



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

ESCUELA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN MECATRÓNICA**

TEMA:

**“SISTEMA PARA DESENLLOADO E IMPREGNACIÓN DE LOS
REFUERZOS DE FIBRA PARA UN PROCESO DE PULTRUSIÓN”**

AUTORA: GISSELA BETSABETH CHÁVEZ QUIÑONEZ

DIRECTOR: ING. VÍCTOR CÁRDENAS, PhD

Ibarra, 2020



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información.

DATOS DEL AUTOR	
CEDULA DE IDENTIDAD	080329590-6
APELLIDOS Y NOMBRES	CHÁVEZ QUIÑONEZ GISSELA BETSABETH
DIRECCIÓN	Ibarra, Barrio 1 de enero (Calle Isla Baltra e Isla Santa Fe)
E-MAIL	gbchavezq@utn.edu.ec/gibeth-08@hotmail.com
TELÉFONO MÓVIL / FIJO	0969845976
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO	“SISTEMA PARA DESENVOLLO E IMPREGNACIÓN DE LOS REFUERZOS DE FIBRA PARA UN PROCESO DE PULTRUSIÓN”
AUTOR	CHÁVEZ QUIÑONEZ GISSELA BETSABETH
FECHA	20-02-2020
PROGRAMA	PREGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA	INGENIERA EN MECATRÓNICA
ASESOR / DIRECTOR	ING. VÍCTOR CÁRDENAS, PhD.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 20 días del mes de febrero de 2020

La autora:

Firma:.....
Nombre: Chávez Quiñónez Gissela Betsabeth



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN DIRECTOR

Certifico que el trabajo de grado titulado "SISTEMA PARA DESENVOLLO E IMPREGNACIÓN DE LOS REFUERZOS DE FIBRA PARA UN PROCESO DE PULTRUSIÓN", ha sido desarrollado en su totalidad por la señorita: Chávez Quiñónez Gissela Betsabeth portador de la cédula de identidad número: 080329590-6; previo a la obtención del título de Ingeniería en Mecatrónica.


Ing. Víctor Cardenas, PhD.

DIRECTOR DE TESIS

AGRADECIMIENTO

A Dios por brindarme vida y mucha salud, gracias por darme ánimos y no dejarme caer, cuando pensé que ya no podía.

A mis padres Manuel y Alexandra por todo su apoyo desde que empecé este camino, todos sus esfuerzos y sacrificios por verme cumplir un logro más, hoy da sus frutos.

A mis hermanas por su ayuda incondicional y por la confianza que tuvieron en mí. Por enseñarme a ser una mejor hermana mayor cada día, gracias por tantas risas compartidas.

A mis tías hermosas Jenny, Katty, Ana, Janyi; que de diferentes formas estuvieron ahí para apoyarme y darme ánimos, para no darme por vencida.

A mis abuelitos, tíos y primos porque siempre tuvieron lindas palabras de aliento para animarme en toda la trayectoria.

A mi novio Christian por estar siempre apoyándome y ayudándome a cumplir todas mis metas, gracias por tu ayuda desinteresada mi amor.

A mis amigos que estuvieron dentro y fuera del aula de clases, gracias por las risas y los conocimientos compartidos, Negro, Luchis, Carlos que empezamos juntos este sueño y a otros que encontré en el camino Vicky, Magui, Anita, Brayan, Silvy, Cheme, Lily, Cris Grijalva, Cris A; gracias por tanto y espero que la vida nos vuelva a reunir.

Un agradecimiento especial para el equipo, que formó parte del trabajo de Investigación, Ing. Víctor C, Ing. Cosme M, Ing. Víctor E., Ing. Christian V., Ing. Fernando V., grandes profesionales de la carrera y por siempre brindar su apoyo absoluto en el desarrollo de la máquina. Mis agradecimientos a todos quienes conformamos la carrera de Ingeniería en Mecatrónica, personal docente y administrativo (Mericita) por siempre ser ejemplos de personas y profesionales en todo momento.

Gracias a todos ¡Lo Logramos!

Gisse.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo al príncipe de mi vida Daniel Israel como muestra que todas las metas se pueden cumplir, por más obstáculos que se presenten en la vida, todo con esfuerzo y perseverancia es posible, te amo gracias por tu compañía en mis largas noches.

A mi ñaña, mis primos Alexon, Valesska, Mayerli, Matías y a mi sobrino Tylor, espero que este trabajo sirva de inspiración para alcanzar sus objetivos en la vida, siempre podrán contar conmigo. Los quiero mucho.

Gisse.

RESUMEN

En esta investigación se presenta el diseño y construcción de un sistema de desenrollado e impregnación de resina en el refuerzo, como parte de las variables experimentales en el proceso de pultrusión. Este sistema se realizó a través de los siguientes objetivos:

Estudio de las variables experimentales del proceso de pultrusión

Diseño del sistema

Construcción y ensamble de los subsistemas

Experimentación del sistema

Esta etapa del proceso de pultrusión cuenta con un armario que se encarga de almacenar los refuerzos que serán utilizados en el proceso, un sistema guía hilos de 2 fases que evita el enredo de los mismos con una separación del armario de 80 centímetros, cuatro rodillos, 2 de ellos a la entrada y salida de la tina de mojado y dos internos en la tina que permiten la impregnación de la matriz (resina) en el refuerzo (fibra).

El documento cuenta con pruebas experimentales realizadas en el sistema, composiciones para la obtención de un perfil en material compuesto y resultados de las pruebas realizadas.

Palabras claves: Pultrusión, material compuesto, matriz, refuerzo

ABSTRACT

This research is about the design and construction of a system of unwinding and impregnating resin into the fiberglass, as part of the experimental variables in the pultrusion process. This system was made through the following objectives:

Experimental study of the variables of the pultrusion process

System design

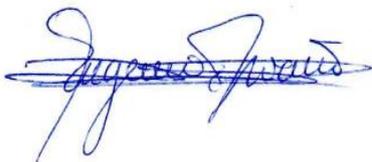
Construction and assembly of subsystems

Experimentation System

This stage of the pultrusion process has a cabinet that is responsible for storing the reinforcements to be used in the process, a thread guide two-phase system which prevents tangling thereof with a separation of the cabinet eighty centimeters, four rollers, two of them in and out of the tub and two internal in the tub that allow impregnation of the matrix (resin) in the reinforcement (fiber).

The document has experimental tests on the system, compositions for obtaining a composite profile and results of tests.

Keywords: Pultrusion, composite matrix, reinforcement



ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA	ii
2. CONSTANCIAS	¡Error! Marcador no definido.
CERTIFICACIÓN DIRECTOR	¡Error! Marcador no definido.
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	¡Error! Marcador no definido.
ÍNDICE DE CONTENIDOS	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
CAPÍTULO 1	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Problema	1
1.2. Objetivos	2
1.2.1. Objetivo General	2
1.2.2. Objetivos Específicos	2
1.2. Alcance	2
1.3. Justificación	2
1.4. Limitaciones	3
1.5. Antecedentes	4
CAPÍTULO 2	7
2. MARCO REFERENCIAL	7
2.1. Materiales compuestos	7
2.1.1. La matriz	8
2.1.2. Fibras o refuerzo	12
2.1.3. Interacción Fibra-Matriz	17
2.2. Estudio general de la pultrusión	18
2.2.1. Pultrusión a nivel mundial	18
2.2.2. Pultrusión en Ecuador	19
2.3. Pultrusión	20
2.3.1. Etapas del proceso	21
2.3.2. Proceso de pultrusión	21
CAPÍTULO 3	23

3. METODOLOGÍA	23
3.1. Despliegue de la función de la calidad	23
3.1.1. Requerimientos del cliente:	23
3.1.2. Especificaciones de ingeniería	24
3.1.3. Casa de la calidad (Relación de los requerimientos y especificaciones)	24
3.2. Análisis funcional	25
3.3. Análisis modular	29
3.3.1. Determinación de alternativas	30
3.4. Propuesta del sistema	38
3.5. Análisis de los componentes críticos del sistema	40
3.5.1. Análisis del armario de almacenamiento	40
3.5.2. Análisis de la tina de mojado de resina	45
CAPÍTULO 4	47
4. RESULTADOS	47
4.3. Pruebas experimentales	49
4.4. Análisis y discusión de resultados	57
CAPÍTULO 5	59
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	59
5.1. Conclusiones	59
5.2. Recomendaciones	60
BIBLIOGRAFÍA	61
ANEXOS	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I. Clasificación de los materiales compuestos	7
Tabla II. Tipos de matrices	8
Tabla III. Resinas poliéster más comunes	12
Tabla IV. Clasificación y características de la fibra de vidrio	15
Tabla V. Empresas a nivel mundial que fabrican perfiles pultruidos.	19
Tabla VI. Módulo 1	30
Tabla VII. Soluciones del módulo 1	31
Tabla VIII. Módulo 2	32
Tabla IX. Soluciones del módulo 2.....	32
Tabla X. Pruebas experimentales para la obtención del perfil I.....	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fibra de vidrio MAT [20]	13
Figura 2. Hilo roving [22]	13
Figura 3. Tejido de fibra de vidrio [23].	13
Figura 4. Hilos cortados [24]	14
Figura 5. Fibras molidas [25]	14
Figura 6. Fibras de poliéster [27]	16
Figura 7. Fibra de carbono [29]	16
Figura 8. Fibra de aramida [30]	17
Figura 9. Distribución de mercado de pultrusión por regiones. [32]	18
Figura 10. Etapas del proceso de pultrusión. [34]	21
Figura 11. Sistema de almacenamiento y guía de los refuerzos (Hilo roving). [38]	22
Figura 12. Tina de impregnación de resina. [39]	22
Figura 13. Diagrama de flujo nivel 0. (Fuente propia)	25
Figura 14. Diagrama de flujo nivel 1. (Fuente propia)	25
Figura 15. Diagrama de flujo nivel 2.	28
Figura 16. Almacenamiento de hilos de fibra de vidrio.	35
Figura 17. CAD tina de mojado.	37
Figura 18. Perfil I.	38
Figura 19. CAD del desenrollado e impregnación de resina	40
Figura 20. Diagramas de Fuerza cortante y Momento flector (Md Solid 4.0)	41
Figura 21. Simulación de esfuerzo por Von Mises	42
Figura 22. Simulación de la deformación de la viga	43
Figura 23. Simulación de esfuerzo por Von Mises (Armario)	44
Figura 24. Simulación de la deformación del armario	44
Figura 25. Simulación de esfuerzo por Von Mises (Mesa basa tina)	45
Figura 26. Simulación de la deformación de la mesa de mojado	45
Figura 27. Análisis por desplazamiento	46
Figura 28. Análisis por Von Mises (Esfuerzo=31,4 Mpa)	46
Figura 29. Sistema de almacenamiento y desenrollado	48
Figura 30. Sistema de impregnación de resina	48
Figura 31. Construcción del sistema de desenrollado y mojado	48
Figura 32. Resultados de la prueba 1	50
Figura 33. Resultados de la prueba 2	50
Figura 34. Resultados de la prueba 3	51
Figura 35. Resultados de la prueba 4	51
Figura 36. Resultados de la prueba 5	52
Figura 37. Resultados de la prueba 6	52
Figura 38. Resultados de la prueba 7	53
Figura 39. Resultados de la prueba 8	53
Figura 40. Resultados de la prueba 9	54
Figura 41. Resultados de la prueba 10	54
Figura 42. Resultados de la prueba 11	55
Figura 43. Resultados de la prueba 12	55

Figura 44. Resultados de la prueba 13	56
Figura 45. Resultados de la prueba 14	56
Figura 46. Resultados de la prueba 15	56
Figura 47. Resultados de la prueba final.....	57
Figura 48. Análisis de aditivos.....	57

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. Problema

Actualmente realizar estructuras con perfiles "T" es muy común, dichos perfiles son ampliamente utilizados en diferentes procesos arquitectónicos, industriales y de construcción.

Los perfiles "T" en procesos arquitectónicos son la base para el desarrollo de proyectos, pues se utilizan para producir marcos de puertas, ventanas, muros de cortina, entre otros.

En la actualidad la mayoría de estos perfiles son fabricados en aluminio resultan muy útiles, pero tienen un costo elevado, que oscila de \$10 a \$25 por metro lineal, según las especificaciones y calidad del material.

Desde hace varios años, se han utilizado materiales compuestos de plástico con fibra de vidrio; aunque no es el primer material compuesto moderno, este se utiliza en diferentes sectores por sus propiedades mecánicas y térmicas, capaces de sustituir los perfiles realizados en aluminio [1]; además, el costo para obtener el producto va de \$1.50 a \$5.00 por metro lineal.

El material compuesto, se debe importar, pues no existe producción nacional por la falta de maquinaria, materia prima y cultura de innovación, estos parámetros han provocado que dichos perfiles no sean utilizados en el Ecuador; siendo la falta de tecnología uno de los principales problemas, para obtener perfiles I de material compuesto.

A través de la presente investigación, se propone realizar el diseño y construcción de un sistema para llevar a cabo el proceso de pultrusión del material compuesto para obtener perfiles I.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Diseñar un sistema de Desenrollado e Impregnación de los refuerzos de fibra para un proceso de Pultrusión.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Estudiar las variables del proceso de Pultrusión y los diferentes sistemas para desenrollado e impregnación de los refuerzos de fibra.
- Diseñar un sistema para desenrollado e impregnación de los refuerzos de fibras capaz de generar un material compuesto.
- Construir un sistema que permita un desenrollado óptimo para la impregnación de resina total en los hilos.
- Verificar el funcionamiento de dicho sistema, para unificar las partes que conforman la máquina de Pultrusión.

1.2. Alcance

Se diseñará y construirá un sistema para desenrollar la fibra de vidrio o de poliéster, e impregnar los refuerzos de fibras en resina para un proceso de Pultrusión, capaz de generar un material compuesto que después de ser pultruido se obtenga un perfil I.

1.3. Justificación

Debido a la amplia utilización de perfiles I se hace relevante generar investigaciones asociadas al proceso de producción de los mismos utilizando materiales compuestos. En primer lugar, desde el punto de vista económico es considerable el ahorro (alrededor del 80%) al comparar los perfiles de materiales compuestos con perfiles de aluminio

convencional. Otro aspecto para tomar en cuenta es elevado costo, debido a la importación de las máquinas que realizan el proceso de pultrusión.

Por otra parte, en el ámbito académico se desarrollaría un equipo que pueda ser útil en los laboratorios de la carrera de Ingeniería Mecatrónica para la realización de prácticas académicas y formación en esta área.

Así mismo en el aspecto de la investigación y mejoras de procesos, se haría un gran aporte, ya que hasta el momento son muy pocas las investigaciones que se han llevado a cabo en el Ecuador relacionadas a este tema; y debido a que es un campo tan amplio surge la posibilidad de dar continuidad al desarrollo de trabajos en esta área que beneficiaría a diferentes sectores del país, incentivando el cambio de la matriz productiva.

La construcción de una máquina de Pultrusión facilitará la obtención y experimentación del perfil I, a su vez innovar este proceso poco conocido en el país y permitir la investigación de nuevos aditivos que mejoren los materiales compuestos y la creación de nuevos perfiles aplicativos en el medio de la arquitectura, construcción y procesos industriales.

1.4. Limitaciones

En el transcurso del proyecto las principales limitaciones que se presentaron en el desarrollo han sido la falta de materia prima (hilos de fibra de vidrio) en el país, parte importante para dar inicio al diseño de la máquina, pues de este depende el dimensionamiento de la misma.

