber su cantidad exacta se calcula partiendo de la estequiometría de la reacción donde se tiene una relación 1:1 , obteniendo la cantidad de sales totales presentes, tal como se muestra en la Tabla 27.

Tabla 27.

Composición de inorgánicos obtenidos en la reacción que ocurre en la digestión alcalina (Reacción de Neutralización)

REACCIÓN DE NEUTRALIZACIÓN						
Componente	PM (kg/mol)	%	Flujo (kg/h)	moles	moles de sal	kg de NaHS
NaOH	40	0,135	3,645	0,0911	0,101	5,684
Na ₂ S	78,04	0,0297	0,802	0,0103	-	-
NaHS	56,06		1		-	-

Nota: En esta tabla se muestra la composición de inorgánicos obtenidos en la reacción de la digestión alcalina (Reacción de Neutralización). Tomado de: Elaboración propia.

En la digestión alcalina, la lignina de la fibra se desnaturaliza en mayor proporción (98,42%), sin embargo, la celulosa y hemicelulosa también se degradan en un porcentaje de 10 y 50 respectivamente. Adicional, en la corriente 10, se presenta una retención de sales del 7%, con una concentración de orgánicos de 6,5%, por otra parte, la corriente 11 hace referencia al licor negro que puede ser llevado a un proceso de conversión a licor blanco para su recuperación, finalmente se obtienen las corrientes totales de salida del proceso como se muestra en la Tabla 28.

Tabla 28.

Balance de masa de la corriente de salida para el proceso de digestión alcalina.

	SALIDA			
	F9 (kg/h)	29,438	F10 (kg/h)	10,260
	Fracción	Flujo (kg/h)	Fracción	Flujo (kg/h)
CELULOSA	0,000	0,000	0,552	5,661
HEMICELULOSA	0,000	0,000	0,053	0,546
LIGNINA	0,000	0,001	0,002	0,025
AGUA	0,770	22,677	0,352	3,613
RESIDUOS	0,000	0,000	0,001	0,008
AE (NaOH-Na₂S)	0,180	5,286	0,039	0,398
BIOMASA CONVERTIDA	0,050	1,474	0,001	0,0104
TOTAL	1,000	29,438	1,000	10,260

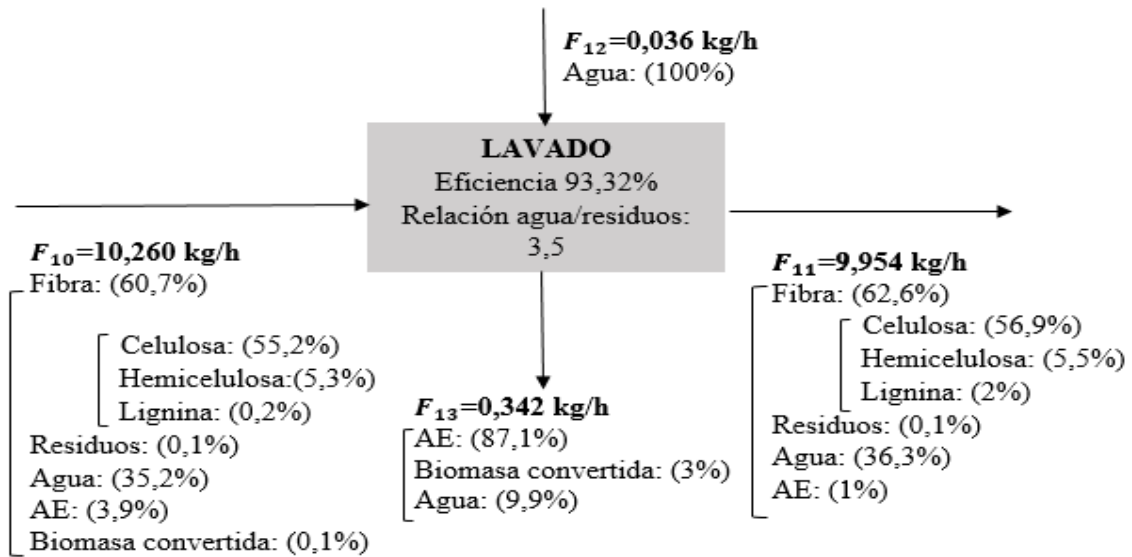
Nota: En esta tabla se muestra el balance de masa de la corriente de salida para el proceso de digestión alcalina. Tomado de: Elaboración propia

3.4.4. Lavado

En esta etapa se logra eliminar la mayor cantidad de residuos contenidos en el proceso de digestión alcalina, tal como se aprecia en la Figura 21, donde se muestra los flujos de entrada y salida en esta etapa de proceso.

Figura 21.

Esquema del proceso de lavado.



Nota: En esta figura se muestra las corrientes de entrada y salida del proceso de lavado. Tomado de: Elaboración propia.

Las corrientes de entrada (pulpa y agua) que ingresa al proceso se muestra en la Tabla 29, con una relación de agua/ residuos de 3,5.

Tabla 29.

Balance de masa de las corrientes de entrada para el proceso de lavado.

	ENTRADA			
	F10(kg/h)	10,260	F12 (kg/h)	0,036
	Fracción	Flujo (kg/h)	Fracción	Flujo (kg/h)
CELULOSA	0,552	5,661	0,000	0,000
HEMICELULOSA	0,053	0,546	0,000	0,000
LIGNINA	0,002	0,025	0,000	0,000
AGUA	0,352	3,613	1,000	0,036
RESIDUOS	0,001	0,008	0,000	0,000
AE (NaOH-Na2S)	0,039	0,398	0,000	0,000
BIOMASA CONVERTIDA	0,001	0,010	0,000	0,000
TOTAL	1,000	10,260	1,000	0,036

Nota: En esta tabla se muestra el balance de masa de las corrientes de entrada para el proceso de lavado. Tomado de: Elaboración propia.

Asimismo, las corrientes de salida en el proceso de lavado se presentan a continuación en la Tabla 30.

Tabla 30.

Balance de masa de las corrientes de salida para el proceso de lavado.

	SALIDA			
	F13(kg/h)	0,342	F11 (kg/h)	9,954
	Fracción	Flujo (kg/h)	Fracción	Flujo (kg/h)
CELULOSA	0,000	0,000	0,569	5,661
HEMICELULOSA	0,000	0,000	0,055	0,546
LIGNINA	0,000	0,000	0,002	0,025
AGUA	0,099	0,034	0,363	3,615
RESIDUOS	0,000	0,000	0,001	0,008
AE (NaOH-Na₂S)	0,871	0,298	0,010	0,0997
BIOMASA CONVERTIDA	0,030	0,010	0,000	0,000
TOTAL	1,000	0,342	1,000	9,954

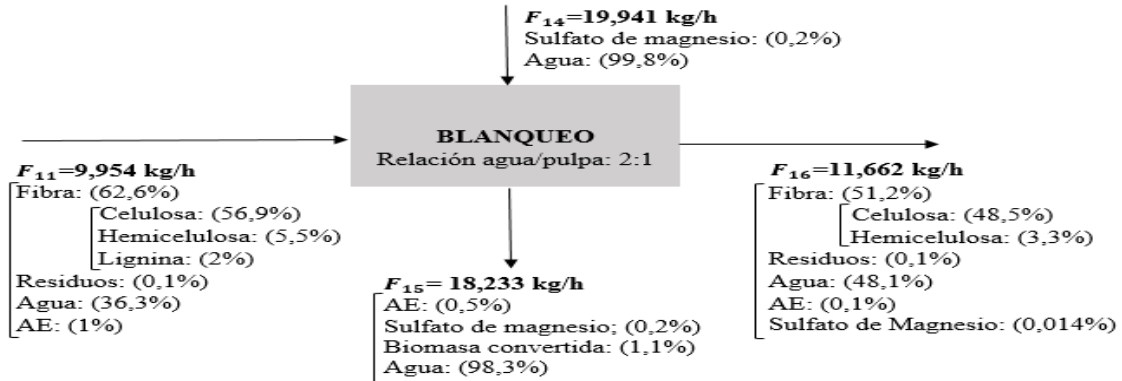
Nota: esta tabla evidencia las corrientes de salida del proceso de lavado. Tomado de:
Elaboración propia

3.4.5. Blanqueo

Para el Blanqueo ingresa una solución de sulfato de magnesio y agua, además de la pulpa proveniente del proceso de lavado como se muestra en la Figura 22.

Figura 22.

Esquema del proceso de blanqueo.



Nota: En este esquema se muestra el proceso de blanqueo. Tomado de: Elaboración propia.

Para saber la cantidad al ingreso de sulfato de magnesio se debe realizar el cálculo teniendo en cuenta la pulpa en base seca de la fibra la cual es de 6,647 kg/h, para este valor se requiere una cantidad de 0,033 kg/h de sulfato de magnesio y 0,099 kg/h de Hidróxido de Sodio, dado que la corriente proveniente del lavado tiene una mayor cantidad de NaOH dentro del corriente álcali (0,0817 kg/h), no se requiere de la adición de este a la entrada del proceso de blanqueo. Por otra parte, el sulfato de magnesio entra en una solución con agua, con una relación de 2:1, en la Tabla 31 se muestra las corrientes de entrada del proceso.

Tabla 31.

Balance de masa de las corrientes de entrada para el proceso de blanqueo.

	ENTRADA			
	F11(kg/h)	9,954	F14 (kg/h)	19,941
	Fracción	Flujo (kg/h)	Fracción	Flujo (kg/h)
CELULOSA	0,569	5,661	0,000	0,000
HEMICELULOSA	0,055	0,546	0,000	0,000
LIGNINA	0,002	0,025	0,000	0,000
AGUA	0,363	3,615	0,998	19,908
RESIDUOS	0,001	0,008	0,000	0,000
AE (NaOH-Na2S)	0,010	0,100	0,000	0,000
SULFATO DE MAGNESIO	0,000	0,000	0,002	0,0332
BIOMASA CONVERTIDA	0,000	0,000	0,000	0,000
TOTAL	1,000	9,954	1,000	19,941

Nota: esta tabla evidencia las corrientes de entrada del proceso de lavado. Tomado de: Elaboración propia

A la salida del blanqueo se logra la eliminación total de la lignina, en cuanto a la hemicelulosa se degrada un 30,52% y la composición de la celulosa se mantiene en virtud a su estructura cristalina que impide el acceso a los grupos hidroxilos. En la Tabla 32 se muestra las corrientes de salida respectivas del proceso.

Tabla 32.

Balance de masa de las corrientes de salida para el proceso de blanqueo.

	SALIDA			
	F15(kg/h)	18,233	F16(kg/h)	11,662
	Fracción	Flujo (kg/h)	Fracción	Flujo (kg/h)
CELULOSA	0,000	0,000	0,485	5,661
HEMICELULOSA	0,000	0,000	0,033	0,379
LIGNINA	0,000	0,000	0,000	0,000
AGUA	0,983	17,917	0,481	5,606
RESIDUOS	0,000	0,000	0,001	0,008
AE (NaOH-Na₂S)	0,005	0,093	0,001	0,007
SULFATO DE MAGNESIO	0,002	0,032	1,42E-04	0,0017
BIOMASA CONVERTIDA	0,011	0,191	0,000	0,000
TOTAL	1,000	18,233	1,000	11,662

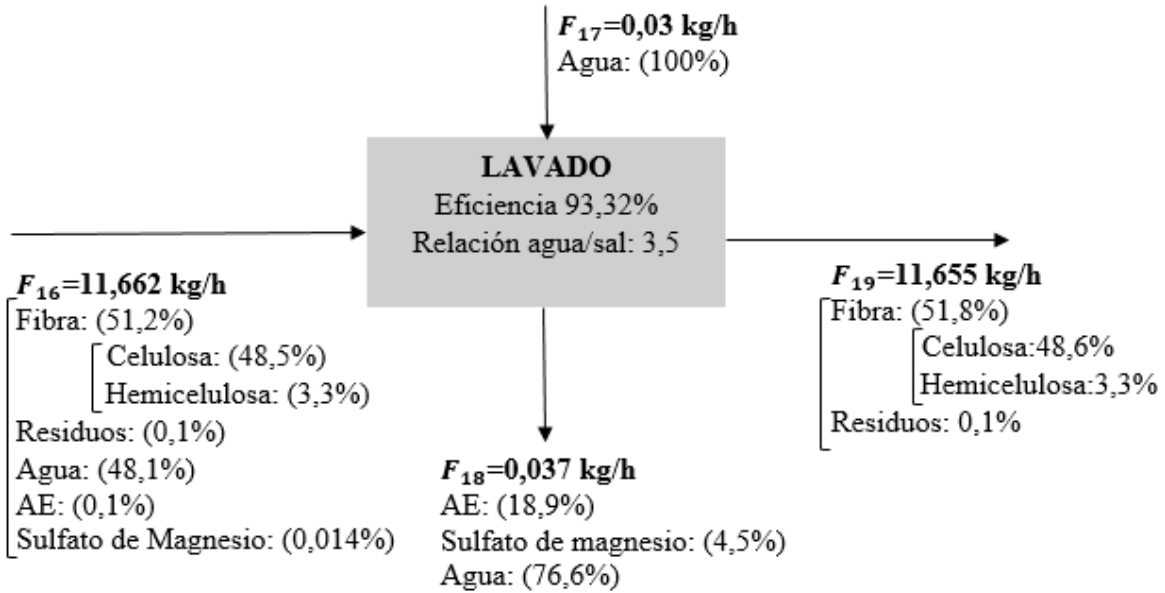
Nota: esta tabla evidencia las corrientes de salida del lavado. Tomado de: Elaboración propia

3.4.6. Lavado

En este proceso se busca eliminar la mayor cantidad de residuos orgánicos proveniente de la corriente de blanqueo. En la Figura 23 se presenta el esquema global de este proceso.

Figura 23.

Esquema del proceso de lavado.



Nota: En este esquema se muestra el proceso de lavado. Tomado de: Elaboración propia.

Las corrientes de entrada se muestran a continuación en la Tabla 33, el agua ingresa en una relación 3,5 con respecto al álcali efectivo (AE) y al sulfato de magnesio.

Tabla 33.

Balace de masa de las corrientes de entrada para el proceso de lavado.

	ENTRADA			
	F16(kg/h)	11,662	F17 (kg/h)	0,030
	Fracción	Flujo (kg/h)	Fracción	Flujo (kg/h)
CELULOSA	0,485	5,661	0,000	0,000
HEMICELULOSA	0,033	0,379	0,000	0,000
AGUA	0,481	5,606	1,000	0,030
RESIDUOS	0,001	0,008	0,000	0,000
AE (NaOH-Na2S)	0,001	0,007	0,000	0,000
SULFATO DE MAGNESIO	1,42E-04	0,002	0,000	0,000
TOTAL	1,000	11,662	1,000	0,030

Nota: En esta tabla se muestra las corrientes de entrada del proceso de lavado. Tomado de: Elaboración propia.

A la salida del proceso se retira en su totalidad las sales presentes en la corriente, obteniendo una corriente conformada en su mayoría por celulosa y agua, tal como se muestra en la Tabla 34.

Tabla 34.

Balance de masa de las corrientes de salida para el proceso de lavado.

	SALIDA			
	F18(kg/h)	0,037	F19 (kg/h)	11,655
	Fracción	Flujo (kg/h)	Fracción	Flujo (kg/h)
CELULOSA	0,000	0,000	0,486	5,661
HEMICELULOSA	0,000	0,000	0,033	0,379
AGUA	0,766	0,028	0,481	5,608
RESIDUOS	0,000	0,000	0,001	0,008
AE (NaOH-Na₂S)	0,189	0,007	0,000	0,0000
SULFATO DE MAGNESIO	0,045	0,002	0,000	0,000
TOTAL	1,000	0,037	1,000	11,655

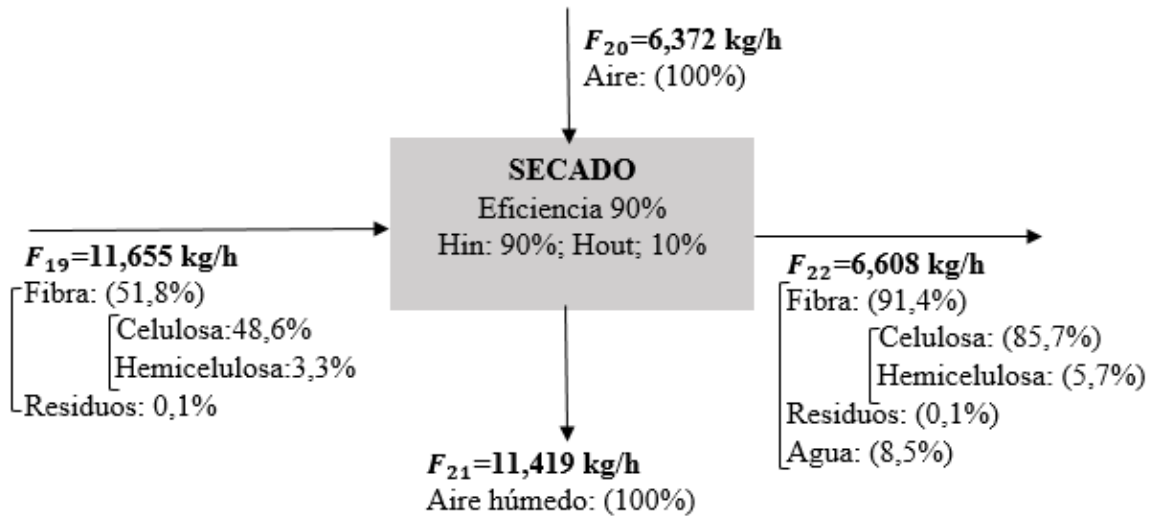
Nota: En esta tabla se muestran las corrientes de salida del proceso de lavado. Tomado de: Elaboración propia.

3.4.7. Secado

En este proceso ingresa aire con un flujo de 6,372 kg/h a 100°C para retirar la mayor cantidad de agua de la pulpa y se maneja una eficiencia del 90%. En la Figura 24 se muestra las corrientes de entrada y salida respectivas.

Figura 24.

Esquema del proceso de secado.



Nota: En este esquema se muestra el proceso de secado. Tomado de: Elaboración propia.

A continuación, se muestra en la Tabla 35 las propiedades fisicoquímicas del aire y del agua.

Tabla 35.

Propiedades del agua y aire del proceso de secado

Propiedad	COMPONENTE	
	Agua	Aire
Cp. (kJ/Kg*K)	3,8	1,006
Cp. (Kcal/Kg)	1	0,24
Densidad (Kg/m³)	998,2	1,222

Nota: En esta tabla se muestran las propiedades del aire y agua para el proceso de secado. Tomado de: Elaboración propia.

Para determinar el flujo requerido de aire, se debe hacer un análisis de la transferencia de calor a las condiciones de temperatura de las corrientes y sus propiedades físico-químicas respectivas, obteniendo un valor de calor necesario para secar el material de 0,053 kW, tal como se muestra en la Tabla 36.

Tabla 36.*Condiciones requeridas para proceso de secado*

AIRE PARA SECADO	
Flujo másico (kg/h)	11,655
Cp. (KJ/Kg*K)	0,3
T in (°C)	100
T out (°C)	45
Delta T (°C)	55
Calor del material a secar (KJ/h)	192,314
Calor del material a secar(kW)	0,053

Nota: En esta tabla se muestran las condiciones requeridas del proceso de secado. Tomado de: Elaboración propia.

Para este proceso se manejará un flujo de aire de 6,372 kg/h, calculado a partir del calor requerido para su secado, como se muestra en la Tabla 37.

Tabla 37.*Condiciones de operación del aire en el secador*

AIRE	
Q (KJ/h)	192,314
Cp (KJ/Kg*K)	1,006
Delta T (°C)	30
Flujo másico (kg/h)	6,372219701
Flujo volumetrico (m³/h)	7,786852474

Nota: En esta tabla se muestran las condiciones de operación del aire en el secador. Tomado de: Elaboración propia.

Para este proceso de secado se implementa un tambor rotatorio, con las especificaciones descritas en la Tabla 38, las cuales serán parámetros importantes para la composición final de las corrientes.

Tabla 38.*Especificaciones del secador*

TAMBOR ROTATORIO	
Especificaciones	
Eficiencia	(88-97,5)%
% humedad inicial	< 90%
% humedad final	(8-12%)

Nota: En esta tabla se muestra las especificaciones del secador. Tomado de: Elaboración propia.

Finalmente, se obtiene las corrientes globales del proceso, como se evidencia en la Tabla 39, con una humedad final de la fibra del 10%.

Tabla 39.*Balance de masa de las corrientes de entrada y salida para el proceso de secado.*

	ENTRADA				SALIDA			
	F19 (kg/h)	11,655	F20 (kg/h)	6,372	F21 (kg/h)	11,419	F22 (kg/h)	6,608
	Fracción	Flujo (kg/h)	Fracción	Flujo (kg/h)	Fracción	Flujo (kg/h)	Fracción	Flujo (kg/h)
CELULOSA	0,486	5,661	0,000	0,000	0,000	0,000	0,857	5,661
HEMICELULOSA	0,033	0,379	0,000	0,000	0,000	0,000	0,057	0,379
AGUA	0,481	5,608	0,000	0,000	0,000	0,000	0,085	0,561
AIRE	0,000	0,000	1,000	6,372	0,000	0,000	0,000	0,000
AIRE HÚMEDO	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	11,419	0,000	0,000
RESIDUOS	0,001	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,008
TOTAL	1,000	11,655	1,000	6,372	1,000	11,419	1,000	6,608

Nota: En esta tabla se evidencia las corrientes de entrada y salida del proceso de secado. Tomado de: Elaboración propia.

3.4.7.a. Calentador: Previo al secado, se debe acondicionar la corriente de aire mediante un calentador usando como servicio aire caliente para que permita la entrada de aire en el secado a las condiciones establecidas en esta etapa, para esto se debe tener en cuenta las propiedades de ambos fluidos (aire frio y aire caliente), que se proporcionan en la Tabla 40.

en cuenta estas propiedades y las condiciones de temperatura de entrada y salida para ambos fluidos, se determina el calor requerido para llevar a cabo el proceso, el cual es de $350 \frac{W}{h}$ aproximadamente, con un área de transferencia de $0,054m^2$, como se muestra en la Tabla 41.

Tabla 40.

Propiedades fisicoquímicas del aire

Componente	Propiedades Químicas	
	Cp. (J/Kg*K)	Densidad (kg/m ³)
Aire frio	1,006	1,222
Aire Caliente	0,3	0,8345
U (W/m ² *K)	50	

Nota: En esta tabla se muestra las propiedades fisicoquímicas del aire. Tomado de: Elaboración propia.

Tabla 41.

Condiciones de operación del calentador

Calentador		
Condiciones	Aire frio	Aire Caliente
T entrada (°C)	38	200
T salida (°C)	200	100
T ₁ (°C)	162	
T ₂ (°C)	100	
T Lmdt (°C)	129	
Flujo másico (kg/h)	0,5608	11,6554
Calor (W/h)	349,6611	
Área (m ²)	0,0544	

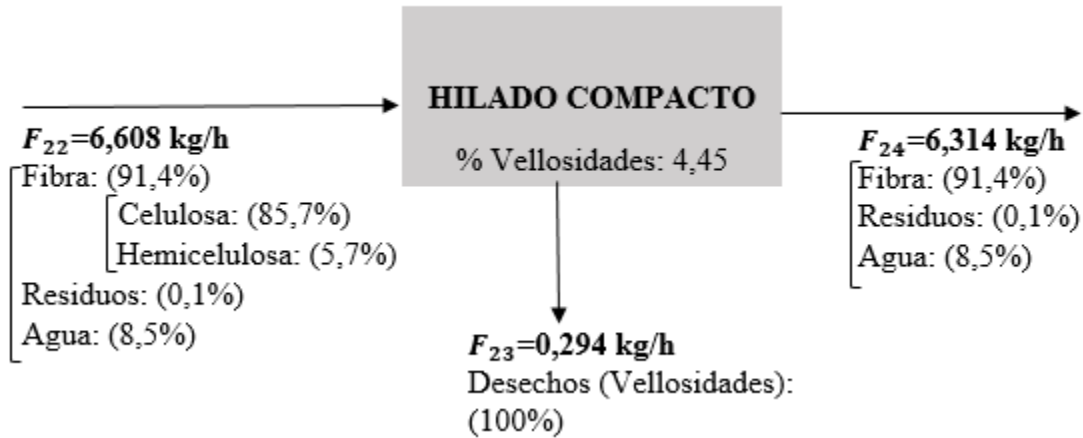
Nota: En esta tabla se muestra las condiciones de operación del calentador. Tomado de: Elaboración propia.

3.4.8. Hilado

Para el hilado, las corrientes de entrada y salida del proceso se especifican en la Figura 25.

Figura 25.

Esquema del proceso de hilado.



Nota: En este esquema se muestra el proceso de digestión alcalina. Tomado de: Elaboración propia.

En este proceso se logra la eliminación de 4,45% de fibra, la cual hace referencia a las vellosidades presentes, las corrientes globales de esta etapa se muestran en la Tabla 42.

Tabla 42.

Balace de masa de las corrientes de entrada y salida para el proceso de hilado.

	ENTRADA		SALIDA			
	F22(kg/h)	6,608	F23(kg/h)	0,294	F24 (kg/h)	6,314
	Fracción	Flujo (kg/h)	Fracción	Flujo (kg/h)	Fracción	Flujo (kg/h)
FIBRA	0,914	6,040	0,000	0,000	0,914	5,771
AGUA	0,085	0,561	0,000	0,000	0,085	0,536
RESIDUOS	1,14E-03	0,008	0,000	0,000	1,14E-03	0,007
DESECHOS (Vellosidades)	0,000	0,000	1,000	0,294	0,000	0,000
TOTAL	1,000	6,608	1,000	0,294	1,000	6,314

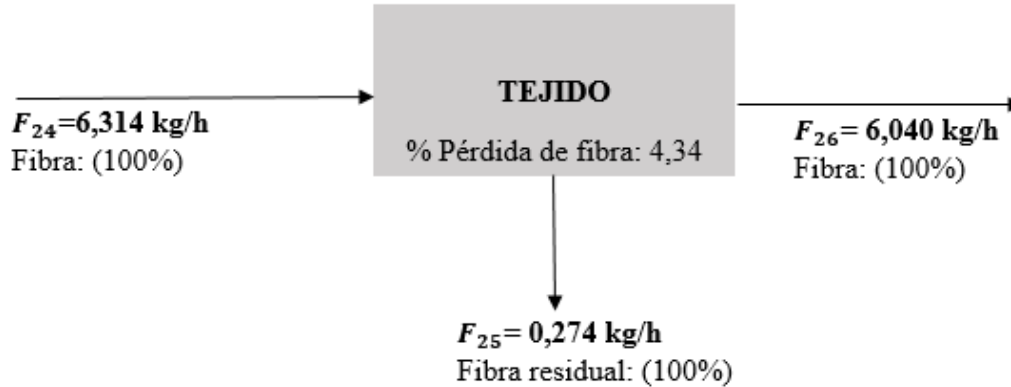
Nota: En esta tabla se evidencia las corrientes de entrada y salida del proceso de hilado. Tomado de: Elaboración propia.

3.4.9. Tejido

Las corrientes de entrada y salida para el proceso de Tejido se representan en la Figura 26.

Figura 26.

Esquema del proceso de tejido.



Nota: En este esquema se muestra el proceso de tejido. Tomado de: Elaboración propia.

En este proceso se obtiene un % de pérdida de fibra del 4,34%, cuya corriente es identificada como “otros”, consiguiendo unos flujos y fracciones totales como se muestra en la Tabla 43.

Tabla 43.

Balace de masa de las corrientes de entrada y salida para el proceso de tejido.

	ENTRADA		SALIDA			
	F24(kg/h)	6,314	F25(kg/h)	0,274	F26 (kg/h)	6,040
	Fracción	Flujo (kg/h)	Fracción	Flujo (kg/h)	Fracción	Flujo (kg/h)
FIBRA	1,000	6,314	0,000	0,000	1,000	6,040
OTROS	0,000	0,000	1,000	0,274	0,000	0,000
TOTAL	1,000	6,314	1,000	0,274	1,000	6,040

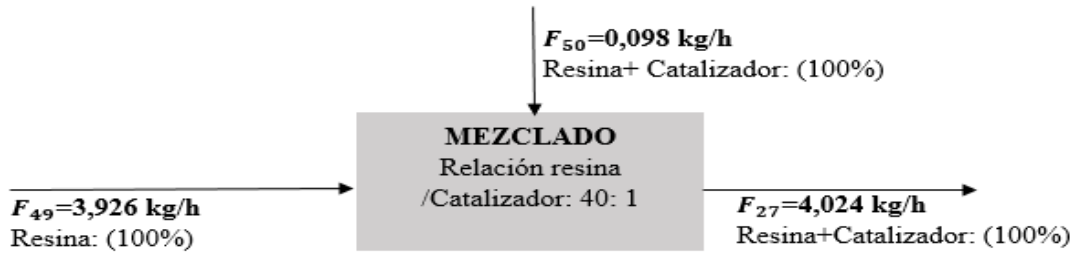
Nota: En esta tabla se muestra las corrientes de entrada y salida del proceso de tejido. Tomado de: Elaboración propia.

3.4.10. Mezclado de Resina

Para el mezclado de la resina DERAKANE 8084, se hace en conjunto con el catalizador en una relación de 40:1, según especificaciones dadas del proveedor Ashland; en la Figura 27 se muestra las corrientes de entrada y salida respectivas.

Figura 27.

Esquema de proceso de mezclado de resina.



Nota: En este esquema se muestra el proceso de mezclado de resina. Tomado de: Elaboración propia.

El balance de masa de las corrientes de entrada y salida son representadas en la Tabla 44. La corriente de mezcla de salida tiene una composición de 97% de resina y 3% de catalizador.

Tabla 44.

Balance de masa de las corrientes de entrada y salida para el proceso de mezclado de resina

	ENTRADA				SALIDA	
	F49(kg/h)	3,926	F50(kg/h)	0,098	F27(kg/h)	4,024
	Fracción	Flujo (kg/h)	Fracción	Flujo (kg/h)	Fracción	Flujo (kg/h)
RESINA	1,000	3,926	0,000	0,000	0,000	0,000
CATALIZADOR	0,000	0,000	1,000	0,098	0,000	0,000
RESINA+ CATALIZADOR	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	4,024
TOTAL	1,000	3,926	1,000	0,098	1,000	4,024

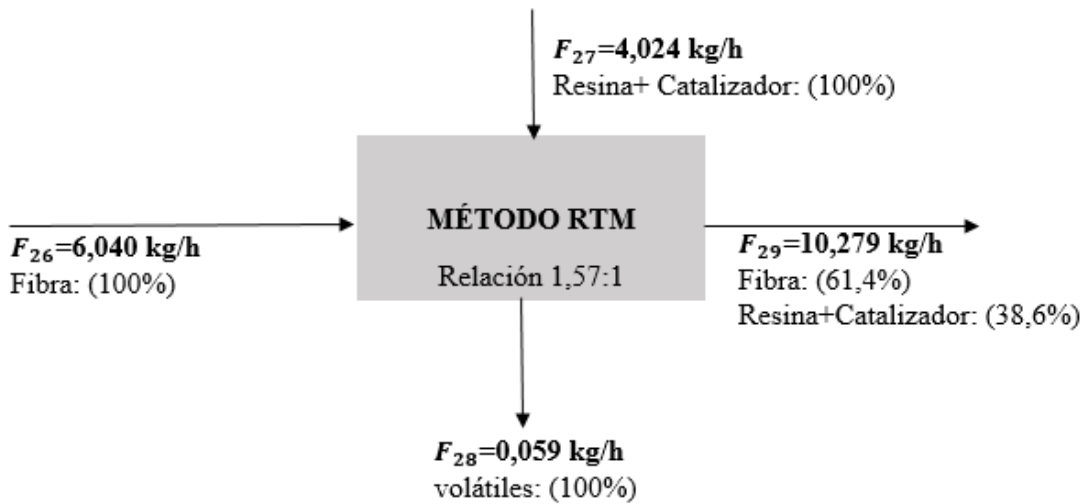
Nota: En esta tabla se muestran las corrientes de entrada y salida del proceso de mezclado de resina. Tomado de: Elaboración propia.