Otra limitación encontrada, se presentó en los ensayos realizados a la resina con sus aditivos para obtener un perfil sólido en un tiempo determinado.

1.5. Antecedentes

Según W. Brandt Goldsworthy la palabra pultrusión se usa para describir un proceso de fabricación comercial para la producción de elementos compuestos reforzados con fibra de carbono o de vidrio, la primera mención del proceso se registró en una patente en 1951 [2].

Las fibras de vidrio o carbono se mezclan con resina y se extraen a través de una matriz de conformación. Durante este proceso, se aplica calor para curar la resina y obtener un material sólido utilizando métodos de calentamiento convencionales. Esta investigación presenta un aplicador de microondas que probará la ventaja del calentamiento rápido y volumétrico, donde solo las fibras y la resina se calientan directamente a una frecuencia de 2,45 GHz [3].

Estos desarrollos, más la introducción de matrices de resina termoplástica, y un alto contenido de fibra de al menos el 60 al 70 %, han llevado el proceso de pultrusión al ámbito de fabricación de los negocios aeroespaciales, de defensa y aeronaves como un método relativamente barato y repetible para producir un elemento estructural de sección transversal constante y de buena calidad [2] [4].

El diseño de una máquina de pultrusión con destino didáctico para los laboratorios de la Universidad Santo Tomás se elaboró principalmente para que produzca dos clases de perfiles: de sección redondo de 12,7 mm [0,5 in] de diámetro y perfil de platina de 25,4 mm [1 in] de ancho por 5 mm de alto, en material compuesto en proporción de peso de 30% en resina Palatal CO40 y 70% en refuerzo en fibra de vidrio, abordando los temas básicos de la Ingeniería Mecánica desde la formulación de una propuesta hasta el diseño detallado del equipo comprobando mediante software de simulación las memorias de

cálculos. Además, se dio una visión sobre este proceso que es poco conocido a nivel nacional, pero que trae muchas ventajas en estructura de las piezas compuestas [5].

Se proporciona un método para producir extrusiones compuestas continuas de material termoplástico que contiene cordones continuos agrupados de refuerzo de fibra en donde este se encuentra impregnado con un material termoplástico fundido de viscosidad relativamente baja, como el PET modificado con glicol, y un material termoplástico fundido que tiene una viscosidad relativamente alta, como el PVC, con la ventaja de que se pueden producir extrusiones continuas reforzadas con fibra en las que el polímero de viscosidad relativamente baja actúa como una interfaz entre la fibra de refuerzo y el polímero de Viscosidad respectivamente alta, mejorando así la unión entre ellos [6]. La formulación de resina curable por calor es preferiblemente una mezcla de al menos una resina epoxi multifuncional y un catalizador de curado catiónico para la resina epoxi [7].

La pultrusión es una de las técnicas de fabricación más rentables para producir fibra. Esto lo hace más atractivo para investigadores y profesionales para investigar los parámetros de procesos óptimos, es decir, la velocidad de tracción, la potencia y las dimensiones de los platos de calentamiento, la longitud y el ancho del calentamiento de la matriz, diseño de la cámara de inyección de resina. En consecuencia, para mejorar la eficiencia del proceso, así como la calidad del producto [8].

CAPÍTULO 2

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. Materiales compuestos

Los materiales compuestos son composiciones de dos o más materiales micro o macroscópicas diferentes, que difieren en forma y composición química y que son esencialmente insolubles entre sí, debido a eso, son considerados heterogéneos. A pesar de que existe este tipo de materiales compuestos en la naturaleza (Madera, Huesos), también existen artificiales, el hombre los creó con el objetivo de conseguir combinaciones de propiedades según la necesidad del área a trabajar, en la tabla I se muestra la clasificación de los materiales compuestos con ejemplos en cada una. [9]

Tabla I. Clasificación de los materiales compuestos

	Ejemplos
Materiales compuestos naturales	Madera
	Hueso
	Bambú
	Músculos
Materiales microcompuestos	Aleaciones metálicas
	Termoplásticos endurecidos
	Hojas para moldeo continuo
	Termoplásticos reforzados
Microcomposites (Productos ingenieriles)	Acero galvanizado
	Vigas de hormigón armado
	Palas de helicóptero
	Esquis

Fuente: [10]

Las propiedades que se obtienen son superiores a la de los materiales que los forman por separado, lo que hace que su uso cada vez sea más imponente sobre todo en aquellas piezas en las que se necesitan propiedades combinadas, en la que un material polímero, metal o cerámico por sí solo no las tiene. Las propiedades que se obtienen son un producto

de la combinación de los refuerzos que se utilicen y de la matriz que soporta al refuerzo en los materiales compuestos. [11]

2.1.1. La matriz

La matriz es el refuerzo del material compuesto, estos se impregnan (remoja) en el matriz. En la tabla II se encuentra los diferentes tipos de matrices [1].

Tabla II. Tipos de matrices

TIPOS DE MATRICES	CARACTERÍSTICAS
Metálica	Proteger las fibras o partículas del ambiente exterior. Propiciar la unión solidaria de los elementos que constituyen el refuerzo. Repartir y transmitir las cargas de los elementos de refuerzo.
Cerámica	Buena resistencia a los esfuerzos mecánicos Trabajan a altas temperaturas Tenacidad muy baja, Baja conductividades térmica y eléctrica. Inestables a temperatura mayor a 1000°
Polimérica	Alargamiento a rotura Tenacidad alta. Absorción de humedad reducida. Baja contracción en curado. Buenas características de flujo. Buena interpenetración del refuerzo y fácil evacuación de volátiles. Buena resistencia química. Alta temperatura de transición vítrea. Buena resistencia a la intemperie.

Fuente: [12] [13] [14]

En la matriz polimérica se utilizan tres tipos de polímeros básicos como los elastómeros, termoplásticos y termoestables. Los más usados son los polímeros termoestables.

- ***Elastómeros***

Elastómero significa simplemente "caucho". La particularidad de los elastómeros es que pueden ser estirados muchas veces su propia longitud, para luego recuperar su forma original sin una deformación permanente [15].

Los elastómeros pueden definirse como polímeros naturales o sintéticos presentando un bajo módulo de elasticidad a temperatura ambiente siendo capaces de soportar, sin alteración, elongaciones reversibles luego de estar sometidos a un proceso de reticulación. Considerando la gran variedad de estructuras posibles los elastómeros tienen una masa molar comprendida entre 10⁴ y 10⁶ g/mol [16].

- ***Matrices Termoplásticas***

Los termoplásticos constituyen al grupo más importante y de mayor uso comercial. Su estructura o arquitectura molecular puede ser lineal o ramificada, lo que le permite fluir con aportación de calor. Tienen excelente tenacidad y una alta resistencia al daño, buena resistencia al desgaste y abrasión. [17].

- ***Matrices Termoestables***

Las matrices termoestables son resinas de alta rigidez; someterlos a las temperaturas muy elevadas tienden a descomponer químicamente el polímero. Las matrices termoestables se presentan sin polimerizar, haciéndolo durante el proceso de fabricación de la pieza final [17]. A continuación, se enlistan las diferentes características:

- Viscosidad baja antes de polimerizarse.
- Estabilidad térmica.
- Resistencia química.
- Buena capacidad para mojar la fibra. [17]

Tipos de resinas termoestable

- **Resinas Vinil-Éster**

Este tipo de resinas permiten mejorar las propiedades mecánicas del material compuesto, pues permite sellar de mejor manera el acabado superficial de la sección a obtener [18]. Las propiedades de los materiales compuestos realizados a base de estas resinas se enumeran a continuación:

- Buena resistencia a la fatiga.
- Baja viscosidad.
- Buena impregnación con las fibras.
- Alta resistencia a la corrosión.
- Tiempo de curado rápido. [18]

- **Resinas Fenólicas**

La producción con este tipo de resinas se puede realizarse de forma manual, por prensa y preimpregnado. Las propiedades que presenta esta resina en el material compuesto son las siguientes: [18]

- Buenas propiedades eléctricas.
- Alta resistencia a temperaturas elevadas.
- Alta resistencia al fuego.
- Resistencia a la abrasión.
- Excelente adhesión a otras resinas.
- Estabilidad dimensional. [18]

- **Resinas Epoxi**

Son más utilizadas en aplicaciones estructurales. No son inflamables, ni tóxicas. Tiene características diferentes a las resinas de poliéster y su combinación con el catalizador es más estricta que con las otras resinas. Las propiedades del material compuesto que se realizan con estas resinas son las siguientes: [18]

- Soporta altas temperaturas (180 °C).
- Buena resistencia y estabilidad ante los agentes químicos y disolventes.
- Excelentes propiedades eléctricas.
- Excelente mojabilidad con las fibras.
- Alto tiempo de curado.
- Costo elevado. [18]

- **Resinas de Poliéster**

Este tipo de resinas son bastantes utilizadas, existen muchos tipos de resinas de poliéster comercializadas que se pueden observar en la tabla III, para sus diferentes aplicaciones. Los materiales compuestos que se realizan con esta resina presentan las siguientes propiedades: [18]

- Baja viscosidad.
- Curado rápido, hasta a temperatura ambiente.
- Aplicaciones variadas.
- Buenas propiedades eléctrica. [18]

Tabla III. Resinas poliéster más comunes

TIPOS	APLICACIONES
Ortoflálicas	Semirrígidas: estratificados industriales, placas onduladas. Rígidas: barnices,preimpregnados.
Isoflálicas	Gel coats, depósitos, ingeniería química...
Tereflálicas	Ingeniería química, estratificados con alta resistencia química.
Tetrahidroflálicas	Barnices, depósitos de alimentos, cubas.
Bisfenólicas	Aplicaciones anticorrosión, alta resistencia química.
Resinas del ac. Tetracloroflálico	Comportamiento al fuego mejorado.
Resinas del ac. Het	Resistencia al fuego, anticorrosión.
Resinas al MMA	Estratificados para el transporte, placas, cúpulas.

Fuente:[18]

2.1.2. Fibras o refuerzo

El refuerzo es el elemento resistente y es el encargado de definir las propiedades mecánicas del material. Desde el punto de vista de propiedades mecánicas, se puede obtener una gran mejora mediante el uso de fibras continuas, reforzando en la dirección del esfuerzo aplicado [18].

Las fibras más utilizadas en los materiales compuestos se dividen en: vidrio, sintéticas, carbono y aramida.

- **Fibras de vidrio**

Mat.- Hilos cortados, entrelazados, aglomerados y prensados, constituyendo una manta que tiene muy buen poder de absorción de la resina poliéster. Se suministra en rollos de 1 m a 1.25 m de ancho y de diferentes gramajes. 1 Kg de Mat requiere aproximadamente de 2 Kg de resina poliéster [19].(Figura 1)



Figura 1. Fibra de vidrio MAT [20]

Roving. - sencillamente se les puede describir como hilos de fibra unidos enrollados, que son presentados en el mercado a modo de bobinas u ovillos de devanado interior u exterior (Figura 2). Se presentan de dos tipos: duros y blandos. Los de tipo duro poseen un ensimaje compatible con la mayoría de resinas de impregnación. En cambio, en los de tipo blando, los filamentos elementales se separan fácilmente y pueden ser mojados con mayor rapidez. Son empleados para producir fibras cortas, para realizar tejidos o bien para procesos de estratificación automática como pultrusión o enrollamiento filamental. Del mismo modo tienen aplicaciones como refuerzo entre las capas de Mat. [21]



Figura 2. Hilo roving [22]

Tejido.- Son un tejido de hilos de base de roving entrecruzados ortogonalmente según una trama y urdimbre de un orden. Tienen una amplia gama de formas cuya diferencias se aprecia en el tipo de tejido, en el peso por metro cuadrado y en la naturaleza de la fibra empleada. (Figura 3). [21]



Figura 3. Tejido de fibra de vidrio [23].

Hilos cortados.- se basan en mats de fibras cortas empleados para trabajos de estratificación realizados a mano (Figura 4) [21].



Figura 4. Hilos cortados [24]

Fibras molidas.- consiste en fibras cortadas entre 2 a 50 mm, en diferentes longitudes para ser pulverizados con resina o ser adicionados a masillas resinosas (Figura 5). Del mismo modo, disponemos de fibras trituradas que se añaden a las resinas para aumentar la viscosidad y la resistencia del manufacturado. Su utilización queda reservada a tareas de aplicación por pistola a presión en simbiosis con resina [21].

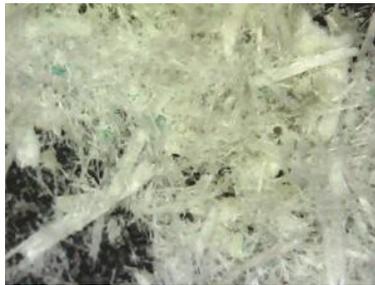


Figura 5. Fibras molidas [25]

La clasificación de las fibras de vidrio se puede observar en la tabla IV.

Tabla IV. Clasificación y características de la fibra de vidrio

Nombre	Características
Fibra de vidrio E	Se utilizada en industria textil. Buenas propiedades eléctricas. Es duradero Bajo costo Poca capacidad de absorción a la humedad.
Fibra de vidrio A	Módulo más bajo que la del vidrio E Se utiliza como reforzante Resistencia química alta
Fibra de vidrio B	Bajo contenido en álcalis Gran durabilidad Excelentes propiedades eléctricas.
Fibra de vidrio S	Buenas resistencia mecánica Alta resistencia a la tracción Estable térmicamente Se aplica en aeronáutica
Fibra de vidrio C	Altas resistencia química. Es un vidrio intermedio entre el A y el E. Alta resistencia a la corrosión.
Fibra de vidrio R	Altas resistencias mecánicas Alta resistencia a la tracción Módulo de elasticidad superior a los de los otros vidrios Se aplican en la aeronáutica, aviación, armamento Resistentes a la fatiga, la temperatura y la humedad.
Fibra de vidrio D	Altas propiedades dieléctricas Se aplican en materiales electrónicos, de comunicación y como material permeable a las ondas electromagnéticas. Se utiliza en la fabricación de radares y ventanas electromagnéticas.
Fibra de vidrio AR	Se utiliza para armar los morteros de cemento

Fuente: [26]

- **Fibras sintéticas**

Poliéster. - Es una fibra orgánica caracterizada por su buena resistencia a la tracción, a los golpes y a la abrasión. Su poca resistencia a los ácidos, a fuertes bases, y su sensibilidad a las radiaciones ultravioletas son caracteres negativos. Ejemplo de aplicación: sector textil. [21]



Figura 6. Fibras de poliéster [27]

- **Fibras de carbono**

Estas fibras fueron empleadas por Thomas Edison, como estambre para sus lámparas, usando fibras de bambú y de algodón como predecesores, sin embargo, en este tiempo no tenían la resistencia de las fibras actuales y no fue hasta que en los años 1960's se reconoció la resistencia de estas fibras gracias a los trabajos de Shindo en Japón y de Watt en el Reino Unido. [28]



Figura 7. Fibra de carbono [29]

- **Fibras de aramida**

Las fibras orgánicas más comunes utilizadas para los refuerzos son las aramidias con Kevlar, una fibra de DuPont, actualmente la marca principal. En 1971, se introdujeron fibras de aramida en productos comerciales. Se utilizaron principalmente como refuerzos

para neumáticos, cinturones y otros artículos relacionados con el caucho, así como para chalecos antibalas. Las fibras encontraron rápidamente aplicaciones en telas de alta resistencia, como velas para barcos de carreras, y luego como refuerzos para materiales compuestos. [28]



Figura 8. Fibra de aramida [30]

2.1.3. Interacción Fibra-Matriz

Una definición propuesta por Metcalfe en 1974 para una interfaz es: “La región del compuesto donde la composición química cambia considerablemente y constituye el enlace entre la matriz y el refuerzo”. La interfaz juega un papel importante en la definición de las propiedades mecánicas y físicas de los materiales compuestos [26].