3.4.11. Método RTM

Para el método RTM ingresa “Resina+Catalizador” y fibra de Bambú en una relación de 1,57 :1, las pérdidas ocasionadas en el proceso hacen referencia a la fracción de los componentes que se volatilizan en el proceso, en la Figura 28 se presenta las corrientes de entrada y salida del proceso.

Figura 28.

Esquema del proceso RTM



Nota: En esta figura se muestra las corrientes de entrada y salida del proceso RTM. Tomado: Elaboración propia.

A la salida del proceso se obtiene una corriente denominada volátiles que corresponde a la resina y catalizador con un porcentaje respecto a la corriente total de 0,57% (0,55% resina y 0,02% catalizador), en la Tabla 45 se especifica el valor de cada corriente de entrada y salida respectiva.

Tabla 45.

Balance de masa de las corrientes de entrada y salida para el proceso de metodo RTM.

	ENTRADA				SALIDA			
	F26 (kg/h)	6,314	F27 (kg/h)	4,024	F28 (kg/h)	0,059	F29 (kg/h)	10,279
	Fracción	Flujo (kg/h)	Fracción	Flujo (kg/h)	Fracción	Flujo (kg/h)	Fracción	Flujo (kg/h)
FIBRA	1,000	6,314	0,000	0,000	0,000	0,000	0,614	6,314
RESINA+ CATALIZADOR	0,000	0,000	0,976	4,024	0,000	0,000	0,386	3,965
VOLÁTILES	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,059	0,000	0,000
TOTAL	1,000	6,314	0,976	4,024	1,000	0,059	1,000	10,279

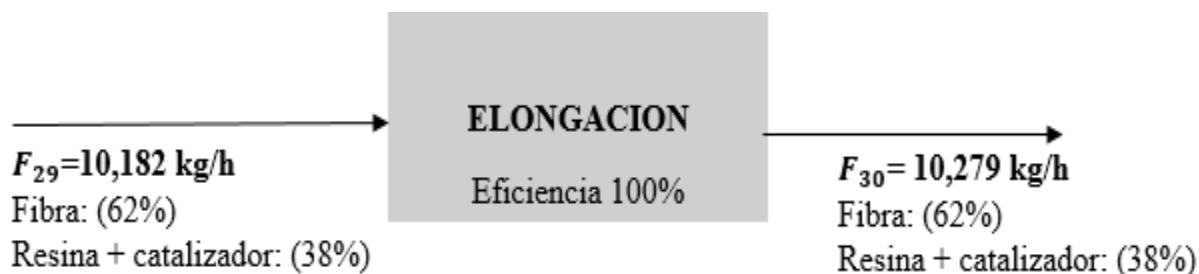
Nota: En esta tabla se representa el balance de masa de las corrientes de entrada y salida para el proceso de metodo RTM. Tomado de: Elaboración propia.

3.4.12. Elongación

Para el proceso de elongación, dado que se trata de un proceso mecánico, se establece un supuesto de que no se generan pérdidas de ningún tipo, ya que en este tipo de procesos no hay una perdida significativa. El esquema de esta etapa se muestra en la Figura 29.

Figura 29.

Esquema proceso elongación



Nota: En esta figura se muestra el esquema de proceso de elongación. Tomado de: Elaboración propia.

El balance de masa del proceso de elongación es descrito en la Tabla 46 con los flujos equivalentes.

Tabla 46.
Balance de masa proceso de elongación

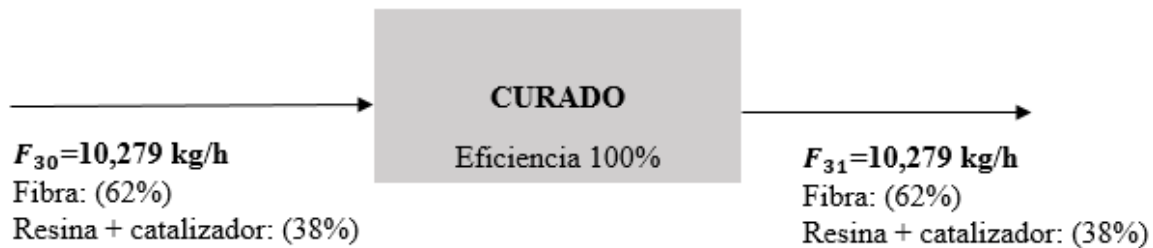
	ENTRADA		SALIDA	
	F29(kg/h)	10,182	F30(kg/h)	10,182
	Fracción	Flujo (kg/h)	Fracción	Flujo (kg/h)
FIBRA	0,620	6,314	0,620	6,314
RESINA+ CATALIZADOR	0,380	3,868	0,380	3,868
TOTAL	1,000	10,182	1,000	10,182

Nota: En esta tabla se muestra el balance de masa para el proceso de elongación. Tomado de: Elaboración propia.

3.4.13. Curado

En el proceso de Curado al igual que la elongación, se generan pérdidas de volátiles mínimas, con un bajo contenido energético, por tal motivo se supone una eficiencia del 100%, estas corrientes son representadas en la Figura 30.

Figura 30.
Esquema de proceso de Curado



Nota: En esta figura se muestra el esquema de proceso de curado. Tomado de: Elaboración propia.

A continuación, se presenta en la Tabla 47 los flujos máxicos y fracciones totales de los componentes en cada corriente para el proceso de curado.

Tabla 47.

Balance de masa proceso de Curado

	ENTRADA		SALIDA	
	F30(kg/h)	10,182	F31(kg/h)	10,182
	Fracción	Flujo (kg/h)	Fracción	Flujo (kg/h)
FIBRA	0,620	6,314	0,620	6,314
RESINA+ CATALIZADOR	0,380	3,868	0,380	3,868
TOTAL	1,000	10,182	1,000	10,182

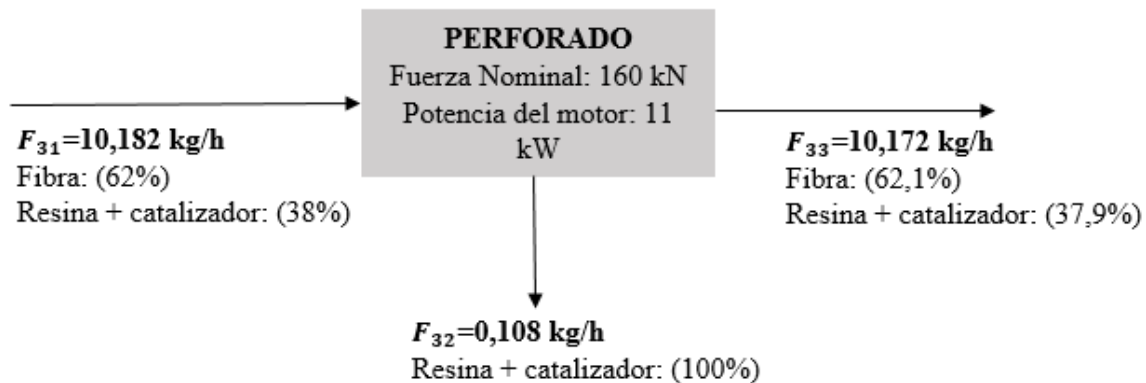
Nota: En esta tabla se muestra el balance de masa para el proceso de elongación. Tomado de: Elaboración propia.

3.4.14. Perforado

En el perforado, se busca obtener una malla con las especificaciones solicitadas, en cuando a la obtención de la malla, en el cual se obtiene una corriente de salida que corresponde a la resina y catalizador. En la Figura 31 se observa el esquema correspondiente.

Figura 31.

Esquema del proceso perforado



Nota: En esta figura se observa el esquema de proceso perforado. Tomado de: Elaboración propia.

En la Tabla 48 se muestran las composiciones de la corriente de entrada y salida del proceso respectivo.

Tabla 48.

Balance de masa del proceso perforado

	ENTRADA		SALIDA			
	F31(kg/h)	10,182	F32(kg/h)	0,059	F33 (kg/h)	10,123
	Fracción	Flujo (kg/h)	Fracción	Flujo (kg/h)	Fracción	Flujo (kg/h)
FIBRA	0,620	6,314	0,000	0,000	0,624	6,314
RESINA+ CATALIZADOR	0,380	3,868	1,000	0,059	0,376	3,809
TOTAL	1,000	10,182	1,000	0,059	1,000	10,123

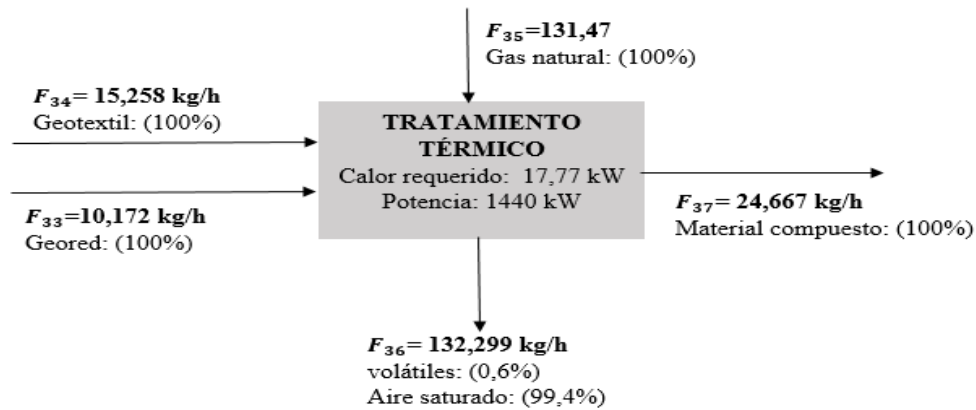
Nota: En esta tabla se muestra el balance de masa para el proceso perforado. Tomado de: Elaboración propia.

3.4.15. Tratamiento térmico

El tratamiento térmico involucra la adición de una fuente de alimentación (gas natural), que proporcione el calor requerido para permitir la unión del material para de este modo generar el material compuesto, las corrientes de entrada y salida se especifican en la Figura 32.

Figura 32.

Esquema de proceso del tratamiento térmico



Nota: En esta figura se muestra las corrientes generales del proceso del tratamiento térmico. Tomado de: Elaboración propia.

Para el cálculo del flujo de entrada de gas natural, se tuvo en cuenta el flujo másico requerido a calentar, las propiedades fisicoquímicas del gas natural representado en la Tabla 49 y las condiciones de operación a la cual ocurre el proceso para un total de calor requerido (kW) de 18 aproximadamente, como se presenta en la Tabla 50. Obteniendo un valor de flujo de entrada de 131,47 kg/h con una potencia de 1400 kW.

Tabla 49.

Propiedades fisicoquímicas del gas natural

Propiedad	COMPONENTE
	Gas natural
Cp. (KJ/Kg*K)	2,254
Cp. (Kcal/Kg)	0,538
Densidad (Kg/m ³)	743

Nota: En esta tabla se muestra las propiedades fisicoquímicas del gas natural. Tomado de: Elaboración propia.

Tabla 50.

Condiciones de operación Gas natural

GAS NATURAL	
Flujo másico (kg/h)	131,466
Cp. (KJ/Kg*K)	2,254
T in (°C)	400
T out (°C)	200
Delta T (°C)	200
Calor (KJ/h)	59256,910
Calor (kW)	17,777

Nota: En esta tabla se muestra las condiciones de operación del gas natural. Tomado de: Elaboración propia.

Además de los anterior, para la corriente de ingreso del geotextil se considera la relación en peso que se tiene del mismo con el Geodrén siendo este del 66% para el geotextil y el 44% para este último respectivamente. De este modo se obtiene las corrientes finales de entrada y salida del proceso como se representa a continuación en la Tabla 51.

Tabla 51.

Balace de masa para el proceso de tratamiento térmico

	ENTRADA						SALIDA			
	F33(kg/h)	10,172	F34(kg/h)	15,258	F35(kg/h)	131,47	F36(kg/h)	132,229	F37 (kg/h)	24,667
	Fracción	Flujo (kg/h)	Fracción	Flujo (kg/h)	Fracción	Flujo (kg/h)	Fracción	Flujo (kg/h)	Fracción	Flujo (kg/h)
Malla (fibra)	1,000	10,172	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Geotextil	0,000	0,000	1,000	15,258	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Gas natural	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	131,47	0,000	0,000	0,000	0,000
Material compuesto	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	24,667
Aire saturado	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,994	131,466	0,000	0,000
Volátiles	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006	0,763	0,000	0,000
TOTAL	1,000	10,172	1,000	15,258	1,000	131,47	0,000	132,229	1,000	24,667

Nota: En esta tabla se muestra el balance de masa para el proceso del tratamiento térmico. Tomado de: Elaboración propia

3.5. Equipos

Vinculando el concepto del flujo másico de cada corriente para cada etapa de proceso, se establecen los equipos adecuados que suplan los requerimientos exigidos para cada secuencia junto con las condiciones de operación y otros parámetros específicos de cada etapa, además, es muy importante considerar como parámetros principales la temperatura y la presión de diseño de cada equipo ya que definirá las condiciones de operación de los mismos y así poder establecer una margen para efectos de seguridad. En la Tabla 52, se muestra de manera detallada los equipos implementados para la obtención del Geodrén, con las especificaciones más relevantes en el diseño de proceso.

Tabla 52.

Equipos para la elaboración del Geocompuesto

Ref.	EQUIPO	ESPECIFICACIONES
C-001	 <p>Airhorse 艾特压缩機 AHB10A 100L AIR COMPRESSOR</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✚ Equipo: Compresor aire seco y limpio ✚ Modelo: AHB-10A ✚ Presión de trabajo (Bar): 7-12 ✚ Aire Libre entregar/ ✚ La presión de descarga(M3/min/MPa): 1,2/0,7. ✚ Temperatura de descarga (° C): Temperatura ambiente + 15 °C
E-001	 <p>luomeiele.en.alibaba.com</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✚ Equipo: Calentador de aire ✚ Modelo:1075/1575 ✚ Potencia Calentamiento: 5W ✚ Max flujo de aire: 18m3/min ✚ Max temperatura de salida: 350°C

Tabla 52.

Continuación

Ref.	EQUIPO	ESPECIFICACIONES
T-001 ^a		<ul style="list-style-type: none"> ✚ Equipo: Tanque almacenamiento de agua ✚ Capacidad: 150L ✚ Material: Polietileno.
S-001		<ul style="list-style-type: none"> ✚ Equipo: Extractor ✚ Modelo: ZGM-4401 ✚ Capacidad: 2 Ton/h ✚ Diámetro exterior del tambor de la hoja: 440mm ✚ Potencia del Motor: 7,5 kW.
T-003		<ul style="list-style-type: none"> ✚ Equipo: Lavador ✚ Modelo: MG-W30 ✚ Energía (W): 1100 ✚ Poder: 1.1 kW ✚ Capacidad de: 30kg ✚ Tensión de: 220v/380v ✚ El consumo de agua: 420kg ✚ Velocidad: 36r/min

Tabla 52.

Continuación

Ref.	EQUIPO	ESPECIFICACIONES
R-001		<ul style="list-style-type: none"> ✚ Equipo: Digestor Esférico Rotatorio ✚ Voltaje: 220 V/380 V ✚ Temperatura de diseño (°C): 200 ✚ Presión de diseño (MPa): 0,88 ✚ Volumen (m³): 25 ✚ Diámetro (mm): 3650. ✚ Velocidad de rotación de la esfera (r/min): 0,48
R-002		<ul style="list-style-type: none"> ✚ Equipo: Blanqueador de pulpa ✚ Modelo: -OH-300-4 ✚ Número de tubos: 4 ✚ Potencia de instalación: 34 kW ✚ Potencia bomba principal: 18,5 kW ✚ Carga: 1200 kg ✚ Capacidad: 2 ton/h
D-001		<ul style="list-style-type: none"> ✚ Equipo: Secador tambor rotatorio ✚ Modelo: 800X8000mm ✚ Energía (kW): 5,5-75 ✚ Capacidad de equipo de secado de fibra: 500-15000 kg/h ✚ Salida de la humedad: 8-12% ✚ Entrada de humedad: <90%

Tabla 52.*Continuación*


Ref.	EQUIPO	ESPECIFICACIONES
MD-002		<ul style="list-style-type: none"> ✚ Equipo: Mezclador ✚ Modelo: 500L ✚ Capacidad de cargamento máxima:5000L ✚ Max de carga volumen (L):5000 ✚ De la potencia (kW): 2,2 ✚ Presión de trabajo (MPa): ≤ 0,09 MPa (presión atmosférica) ✚ Temperatura de trabajo: <160°C ✚ Velocidad de mezclado: 36 r/min
A-001		<ul style="list-style-type: none"> ✚ Equipo: Hilador ✚ Número de Modelo: SR-CSJ ✚ Peso:750 kg ✚ Energía (W):700 ✚ Método de giro: Anillo giratorio

Tabla 52.

Continuación

Ref.	EQUIPO	ESPECIFICACIONES
A-002		<ul style="list-style-type: none"> ✚ Equipo: Tejedor ✚ Modelo: SROA ✚ Capacidad de producción: 300-400 kg/día ✚ Potencia (kW): 9 ✚ Velocidad:200-480rpm ✚ Las agujas: Una barra de aguja
A-003		<ul style="list-style-type: none"> ✚ Equipo: Molde Método RTM ✚ Molde material: P20/718/738/NAK80/S136. ✚ Máquina: De inyección ✚ Vida del molde: 250000-300000shots. ✚ Material plástico: ABS/PP/PS/PE/PVC/PA6/PA66.
A-004		<ul style="list-style-type: none"> ✚ Equipo: Estiradora ✚ Número de Modelo: TX-LW 1111 ✚ Max Marco de tamaño: 1100x1100mm ✚ Cilindros:4 Pcs ✚ Max tensión: 5-30 N/cm(S) 30-35 N/cm (D)

Tabla 52.

Continuación

Ref.	EQUIPO	ESPECIFICACIONES
K-001		<ul style="list-style-type: none"> ✚ Equipo: Curado ✚ Número de Modelo: UV-600 ✚ Tipo: UV máquina de secado. ✚ Energía (kW):6.75 ✚ Voltaje:380V ✚ Peso:260kg
A-005		<ul style="list-style-type: none"> ✚ Equipo: Perforadora ✚ Número de modelo: JL-160T ✚ Potencia del motor: 11kW. ✚ Peso: 5,5 Ton. ✚ Fuerza nominal (kN):160
T-005		<ul style="list-style-type: none"> ✚ Equipo: Tanque almacenamiento de gas ✚ Presión de diseño (MPa): 30. ✚ Temperatura de funcionamiento (°C):100 - 300 ✚ Presión de trabajo máxima (MPa):28. ✚ Capacidad (m³):10 ✚ Presión de funcionamiento (MPa):1

Nota: En esta tabla se muestra los equipos del proceso. Tomado de: Spanish Alibaba. <https://spanish.alibaba.com/> y Homecenter. <https://www.homecenter.com.co/>

En cuanto a la instrumentación, para la selección del tipo de bomba se tienen en cuenta: la naturaleza del líquido, el caudal requerido, los costos de operación y mantenimiento.

Como primer fluido se tiene el agua, este es un fluido newtoniano, en el proceso se encuentra a una temperatura entre 23°C a 73°C con una densidad que oscila de $997,62 \frac{kg}{m^3}$ a $958 \frac{kg}{m^3}$, en el cual se manejan caudales no superiores a $0,001 \frac{m^3}{h}$, por tal motivo se opta por una bomba centrífuga ya que suple estos requerimientos y la cabeza no supera los 30 metros, parámetro evaluado con los espacios y requerimientos de la empresa. Respecto al mantenimiento y su operación, es sencilla dado su composición estructural.

Para el transporte de resina, ya que se trata de un fluido viscoso con 350 centistokes (cSt) y una densidad de $1,14 \frac{g}{cm^3}$, se elige un tipo de bomba rotativa ya que ofrecen un alto rendimiento, además, este tipo de bombas manejan un amplio rango de caudal de hasta 700 gal/min y cabezas hasta 9,14 metros, dado que se necesitan bajos caudales de mezcla de resina con catalizador (0,02 gal/min) estas bombas son las más óptimas para el transporte de este tipo de fluidos.

En cuanto a las válvulas, para la línea de agua y resina se manejan válvulas de bola y como se debe tener un control sobre la adición de agua en cada etapa con una relación específica, se instalan válvulas de control de flujo, adicionalmente, para la línea de aire seco se opta por válvulas de control de accionamiento neumático.

En vista de que se maneja caudales no superiores a $0,1 \frac{gal}{min}$, se tiene un Cv ubicado en un rango de 0,001-0,00023, por tal motivo el % de apertura debe ser el mínimo de 10% con un diámetro nominal de $\frac{1}{2}$ in. En la Tabla 53, se muestran esta instrumentación, teniendo en cuenta las especificaciones más importantes.

Tabla 53.

Bombas y válvulas en el proceso

EQUIPO	ESPECIFICACIONES
	<ul style="list-style-type: none"> + Equipo: Bomba Centrífuga + Aplicación: Suministro de agua + Máximo de la cabeza: 14,5 m. + Flujo máximo: 1000L/min. + Max de succión: 9m.
	<ul style="list-style-type: none"> + Equipo: Bomba Rotativa + Temperatura máxima(°C): 200 + Viscosidad máxima: 2500 C.S.T/3 × 106 C.S.T (aislamiento térmico) + Potencia del Motor (kW): 90 + Máxima Presión (MPa): 6 + Flujo: 0,2-94 m3/h
	<ul style="list-style-type: none"> + Número de Modelo: ZAZP + Diámetro: ½ in + Temperatura de los medios: Media. + Estructura: Control + Potencia: Neumático + Presión Nominal PN (MPa): 1,6, 2,5, 4,0, 6,3, 10,0. + Presión: vacío, baja presión, alta presión, presión media

Tabla 53.

Continuación

EQUIPO	ESPECIFICACIONES
	<ul style="list-style-type: none"> ✚ Equipo: Válvula de control neumática. ✚ Número de Modelo: 4A210-08 ✚ Uso: General ✚ Temperatura de los medios: Media ✚ Presión de fluido: 0,15 - 0.8MPa
	<ul style="list-style-type: none"> ✚ Equipo: Válvula de bola ✚ Número de Modelo: J2033 ✚ Uso: General ✚ Temperatura de los medios: alta, baja temperatura y media ✚ Medio: Agua, líquido sin causticidad, vapor saturado. ✚ Presión máxima (MPa): 1.6
	<ul style="list-style-type: none"> ✚ Diámetro: ½ in ✚ Nominal de presión (MPa): 1,6 ✚ Medio de trabajo: Agua, líquido sin causalidad, vapor saturado ✚ Temperatura de trabajo: 20°C ≤ T ≤ 100°C

Nota: En esta tabla de muestra las bombas y válvulas del proceso. Tomado de: Spanish Alibaba. <https://spanish.alibaba.com/>

Para el dimensionamiento de los equipos se tiene en cuenta el caudal requerido en cada etapa, frente al mercado actual, tal como se aprecia en la Tabla 54.

Tabla 54.
Dimensionamiento de equipos

Equipo	Ref.	Caudal (m ³ /h)	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)	Diámetro	Volumen (m ³)
Compresor de aire seco y limpio	C-001	4,996	0,009	0,007	0,010	0,010	6,027 E-7
Calentador de aire	E-001	4,996	0,705	0,420	0,450	-	0,130
Tanque de almacenamiento agua	T-001 A	0,001	-	0,660	0,920	0,460	0,150
Bodega de almacenamiento troncos de Bambú	B-001	0,050	3,000	2,500	2,500	-	18,750
Separador Mecánico	S-001	-	3,100	1,250	1,310	2,220	5,080
Bomba	P-001	60,000	-	-	-	-	-
Tanque de lavado	T-002	0,001	1,520	1,100	1,300	1,460	2,170
Reactor de digestión alcalina	R-001	0,028	-	-	-	3,610	25,000
Tanque de lavado	T-003	3,62E-05	1,520	1,100	1,300	1,460	2,170
Reactor de blanqueo	R-002	0,034	3,500	5,400	3,400	4,910	64,260
Tanque de lavado	T-004	3,02E-05	1,520	1,100	1,300	1,460	2,170
Secador de fibra	D-001	0,036	8,000	-	-	0,600	2,260
Mezclado de resina	MD-001	0,004	1,500	1,000	1,130	1,380	1,700
Hilado mecánico	H-001	0,010	1,000	0,800	1,600	-	1,280
Tejido mecánico	A-001	0,009	7,300	1,700	2,500	-	31,030
Bomba	B-002	0,300	-	-	-	-	-
Método RTM	A-002	0,009	1,000	3,000	0,500	-	1,500
Elongación	A-003	0,009	5,000	2,000	4,500	-	45,000
Ventilador de curado de resina	K-001	0,009	2,000	1,500	1,540	1,950	4,620
Perforado de resina	A-004	-	6,000	2,000	2,450	-	29,400
Tanque de almacenamiento de residuo de resina	T-005	0,000	0,810	0,810	1,100	1,380	0,720
Tanque de gas natural	T-006	0,177		1,400	5,980	1,010	10,000

Tabla 54.*Continuación*

Equipo	Ref.	Caudal (m ³ /h)	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)	Diámetro	Volumen (m ³)
Equipo Geodrén para tratamiento térmico	A-005	-	6,000	3,000	2,500	-	45,000
Bodega de almacenamiento de material compuesto	B-002	-	10,000	12,500	3,500	-	437,500

Nota: en esta tabla se evidencian las dimensiones de los equipos a implementar en el proceso de elaboración del material compuesto. Tomado de: Elaboración propia

3.6. Condiciones de Operación

Las condiciones de operación fueron establecidas según los requerimientos de cada etapa, en la Tabla 55 se muestra estas condiciones de temperatura y presión para cada proceso

Tabla 55.*Condiciones de operación del proceso*

ETAPA DE PROCESO	CONDICIONES DE OPERACIÓN	
	TEMPERATURA (°C)	PRESIÓN (kPa)
Extracción Fibra de Guadua	23	101,6
Lavado	23	101,6
Digestión Alcalina	175	700
Lavado	20	74,6
Blanqueo	180	260
Lavado	20	74,6
Secado	100	550
Hilado Compacto	120	500
Tejido	100	500
Mezclador de Resina	80	345
Método RTM	80	345
Elongación	90	345

Tabla 55.

Continuación

ETAPA DEL PROCESO	TEMPERATURA (°C)	PRESIÓN (kPa)
Curado de Resina	99	300
Perforado	99	700
Tratamiento Térmico	500	345

Nota: En esta tabla se muestra las condiciones de operación del proceso. Tomado de:
Elaboración propia.

3.7. Diagrama PFD

El Diagrama PFD especifica cada corriente, su flujo y composición respectiva. Asimismo, se describe para cada equipo los parámetros más importantes en cuanto al dimensionamiento, de la igual manera está constituida por el balance de masa, donde para cada corriente es caracterizada por su temperatura, presión, densidad, flujo másico total y por componentes. En la figura 33 se evidencia el diagrama de flujo (PFD), y en la figura 34 se presenta el balance de masa respectivo del proceso. También se puede ver en el Anexo 2.

Figura 33.

Diagrama PFD

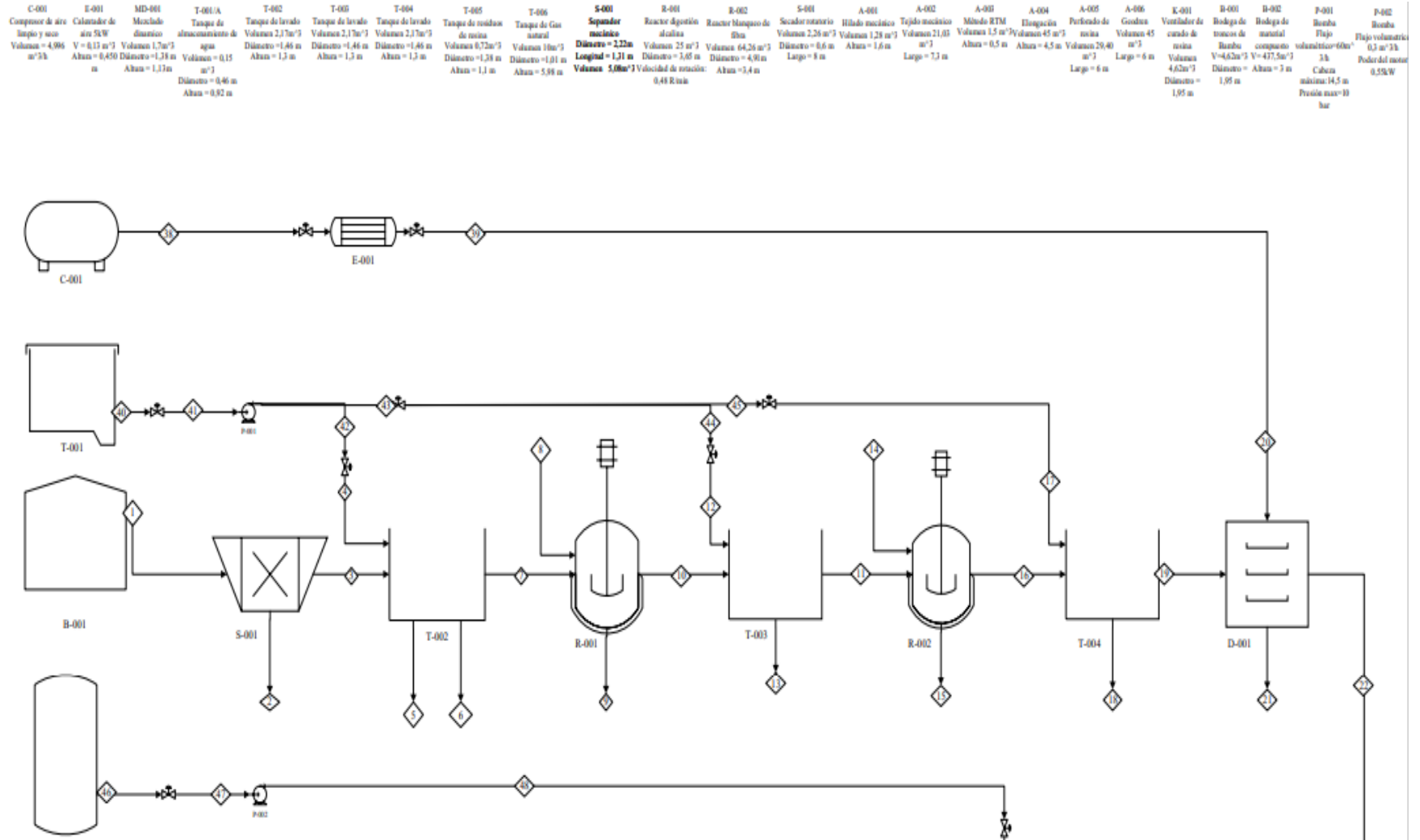
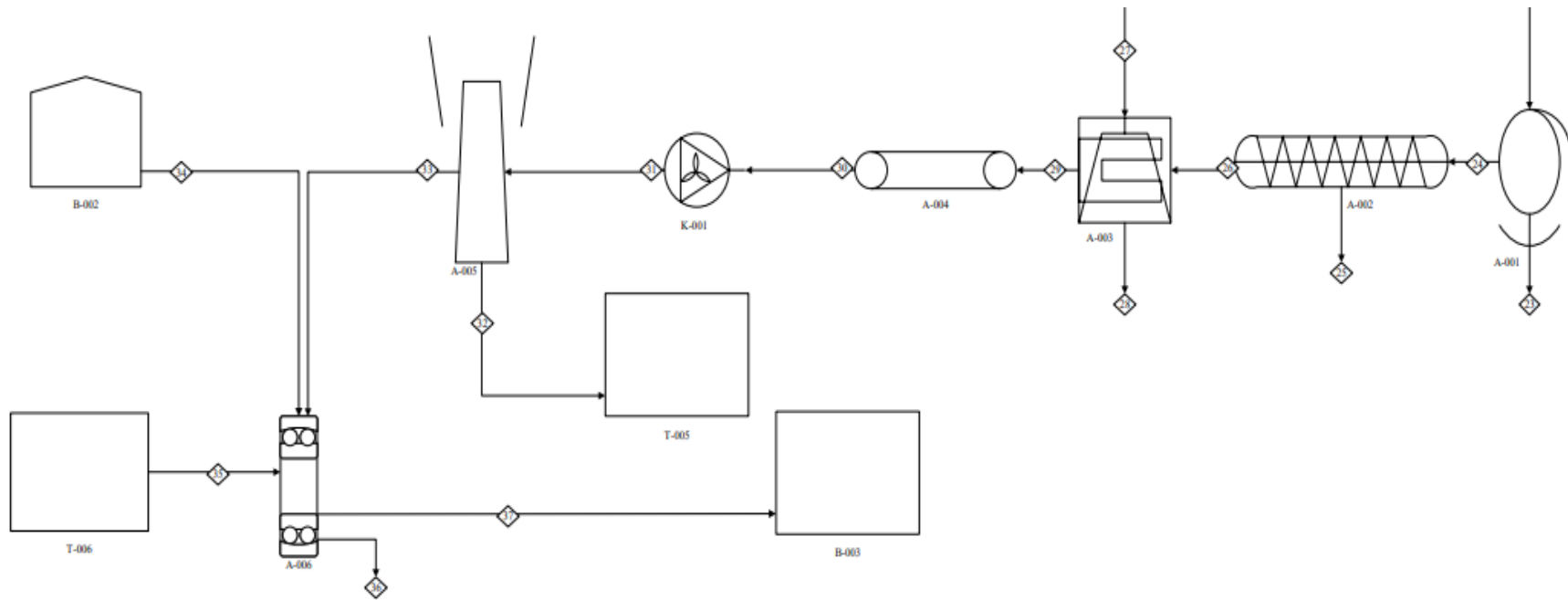