Existen algunas cualidades necesarias para garantizar una unión interfacial adecuada entre la matriz y el reforzante: una buena mojabilidad del reforzante por parte de la matriz, genera una estabilidad termodinámica. [11].

La transmisión y reparto de las cargas aplicadas al material compuesto se efectúa por la unión existente entre matriz y refuerzo. Si la unión no es buena, la matriz soportará la mayor parte de las tensiones y la función del refuerzo será nula. La matriz y los elementos de refuerzo reaccionan para formar un tercer componente en la interfase. [12]

2.2. Estudio general de la pultrusión

2.2.1. Pultrusión a nivel mundial

En el año de 1951 en EE.UU. se publicó la primera patente sobre Pultrusión, dando comienzo al crecimiento de este proceso, en el año de 1960 constaban 20 empresas que obtenían material compuesto por pultrusión localizadas principalmente en Estados Unidos, en la actualidad el número de fabricantes o empresas asciende a 90, produciendo anualmente entre 250.000 y 300.000 toneladas y en una mayor proporción es en la aplicación industrial. En la figura 9 se puede observar el mercado de la pultrusión por regiones. Mostrando como principal productor al continente Asiático, América con aproximadamente la mitad de producción de Asia y Europa con un porcentaje reducido. [31]

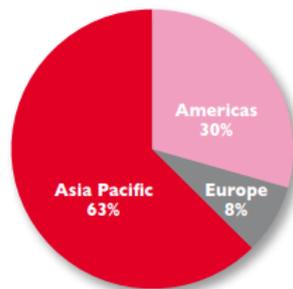


Figura 9. Distribución de mercado de pultrusión por regiones. [32]

La pultrusión ha conseguido un puesto alto en su producción de materiales compuesto, es por eso que diferentes empresas a Nivel Mundial por medio de este proceso fabrican diferentes perfiles según la necesidad del usuario, lo comercializan a diferentes lugares donde este proceso no es desarrollado.

A continuación, se enlista en la tabla V una serie de empresas a nivel mundial que producen perfiles con material compuesto por medio de la Pultrusión:

Tabla V. Empresas a nivel mundial que fabrican perfiles pultruidos.

EMPRESA	LUGAR
FYPRE S.A. (FIBRAS Y PLASTICOS REFORZADOS)	México D.F
ARIES PULTRUSIÓN S.L	Leioa Vizcaya -España
NIOGLAS S.L	Barcelona-España
TECNIPUL Composites	Els Prats de Rei -España
ASHIRVAD CANARIAS SOCIEDAD LIMITADA	Las palmas, Canarias
FALCON PULTRUSIÓNS PRODUCTS	Okanagan Valley of British Columbia (Canadá)
FIBROLUX	Frankfurt (Alemania)
RESPLA LTDA	Santiago (Chile)
DCP PULTRUSIÓN	Creil (Francia)
EPOLYGLAS, S.A. de C.V	Anáhuac (México)
ARIES PULTRUSION SL	CANTABRIA (España)
OWENS CORNING COMPOSITE MATERIALS, LLC ONE OWENS CORNING PARKWAY	Toledo, Ohio (U.S.A)
OCV FABRICS	Brunswick, (U.S.A)
EUROPEAN OWENS CORNING FIBERGLAS SPRL	Brussels- Zele (Bélgica)
OWENS CORNING COMPOSITE SOLUTIONS BUSINESS ASIA PACIFIC REGIONAL HEADQUARTERS	Shanghai (China)

Fuente: [5] [32]

2.2.2. Pultrusión en Ecuador

En el transcurso de la búsqueda de información para la investigación del proceso de pultrusión se encuentra que en el Ecuador es bastante desconocido, los diferentes y principales proyectos que están dando apertura al desarrollo de la pultrusión son los siguientes:

- Propuesta técnica del proceso de laminado manual en plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV) en la fabricación de elementos utilitarios. Universidad Internacional del Ecuador (Loja). 2013.
- Estudio del comportamiento a fatiga mecánica por flexión de materiales compuestos con fibra de cabuya (30%) y matriz poliéster (70%) para determinar el diagrama s-n. Universidad Técnica de Ambato (Ambato). 2014.
- Diseño y construcción de un prototipo de máquina de pultrusión y estudio experimental de las variables para la obtención de perfiles “O” de material compuesto con matriz termoestable. Escuela Politécnica Nacional (Quito). 2017.
- Diseño del sistema de alimentación y soporte de una máquina de pultrusión utilizando estructura de acero. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. (Manta). 2017.

2.3. Pultrusión

Pultrusión es un proceso constante de manufactura que se utiliza para fabricar perfiles de plástico reforzado con fibra termoestable; este permite obtener productos con secciones constantes, dichas secciones pueden ser tubos, barras, vigas, placa, angular. El proceso de pultrusión a diferencia de la extrusión que es empujar el material por un tornillo sinfín a un área determinada, lo que busca es ejecutar un pull o halado por medio de diferentes procesos de arrastres que permitan el deslizamiento de las fibras a lo largo de todo el proceso [33].

2.3.1. Etapas del proceso



Figura 10. Etapas del proceso de pultrusión. [34]

- 1) Distribución de refuerzos
- 2) Recipiente de impregnación
- 3) Matriz de preformado- formado y curado
- 4) Arrastre
- 5) Corte
- 6) Producto terminado

2.3.2. Proceso de pultrusión

El proceso empieza pasando las fibras de vidrio, roving, tejido, mat por cada una de las etapas del proceso, estas fibras se encuentran en bobinas colocadas en un almacenamiento que permiten un fácil desenrollado [5].

El refuerzo (fibra) ingresa por unos guías hilos que dan paso a la impregnación de la resina líquida. Las fibras impregnadas pasan a través de las matrices de pre-conformado para ingresar a la zona del molde que tiene la forma de la sección escogida, en donde por medio de un proceso térmico se ejecuta la polimerización y curado de la mezcla resinosa para obtener el perfil seleccionado en un material compuesto sólido [35].

Una vez salido el perfil, por el proceso de arrastre a una velocidad establecida que oscila de los 0,2 m/min a 0,4 m/min que permite el paso de las fibras por cada fase,

finalmente llega el proceso de corte que se establece de acuerdo a las necesidades de uso del perfil [5] [36].

2.4. Sistema de almacenamiento

Este consta de nasas o estanterías de hilo, dispensadores de fieltro, fibras o tejidos. En algunos casos se pueden usar también bobinadoras o trenzadoras si la trama de refuerzo axial es necesaria. Este sistema debe permitir el desenrollado correcto del refuerzo para evitar problemas a lo largo del proceso, este puede ser horizontal, vertical o inclinado [37]. Los refuerzos necesitan un sistema guía que les permita reducir el espacio y acoplarse al proceso de impregnado y de la misma manera no enlazarse unos con otros. (Ver figura 11)



Figura 11. Sistema de almacenamiento y guía de los refuerzos (Hilo roving). [38]

2.5. Sistema de impregnación de la resina

Este sistema consiste en un baño de resina simple o en un dispositivo de impregnación a presión o al vacío. El impregnador de resina humedece el refuerzo con una solución que contiene la resina, cargas, pigmentos y catalizadores, además de los otros aditivos necesarios. El interior de la tina donde las fibras se impregnan de resina, es cuidadosamente diseñado para optimizar la saturación completa de los refuerzos como muestra la figura 12. [37]

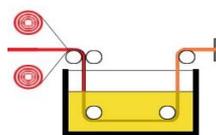


Figura 12. Tina de impregnación de resina. [39]

CAPÍTULO 3

3. METODOLOGÍA

Este trabajo se enfoca en tres tipos de investigaciones: aplicada, proyectiva y científica, porque busca solucionar problemas prácticos para alcanzar fines o necesidades presentadas en la sociedad, y para solucionar esto se siguen un conjunto de procedimientos que permiten obtener nuevos conocimientos e innovaciones.

3.1. Despliegue de la función de la calidad

Las especificaciones para el sistema propuesto se establecen utilizando la casa de la calidad, esta permite que la voz del cliente sea un factor importante al diseñar.

3.1.1. Requerimientos del cliente:

- Producción perfiles I
- Velocidad de trabajo
- Material compuesto
- Corte de perfil plástico
- Cumplir normas de seguridad
- Cumplir con normas ergonómicas
- Bajo costo
- Duradero
- Longitud mediana de la máquina
- Máquina semiautomática

3.1.2. Especificaciones de ingeniería

Una vez definidas las necesidades del cliente estas son traducidas a la voz del ingeniero:

- Perfil I- 46x25mm
- Perfil 1m/min
- Fibras de vidrio-Hilos de poliéster y nylon
- Velocidad de corte
- Seguridad
- Ergonomía
- Costo total
- Mantenimiento
- Dimensiones
- Bajo nivel de automatización
- Energía

3.1.3. Casa de la calidad (Relación de los requerimientos y especificaciones)

La casa de la calidad brinda información para determinar las especificaciones técnicas, como están relacionadas entre sí y finalmente de todas las necesidades presentadas permite obtener las más relevantes. (**Anexo A**)

Las necesidades más notables son las siguientes:

- Perfil 46x25mm
- Dimensiones
- Costo Total

3.2. Análisis funcional

El análisis funcional permite establecer las funciones del sistema por medio de un diagrama de flujo.

A continuación, se indica los diagramas de flujo del análisis funcional:

NIVEL 0



Figura 13. Diagrama de flujo nivel 0. (Fuente propia)

NIVEL 1

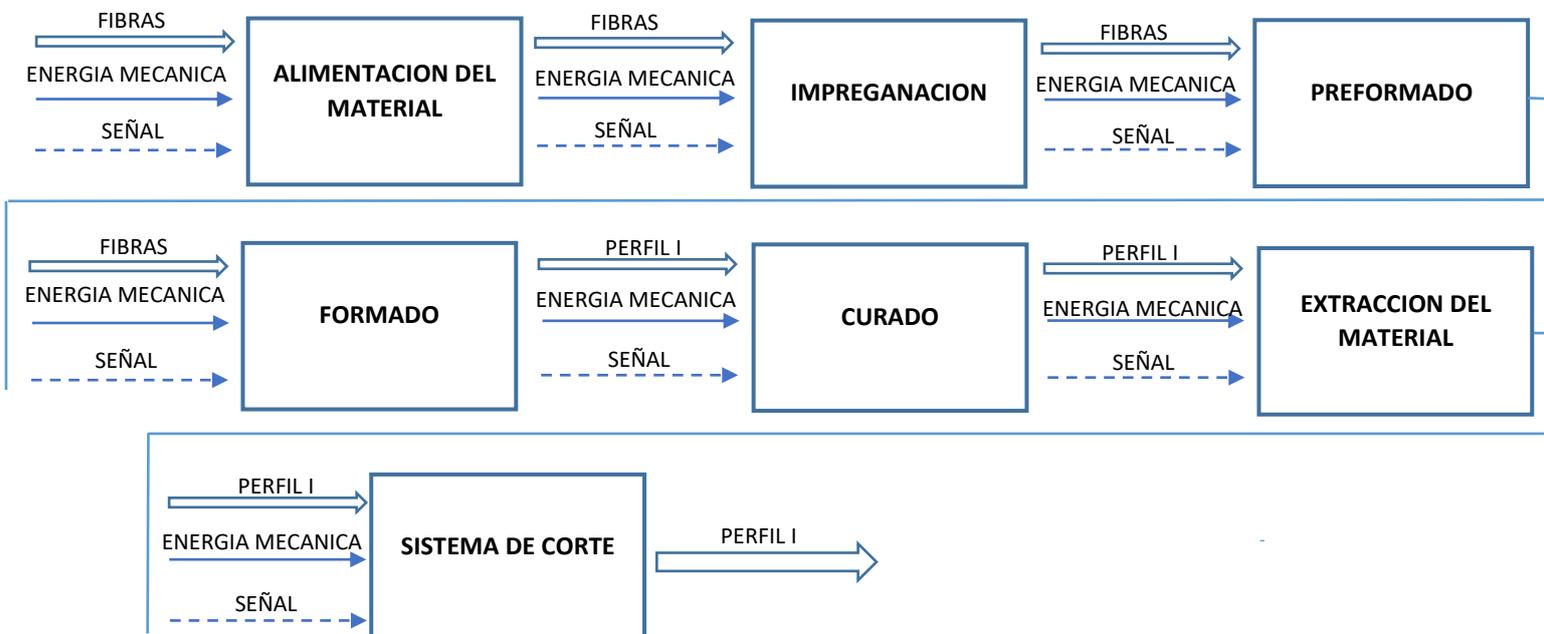
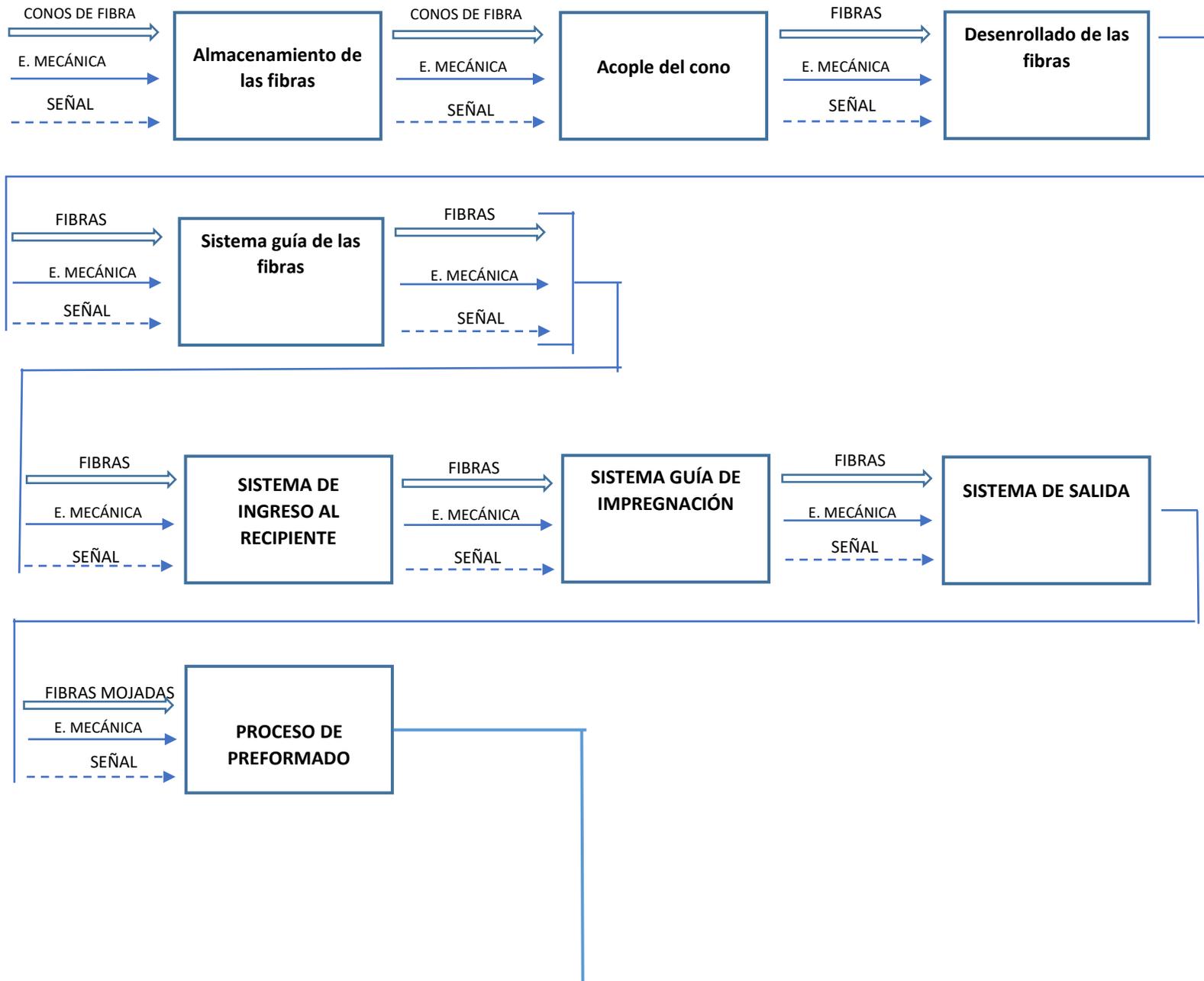
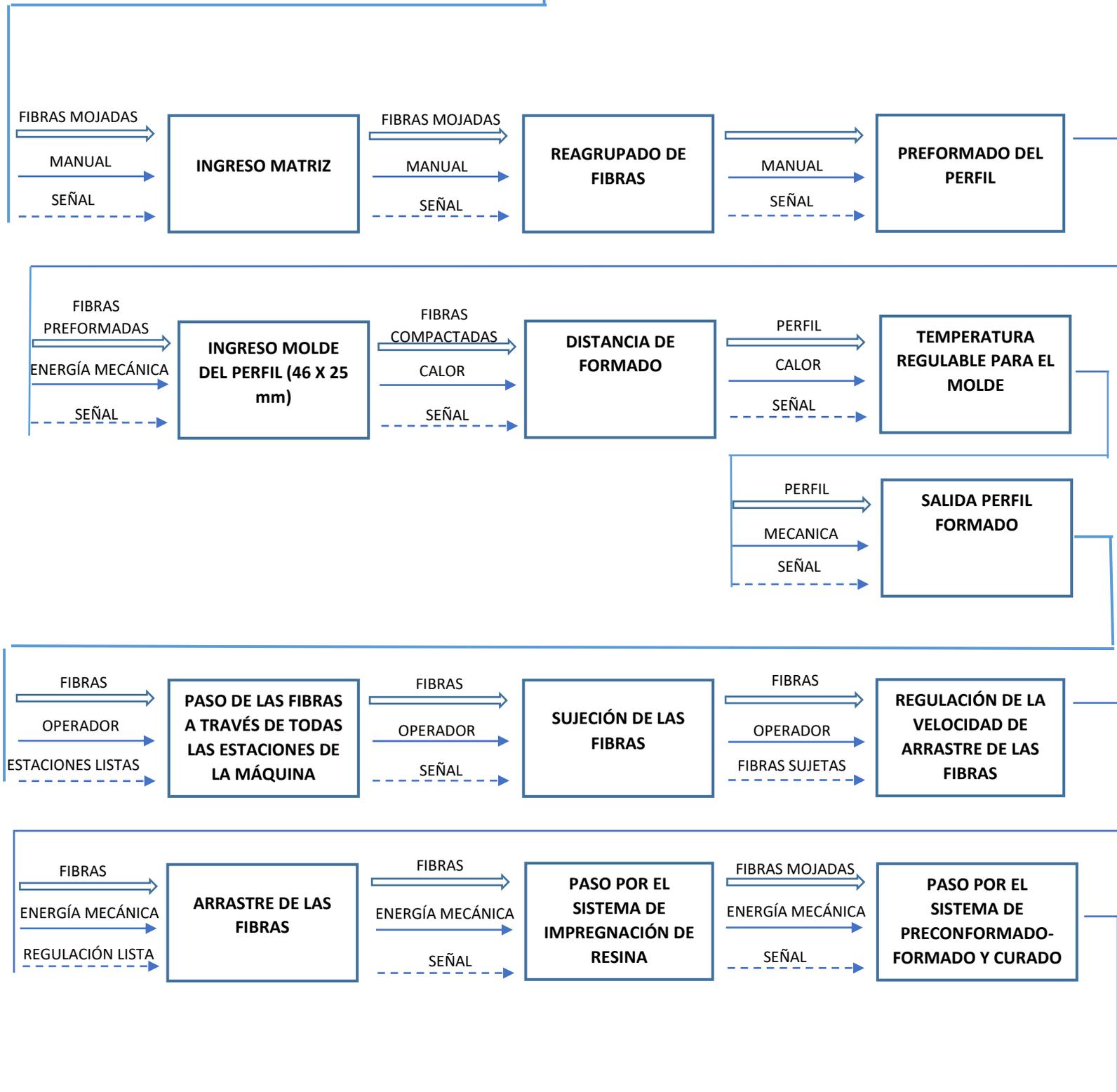


Figura 14. Diagrama de flujo nivel 1. (Fuente propia)

NIVEL 2



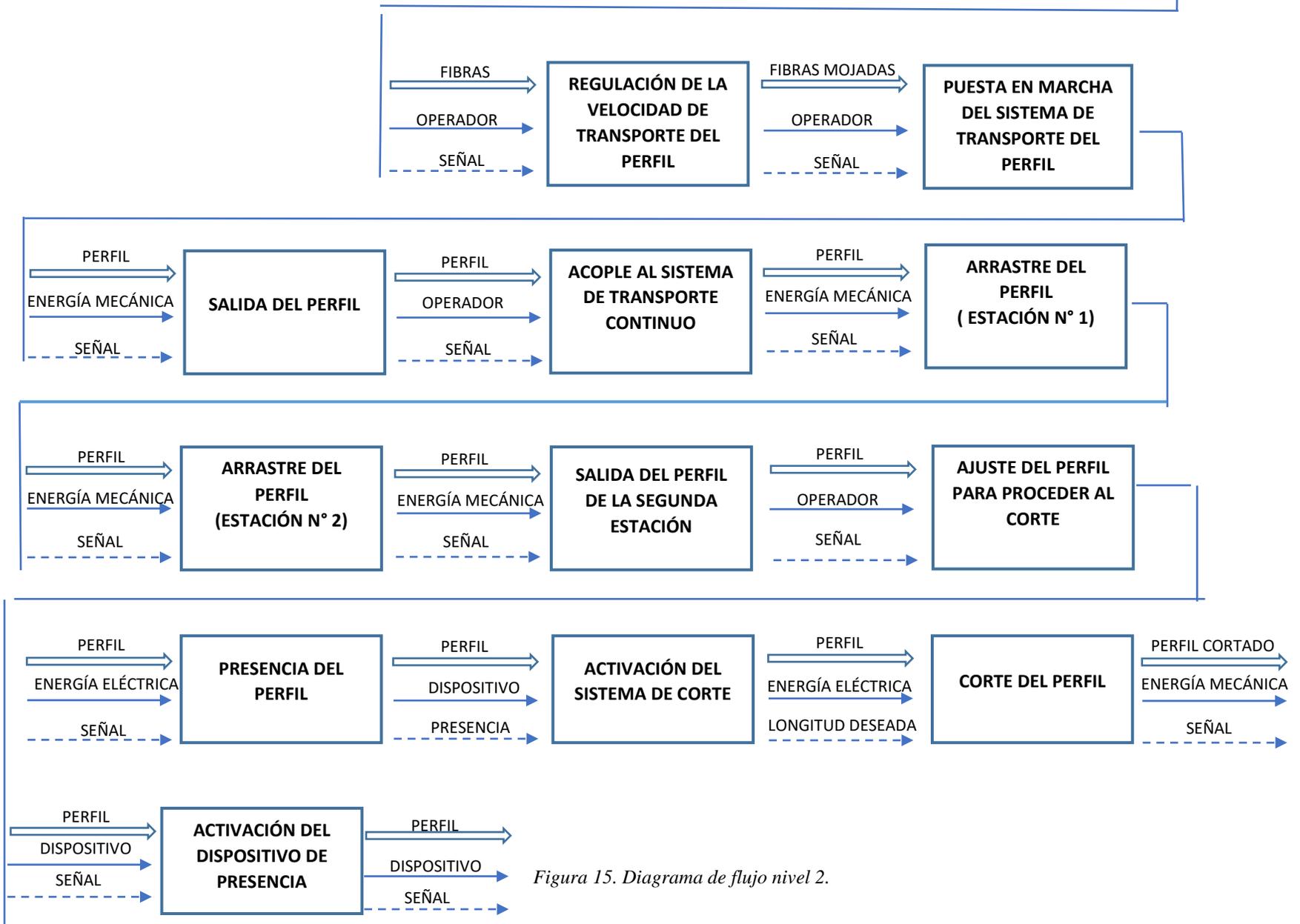
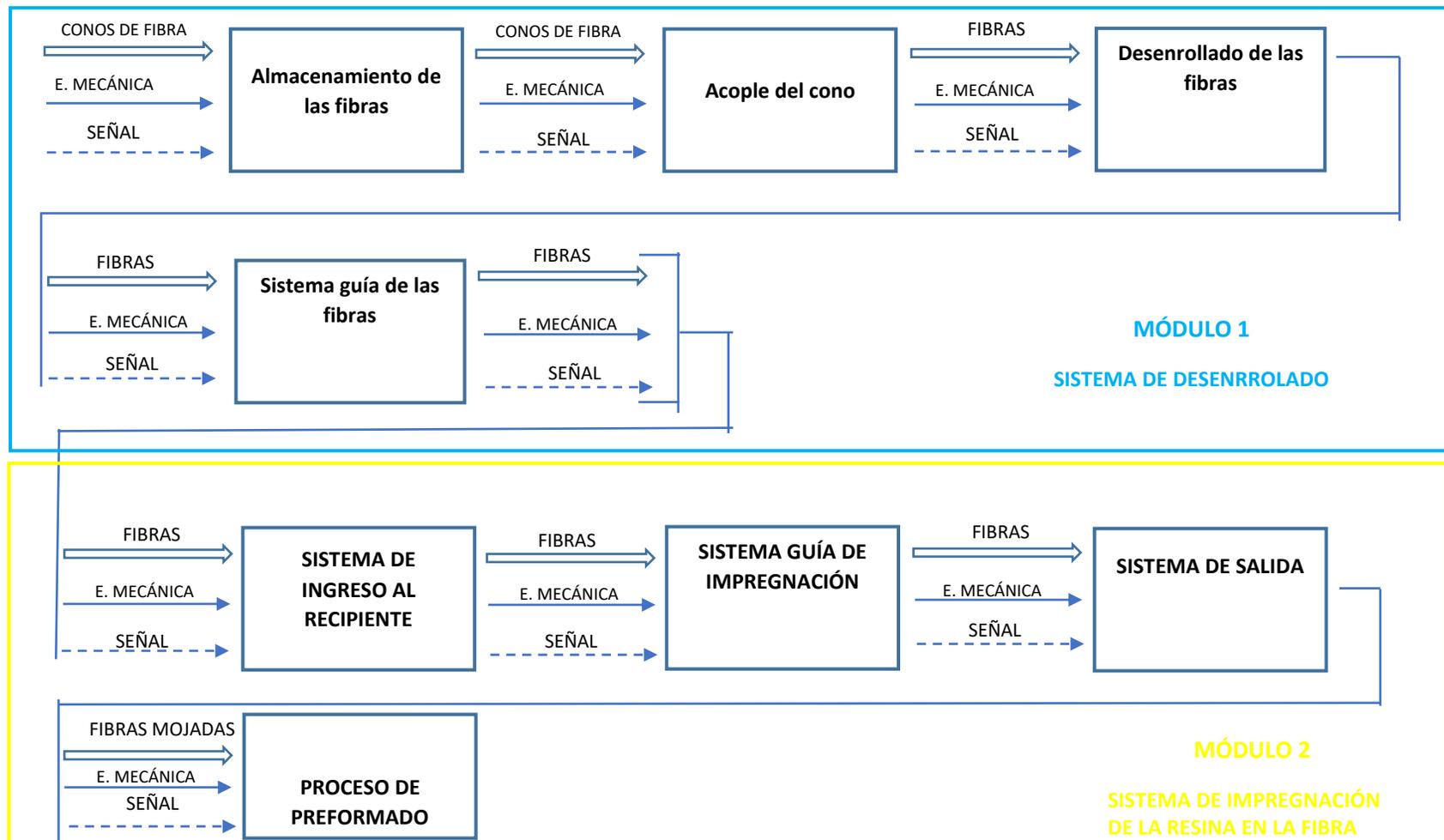


Figura 15. Diagrama de flujo nivel 2.

3.3. Análisis modular

El análisis por módulos permite determinar las diferentes funciones que constituye cada etapa del proceso. Para realizar un análisis minucioso y completo se procede a realizar una división de funciones, estos servirán para encontrar diferentes soluciones en cada módulo, tomando en cuenta variables importantes, como son: material, energía y señal para las funciones de cada módulo.