Figura 33.

Continuación



Nota: Esta figura presenta el diagrama PFD con cada una de las etapas de proceso. Tomado de: Elaboración propia

Figura 34.

Balance de masa

Componente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
Troncos de Bambú	25,137	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Corteza	0,000	15,082	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fibra de Bambú	Celulosa	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	5,661	5,661	0,000	0,000	0,000	0,000	5,661	0,000	0,000	5,661	0,000	0,000	5,661	0,000	0,000	0,000	0,000
	Lignina	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,025	0,025	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Hemicelulosa	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,546	0,546	0,000	0,000	0,000	0,000	0,379	0,000	0,000	0,379	0,000	0,000	0,379	0,000	0,000	0,000
	Total	0,000	0,000	10,055	0,000	0,000	0,000	8,708	0,000	0,001	6,232	6,232	0,000	0,000	0,000	6,040	0,000	0,000	6,040	0,000	0,000	6,040	0,000	0,000	5,771	0,000
Agua	0,000	0,000	0,000	1,299	0,000	1,212	1,063	25,197	22,677	3,613	3,615	0,036	0,034	19,908	17,917	5,606	0,030	0,028	5,608	0,000	0,000	0,561	0,000	0,536	0,000	
AE	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	4,446	5,286	0,398	0,0997	0,000	0,298	0,000	0,093	0,007	0,000	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Sulfato de magnesio	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,033	0,032	0,002	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Residuos	0,000	0,000	0,000	0,000	0,364	0,000	0,007	0,000	0,000	0,008	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,008	0,000	0,000	0,008	0,000	0,000	0,008	0,000	0,007	0,000	
Biomasa convertida	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,474	0,010	0,000	0,000	0,010	0,000	0,191	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Resina	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Catalizador	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Resina + catalizador	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Aire seco	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	6,372	0,000	0,000	0,000	0,000	
Aire humedo	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	11,419	0,000	0,000	0,000	
volátiles	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Fibra Residual	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,274	
Geotextil	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Gas natural	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Aire saturado	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Material compuesto	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
vellosidades	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,294	0,000	
TOTAL	25,137	15,082	10,055	1,299	0,364	1,212	9,778	29,643	29,438	10,261	9,955	0,036	0,342	19,941	18,233	11,663	0,030	0,037	11,656	6,372	11,419	6,609	0,294	6,314	0,274	
Temperatura (°C)	23	23	23	23	23	23	23	23	175	175	174	23	174	23	73	73	23	72	72	200	45	117	100	100	100	
Presion (KPa)	101,6	101,6	101,6	101,6	101,6	101,6	74,6	74,6	700	700	74,6	74,6	74,6	74,6	260	260	74,6	259	259	600	379	379	500	500	500	
Densidad (Kg/m ³)	670	670	670	1000	2650	1000	695	1069,3	1078,95	751,82	766,16	1000	1810,48	1001,44	999,03	670,2	1000	1154,84	796,5	1227	1220	689,95	670	690	670	

Figura 34.

Continuación

Componente	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	
Troncos de Bambú	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Corteza	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Fibra de Bambú	Celulosa	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
	Lignina	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
	Hemicelulosa	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
	Total	6,040	0,000	0,000	6,314	6,314	6,314	0,000	6,314	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Agua	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,365	1,365	1,299	0,066	0,036	0,030	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
AE	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Sulfato de magnesio	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Residuos	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Biomasa convertida	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Resina	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,926	
Catalizador	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,098	
Resina + catalizador	0,000	4,024	0,000	3,965	3,965	3,965	0,108	3,857	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	4,024	4,024	4,024	0,000	
Aire seco	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	6,372	6,372	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Aire humedo	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
volatiles	0,000	0,000	0,059	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,764	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Fibra Residual	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Geotextil	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	15,258	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Gas natural	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	131,47	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Aire saturado	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	131,466	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Material compuesto	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	24,667	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
vellosidades	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
TOTAL	6,040	4,024	0,059	10,279	10,279	10,279	0,108	10,171	15,258	131,470	132,230	24,667	6,372	6,372	1,365	1,365	1,299	0,066	0,036	0,030	4,024	4,024	4,024	3,926	0,098	
Temperatura (°C)	100	80	80	80	99	99	99	99	175	400	200	50	38	200	23	23	23	23	23	23	23	80	80	80	80	
Presion (KPa)	500	345	345	345	297	297	696	696	300	300	300	300	600	600	74,6	74,6	74,6	74,6	74,6	74,6	345	345	345	345	345	
Densidad (Kg/m ³)	670	1140	1140	795	795	795	1140	793,01	950	743	743	885,93	1227	1227	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1140	1140	1140	1140	1140	

Nota: Esta figura presenta el balance de materia de cada una de las etapas del proceso. Tomado de: Elaboración propia

4. ANÁLISIS DE COSTOS DEL PROYECTO

Para conocer la viabilidad del proyecto se debe calcular los indicadores financieros (VPN, TIR, Rentabilidad y la Relación Costo/Beneficio). Para esto se debe tener en cuenta el plan de inversión, costos unitarios de materia prima e insumos, presupuestos y flujo de caja. A continuación, se muestra en detalle cada ítem.

4.1 Plan de Inversión

El plan de inversión se desarrolló teniendo en cuenta la maquinaria y equipo necesario para cada etapa de proceso, además se tuvo en cuenta el mobiliario y el capital de trabajo; estos datos fueron establecidos a partir del proceso y su finalidad respectiva, con el fin de obtener equipos adecuados que cumplan las exigencias y requerimientos del proceso según el mercado actual, obteniendo un valor de \$ 550.376.421, como se muestra en la Tabla 56.

Tabla 56.

Plan de Inversión proyecto

PLAN DE INVERSIÓN				
Maquinaria y Equipos para Extracción	Cantidad	Valor Unitario	Unidad	Valor total
Extractor de fibra	1	\$ 24.261.960	\$/Maquina	\$ 24.261.960
Valor total para Maquinaria y Equipos para extracción de fibra				\$ 24.261.960
Maquinaria y Equipos para lavado	Cantidad	Valor Unitario	Unidad	Valor total
Lavador	3	\$ 5.857.530	\$/Maquina	\$ 17.572.591
Valor total para Maquinaria y Equipos para lavado				\$ 17.572.591
Maquinaria y Equipos para digestión alcalina	Cantidad	Valor Unitario	Unidad	Valor total
Digestor	1	\$ 3.465.994	\$/Maquina	\$ 3.465.994
Valor total para Maquinaria y Equipos para Digestión alcalina				\$ 3.465.994

Tabla 56.*Continuación*

Maquinaria y Equipos para blanqueo	Cantidad	Valor Unitario	Unidad	Valor total
Blanqueador	1	\$ 69.319.886	\$/Maquina	\$ 69.319.886
Valor total para Maquinaria y Equipos para Blanqueador				\$ 69.319.886
Maquinaria y Equipos para Secado	Cantidad	Valor Unitario	Unidad	Valor total
Secador- Tambor rotatorio	1	\$ 41.591.932	\$/Maquina	\$ 41.591.932
Valor total para Maquinaria y Equipos para Secador				\$ 41.591.932
Maquinaria y Equipos para Hilado	Cantidad	Valor Unitario	Unidad	Valor total
Hilador	1	\$ 51.989.915	\$/Maquina	\$ 51.989.915
Valor total para Maquinaria y Equipos para hilado				\$ 51.989.915
Maquinaria y Equipos para Tejido	Cantidad	Valor Unitario	Unidad	Valor total
Tejedor	1	\$ 17.329.972	\$/Maquina	\$ 17.329.972
Valor total para Maquinaria y Equipos para Blanqueado				\$ 17.329.972
Maquinaria y Equipos para Método RTM	Cantidad	Valor Unitario	Unidad	Valor total
Método RTM	1	\$ 17.329.972	\$/Maquina	\$ 17.329.972
Mezclador de Resina	1	\$ 6.931.989	\$/Maquina	\$ 6.931.989
Valor total para Maquinaria y Equipos para Método RTM				\$ 24.261.960
Maquinaria y Equipos para elongación	Cantidad	Valor Unitario	Unidad	Valor total
Estirador	1	\$ 4.537.210	\$/Maquina	\$ 4.537.210
Valor total para Maquinaria y Equipos para estirado				\$ 4.537.210
Maquinaria y Equipos para Curado	Cantidad	Valor Unitario	Unidad	Valor total
Secador UV	1	\$ 5.198.991	\$/Maquina	\$ 5.198.991
Valor total para Maquinaria y Equipos para proceso de curado				\$ 5.198.991

Tabla 56.*Continuación*

Maquinaria y Equipos para Perforado	Cantidad	Valor Unitario	Unidad	Valor total
Perforador	1	\$ 51.989.914	\$/Maquina	\$ 51.989.914
Valor total para Maquinaria y Equipos para perforado				\$ 51.989.914
Intercambiadores de Calor	Cantidad	Valor Unitario	Unidad	Valor total
Calentador	1	\$ 1.732.997	\$/Maquina	\$ 1.732.997
Valor total para Intercambiadores de calor				\$ 1.732.997
Compresores	Cantidad	Valor Unitario	Unidad	Valor total
Compresor de aire	1	\$ 3.909.642	\$/Maquina	\$ 3.909.642
Valor total para compresores				\$ 3.909.642
Válvulas	Cantidad	Valor Unitario	Unidad	Valor total
Válvula de bola 1/2 "	1	\$ 34.313	\$/Maquina	\$ 34.313,35
Válvula de Control	4	\$ 1.047.048	\$/Maquina	\$ 4.188.193,44
Válvula de bola	2	\$ 3.455	\$/Maquina	\$ 6.910,52
Válvula de control de aire	2	\$ 34.901	\$/Maquina	\$ 69.802,00
Valor total para Maquinaria y Equipos para válvulas				\$ 4.299.219
Bombas	Cantidad	Valor Unitario	Unidad	Valor total
Bomba de Rotor	1	\$ 4.159.193	\$/Maquina	\$ 4.159.193
Bomba Centrífuga	1	\$ 135.174	\$/Maquina	\$ 135.174
Valor total para Maquinaria y Equipos para bombas				\$ 4.294.367
Zonas de almacenamiento	Cantidad	Valor Unitario	Unidad	Valor total
Tanque de almacenamiento de agua	1	\$ 122.900	\$/Maquina	\$ 122.900
Tanque de almacenamiento de gas	1	\$ 17.329.972	\$/Maquina	\$ 17.329.972
Valor total para Maquinaria y Equipos para zona de almacenamiento				\$ 17.452.872

Tabla 56.*Continuación*

Mobiliario	Cantidad	Valor Unitario	Unidad	Valor total
Asientos – Muebles	10	\$ 215.000	\$/Mueble	\$ 2.150.000
Computadores	2	\$ 1.700.000	\$/Computador	\$ 3.400.000
Escritorios	2	\$ 500.000	\$/Escritorio	\$ 1.000.000
Estanterías	2	\$ 280.000	\$/Estante	\$ 560.000
Valor total para Mobiliario				\$ 7.110.000
Otros gastos	Cantidad	Valor Unitario	Unidad	Valor total
Papelería	100	\$ 100	\$/papel	\$ 10.000
Valor total otros gastos				\$ 10.000
Capital de Trabajo	Cantidad	Valor Unitario	Unidad	Valor total
Efectivo	1	\$ 10.000.000	-	\$ 10.000.000
Seguros pagados	1	\$ 5.000.000	-	\$ 5.000.000
Honorarios y asesorías	1	\$ 3.000.000	-	\$ 3.000.000
Inventario de Materia Prima	1	\$ 82.047.000	-	\$ 82.047.000
Periodo Preoperativo	1	\$ 100.000.000	-	\$ 100.000.000
Valor total para Capital de Trabajo				\$ 200.047.000
TOTAL				\$ 550.376.421

Nota: En esta tabla se muestra el plan de inversión del proyecto. Tomado de: Elaboración Propia.

4.2 Datos del Proyecto

A partir del monto de Inversión de \$550.376.421, se debe establecer un valor de crédito de \$ 141.113.088 con una tasa de interés según el Banco AV Villas del 26%; por otro lado, el mercado de geotextil tiene un aumento anual del 1,116% proyectada en 10 años [39], con una inflación anual (IPC) del 4%. [40]

Además, se establece una tasa de impuestos de renta del 33% a partir de los cambios de la reforma tributaria que se tiene para el año 2021 y 2022 [41] y una tasa interna de oportunidad del 20%, estos datos fueron recolectados en la Tabla 57 y se definieron como base de cálculo para el desarrollo del flujo de caja, estos a su vez tienen como objetivo obtener los indicadores que al mismo tiempo permitirán realizar el análisis de viabilidad del proyecto.

Tabla 57.
Datos del proyecto

Datos del Proyecto	
Inversión Inicial	\$550.376.421
Porcentaje Crédito	26%
Tasa Crédito (AV Villas)	10,97%
Crecimiento Unidades (Anual)	11,6%
Inflación	4,0%
Tasa Incremento Costos (Anual)	11,6%
Comisión x Venta (Anual)	1,0%
Inventario Inicial (unidades)	\$402.933
Porcentaje Inventarios	1,0%
Tasa Impuestos	33%
Tasa Interna de Oportunidad (TIO)	20%
Tasa Interna de Oportunidad. Caso	-
Valor de crédito	\$141.113.088

Nota: En esta tabla se presentan los datos del proyecto.
Tomado de: Elaboración propia.