3.3.1. Determinación de alternativas

Tabla VI. Módulo 1

	FUNCIONES	SOLUCIONES	VENTAJAS	DESVENTAJAS
1	ALMACENAMIENTO DE FIBRAS	ARMARIO VERTICAL	- Estabilidad de los hilos - Almacena mayor cantidad de hilos	- Sobredimensionada
		ARMARIO HORIZONTAL CON SEGURO	- Estabilidad del hilo	- Almacena pocos hilos
		ARMARIO HORIZONTAL	- Menor costo de fabricación	- Almacena pocos hilos - Hilos no estables
2	ACOPLE DE CONO	VERTICAL	- Estabilidad del hilo para desenrollado	- Solo se puede trabajar con el enrollado de los hilos de fábrica
		HORIZONTAL	- Fácil implementación	- Hilos inestables - Toca construir los conos para este tipo de acoples
		ACOPLE CON SEGURO	- Seguridad del hilo	-Toca construir los conos para este tipo de acoples
3	DESENROLLADO DE FIBRAS	CONO VERTICAL	- Fácil desenrollado utilizando el cono que viene de fabrica	Solo se puede trabajar con el enrollado de los hilos de fábrica
		CONO HORIZONTAL	- Fácil desenrollado	- Toca construir los conos para este tipo de acoples
		CONO CON INCLINACION DE 45°	- Ocupa menos espacio físico	- Implementación de un disco ase para evitar atascamiento en el desenrollado
4	SISTEMA GUÍA DE LAS FIBRAS	MATRIZ LINEAL GUÍA CON ORIFICIOS FIJOS	- El ingreso de las fibras es individual lo que permite que esta tenga un buen mojado en la resina - -Fácil implementación - Firmeza para desenrollado	- Tiempo largo de ingreso de los hilos por los orificios
		RODILLOS	- Fácil ingreso de los hilos al recipiente	- No da paso a una buena impregnación de la resina en las fibras
		ANILLOS GUÍAS	- Firmeza para desenrollado	- Costo Alto de los anillos individuales

Tabla VII. Soluciones del módulo 1

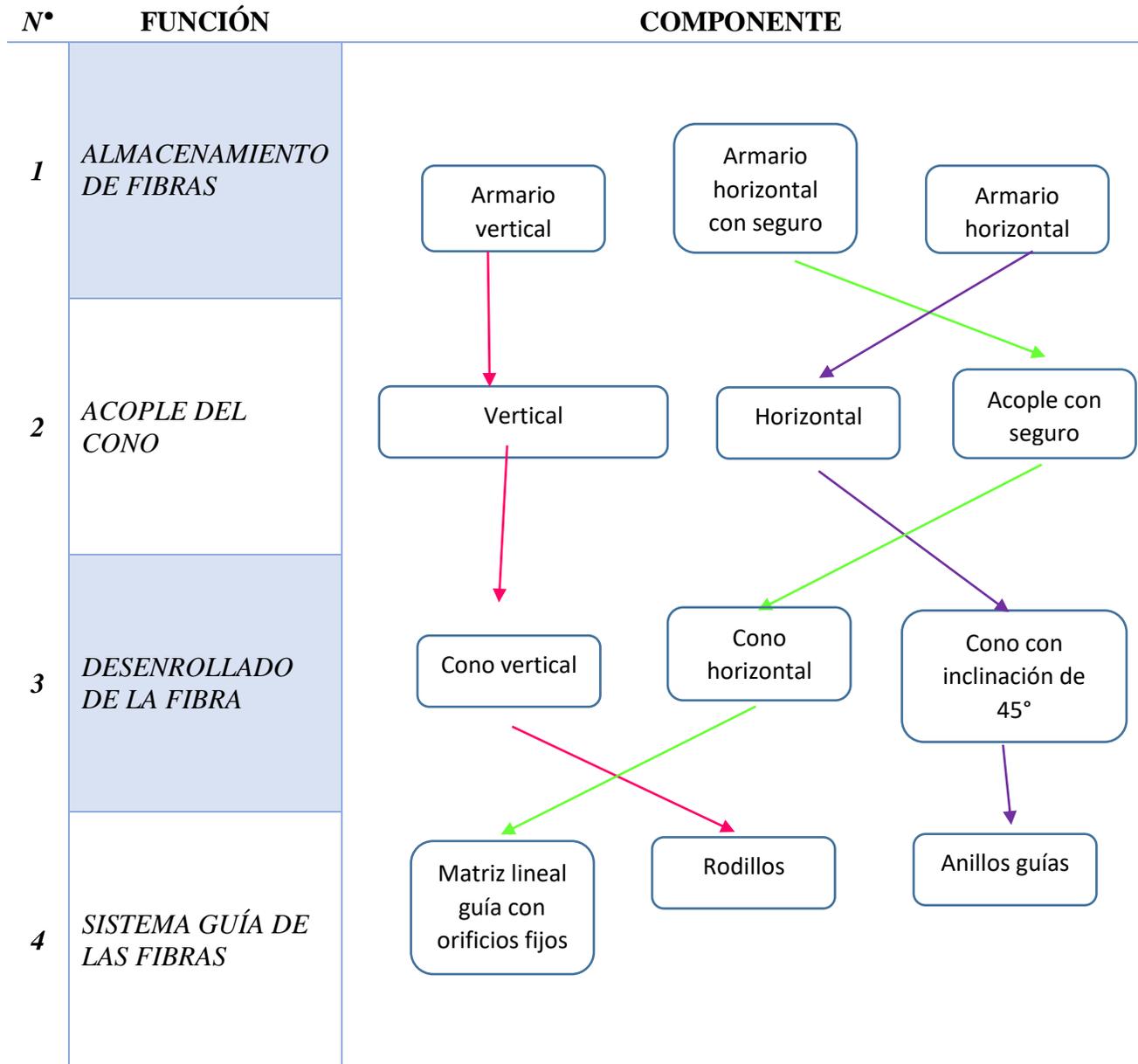
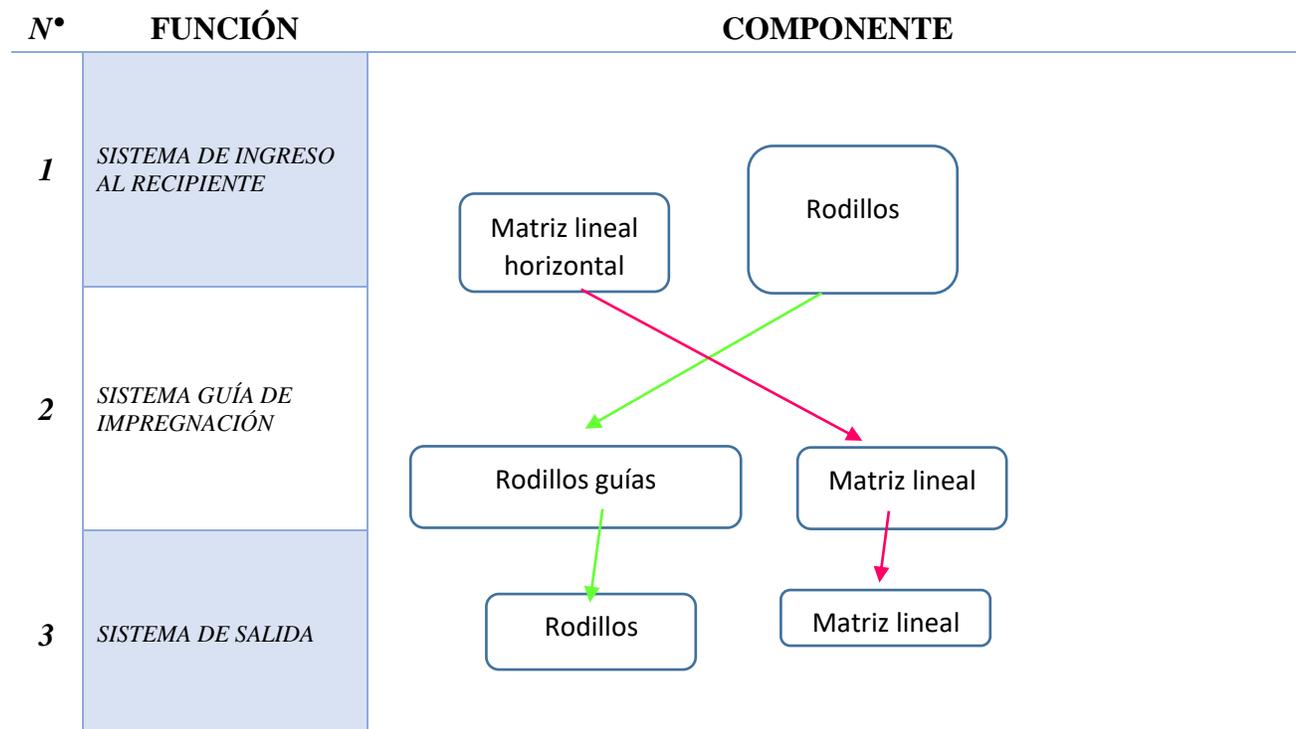


Tabla VIII. Módulo 2

	FUNCIONES	SOLUCIONES	VENTAJAS	DESVENTAJAS
1	SISTEMA DE INGRESO AL RECIPIENTE	MATRIZ LINEAL HORIZONTAL	- Mejor separación de hilos para en proceso de impregnación	- Mucho tiempo en el ingreso de los hilos por los orificios
		RODILLOS	- Fácil ingreso de los hilos	- Unión de los hilos, causando que estos no se remojen en la resina completamente
2	SISTEMA GUÍA DE IMPREGNACIÓN	RODILLOS GUÍAS	- Ayuda a los hilos a sumergirse en la resina	- Los rodillos deben ser cambiados de acuerdo al tiempo que se encuentren sumergidos en la resina
		MATRIZ LINEAL	- Ayuda a los hilos a sumergirse en la resina	- No permite la unión de los hilos y la resina en el proceso de mojado
3	SISTEMA DE SALIDA	RODILLOS	- Permite el escurrido necesario del exceso de resina - Da paso en el proceso a que los hilos y la resina se vayan compactando.	- Los rodillos deben ser cambiados de acuerdo al tiempo que se encuentren en contacto con el hilo impregnado de resina
		MATRIZ LINEAL	- Permite verificar el estado del hilo es decir que este no se encuentre roto	- No permite la unión del hilo y la resina por la separación de los orificios en la matriz.

Tabla IX. Soluciones del módulo 2



Soluciones del módulo 1

Solución 1.

Armario horizontal con seguro-Acople con seguro-Desenrollado con cono horizontal- Matriz lineal guía con orificios fijos

Solución 2.

Armario vertical- Acople del cono vertical- Desenrollado vertical- Sistema guía por rodillos

Solución 3.

Armario horizontal- Acople del cono horizontal- Desenrollado con el cono ubicado en una inclinación de 45°- Sistema guía con anillos guías.

Método de Criterios Ponderados- Módulo 1

Con el fin de determinar el módulo que resulte más conveniente, se emplea el método ordinal corregido de criterios ponderados.

Se listan a continuación los criterios más determinantes:

- Perfil 46x25mm
- Dimensiones
- Costo Total

La valoración de los criterios ponderados se detalla en las tablas siguientes:

	Perfil 46x25 mm	Dimensiones de la máquina	Costo total	$\Sigma+1$	Ponderación
Perfil I 46x25 mm		1	0.5	2.5	0.31
Dimensiones de la máquina	1		1	3	0.38
Costo total	0.5	1		2.5	0.31
			Total	8	1

Dimensiones de la máquina > Perfil I 46x25 mm = Costo total

Perfil I 46X25mm	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		1	1	3	0.5
Solución 2	0		0.5	1.5	0.25
Solución 3	0	0.5		1.5	0.25
			Total	6	1

Solución 1 > Solución 2 = Solución 3

Dimensiones de la máquina	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		1	1	3	0.5
Solución 2	0		0	1	0.17
Solución 3	0	1		2	0.33
			Total	6	1

Solución 1 > Solución 3 > Solución 2

Costo	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		1	0	2	0.33
Solución 2	0		0.5	1.5	0.25
Solución 3	1	0.5		2.5	0.42
			Total	6	1

Solución 3>Solución 1>Solución 2

	Perfil I 46x25mm	Dimensiones de la máquina	Costo	$\Sigma+1$	Ponderación	Prioridad
Solución 1	0.5	0.5	0.33	2.33	0.39	1
Solución 2	0.25	0.17	0.25	1.67	0.28	3
Solución 3	0.25	0.33	0.42	2	0.33	2

Se determina que la solución que más se ajusta a los criterios es la 1. (Ver figura 16)

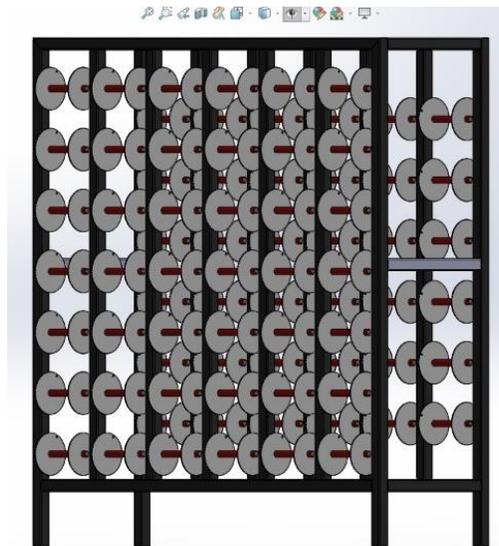


Figura 16. Almacenamiento de hilos de fibra de vidrio.

Soluciones del módulo 2

Solución 1.

Ingreso al sistema de remojo en resina por rodillos- Guía de impregnación por rodillos- Sistema de salida por rodillos.

Solución 2.

Ingreso al sistema de remojo por una matriz lineal- Guía de impregnación por una matriz lineal- Sistema de salida por una matriz lineal.

Métodos de criterios ponderados- Módulo 2

La valoración de los criterios ponderados se detalla en las tablas siguientes:

	Perfil 46x25 mm	Dimensiones de la máquina	Costo total	$\Sigma+1$	Ponderación
Perfil I 46x25 mm		1	0.5	2.5	0.31
Dimensiones de la máquina	1		1	3	0.38
Costo total	0.5	1		2.5	0.31
			Total	8	1

Dimensiones de la máquina > Perfil I 46x25 mm = Costo total

Perfil I 46X25mm	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		1	2	0.5
Solución 2	1		2	0.5
		Total	4	1

Solución 1=Solución 2

Dimensiones de la máquina	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		1	2	0.67
Solución 2	0		1	0.33
		Total	3	1

Solución 1>Solución 2

Costo	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		1	2	0.67
Solución 2	0		1	0.33
		Total	3	1

Solución 1>Solución 2

	Perfil I 46x25mm	Dimensiones de la máquina	Costo	$\Sigma+1$	Ponderación	Prioridad
Solución 1	0.5	0.67	0.67	2.84	0.60	1
Solución 2	0.25	0.33	0.33	1.91	0.40	2

Se determina que la solución que más se ajusta a los criterios es la solución 1. (Ver figura 17)

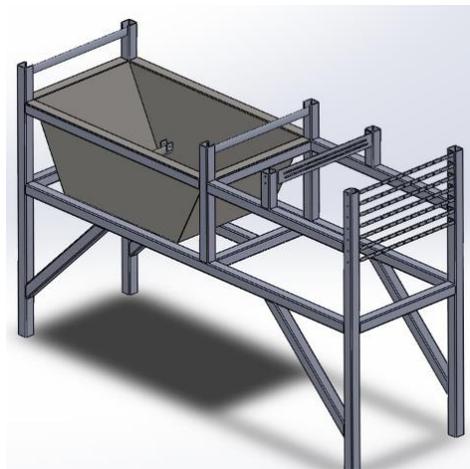


Figura 17. CAD tina de mojado.

3.4. Propuesta del sistema

Después de ejecutar la matriz de criterios ponderados se realizan los cálculos necesarios para el dimensionamiento de las soluciones propuestas.

Uno de los factores bases para iniciar el diseño de la máquina para el proceso de pultrusión es conocer la cantidad de carretes de fibras de vidrios necesarios para el perfil a obtener. El perfil I tiene como dimensiones 46 mm de altura, 25 mm de ancho, 2,5 de alma y redondeos de 2 mm en los vértices internos como se muestra en la figura 18. Y como requerimientos del cliente el largo de este perfil será de 1000 mm.

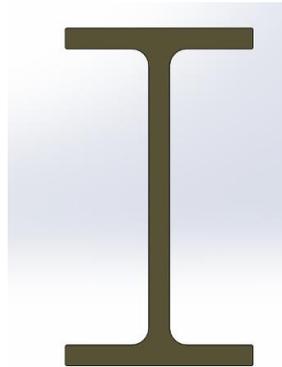


Figura 18. Perfil I.

- Área del perfil I

$$A_{total} = 2 * A_{ala} + A_{alma} + A_{redondeo}$$

Ecuación 1

$$A_{total} = 230,93mm^2$$

- Volumen del perfil I

$$V = A_{total} * L$$

Ecuación 2

$$V = 230930mm^3$$

Para obtener la masa del perfil, se asume que este, solo se encuentra hecho con resina poliéster, conociendo como dato la densidad ($\rho = 1,1 \text{ g/cm}^3$).

$$m_{\text{perfil}} = \rho * V \quad \text{Ecuación 3}$$

$$m_{\text{perfil}} = 254,023g$$

Una vez conocida la masa del perfil se establece los porcentajes de la composición del material en el perfil, este constará del 65% de hilos roving (refuerzo) y 35% de resina (matriz).

$$m_{\text{hilo roving}} = m_{\text{perfil}} * 65\% \quad \text{Ecuación 4}$$

$$m_{\text{hilo roving}} = 165,115g/m$$

Para calcular la cantidad de bobinas para la obtención de un perfil I como datos se tiene que las bobinas de hilos de fibra de vidrio son de 17,5 Kg (17500g) y un TEX de 2400 que equivale a 2,4 g por metro de hilo. (Anexo A- Hilo de Fibra de Vidrio 2400)

$$N^{\circ} \text{ de Bobinas} = \frac{m_{\text{hilo roving}}}{\text{Peso en gramo en } 1m} \quad \text{Ecuación 5}$$

$$N^{\circ} \text{ de Bobinas} = 68,79 \text{ bobinas} \cong 69 \text{ bobinas en un } 65\% \text{ de refuerzo}$$

Después de conocer la proporción de carretes es necesario calcular la cantidad de resina en un metro lineal del perfil.

$$V_{\text{resina}} = \frac{V_{\text{perfil}} * 35\%}{1m} \quad \text{Ecuación 6}$$

$$V_{\text{resina}} = \frac{80,82 \text{ cm}^3}{m} \cong 0,08 \frac{\text{lt}}{m} \text{ en un } 35\% \text{ de matriz}$$

La tina que contiene la resina tiene una cabida total de 100,16 litros, donde la capacidad óptima es de 26 litros, dado este valor desde la base de la tina a una altura de 10 cm.

Una vez establecido las porciones necesarias en un metro de perfil, con la composición 65:35, con los 26 litros de capacidad optima de la tina se obtiene 325 metros de perfil; pero como existe pérdida de resina, a la salida de la tina por el rodillo y a la entrada del preformado el número de perfiles se reduce.

Una vez determinado el número de carretes y la cantidad de resina, se obtiene como resultado el diseño de la figura 19 para realizar la construcción.



Figura 19. CAD del desenrollado e impregnación de resina

3.5. Análisis de los componentes críticos del sistema

3.5.1. Análisis del armario de almacenamiento

Establecido el diseño se realiza un análisis de una viga de la estructura para conocer el esfuerzo máximo y el factor de seguridad para análisis de todo el elemento, las cargas aplicadas en la viga ($P_1=P_2=48,2$ N; $P_2=P_3=P_4=P_5=P_6= 96,04$ N; $M_1=M_2=57,34$ N*m) y las reacciones ($A_y=B_y=288,12$ N) permiten obtener los diagramas de fuerza cortante y momento flector como muestra la figura 20.

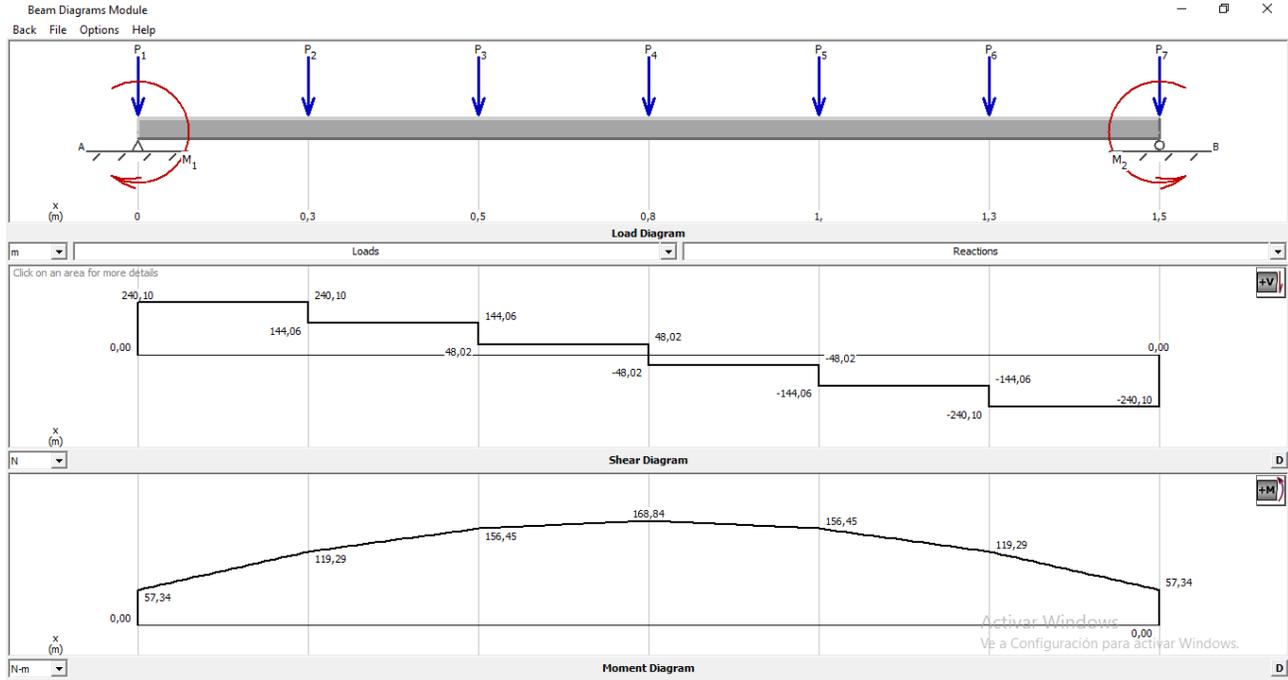


Figura 20. Diagramas de Fuerza cortante y Momento flector (Md Solid 4.0)

El momento flector máximo ($M=168,84 \text{ N}\cdot\text{m}$) muestra el punto en donde la viga tendrá su mayor deformación, esto se observa en la curva de la figura 20.

Se utiliza tubo cuadrado de $1 \frac{1}{2}$ '' con 2 mm de espesor (t) (ASTM A36), las propiedades mecánicas se detallan a continuación $S_u=400 \text{ MPa}$, $S_y=250 \text{ MPa}$ y $E=200 \text{ GPa}$

La ecuación 7 permite obtener la sección de un tubo cuadrado.

$$S = \frac{(a^4 - (a-2t)^4)}{6 \cdot a} \tag{Ecuación 7}$$

$$S = 3,28 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Al conocer la sección del tubo se calcula el esfuerzo con la ecuación 8 y el factor de seguridad de la viga se calcula con la ecuación 9.

$$\mathcal{T} = \frac{M}{S} \tag{Ecuación 8}$$

$$\mathcal{T} = 51,47 \text{ MPa}$$

$$N = \frac{S_y}{T}$$

$$N = 4,86$$

Ecuación 9

Para validar los datos calculados se realizan simulaciones en SolidWorks, los valores calculados con los de la simulación no pueden ser más del 10 % de error.

En la figura 21 se observa la simulación del esfuerzo de una viga por Von Mises, estos datos permiten validar los resultados calculados y a su vez validar la simulación del armario en general. En la simulación el esfuerzo $T = 55,5 MPa$ y el factor de seguridad $N = 4,5 MPa$, haciendo un análisis el error que presentan los datos calculados y simulados es del 7%, al ser menor del 10% se toma como dato el número de elementos ($N^{\circ}=10$), como base para las simulaciones siguientes, es decir del armario y la mesa base de la tina.

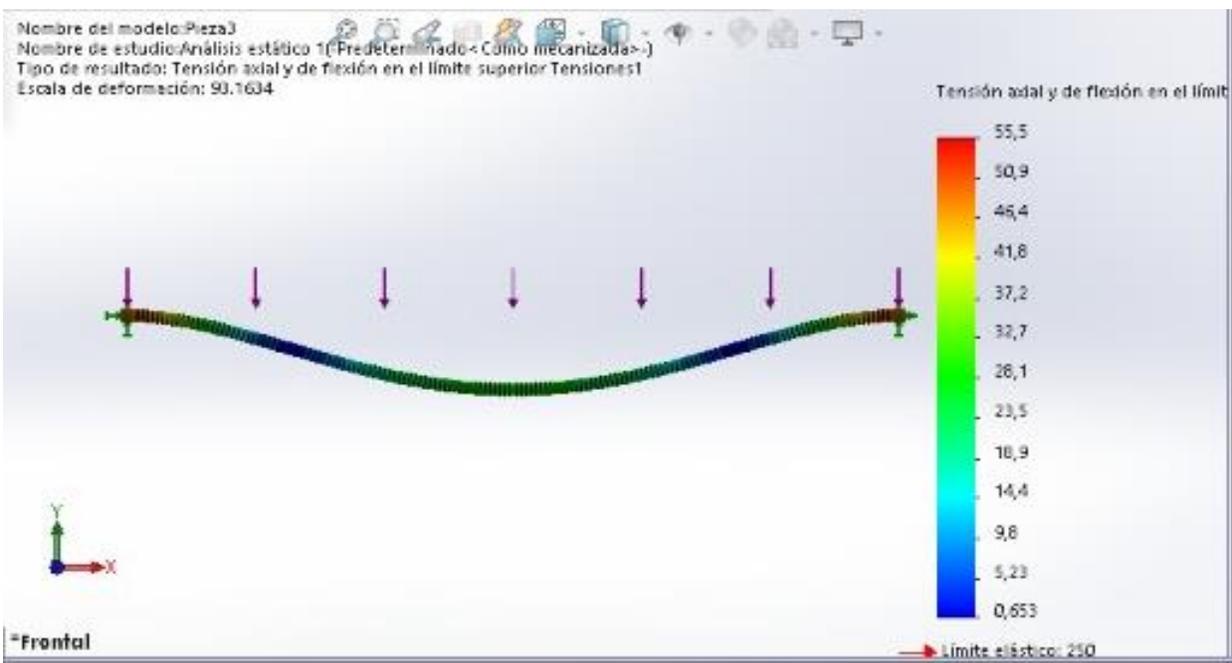


Figura 21. Simulación de esfuerzo por Von Mises

La deformación que sufre la viga es de aproximadamente 2 mm, dato poco relevante para cambiar la sección transversal del tubo escogido. Esta deformación se encuentra en el mismo punto donde se está el momento flector máximo en el diagrama.

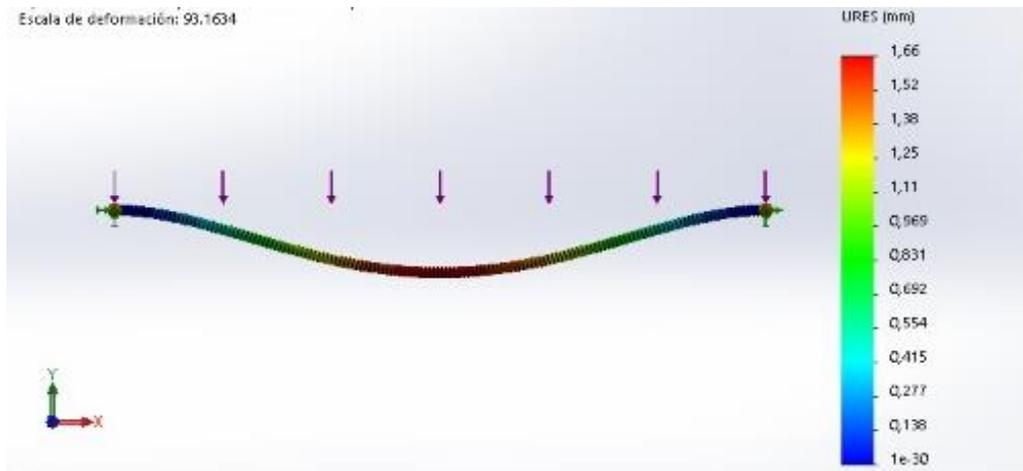


Figura 22. Simulación de la deformación de la viga

Al conocer el número elementos que permitieron encontrar datos de esfuerzo y deformación similar a los cálculos, sin que estos difieran el margen de error, se realiza la simulación de toda la estructura del armario y la mesa base de la tina. Las cargas aplicadas para obtener el esfuerzo máximo que estas soportan y la deformación en las 2 estructuras, son las fuerzas máximas para las que se encuentran diseñadas, es decir, al armario se le aplicó la carga de 78 hilos de 2000 gramos cada uno, cuando en el proceso para obtener el perfil I son necesario 69, y la mesa de la tina de igual manera esta simulada con la carga de la tina totalmente llena. Las deformaciones que se producen en las 2 estructuras oscilan de 0,2 a 0,6 mm. (Ver figuras 24 y 26)

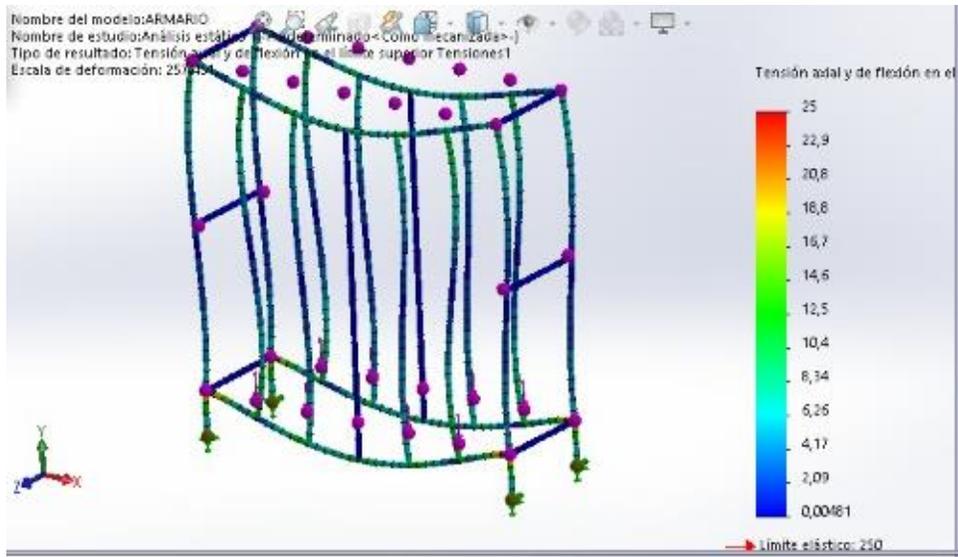


Figura 23. Simulación de esfuerzo por Von Mises (Armario)