4.3 Costo Unitario de Materia Prima

Para el costo Unitario de Materia prima se tiene la cuenta tanto el Bambú como la resina epóxica Viniléster (Derakane 8084) junto con el catalizador, de estos costos se exhumaron los insumos puesto que la empresa ya dispone de los mismos, tal como se presenta en la Tabla 58.

Tabla 58.*Costos Unitario de Materia Prima*

Costo Unitario de Materia Prima					
Materia Prima	Cantidad	Unidad	Valor Unitario	Unidad	Valor total
Bambú	6	m	\$ 1.416,67	\$/m	\$ 8.500
Resina DERAKANE 8084	1	kg	\$ 30.522,6	\$/kg	\$ 30.523
Catalizador	240	g	\$ 14,13	\$/g	\$ 3.391
TOTAL					\$ 42.414

Nota: En esta tabla se muestran los costos unitarios de materia prima. Tomado de: Elaboración propia.

4.3 Depreciación mensual

La depreciación se aplica tanto para los equipos como el mobiliario, ya que estos pierden valor a medida que transcurre el tiempo, por tal motivo se debe tener en cuenta la vida útil del activo, siendo de 10 años para los equipos y para este último de 5 años, según lo establecido en el artículo 2 del decreto 3019 de 1989, titulado como “Vida útil de los activos fijos depreciables adquiridos a partir de 1989”. [42] Este tiene un valor mensual de \$ 2.960.662, tal como se aprecia en la Tabla 59.

Tabla 59.*Depreciación mensual de activos*

DEPRECIACIÓN			
Equipos	Vida Útil (Años)	Valor total	Depreciación mensual
Extractor de fibra	10	\$ 24.261.960	\$ 202.183
Lavador	10	\$ 17.572.591	\$ 146.438
Digestor	10	\$ 3.465.994	\$ 28.883
Blanqueador	10	\$ 69.319.886	\$ 577.666
Secador- Tambor rotatorio	10	\$ 41.591.932	\$ 346.599
Hilador	10	\$ 51.989.915	\$ 433.249
Tejedor	10	\$ 17.329.972	\$ 144.416
Método RTM	10	\$ 17.329.972	\$ 144.416
Mezclador de Resina	10	\$ 6.931.989	\$ 57.767
Estirador	10	\$ 4.537.210	\$ 37.810

Tabla 59.*Continuación*

Equipos	Vida Útil (Años)	Valor total	Depreciación mensual
Secador UV	10	\$ 5.198.991	\$ 43.325
Perforador	10	\$ 51.989.914	\$ 433.249
Calentador	10	\$ 1.732.997	\$ 14.442
Compresor de aire	10	\$ 3.909.642	\$ 32.580
Válvula de bola 1/2 "	10	\$ 34.313	\$ 286
Válvula de Control	10	\$ 4.188.193	\$ 34.902
Válvula de bola	10	\$ 6.911	\$ 58
Válvula de control de aire	10	\$ 69.802	\$ 582
Bomba de Rotor	10	\$ 4.159.193	\$ 34.660
Bomba Centrífuga	10	\$ 135.174	\$ 1.126
Tanque de almacenamiento de agua	10	\$ 122.900	\$ 1.024
Tanque de almacenamiento de gas	10	\$ 17.329.972	\$ 144.416
Asientos - Muebles	10	\$ 2.150.000	\$ 17.917
Computadores	5	\$ 3.400.000	\$ 56.667
Escritorios	5	\$ 1.000.000	\$ 16.667
Estanterías	5	\$ 560.000	\$ 9.333
TOTAL		\$ 350.319.421	\$ 2.960.662

Nota: En esta tabla se muestra la depreciación mensual de activos. Tomado de: Elaboración propia.

4.4 Depreciación anual

La depreciación mensual es proyectada anualmente, con el objetivo de determinar el año en el cual se obtendrá una depreciación menor a cero, esta corresponde al décimo año, donde se observa en la Tabla 60 que la depreciación es mayor que el monto inicial, es decir, se desvaloriza el activo de manera que al transcurrir esta cantidad de años pierde totalmente su valor en comparación al valor inicial que se tenía.

Tabla 60.*Depreciación anual de activos*

Año	Valor inicial	Depreciación anual	Depreciación acumulada	Valor final
1	\$ 350.319.421	\$ 35.527.942	\$ 35.527.942	\$ 314.791.479
2	\$ 314.791.479	\$ 35.527.942	\$ 71.055.884	\$ 279.263.537
3	\$ 279.263.537	\$ 35.527.942	\$ 106.583.826	\$ 243.735.594
4	\$ 243.735.594	\$ 35.527.942	\$ 142.111.768	\$ 208.207.652
5	\$ 208.207.652	\$ 35.527.942	\$ 177.639.710	\$ 172.679.710
6	\$ 172.679.710	\$ 35.527.942	\$ 35.527.942	\$ 137.151.768
7	\$ 137.151.768	\$ 35.527.942	\$ 71.055.884	\$ 101.623.826
8	\$ 101.623.826	\$ 35.527.942	\$ 106.583.826	\$ 66.095.884
9	\$ 66.095.884	\$ 35.527.942	\$ 142.111.768	\$ 30.567.942
10	\$ 30.567.942	\$ 35.527.942	\$ 177.639.710	-\$ 4.960.000

Nota: En esta tabla se muestra la proyección de la depreciación anual de activos. Tomado de: Elaboración propia.

4.5 Nómina

Para el desarrollo de este proceso, a nivel productivo se requieren cuatro operarios quienes trabajaran en dos turnos rotativos de ocho horas, ya que la mayoría de equipos son automatizados y solo necesitan el seguimiento, control en el arranque y parada de los mismos. En cuanto al área de producción, comercial, administrativa y de compras se define conforme a las horas trabajadas, ya que la empresa como tal cuenta con este equipo de trabajo y es una contribución que se tiene al proyecto.

En la Tabla 61, se muestra la nómina para la mano de obra directa (Operarios), calculado para cada empleado en base al salario básico mensual vigente, teniendo en cuenta el subsidio de transporte, seguridad social (Salud, ARL y pensiones) y las provisiones siendo estas la prima de servicios, cesantías, intereses a las cesantías y vacaciones, asimismo los aportes parafiscales correspondientes.

Tabla 61.*Nómina mano de obra directa*

CARGO		OPERARIO 1	OPERARIO 2	OPERARIO 3	OPERARIO 4	TOTAL
BASICO MENSUAL		\$ 877.803	\$ 877.803	\$ 877.803	\$ 877.803	\$ 3.511.212
DIAS LIQUIDADOS		30	30	30	30	-
BÁSICO DEVENGADO		\$ 877.803	\$ 877.803	\$ 877.803	\$ 877.803	\$ 3.511.212
SUBSIDIO TRANSPORTE		\$ 102.854	\$ 102.854	\$ 102.854	\$ 102.854	\$ 411.416
HORAS EXTRAS		0	0	0	0	0
TOTAL DEVENGADO		\$ 980.657	\$ 980.657	\$ 980.657	\$ 980.657	\$ 3.922.628
SALUD	EMPLEADOR	\$ 74.613	\$ 74.613	\$ 74.613	\$ 74.613	\$ 298.453
	EMPLEADO	\$ 35.112	\$ 35.112	\$ 35.112	\$ 35.112	\$ 140.448
PENSIONES	EMPLEADOR	\$ 105.336	\$ 105.336	\$ 105.336	\$ 105.336	\$ 421.345
	EMPLEADO	\$ 35.112	\$ 35.112	\$ 35.112	\$ 35.112	\$ 140.448
ARL	EMPLEADOR	\$ 4.652	\$ 4.652	\$ 4.652	\$ 4.652	\$ 18.609
OTRAS DEDUCCIONES		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
TOTAL DEDUCCIÓN	EMPLEADOR	\$ 184.602	\$ 184.602	\$ 184.602	\$ 184.602	\$ 738.408
	EMPLEADO	\$ 70.224	\$ 70.224	\$ 70.224	\$ 70.224	\$ 280.897
TOTAL A PAGAR		\$ 910.433	\$ 910.433	\$ 910.433	\$ 910.433	\$ 3.641.731
PRIMA SERVICIOS		\$ 81.689	\$ 81.689	\$ 81.689	\$ 81.689	\$ 326.755
CESANTÍAS		\$ 81.689	\$ 81.689	\$ 81.689	\$ 81.689	\$ 326.755
INTERESES SOBRE CESANTIAS		\$ 9.803	\$ 9.803	\$ 9.803	\$ 9.803	\$ 39.211
VACACIONES		\$ 36.604	\$ 36.604	\$ 36.604	\$ 36.604	\$ 146.418
SENA		NO APLICA				
ICBF		NO APLICA				
CAJA DE COMPENSACIÓN		\$ 156.905				

Nota: En esta tabla se presenta la nómina para la mano de obra directa. Tomado de: Elaboración propia.

Para la mano de obra indirecta se tiene el jefe de producción, control de calidad, servicios generales y administrador, esta nómina se realizó a partir de las horas trabajadas por mes según el salario básico mensual de cada empleado, tal como se muestra en la Tabla 62.

Tabla 62.*Nómina mano de obra Indirecta*

CARGO	BASICO MENSUAL	HORAS MES	HORAS EXTRAS	\$/HORA	TOTAL DEVENGADO
JEFE DE PRODUCCIÓN	\$ 2.240.000	36	0	\$ 3.111	\$ 112.000
CONTROL DE CALIDAD	\$ 1.500.000	48	0	\$ 2.083	\$ 100.000
SERVICIOS GENERALES	\$ 877.803	24	0	\$ 1.219	\$ 29.260
ADMIMNISTRADOR	\$ 1.800.000	48	0	\$ 2.500	\$ 120.000

Nota: En esta tabla se representa la nómina para la mano de obra indirecta. Tomado de: Elaboración propia.

El total de prestaciones sociales fue calculado hasta el año 10 respectivamente solo para el personal que hace parte de la nómina del proyecto de manera directa (operarios), como se evidencia en la Tabla 63.

Tabla 63.*Prestaciones sociales*

AÑO	PROVISION P. SERVICIOS	PROVISION P. NAVIDAD	CESANTIAS	INTERESES CESANTIAS	VACACIONES	TOTAL PRES. SOCIALES
1	\$ 1.960.529	\$ 1.960.529	\$ 3.921.059	\$ 470.527	\$ 1.757.010	\$ 10.069.655
2	\$ 1.991.898	\$ 1.991.898	\$ 3.983.796	\$ 478.056	\$ 1.785.123	\$ 10.230.770
3	\$ 2.023.768	\$ 2.023.768	\$ 4.047.537	\$ 485.704	\$ 1.813.685	\$ 10.394.462
4	\$ 2.056.149	\$ 2.056.149	\$ 4.112.297	\$ 493.476	\$ 1.842.704	\$ 10.560.774
5	\$ 2.089.047	\$ 2.089.047	\$ 4.178.094	\$ 501.371	\$ 1.872.187	\$ 10.729.746
6	\$ 2.122.472	\$ 2.122.472	\$ 4.244.943	\$ 509.393	\$ 1.902.142	\$ 10.901.422
7	\$ 2.156.431	\$ 2.156.431	\$ 4.312.863	\$ 517.544	\$ 1.932.576	\$ 11.075.845
8	\$ 2.190.934	\$ 2.190.934	\$ 4.381.868	\$ 525.824	\$ 1.963.497	\$ 11.253.058
9	\$ 2.225.989	\$ 2.225.989	\$ 4.451.978	\$ 534.237	\$ 1.994.913	\$ 11.433.107
10	\$ 2.261.605	\$ 2.261.605	\$ 4.523.210	\$ 542.785	\$ 2.026.832	\$ 11.616.037

Nota: En esta tabla se evidencia el total de prestaciones sociales. Tomado de: Elaboración propia.

4.6 Presupuesto Materia Prima y Ventas

El presupuesto de materia prima y ventas fue realizado partiendo de la capacidad de producción de la empresa, la cual es de 40 Ton/mes tomando un 24% de la capacidad total, la cual es de 9,5 Ton/mes, específicamente para que se elabore 2 turnos diarios de 8 horas cada uno; esta producción mensual se dará 100% para distribución nacional, por otra parte, se tiene en cuenta el costo total

de material prima por unidad, siendo este de un valor de \$42.414, cada calculo tiene un alcance de 10 años con un aumento del 11,6%. En la Tabla 64 se muestra las unidades a producir y vender a nivel nacional.

Tabla 64.

Unidades a producir y vender nacional anual.

Unidades a Producir y Vender Nacional Anual		
Año	Geodrén	Total
1	9,5	9,5
2	10,60	10,60
3	11,83	11,83
4	13,20	13,20
5	14,74	14,74
6	16,45	16,45
7	18,35	18,35
8	20,48	20,48
9	22,86	22,86
10	25,51	25,51

Nota: En esta tabla se muestra las unidades a producir y vender nacional anual. Tomado de: Elaboración propia.

Para el costo de materia prima por unidad total, mano de obra directa, mano de obra indirecta y costos indirectos de fabricación se estimaron según su valor por unidad siendo de \$ 42.414, \$ 391.917, \$ 15.712, \$ 8.979.479 respectivamente para un total de \$ 9.429.521, obteniendo una proyección anual hasta el décimo año, de esta manera se tiene el total de los costos variables para anualmente, tal como se aprecia en la Tabla 65.

Tabla 65.

Costos variables totales

Costos Variables	
Año	Total
1	\$ 1.126.270.298
2	\$ 1.175.220.280
3	\$ 1.226.580.564
4	\$ 1.280.500.031
5	\$ 1.337.139.600
6	\$ 1.396.673.422
7	\$ 1.459.290.193
8	\$ 1.525.194.615
9	\$ 1.594.609.021
10	\$ 1.667.775.171

Nota: En esta tabla se presenta los costos variables totales. Tomado de: Elaboración propia.

4.7 Presupuesto CIF

Para el presupuesto de Costos indirectos de fabricación (CIF) se tiene en cuenta la mano de obra indirecta (operarios), y costos relacionados con el funcionamiento de la empresa, abarcando los servicios generales básicos como el agua, luz, gas, internet, telefonía, elementos de oficina, entre otros; donde para el primer año se tiene un valor de \$ 129.005.820 y para los años posteriores se aplica una tasa de crecimiento anual del 1,6% para personal calificado dato obtenido según el Banco de la Republica [43] y un 3,8% de inflación [44].En la Tabla 66 se muestran los resultados correspondientes.