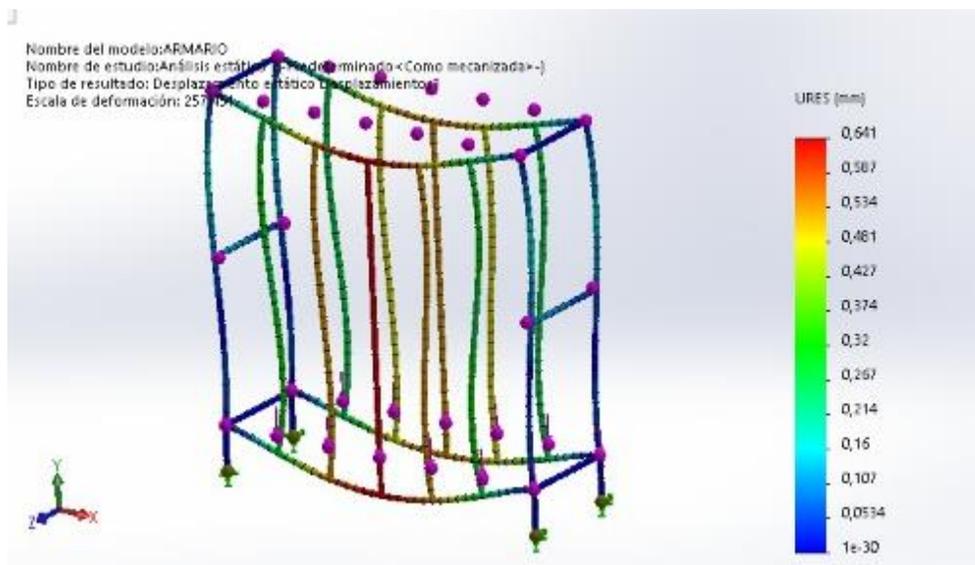


Figura 24. Simulación de la deformación del armario

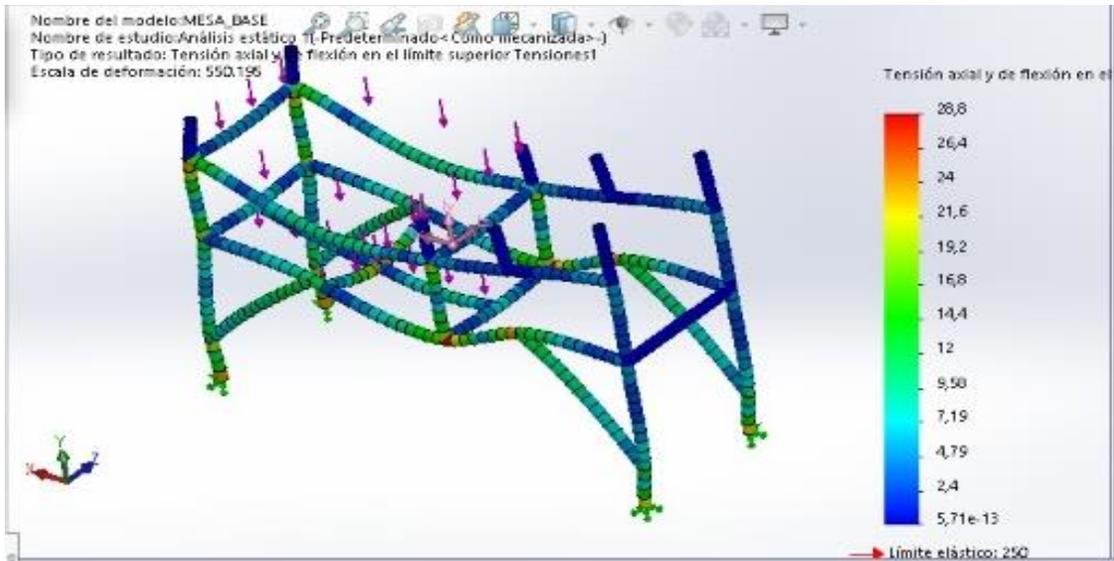


Figura 25. Simulación de esfuerzo por Von Mises(Mesa basa tina)

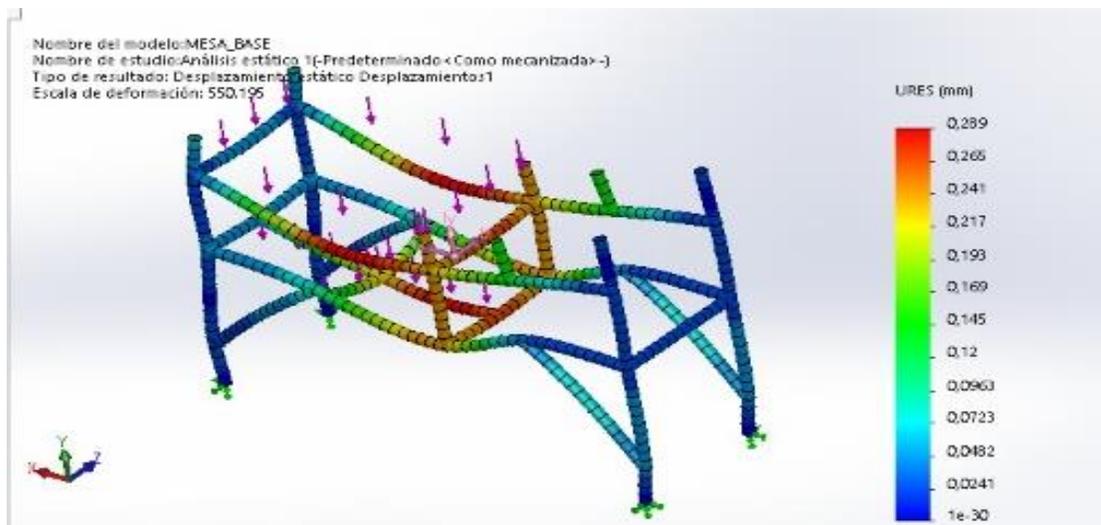


Figura 26. Simulación de la deformación de la mesa de mojado

3.5.2. Análisis de la tina de mojado de resina

Se considera necesario conocer la presión que la resina produce en las paredes de la tina, cuando esta se encuentra llena en su totalidad. La presión que se produce en la tina, es la P hidrostática, pues la resina

se encuentra estancada. Como datos para el cálculo se conoce la $\rho = \frac{1,1g}{cm^3}$, la altura de 300 mm es la total de la tina y la gravedad $g = \frac{9,8m}{m^2}$.

$$P = \rho * h * g$$

$$P = 3234 Pa$$

Ecuación 10

Una vez conocida la presión se realizan las simulaciones necesarias para conocer la deformación de la tina. En las figuras 27 y 28 se muestra la simulación de la tina obteniendo como resultado el esfuerzo máximo y la deformación.

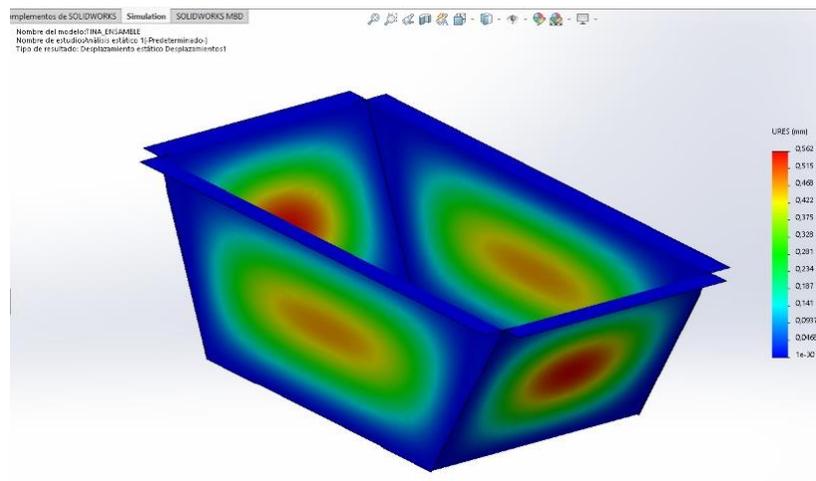


Figura 27. Análisis por desplazamiento

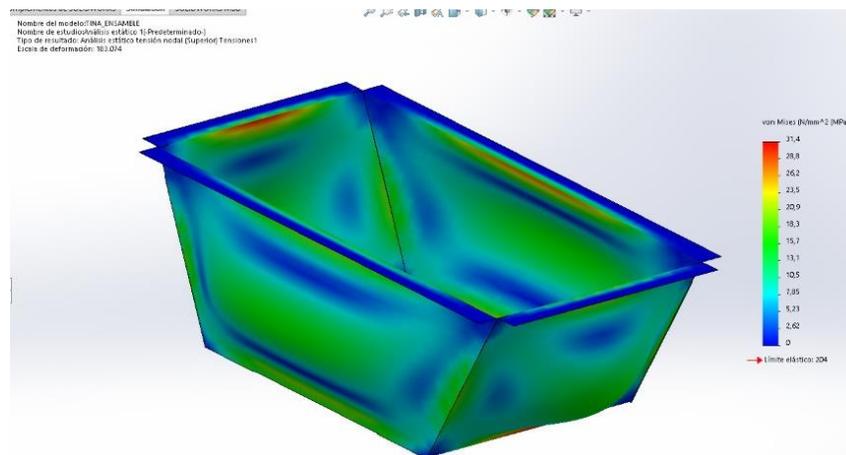


Figura 28. Análisis por Von Mises (Esfuerzo=31,4 Mpa)

CAPÍTULO 4

4. RESULTADOS

En el siguiente capítulo se desarrolla la parte experimental de la investigación de dos de las variables del proceso de pultrusión. Se detalla los materiales utilizados, el sistema de desenrollado e impregnación de resina construido y por los último los resultados de las pruebas realizadas.

4.1. Materiales utilizados en el sistema

- Fibra de vidrio. - El refuerzo utilizado en el sistema es el hilo roving de TEX=2400, las propiedades se pueden observar en el **ANEXO B**.
- Resina. - La resina que se utilizó para el mojado de la fibra fue la resina poliéster ortoftálica, para conocer las propiedades y especificaciones ver **ANEXO C**.
- Catalizador. - Peróxido endurecedor de MEKP
- Carbonato de calcio
- Acelerador. - Octoato de cobalto

4.2. Sistema construido

Se realizó el análisis QFD que permitió analizar los requerimientos del cliente con la voz del ingeniero y de esta manera obtener los parámetros principales a tomar en cuenta al diseñar, estos fueron el costo total, el dimensionamiento de la máquina y las dimensiones del perfil; dado estos datos se ejecutaron el análisis funcional, modular, soluciones de alternativas y la matriz Pugh; una vez obtenidas las soluciones a diseñar se efectuaron los cálculos necesarios para dimensionar la máquina. Y con los planos de los **Anexos D y E** se procedió a la construcción.

Se ejecutó la construcción del mismo dando como resultado unas de las variables del proceso de pultrusión como lo es el sistema de desenrollado (figura 29) y la tina de impregnación de resina (figura 30) y el ensamble de las 2 etapas se pueden observar en la figura 31.



Figura 29. Sistema de almacenamiento y desenrollado



Figura 30. Sistema de impregnación de resina



Figura 31. Construcción del sistema de desenrollado y mojado

4.3. Pruebas experimentales

Al finalizar el ensamble de todos los sistemas del equipo de pultrusión, se procedió a realizar las pruebas necesarias para la obtención del perfil I. En la tabla X se muestra la composición del material, las temperaturas para el curado de la composición y la velocidad de arrastre en el proceso.

Tabla X. Pruebas experimentales para la obtención del perfil I

PRUEBAS	COMPOSICIÓN				TEMPERATURAS (°C)			VELOCIDAD DE ARRASTRE (m/s)
	Resina (g)	Catalizador (cc)	Carbonato (g)	Cobalto (cc)	Zona 1 (400 mm)	Zona 2 (300mm)	Zona 3 (300mm)	
1	1000	10	-	-	70	120	170	0,06
2	1000	10	-	-	100	150	210	0,04
3	1000	20	-	-	70	120	170	0,04
4	1000	20	-	-	90	140	190	0,03
5	1000	25	-	-	70	120	170	0,03
6	1000	25	-	-	90	140	190	0,027
7	1000	25	-	-	80	130	175	0,027
8	1000	25	100	-	70	120	180	0,027
9	1000	25	50	-	70	120	170	0,027
10	1000	20	-	0,5	70	120	170	0,027
11	1000	20	100	-	97	150	199	0,027
12	1000	20	100	0,5	97	150	199	0,027
13	1000	25	100	-	100	150	190	0,027
14	1000	25	100	-	100	160	210	0,027
15	1000	25	50	-	100	150	220	0,027

Prueba 1

La composición de la primera prueba, se determinó por los datos establecidos en la ficha técnica de la resina poliéster utilizada en el proceso, esta decía que por cada 100 gramos de resina, se coloca 1 mililitro de catalizador, esta composición al cursar por todo el proceso dio como resultado hilos mojados un poco compactados (figura 32) pero sin adquirir la forma deseada, esto se debe a que esta composición según datos técnicos necesita más tiempo que el ejecutado para gelificar y curar el material compuesto.



Figura 32. Resultados de la prueba 1

Prueba 2

En esta prueba, después de analizar el primer resultado se determinó utilizar la misma composición, pero subir las temperaturas de curado, donde se obtuvo la forma del perfil, pero con fibras no bien compactadas y un producto muy frágil.



Figura 33. Resultados de la prueba 2

Prueba 3

Al observar los resultados de la primera y segunda prueba y analizar los experimentos que se ejecutaron con pequeñas probetas de hilo roving remojadas en resina mezclada con catalizador y luego introducidas en un horno con temperaturas de 100 a 200 °C, se determinó duplicar la cantidad de catalizador, dado que en los experimentos al duplicar el MEKP el curado de la probeta se realizaba a la mitad del tiempo estimado en la ficha técnica. Los resultados en esta prueba dieron la forma del perfil, pero algo deforme debido a que no se encontraba curado completamente al salir del molde.



Figura 34. Resultados de la prueba 3

Prueba 4

Dado el resultado anterior se incrementó las temperaturas para esta prueba, resultado fue un perfil mejor formado, pero con un acabado superficial bastante poroso.



Figura 35. Resultados de la prueba 4

Prueba 5-6-7

A los resultados de las pruebas anteriores, les faltaba curar parcialmente al material compuesto, es por eso que se incrementó a 2,5 mililitros por cada 100 gramos de resina y en las pruebas 5, 6 y 7 se utilizó la misma composición pero diferentes temperaturas en el proceso de curado, el resultado de la figura 36 tiene mejor acabado superficial porque se detuvo el proceso en molde, incluso las medidas del perfil obtenido fueron las determinadas en el diseño, los resultados de las pruebas 6 y 7 (ver figuras 37 y 38) tuvieron características similares, estas salieron en el proceso continuo de la máquina, pero la superficie del perfil se encontró porosa y con residuos de resina seca, esto se debe a que a pesar que la velocidad de trabajo de la máquina se redujo es muy poco tiempo para alcanzar el curado respectivo del material compuesto.



Figura 36. Resultados de la prueba 5



Figura 37. Resultados de la prueba 6

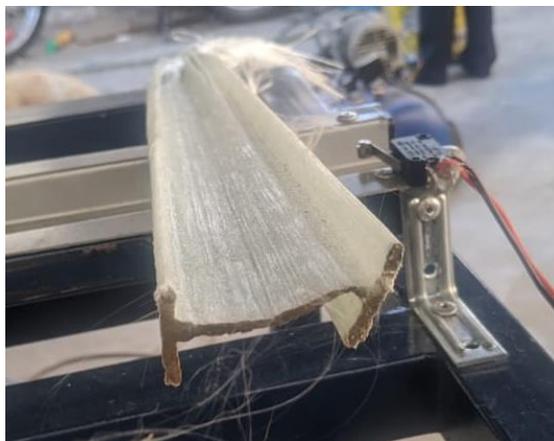


Figura 38. Resultados de la prueba 7

Prueba 8

Al analizar los resultados pasados se estableció agregar un elemento más a la composición, el carbonato de calcio este teóricamente se encarga de llenar los espacios que quedan en el enlace refuerzo-matriz. Se agregó el 10% del total de la resina, superficialmente el perfil no presentó porosidad, pero se quedó dentro del molde, por lo que tuvo más tiempo de curado.