Tabla 66.*Presupuesto CIF*

Presupuesto CIF										
Ítem	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Operario 1	\$ 10.925.193	\$ 11.099.996	\$ 11.277.596	\$ 11.458.038	\$ 11.641.366	\$ 11.827.628	\$ 12.016.870	\$ 12.209.140	\$ 12.404.486	\$ 12.602.958
Operario 2	\$ 10.925.193	\$ 11.099.996	\$ 11.277.596	\$ 11.458.038	\$ 11.641.366	\$ 11.827.628	\$ 12.016.870	\$ 12.209.140	\$ 12.404.486	\$ 12.602.958
Operario 3	\$ 10.925.193	\$ 11.099.996	\$ 11.277.596	\$ 11.458.038	\$ 11.641.366	\$ 11.827.628	\$ 12.016.870	\$ 12.209.140	\$ 12.404.486	\$ 12.602.958
Operario 4	\$ 10.925.193	\$ 11.099.996	\$ 11.277.596	\$ 11.458.038	\$ 11.641.366	\$ 11.827.628	\$ 12.016.870	\$ 12.209.140	\$ 12.404.486	\$ 12.602.958
Subtotal	\$ 43.700.772	\$ 44.399.985	\$ 45.110.385	\$ 45.832.151	\$ 46.565.465	\$ 47.310.513	\$ 48.067.481	\$ 48.836.560	\$ 49.617.945	\$ 50.411.833
Ser. Telefónico e Internet	\$ 2.170.800	\$ 2.253.290	\$ 2.338.915	\$ 2.427.794	\$ 2.520.050	\$ 2.615.812	\$ 2.715.213	\$ 2.818.391	\$ 2.925.490	\$ 3.036.659
Ser. Agua, luz y gas	\$ 28.320.000	\$ 29.396.160	\$ 30.513.214	\$ 31.672.716	\$ 32.876.279	\$ 34.125.578	\$ 35.422.350	\$ 36.768.399	\$ 38.165.598	\$ 39.615.891
Elementos De Oficina	\$ 8.400.000	\$ 8.719.200	\$ 9.050.530	\$ 9.394.450	\$ 9.751.439	\$ 10.121.993	\$ 10.506.629	\$ 10.905.881	\$ 11.320.305	\$ 11.750.476
Servicios Generales	\$ 7.200.000	\$ 7.473.600	\$ 7.757.597	\$ 8.052.385	\$ 8.358.376	\$ 8.675.994	\$ 9.005.682	\$ 9.347.898	\$ 9.703.118	\$ 10.071.837
Aux. Transporte	\$ 1.234.248	\$ 1.281.149	\$ 1.329.833	\$ 1.380.367	\$ 1.432.821	\$ 1.487.268	\$ 1.543.784	\$ 1.602.448	\$ 1.663.341	\$ 1.726.548
Primeros Auxilios	\$ 3.600.000	\$ 3.736.800	\$ 3.878.798	\$ 4.026.193	\$ 4.179.188	\$ 4.337.997	\$ 4.502.841	\$ 4.673.949	\$ 4.851.559	\$ 5.035.918
Capitaciones	\$ 7.200.000	\$ 7.473.600	\$ 7.757.597	\$ 8.052.385	\$ 8.358.376	\$ 8.675.994	\$ 9.005.682	\$ 9.347.898	\$ 9.703.118	\$ 10.071.837
Dotaciones	\$ 2.400.000	\$ 2.491.200	\$ 2.585.866	\$ 2.684.128	\$ 2.786.125	\$ 2.891.998	\$ 3.001.894	\$ 3.115.966	\$ 3.234.373	\$ 3.357.279
Control de Calidad	\$ 18.000.000	\$ 18.684.000	\$ 19.393.992	\$ 20.130.964	\$ 20.895.940	\$ 21.689.986	\$ 22.514.206	\$ 23.369.745	\$ 24.257.796	\$ 25.179.592
Asistencia Técnica	\$ 6.780.000	\$ 7.037.640	\$ 7.305.070	\$ 7.582.663	\$ 7.870.804	\$ 8.169.895	\$ 8.480.351	\$ 8.802.604	\$ 9.137.103	\$ 9.484.313
Depreciación	\$ 2.860.079	\$ 2.968.761	\$ 3.081.574	\$ 3.198.674	\$ 3.320.224	\$ 3.446.392	\$ 3.577.355	\$ 3.713.295	\$ 3.854.400	\$ 4.000.867
Subtotal	\$ 85.305.048	\$ 88.546.640	\$ 91.911.412	\$ 95.404.046	\$ 99.029.400	\$ 102.792.517	\$ 106.698.632	\$ 110.753.180	\$ 114.961.801	\$ 119.330.350
Total	\$ 129.005.820	\$ 132.946.625	\$ 137.021.797	\$ 141.236.197	\$ 145.594.865	\$ 150.103.029	\$ 154.766.113	\$ 159.589.741	\$ 164.579.747	\$ 169.742.182

Nota: En esta tabla se muestra los resultados para el presupuesto CIF. Tomado de: Elaboración propia.

4.8 Presupuesto General

Para el presupuesto general entra a colación los ingresos y egresos, siendo estos primeros los precios de ventas y como egresos se la materia prima, mano de obra directa e indirecta, costos indirectos de fabricación, provisión de prima de servicios, provisión de prima navidad, cesantías, intereses de la cesantías y vacaciones. La diferencia entre ingresos y egresos para el primer año es de \$ 884.585.100 con una relación respecto a los ingresos de 82,29% hasta el décimo año respectivamente, tal como se aprecia en la Tabla 67.

Tabla 67.
Presupuesto General

Presupuesto General										
Ítem	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Ingresos	\$ 1.074.965.437	\$ 1.117.964.055	\$ 1.162.682.617	\$ 1.209.189.922	\$ 1.257.557.518	\$ 1.307.859.819	\$ 1.360.174.212	\$ 1.414.581.180	\$ 1.471.164.428	\$ 1.530.011.005
Materia Prima	\$ 4.835.196	\$ 5.396.079	\$ 6.022.024	\$ 6.720.579	\$ 7.500.166	\$ 8.370.185	\$ 9.341.126	\$ 10.424.697	\$ 11.633.962	\$ 12.983.502
MOD	\$ 44.678.544	\$ 49.861.255	\$ 55.645.161	\$ 62.099.999	\$ 69.303.599	\$ 77.342.817	\$ 86.314.584	\$ 96.327.075	\$ 107.501.016	\$ 119.971.134
MOI	\$ 1.791.121	\$ 1.998.891	\$ 2.230.763	\$ 2.489.531	\$ 2.778.317	\$ 3.100.601	\$ 3.460.271	\$ 3.861.663	\$ 4.309.616	\$ 4.809.531
CIF	\$ 129.005.820	\$ 132.946.625	\$ 137.021.797	\$ 141.236.197	\$ 145.594.865	\$ 150.103.029	\$ 154.766.113	\$ 159.589.741	\$ 164.579.747	\$ 169.742.182
Provisión Prima de Servicios	\$ 1.960.529	\$ 1.991.898	\$ 2.023.768	\$ 2.056.149	\$ 2.089.047	\$ 2.122.472	\$ 2.156.431	\$ 2.190.934	\$ 2.225.989	\$ 2.261.605
Provisión Prima de Navidad	\$ 1.960.529	\$ 1.991.898	\$ 2.023.768	\$ 2.056.149	\$ 2.089.047	\$ 2.122.472	\$ 2.156.431	\$ 2.190.934	\$ 2.225.989	\$ 2.261.605
Cesantías	\$ 3.921.059	\$ 3.983.796	\$ 4.047.537	\$ 4.112.297	\$ 4.178.094	\$ 4.244.943	\$ 4.312.863	\$ 4.381.868	\$ 4.451.978	\$ 4.523.210
Intereses Cesantías	\$ 470.527	\$ 478.056	\$ 485.704	\$ 493.476	\$ 501.371	\$ 509.393	\$ 517.544	\$ 525.824	\$ 534.237	\$ 542.785
Vacaciones	\$ 1.757.010	\$ 1.785.123	\$ 1.813.685	\$ 1.842.704	\$ 1.872.187	\$ 1.902.142	\$ 1.932.576	\$ 1.963.497	\$ 1.994.913	\$ 2.026.832
Total Egresos	\$ 190.380.337	\$ 200.433.620	\$ 211.314.206	\$ 223.107.079	\$ 235.906.692	\$ 249.818.055	\$ 264.957.939	\$ 281.456.234	\$ 299.457.447	\$ 319.122.385
Ingresos-Egresos	\$ 884.585.100	\$ 917.530.435	\$ 951.368.411	\$ 986.082.842	\$ 1.021.650.826	\$ 1.058.041.765	\$ 1.095.216.273	\$ 1.133.124.946	\$ 1.171.706.980	\$ 1.210.888.619
Relación	82,29%	82,07%	81,83%	81,55%	81,24%	80,90%	80,52%	80,10%	79,64%	79,14%

Nota: En esta tabla se muestra el presupuesto general. Tomado de: Elaboración propia.

4.9 Amortización

Para el cálculo de la amortización se desarrolló partiendo del saldo inicial la cual es \$141.113.088 con una tasa del 10,9% distribuido en 10 años, siendo este el tiempo de vida útil del activo. En la Tabla 68 se evidencia la reducción de valor del activo al transcurso de los años hasta llegar a un valor de cero.

Tabla 68.
Amortización

Tabla de Amortización				
Año	Saldo Inicial	Intereses	Amortización	Cuota
0	\$ 141.113.088	-	-	-
1	\$ 132.662.124	\$ 15.480.106	\$ 8.450.964	\$ 156.593.194
2	\$ 123.284.089	\$ 14.553.035	\$ 9.378.035	\$ 82.367.857
3	\$ 112.877.284	\$ 13.524.265	\$ 10.406.805	\$ 57.715.192
4	\$ 101.328.852	\$ 12.382.638	\$ 11.548.432	\$ 45.455.336
5	\$ 88.513.558	\$ 11.115.775	\$ 12.815.295	\$ 38.152.202
6	\$ 74.292.425	\$ 9.709.937	\$ 14.221.132	\$ 33.327.005
7	\$ 58.511.234	\$ 8.149.879	\$ 15.781.191	\$ 29.917.332
8	\$ 40.998.847	\$ 6.418.682	\$ 17.512.387	\$ 27.391.914
9	\$ 21.565.351	\$ 4.497.574	\$ 19.433.496	\$ 25.455.549
10	\$ -	\$ 2.365.719	\$ 21.565.351	\$ 23.931.070

Nota: Esta tabla muestra la amortización. Tomado de: Elaboración propia

4.10 Flujo de Caja

El flujo de caja nos proporciona el movimiento de dinero y la capacidad que tiene la empresa como respuesta frente a la acción de liquidez. Para esto se tiene en cuenta las entradas y salidas de dinero calculado anualmente, junto con la utilidad operacional y la utilidad resultante que hace referencia a la utilidad neta. En la Tabla 69 se muestra los resultados, donde se obtiene un valor positivo, el cual significa que los ingresos frente a los egresos son mayores, representado una mayor rentabilidad del proyecto, con un incremento de ingresos desde \$ 1.074.965.437 hasta un valor de \$ 1.530.011.005 en el transcurso de 10 años, en relación con los egresos su valor inicial es de \$ 252.688.767 y alcanza un valor de \$ 380.843.002, por ende, la utilidad neta total obtenida para el primer año es de \$ 550.925.369 hasta llegar a un valor de \$ 769.942.562 , en conclusión debido a

la alta cantidad de ingresos que se tiene, el crédito solicitado se pagará de manera oportuna, por lo tanto, la empresa se mantiene y logra cubrir los gastos que genera, aumentando su liquidez.

Tabla 69.
Flujo de Caja

Flujo de Caja										
Ítem	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos	\$1.074.965.437	\$1.117.964.055	\$1.162.682.617	\$1.209.189.922	\$1.257.557.518	\$1.307.859.819	\$1.360.174.212	\$1.414.581.180	\$1.471.164.428	\$1.530.011.005
Total Ingresos	\$1.074.965.437	\$1.117.964.055	\$1.162.682.617	\$1.209.189.922	\$1.257.557.518	\$1.307.859.819	\$1.360.174.212	\$1.414.581.180	\$1.471.164.428	\$1.530.011.005
Costo M.P.	\$ 4.835.196	\$ 5.396.079	\$ 6.022.024	\$ 6.720.579	\$ 7.500.166	\$ 8.370.185	\$ 9.341.126	\$ 10.424.697	\$ 11.633.962	\$ 12.983.502
Costo Insumos	\$ 44.678.544	\$ 49.861.255	\$ 55.645.161	\$ 62.099.999	\$ 69.303.599	\$ 77.342.817	\$ 86.314.584	\$ 96.327.075	\$ 107.501.016	\$ 119.971.134
Costo MOD	\$ 1.791.121	\$ 1.998.891	\$ 2.230.763	\$ 2.489.531	\$ 2.778.317	\$ 3.100.601	\$ 3.460.271	\$ 3.861.663	\$ 4.309.616	\$ 4.809.531
Costo MOI	\$ 129.005.820	\$ 132.946.625	\$ 137.021.797	\$ 141.236.197	\$ 145.594.865	\$ 150.103.029	\$ 154.766.113	\$ 159.589.741	\$ 164.579.747	\$ 169.742.182
Costo CIF	\$ 1.960.529	\$ 1.991.898	\$ 2.023.768	\$ 2.056.149	\$ 2.089.047	\$ 2.122.472	\$ 2.156.431	\$ 2.190.934	\$ 2.225.989	\$ 2.261.605
Depreciación Maquinaria y Muebles	\$ 35.527.942	\$ 35.527.942	\$ 35.527.942	\$ 35.527.942	\$ 35.527.942	\$ 35.527.942	\$ 35.527.942	\$ 35.527.942	\$ 35.527.942	\$ 35.527.942
Provisiones Pres. Social	\$ 10.069.655	\$ 10.230.770	\$ 10.394.462	\$ 10.560.774	\$ 10.729.746	\$ 10.901.422	\$ 11.075.845	\$ 11.253.058	\$ 11.433.107	\$ 11.616.037
Amortización Crédito	\$ 8.450.964	\$ 9.378.035	\$ 10.406.805	\$ 11.548.432	\$ 12.815.295	\$ 14.221.132	\$ 15.781.191	\$ 17.512.387	\$ 19.433.496	\$ 21.565.351
Intereses de Crédito	\$ 15.480.106	\$ 14.553.035	\$ 13.524.265	\$ 12.382.638	\$ 11.115.775	\$ 9.709.937	\$ 8.149.879	\$ 6.418.682	\$ 4.497.574	\$ 2.365.719
Amortización Diferidos	\$ 888.889	\$ 888.889	\$ 888.889	\$ 888.889	\$ 888.889	\$ 888.889	\$ 888.889	\$ 888.889	\$ 888.889	\$ -
Total Egresos	\$ 252.688.767	\$ 262.773.418	\$ 273.685.875	\$ 285.511.129	\$ 298.343.640	\$ 312.288.427	\$ 327.462.271	\$ 343.995.069	\$ 362.031.337	\$ 380.843.002
Utilidad Operacional	\$ 822.276.670	\$ 855.190.636	\$ 888.996.742	\$ 923.678.793	\$ 959.213.878	\$ 995.571.392	\$1.032.711.941	\$1.070.586.111	\$1.109.133.090	\$1.149.168.002
Impuestos (33%)	\$ 271.351.301	\$ 282.212.910	\$ 293.368.925	\$ 304.814.002	\$ 316.540.580	\$ 328.538.559	\$ 340.794.940	\$ 353.293.417	\$ 366.013.920	\$ 379.225.441
Utilidad Neta	\$ 550.925.369	\$ 572.977.726	\$ 595.627.817	\$ 618.864.791	\$ 642.673.298	\$ 667.032.833	\$ 691.917.000	\$ 717.292.695	\$ 743.119.171	\$ 769.942.562
TOTAL	\$ 611.273.270	\$ 633.325.627	\$ 655.975.718	\$ 679.212.692	\$ 703.021.199	\$ 727.380.733	\$ 752.264.901	\$ 777.640.595	\$ 803.467.071	\$ 829.401.573

Nota: En esta tabla se presenta el flujo de caja del proyecto. Tomado de: Elaboración propia.

4.11 Indicadores

Tabla 70.

Indicadores financieros

Indicadores	
TIO	20%
VPN	\$2.312.590.179
TIR	115%
Indice de Rentabilidad	4,20
Relación B/C	6,85

Nota: En esta tabla se muestra los indicadores financieros del proyecto. Tomado de: Elaboración propia.

Los indicadores financieros representativos considerados para la evaluación del proyecto fue el valor presente neto (VPN), la Tasa interna de Retorno (TIR), el índice de rentabilidad y la relación B/C, los resultados obtenidos son presentados en la Tabla 70.

La Tasa Interna de Oportunidad al inicio del proyecto fijada es del 20% y la TIR del proyecto fue de 115%, esto significa que la TIR en el proyecto supera más del doble a la TIO por tal razón el proyecto es rentable dado que se posee un rendimiento mayor al que se esperaba.

Respecto a la VPN, se tiene un valor superior a cero de \$2.312.590.179, por tal motivo es factible el proyecto desde el punto de vista que es capaz de generar altos ingresos y con esos se pueda suplir la inversión que se tenía al inicio (\$550.376.421) y al mismo tiempo generar una ganancia.