Figura 39. Resultados de la prueba 8

Prueba 9

Al ver el producto final de la prueba 8, es necesario seguir implementando el carbonato en las siguientes pruebas por el acabado que le da al perfil, pero como tuvo inconveniente al salir del molde se ve necesario reajustar la composición reduciendo el catalizador a 2 mililitros por cada 100 gramos de resina y el 5 % del peso total de la resina colocar carbonato. El perfil de esta prueba se muestra en la figura 40, este resultado salió en un proceso continuo, pero presento una mala compactación de las fibras, debido a que esta sección en la unión alma-ala es muy pequeña para la velocidad con la que se estaba trabajando.



Figura 40. Resultados de la prueba 9

Prueba 10

Puesto que los perfiles obtenidos continuamente presentaban falta de tiempo de curado, se determinó utilizar una mínima cantidad de acelerante (0,5 ml) con la resina, este perfil se curó dentro del molde dando como resultado un perfil con un acabado superficial y nada frágil a simple vista. Pero no se obtuvo en un proceso continuo.



Figura 41. Resultados de la prueba 10

Prueba 11

La composición de la prueba 11 dio como resultados un buen perfil, pero este no se obtuvo en un proceso continuo.



Figura 42. Resultados de la prueba 11

Prueba 12

A la composición de la prueba 11 se añadió 0,5 ml de acelerante, esta composición se gelificó antes de ingresar al molde en la figura 43 se observa el resultado de la prueba.



Figura 43. Resultados de la prueba 12

Pruebas 13- 14

Estas pruebas se ejecutaron con la misma composición, pero con temperaturas diferentes dando perfiles no frágiles con buen acabado superficial, pero aun con el inconveniente de que no se obtuvieron en un proceso continuo.



Figura 44. Resultados de la prueba 13



Figura 45. Resultados de la prueba 14

Prueba 15

La última prueba no se obtuvo en proceso continuo, pero el perfil mostró las medidas establecidas y a la vista buenas características mecánicas y excelente acabado superficial.



Figura 46. Resultados de la prueba 15

Después de realizar algunas pruebas, el perfil que se muestra en la figura 51 fue el obtenido en la demostración del funcionamiento de la maquina a los tutores encargados del proyecto de tesis.



Figura 47. Resultados de la prueba final

4.4. Análisis y discusión de resultados

Las composiciones utilizadas para obtener el perfil se encontraron en los siguientes rangos, la resina poliéster con 1000 gramos y sus aditivos en las siguientes cantidades, el catalizador de 10 – 25 ml, el carbonato de calcio estuvo en el 5 y 10 % del peso total de la resina y el cobalto se mezcló en una mínima cantidad igual a 0,5 ml. (Ver figura 52)

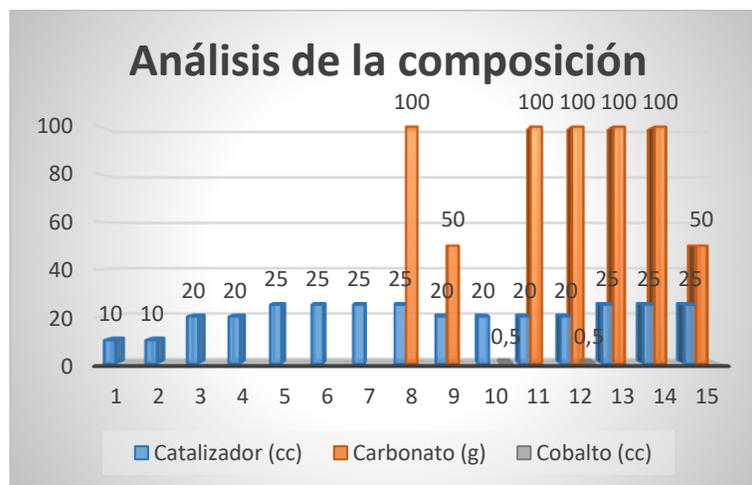


Figura 48. Análisis de aditivos

Todas las composiciones ejecutadas en la experimentación, para la obtención de los perfiles mostraron diferentes características físicas y acabados superficiales en el perfil I. Todos los resultados obtenidos dependen de todas las variables que contiene este proceso de pultrusión; en el sistema de desenrollado de los hilos roving, de las 15 pruebas ejecutadas en una de ellas, 3 de los hilos no se extendieron correctamente causando que el proceso se detenga, es decir que del 100% ejecutado el 93,3 % presentó un trabajo de desenrollado óptimo; el sistema de impregnación funcionó correctamente en las 15 pruebas realizadas, este permitía la completa mojabilidad de los hilos.

Otro dato como resultado de este sistema es que la resina escurrida no puede ser reutilizada, la resina se encuentra con partículas de los hilos, lo que hace que al reutilizarla se produzca en ciertas zonas de los hilos como masas atascándose los refuerzo en el preformado del proceso por las áreas de trabajo.

La resina que se impregna en los hilos no se utiliza el 100 % en el perfil, esta se escurre en el rodillo de salida de la tina de mojado un 15 % de lo absorbido y en el proceso de preformado un 35 %, dando como dato que de toda la resina absorbida en el hilo roving solo el 50% de esta es utilizada completamente. Este dato se obtiene porque se pesó el hilo seco, el hilo impregnado de resina y el hilo escurrido del exceso de resina.

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Basados en la investigación bibliográfica del proceso general de pultrusión se logró conocer las variables de este, como almacenamiento de fibras y la impregnación de las mismas, y determinar los diferentes métodos para desarrollar estas variables. Según los estudios antes realizados una composición incorrecta de resina tendrá consecuencias en el curado del material compuesto.

Implementar metodología mecatrónica en esta investigación permitió ejecutar este trabajo de una manera organizada y concreta, se inició por conocer las necesidades del cliente, establecer por medio de la casa de calidad los parámetros principales para el diseño del sistema como lo fueron costo total, dimensionamiento de la máquina y dimensiones del perfil 46x25 mm, cuantificaciones que permitieron determinar el análisis y los resultados de las alternativas dando como resultado un diseño de fácil fabricación y manufactura.

Se logró construir un sistema que permite el óptimo desenrollado de los hilos roving y una correcta impregnación de los mismos en la resina. Esta etapa del proceso de pultrusión se construyó respetando las normas de seguridad y ergonomía, y que sea posible de manufacturar y ensamblar con las siguientes fases del proceso.

Por último, se procedió a realizar las diferentes pruebas experimentales de funcionamiento del sistema, estas se ejecutaron en vacío es decir sin el mojado del hilo y con el mojado del refuerzo en la matriz para obtener el perfil I. Los rodillos dentro de la tina en el proceso de impregnación permitan y ayudan a tensionar el hilo roving para evitar que estos se entrecrucen antes de ingresar a la zona de las matrices guías.

5.2. Recomendaciones

El sistema, puede presentar mejoras en el sistema del guía hilo, se recomienda que este ayude a tensionar de mejor manera los hilos para evitar que se enreden y detengan el proceso.

Es necesario implementar al sistema de almacenamiento y desenrollado del refuerzo una protección que impida, que las partículas que estos generan entren en contacto con el operador y evitar picazón en el cuerpo o alergias en el sistema respiratorio.

Es necesario realizar más pruebas con composiciones diferentes de resinas y aditivos que permitan mejorar las propiedades de los perfiles obtenidos.

Para pruebas futuras se recomienda cambiar los hilos roving por fibras naturales u otro refuerzo que permita mantener su tensión para evitar detener el proceso continuo.

Se recomienda realizar a las futuras probetas del producto obtenido, ensayos de flexión, tracción y comprensión para obtener resultados de las composiciones realizadas.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] E. Sánchez y J. Jiménez, Diseño Y construcción de un prototipo de máquina de pultrusión y estudio experimental de las variables para la obtención de perfiles "O" de material compuesto de material termoestable., Quito, 2017.
- [2] B. A. Wilson, «Pultrusión,» *Springer Link*, pp. 488-524.
- [3] G. L. T. S. V. N. J. D. J. J. T. Kayser, «An Applicator for Microwave Assisted Pultrusion of Carbon Fiber Reinforced Plastic,» *IEEE*, 2014.
- [4] A. & S. S. & Z. E. S. & N. J. C. Fairuz, «POLYMER COMPOSITE MANUFACTURING USING A,» *American Journal of Applied Sciences*, pp. 1798-1810, 2014.
- [5] P. A. B. ACOSTA y J. F. P. SÁNCHEZ, REDISEÑO DE UNA MÁQUINA DE PULTRUSIÓN PARA MATERIALES COMPUESTOS TERMOESTABLES, Bogotá D.C., 2014.
- [6] G. R. B. John Reginald Betteridge, «Thermoplastic pultrusion». Patente WO2001024993A1, 2 Octubre 1999.
- [7] R. J. K. L. P. William Bin Ferng, «Cationic catalysts for epoxy resin formulations in pultrusion molding systems». Alemania, Francia Patente EP0914936A2, 12 Octubre 1997.
- [8] I. B. K. D. Cem C. Tutum, «Optimum Design of Pultrusion Process via Evolutionary,» Michigan.
- [9] F. Stupenengo, Materiales y materias primas, Buenos Aires: Instituto Nacional de Educación Tecnológica, 2011.
- [10] D. Hull, Materiales compuestos, Barcelona: Reverté, 2003.
- [11] L. P. Rivero, «Materiales Compuestos,» Universidad Central de Las Villas, Santa Clara- Cuba, 2010.
- [12] F. V. L. , J. M. T. C. Cesar Edil da Costa, «Materiales compuestos de matriz metálica,» *Metalurgia*, nº 36, pp. 179-192, 2000.
- [13] Universidad Politécnica de Madrid, «StuDocu,» [En línea]. Available: <https://www.studocu.com/es/document/universidad-politecnica-de-madrid/materiales-compuestos/apuntes/fibras-y-matrices/2435998/view>. [Último acceso: 14 01 2020].
- [14] C. Quintero, Manual práctico sobre poliéster (plásticos reforzados con fibra de vidrio (PFRV), Cartagena de Indias: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR , 2007.
- [15] R. B. S. F. D. G. David Juárez, «Estudio, Análisis y Clasificación de Elastómeros Termoplásticos,» *Ciencias*, pp. 3-4, 2012.
- [16] G. Alcuri, «Los elastómeros en la construcción: aplicaciones y valorización medioambiental,» *ALCTRA Recherche & Développement* , nº 16, pp. 1-3, 2018.

- [17] A. Besednjak, «kimerius,» [En línea]. Available: <http://kimerius.com/app/download/5781437527/Los+materiales+compuestos.pdf>. [Último acceso: 7 Enero 2020].
- [18] M. G. R. F. Santiago Olivares, «COMPOSITES: CHARACTERISTICS AND APPLICATIONS IN BUILDING CONSTRUCTION,» vol. 54, nº 484, pp. 47-49, 24 Marzo 2003.
- [19] S. A. M. Ortuño, Fibra de vidrio, pruebas y aplicaciones, México, D.F.: INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL, 2008.
- [20] «NJEFC,» [En línea]. Available: <https://fiberglasswaterproof.com/es/fibra-de-vidrio-malla-reforzada-mat>. [Último acceso: 2020 enero 22].
- [21] S. G. Diez, «FIBRAS Y MATERIALES DE REFUERZO: LOS POLIÉSTERES REFORZADOS APLICADOS A LA REALIZACIÓN DE PIEZAS EN 3D,» *Iberoamericana de Poliéster*, vol. 12, nº 5, pp. 271-282, 2011.
- [22] «Owens Corning,» Diciembre 2005. [En línea]. Available: http://www2.owenscorning.com/worldwide/mexico/pdfs/ROVING_S-161.pdf. [Último acceso: 23 Enero 2020].
- [23] «Vitrofibras de Venezuela c.a.,» prowebglobal.com, [En línea]. Available: <https://www.vitrofibras.com/productos.php?id=2&idp=4>. [Último acceso: 23 Enero 2020].
- [24] «Castro Composites,» [En línea]. Available: <https://www.castrocompositesshop.com/en/fibras-de-refuerzo/1183-mat-de-hilos-cortados-de-fibra-de-vidrio-e-450-gm2.html>. [Último acceso: 23 Enero 2020].
- [25] WooThemes, «Electroyonke,» 2017. [En línea]. Available: <http://www.electroyonke.com/fibra-de-vidrio-molida/>. [Último acceso: 23 Enero 2020].
- [26] M. G. Villareal, OPTIMIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE COMPOSITOS DE RESINA POLIÉSTER REFORZADOS CON FIBRAS DE VIDRIO Y CARGAS DE CARBONATO DE CALCIO, UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN, 2014.
- [27] «Fibras sintéticas y artificiales,» 23 Febrero 2013. [En línea]. Available: <http://thepoliestiren.blogspot.com/2013/02/el-poliester-y-todas-sus-caracteristicas.html>. [Último acceso: 23 Enero 2020].
- [28] B. Strong, Fundamentals of Composites Manufacturing: Materials, Methods and Applications, USA: Society of Manufacturing Engineers, 1989.
- [29] «CarboSystem,» [En línea]. Available: <https://carbosystem.com/fibra-de-carbono-2/>. [Último acceso: 23 Enero 2020].
- [30] «Fibrología,» 8 Abril 2013. [En línea]. Available: <http://fibrologia.blogspot.com/2013/04/aramida.html>. [Último acceso: 23 Enero 2020].

- [31] N. L. Miazza, «Principales avances en Pultrusión y SMC,» AIMPLAS Instituto Tecnológico del Plástico, Valencia ESPAÑA, 2010.
- [32] O. Corning, «Pultrusion,» The pink Panther, Toledo USA, 2012.
- [33] J. w. Gooch, «Pultrusión,» de *Encyclopedic Dictionary of Polymers*, New York, Springer New York, 2007, pp. 800-800.
- [34] A. L. & R. C. & M. Durante, «Step Pultrusion,» de *Applied Composite Materials*, Springer Netherlands, 2012, pp. 901-912.
- [35] M. R. W., Handbook of pultrusion technology, New York, 2012.
- [36] T. F. Starr, Pultrusion for engineers, Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2000.
- [37] Mariano, «Tecnología de los Plásticos,» 2011 Julio 2011. [En línea]. Available: <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/07/pultrusion.html>. [Último acceso: 23 Enero 2020].
- [38] «SIESA SOLUCIONES INTELIGENTES,» 23 Diciembre 2019. [En línea]. Available: <https://siesa.global/como-se-obtienen-las-piezas-de-fibra-de-vidrio-prfv-o-frp-2/>. [Último acceso: 31 Enero 2020].
- [39] «Nioglas, s.l.,» [En línea]. Available: <http://www.nioglas.com/pultrusion-composite.php>. [Último acceso: 31 Enero 2020].

ANEXOS

ANEXO A- CASA DE LA CALIDAD

ANEXO B- HOJA TÉCNICA FIBRA DE VIDRIO

ANEXO C- HOJA TÉCNICA RESINA POLIÉSTER

ANEXO D-PLANOS DEL SISTEMA DE DESEENROLLADO

ANEXO E- PLANOS DEL SISTEMA DE IMPREGNADO DE RESINA

ANEXO F- MANUAL DE USO Y MANTENIMIENTO