Por último, la relación costo beneficio (C/B) es del 6,85, siendo este mayor a 1, es decir, es un proyecto rentable ya que los ingresos son mayores que sus egresos, obteniendo capital de ganancia y generando utilidades.

5. CONCLUSIONES

1. Las características físico-químicas de las fibras de bambú (*Guadua Angustifolia*), son óptimas comparadas con materiales sintéticos como el Polipropileno, por tal motivo es una materia prima potencial para la elaboración de este tipo de Geocompuesto (Geodrén) debido a sus propiedades mecánicas, sin embargo, dado que es un compuesto anisotrópico, se necesita realizar una caracterización y selección de la fibra con más exactitud para crear un material que presente los mismos parámetros finales.
2. El acople de matriz y fibra en virtud a su naturaleza hidrofóbica e hidrofílica respectivamente, es influenciado por diversos factores que tienen una relación directa con las propiedades mecánicas finales del compuesto, por tal motivo se decide tomar los siguientes criterios que favorecen estos parámetros: extracción de fibras de manera longitudinal, usar diámetros ubicados en un rango de 0,3 a 0,4mm, una concentración álcali efectiva del 15% ya que a estas condiciones se obtiene un número Kappa de 10,45 y finalmente un contenido de fibra para el método RTM de 60% en volumen y 40 % de resina.
3. En cuanto a las condiciones de operación, se debe tener en cuentas la estabilidad térmica de la fibra y del material polimérico para cada etapa, no siendo este un problema ya que la fibra se empieza a descomponer a una temperatura de 200°C, temperatura a la cual las matrices termoplásticas ya han empezado a fundirse, por tanto, las condiciones que se manejan a lo largo del proceso suplen este requerimiento.
4. Los indicadores financieros evaluados (VPN, TIR, Índice de rentabilidad y relación B/C), presentaron resultados satisfactorios con un valor de \$2.312.590.179, 115%, 4,2 y 6,85 respectivamente, lo cual se concluye que el proyecto es rentable, se generan ganancias y utilidades, ya que se tenía un valor inicial de \$550.376.421, recuperando esta inversión desde el primer año, esto permite que la empresa. tenga un alto flujo de entrada de efectivo por lo que es posible proponerse una inversión en la misma con el fin de adquirir nuevos equipos y gamma de productos, aumentando la calidad de los mismos.

6. RECOMENDACIONES

1. Se requiere realizar una estandarización del proceso de obtención de materia prima, con el objetivo que obtener un producto que conserve las mismas características.
2. Realizar un diseño de experimentos, que permita analizar las variables del proceso teniendo como soporte un análisis estadístico, con el fin de identificar los factores (contenido de humedad, volumen de fibra, temperatura y solución álcali-efectiva) que tengan influencia sobre las variables de interés del producto final (capacidad hidráulica del Geodrén, resistencia mecánica y módulo de elasticidad).
3. Es necesario realizar validaciones experimentales para ajustar un modelo que permita predecir el comportamiento y las propiedades finales del Geocompuesto, con el objetivo de optimizar el proceso.
4. A partir del seguimiento de las anteriores recomendaciones, realizar una validación del presupuesto, bajo las condiciones del mercado actual, que permita analizar la viabilidad del proyecto.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. I. Morán, V.A. Álvarez, V. P. Cyras, y A. Vásquez. “Extraction of cellulose and preparation of nanocellulose from sisal fibers”, Springer, Vol. 15, no. 1, pp. 149–159, Aug, 2007, doi: <https://doi.org/10.1007/s10570-007-9145-9>.
- [2] Estrada, M. (2010). (Tesis de maestría). Extracción y caracterización mecánica de las fibras de bambú (*Guadua angustifolia*) para su uso potencial como refuerzo de materiales compuestos. Bogotá, Colombia, Universidad de los Andes.
- [3] Cely Moreno, L. A, Hernández Rojas, W. G, y Gutiérrez Junco O. G. (2012). Caracterización de la *Guadua Angustifolia* Kunth cultivada en Miraflores (Boyacá) de acuerdo con la NSR-1, Revista Facultad de Ingeniería, UPTC, Vol. 21, No. 33, p.p.53-71.
- [4] X. Londoño. " Bambú en Colombia". Biotecnología Vegetal Vol. 11, No. 3: p.p 143 - 154, ju, 2011.
- [5] Cultivo del Bambú *Guadua*. *Guadua Bamboo*. <https://www.guaduabambu.com.co/blog/las-mejores-condiciones-climaticas-para-el-cultivo-del-bambu-guadua>
- [6] Quintero Giraldo, L.J., Cruz, L.J., García, J.A., Alcaraz, A., González, E. y Osorio, J.A. Incidencia del tratamiento de mercerización en las propiedades mecánicas de haces de fibra de bambú "*Guadua Angustifolia* Kunth" de Colombia origen. Revista DYNA. Vol. 86, No. 210, pp.156-163, Jul, 2019. doi: <https://doi.org/10.15446/dyna.v86n210.71782>.
- [7] Padilla Martínez, W. (2018). (Tesis de maestría). Comportamiento a tracción del bambú *guadua angustifolia* teniendo en cuenta el deslizamiento en la interfaz fibra – matriz. Facultad de Ingeniería, Departamento de ingeniería Civil y Agrícola, Bogotá, Colombia, Universidad Nacional de Colombia.

[8] Manual y Software de diseño Geosoft Pavco. 9ª ed., Departamento de Ingeniería – Geosistemas, Pavco-Wavin Colombia, Bogotá D.C, 2012. [En línea]. Disponible en: http://www.geosoftpavco.com/manual_geosinteticos.html

[9] L. N. Almendarez Santos, J. C. Reyes Zúniga. 2017.” Diseño de Pavimentos Flexibles con Refuerzo de Geomalla Triaxial Utilizando la Metodología Giroud-Han: Caso de Aplicación en Honduras”. Revista de Investigación Laccei Proceedings, p.p. 19-21, Julio 2017.

[10] Lizárraga López, J. M. (2013). (Trabajo de maestría). Diseño y Construcción de Pavimentos Flexibles Aplicando Geomallas de Polipropileno como Sistema de Reforzamiento Estructural. Universidad nacional autónoma de México.

[11] A.F. Capera Osorio y W.J. Erazo Espinosa. *Resistencia a la compresión paralela a la fibra y determinación del módulo de elasticidad de la guadua Angustifolia del municipio de Pitalito-Huila*, tesis pre. Facultad de ingeniería. Universidad Surcolombiana, Neiva, Colombia, 2012

[12] M. P. Lucena, A. S. y I. Zamudio. “Desarrollo de un material compuesto a base de fibras de bambú para aplicaciones aeronáuticas”. Rev. Latinoamericana de Metalurgia y Materiales, vol. 3, p.p. 1107-1114, jul. 2019. [Online]. Disponible en: www.polimeros.labb.usb.ve/RLMM/home.html

[13] Módulo de Elasticidad. NewComb Spring Corp. <https://www.newcombspring.com/es/resources/helical-spring-elasticity-modulus>

[14] Jaramillo Quiceno, N. (2016). (Tesis de maestría). Efecto del proceso de mercerización en el comportamiento de la fibra de hoja de piña (FHP) como refuerzo en una matriz de polipropileno. Universidad Nacional de Colombia.

[15] M.M. Kabir, H. Wang, K.T. Lau, F. Cardona. 2012.” Chemical treatments on plant-based natural fibre reinforced polymer composites: An overview”. *Composites Part B: Engineering*, Vol. 43, no. 7, pp. 2883–2892, May, 2012. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2012.04.053>.

[16] L. A. Cañas Mendoza, J. L. Trisancho Reyes y J. A. Taborda Ríos. “Estudio comparativo de las propiedades mecánicas de la resina de poliéster reforzada con fibra de bambú como material sustituto de fibra de vidrio”. *Revista DYNA*, Vol. 84, no. 202, pp. 35-41, Jul, 2017, doi: <https://doi.org/10.15446/dyna.v84n202.57334>.

[17] A. Ashori. “Hybrid thermoplastic composites using nonwood plant fibers”. *Hybrid Polymer Composite Materials*, Departamento de Tecnologías Químicas, Organización Iraní de Investigación para la Ciencia y Tecnología (IROST), Teherán, Irán, 2017, pp. 39-56.

[18] C. L. Waters, R. R. Janupala, R. G. Mallinson, y L. L. Lobban.” Staged thermal fractionation for segregation of lignin and cellulose pyrolysis products: An experimental study of residence time and temperature effects”. *Revista de pirólisis analítica y aplicada*, Vol. 126, jul. 2017, pp. 380-389.

[19] L. E. Moreno Montoya, E. E. Trujillo y L. R. Osorio Serna.” Estudio de las características físicas de haces de fibra de guadua angustifolia”. *Revista Scientia Et Technica*, Vo. 1, no. 34, May, 2005, doi: <https://doi.org/10.22517/23447214.5719>.

[20] Resina Viniléster VS Resina de Poliéster. Nazza. https://www.nazza.es/blog/21_vinilester-vs-poliester.html

[21] D. Verma, G. Joshi y R. Dabral, *Processing Technologies for Green Composites Production*. Universidad Graphic Era Hill, India, 2016.

[22] H. D. Mosquera Paredes. *Inducción de forma cuadrada en tallos de GUADUA ANGUSTIFOLIA en etapa de renuevo aplicando un tipo de molde en un guadua natural del Sector San José, Parroquia Madre Tierra, Provincia de Pastaza*. Tesis pre, Escuela de ingeniería agropecuaria, Universidad estatal, Pastaza, Ecuador, 2012.

[23] W. F. Ardila Páez y L.F. Garzón Hernández. *Investigación resistencia a compresión de la guadua angustifolia en estado de foto-degradación*. Para optar título de Tecnólogo en Construcciones Arquitectónicas, Universidad La Gran Colombia, Bogotá, 2017.

[24] G.R. Gutiérrez Tejada. *Caracterización de los productos obtenidos por destilación seca del bambú (guadua angustifolia kunth.) Procedente del distrito de la florida, san miguel, Cajamarca*. Tesis pre, facultad de ciencias forestales, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. 2015.

[25] Y. Caballero Dulce. *Determinación comparativa de ceniza, extractivo, celulosa y lignina en las especies de bambú procedente del bosque Reservado de la universidad nacional agraria de la selva*. Tesis pre, Facultad de recursos naturales renovables, Universidad nacional agraria de la selva, Tingo-María, Perú, 2010.

ext=Este%20tipo%20de%20blanqueo%20qu%C3%ADmico,ser%20usados%20son%20los%20per%C3%A1cidos.

[34] Namgoung, S. (2011). (Tesis de Maestría). Estudio y optimización del método tradicional de blanqueo comparando la efectividad con diferentes tratamientos de blanqueo de algodón. Universidad Politécnica de Valencia.

[35] J. A. Montoya Arango y C. A. Orozco Hincapié. "Proyecto de la Energía Solar para el Secado Industrial de la Guadua angustifolia". Fundamentos Prácticos del Secado de Guadua - Bambú, Universidad Tecnológica de Pereira, pp. 50-104, 2008.

[36] Laborda, M. J y Schiele, M. G. (2018). Resin transfer molding process (rtm). <http://ri.itba.edu.ar/handle/123456789/1584>

[37] J. H. García Sierra y J. C. Camargo García. "Condiciones de calidad de Guadua angustifolia para satisfacer las necesidades del mercado en el Eje Cafetero de Colombia". Recursos Naturales y Ambiente. no. 61, pp. 67-76, 2010.

[38] M. D. Zambrano Mendoza. *Diseño de un digestor para la obtención de pulpa celulósica para papel a partir de fibra abacá*. Tesis pre, Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, Escuela superior politécnica del litoral, Guayaquil, Ecuador, 2017.

[39] Market analysis report. "Geotextiles Market Size, Share & Trends Analysis Report By Material (Polypropylene, Polyethylene), By Application (Road Construction, Erosion Prevention), By Product, By Region, And Segment Forecasts, 2020 – 2027". [Online]. Disponible en: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/geotextiles-industry>

[40] Banco de la Republica de Colombia. Índice de precios al consumidor (IPC). [Online]. Disponible en: <https://www.banrep.gov.co/es/estadisticas/indice-precios-consumidor-ipc>

[41] Principales cambios de la nueva reforma tributaria. [Online]. Disponible en: <https://bu.com.co/es/noticias/principales-cambios-de-la-nueva-reforma-tributaria#:~:text=La%20tarifa%20del%20impuesto%20sobre,%2C5%25%20para%20el%202020>0.

[42] Ministerio de Justicia y Derecho. Decreto 3019 de 1989, 6 de diciembre de 1989. (Colombia)

[43] M. Urrutia y M. Ruiz. Ensayos Sobre Política Económica (ESPE). Vol. 28, no. 63, dic. 2010. pp. 154-189.

[44] La república. (15 de diciembre de 2020). Inflación en Colombia en 2019 aumentó a 3,80%, especialmente, por precios de alimentos. [Online]. Disponible en: <https://www.larepublica.co/economia/dato-de-inflacion-en-colombia-durante-2019-aumento-a-380-segun-dane-2948404#:~:text=El%20Departamento%20Administrativo%20Nacional%20de,18%25%20que%20registr%C3%B3%20en%202019>

8. INDICE DE TÉRMINOS TÉCNICOS

Anisotrópico: Material que presenta distintos arreglos a nivel estructural, cambiando sus propiedades físicas y direccionamiento interno.

Blanqueo: Proceso en el cual, se busca la eliminación de la resina residual proveniente de otros tratamientos químicos previos.

Curado: Es el tiempo en el cual se logra solidificar la resina

Deslignificar: Proceso en el cual, se logra descomponer la lignina mediante un tratamiento químico.

Digestión Alcalina: Es un tratamiento químico, donde se adiciona licor blanco (constituido por agua y solución álcali efectiva) que permite el desdoblamiento de la estructura interna de la fibra, en su mayoría lignina, obteniendo un licor negro que pasa a través de una serie de tratamientos para su regeneración, obteniendo nuevamente licor blanco o también se puede usar como servicio de calentamiento o electricidad para otro tipo de procesos.

Estabilidad Térmica: Estado en el que un compuesto conserva sus propiedades físico-químicas cuando se somete a una diferencia de temperatura.

Geocompuesto: Hace referencia al ensamble de diferentes materiales, usando como mínimo uno de naturaleza sintética, estos son usados principalmente para obras y construcciones, diferenciados según su aplicación.

Geodrén: Material compuesto conformado por materiales sintéticos, usado como drenaje para distintas aplicaciones.

Geosintéticos: Es un material constituido por compuestos poliméricos ya sean sintéticos o naturales, que son diseñados para el suelo, ofreciendo a su vez una amplia gama de aplicaciones.

Hidrofílico: Afinidad que presenta un material con el agua.

Módulo de Elasticidad: Es un parámetro que permite identificar el comportamiento elástico de un material.

Molde: Conjunto de piezas cuyo interior es hueco, permitiendo el paso de una sustancia para optar dicha forma, la estructura depende del tipo de aplicación o la industria.

Pulpa: Producto obtenido a partir de la digestión alcalina, conformada esencialmente por licor blanco y fibra, cuyo polisacárido que se encuentra mayoritariamente es la celulosa.

Resina: Sustancia orgánica (natural o sintética), con una amplia aplicación industrial gracias a las propiedades físico-químicas que presenta.

Resistencia a la Compresión: Hace referencia al esfuerzo máximo que puede soportar un material sin llegar a la rotura, al aplicarse una carga que ejerce una presión sobre el mismo.

Resistencia a la tensión: Es una propiedad física que tiene un material, que relaciona la resistencia máxima a la cual puede llegar un material previo a la ruptura o la deformación.

VARTM: el moldeo de transferencia asistida por vacío, es un método de fabricación de piezas, el cual consiste en la adición de resina a un molde sellado herméticamente por una bolsa, mediante una bomba de vacío, de esta manera tener mejor aprovechamiento, y dispersión de la resina.

9. ANEXOS

ANEXO 1
DIAGRAMAS BFD

ANEXO 2
DIAGRAMA PFD