



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 DE PREFORMADO-FORMADO Y CURADO PARA UN
EQUIPO DE PULTRUSIÓN”**

AUTOR: MARLON ANDRÉS GARCÍA MENDEZ

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	1004347884
APELLIDOS Y NOMBRES	GARCÍA MENDEZ MARLON ANDRÉS
DIRECCIÓN	OTAVALO
E-MAIL	magarcia@utn.edu.ec / xndrezgxcia@gmail.com
TELÉFONO MÓVIL / FIJO	062904186 / 0982547126
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO	“SISTEMA DE PREFORMADO-FORMADO Y CURADO PARA UN EQUIPO DE PULTRUSION”
AUTOR	GARCÍA MENDEZ MARLON ANDRÉS
FECHA	20-02-2020
PROGRAMA	PREGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA	INGENIERO 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

El autor:

Firma:

Nombre: Marlon Andrés García Méndez



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN DIRECTOR

Certifico que el trabajo de grado titulado "SISTEMA DE PREFORMADO-FORMADO Y CURADO PARA UN EQUIPO DE PULTRUSION", ha sido desarrollado en su totalidad por el señor: Marlon Andrés García Méndez portador de la cédula de identidad número: 100434788-4; previo a la obtención del título de Ingeniería en Mecatrónica.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "V. Cárdenas", is written over a horizontal dashed line.

Ing. Víctor Cárdenas, PhD.

DIRECTOR DE TESIS

AGRADECIMIENTO

A mis padres quienes han sido el pilar fundamental en mi vida, me han brindado su apoyo para poder culminar este objetivo, todos los esfuerzos que han realizado por mi no han sido en vano, gracias a ello he logrado llegar a la meta de esta ardua carrera.

A mis hermanas Jessy y Lady que siempre han estado presentes cuando mas las he necesitado, me han alentado a seguir adelante, gracias por su ayuda incondicional en cada momento.

A mi novia Anita por ser mi apoyo y mi mejor amiga, por cada palabra y gesto de amor, gracias por ser mi empuje y dejarme ser el suyo, sabe llenarme el corazón y dar alegría a mi vida.

A Gissela y Magaly con quienes iniciamos este proyecto con el único objetivo de poder culminarlo satisfactoriamente, gracias por ser excelentes personas y su gran amistad.

A los ingenieros Victor Cardenas, Christian Vásquez, Victor Erazo, Cosme Mejía y Fernando Valencia, por brindar sus conocimientos, tiempo y experiencia de manera desinteresada, son un excelente equipo de trabajo, que hizo posible culminar este proyecto. A toda la planta docente de la carrera quienes fueron parte de mi formación profesional.

A mis amigos Kathe, Daniela, Mauricio, Daniel J., Jeremy, Daniel M. y Carlos a quienes los considero mis hermanos, ya que siempre han estado presentes en las buenas y en las malas brindando su amistad incondicional. A Luis R., Cristian G., Vicky L., Carlos M. y Diego T. quienes han sido excelentes compañeros y amigos que formaron parte de mi vida Universitaria, a todos los amigos con los que compartí dentro y fuera de las aulas a lo largo de mi carrera. Gracias.

A mi familia por cada palabra de aliento y estar al pendiente de mi, siempre fueron fuente de motivacion.

Andrés.

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mis sobrinos Ian y Valentina como muestra de que todo se puede lograr con esfuerzo y perseverancia en las metas propuestas. Espero poder servirles de inspiración para que siempre puedan lograr lo que se planteen en su vida, siempre podrán contar conmigo en las buenas y en las malas. Los quiero mucho.

A mi madre Mary por el inmenso sacrificio que a realizado para ayudar a convertirme en quien soy ahora.

A mis hermanas para demostrar que lo único imposibles es aquello que no lo intentan. Todo lo que se propongan, lo lograrán.

Andrés.

RESUMEN

En la presente investigación se muestra el diseño y construcción de un sistema de preformado, formado y curado para formar parte del proceso de pultrusión. Para realizar este sistema se planteó los siguientes objetivos:

Investigar las variables que intervienen en el proceso.

Diseño del sistema.

Construcción del sistema optimo.

Validación del correcto funcionamiento del sistema.

Esta etapa del proceso de pultrusión consta de matrices de preformado cónico que permite la correcta fusión de las fibras y a su vez consta del molde en el cual se encuentra el formado y curado del perfil I, esta fase se considera como la mas crítica del sistema debido a que en esta se adquiere la geometría deseada, se produce polimerización y curado completo del material compuesto

Este documento muestra la experimentación realizada tomando en cuenta varias combinaciones de temperaturas desde 70°C hasta 220°C en tres zonas de calor del molde, obteniendo perfiles funcionales para ser caracterizados en ensayos de laboratorio.

Palabras claves: Pultrusión, preformado, formado, curado, molde, perfil, polimerización, temperatura.

ABSTRACT

This research is about design and construction of a system preformed, shaped and cured to form part of the pultrusion process. To make this system, the following objectives were formulated:

Investigate the variables involved in the process.

System design.

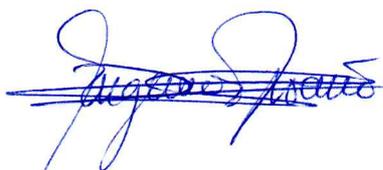
Construction of the optimal system.

Validation of the proper functioning of the system.

This stage of the process of pultrusion consists of conic preformed matrices that allow the proper fusion of the fibers and at the same time, it consists of the mold in which it is present the forming and curing profile I. This phase is considered as the most critical of the system due to in this the desired geometry is acquired, polymerization occurs and complete curing of the composite material.

This document shows the experiments carried out, taking into account various combinations of temperatures from 70°C to 220° in the three zones of the mold heat, obtaining functional profiles to be characterized in laboratory tests.

Keywords: Pultrusion, preformed, shaped, cured, mold profile, polymerization temperature.



ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA	ii
2. CONSTANCIAS	iii
CERTIFICACIÓN DIRECTOR	iv
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
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. Antecedentes	4
CAPÍTULO 2	7
2. MARCO REFERENCIAL	7
2.1. Materiales Compuestos	7
2.2. Pultrusión	8
2.2.1. Breve historia	8
2.2.2. Concepto	9
2.2.3. Proceso	9
2.2.4. Etapas	10
2.3. Elementos de Pre-conformado y Formado de un perfil	14
2.3.1. Pre-conformado	14
<i>Pre conformado cónico</i>	15
2.4. Molde o dado de pultrusión	16
2.4.1. Zonas de calentamiento	16
2.4.2. Sistema de protección termos-aislante	17
2.5. Sistemas para el calentamiento del dado	18
2.5.1. Zona de calor del molde	19

2.6. Normativa	20
CAPÍTULO 3	25
3. METODOLOGÍA.....	25
3.1. Especificaciones técnicas usando la casa de la calidad	25
3.1.1. Requerimiento del cliente:.....	25
3.1.2. Voz del ingeniero.....	25
3.1.3. Casa de la calidad.....	26
3.2. ANÁLISIS FUNCIONAL DEL SISTEMA DE PULTRUSION.....	26
3.3. Análisis modular del sistema de preformado-formado y curado de un equipo de pultrusión.....	30
3.3.1. Soluciones para cada módulo.....	31
3.3.2. Aplicación de la matriz pugh	34
3.4. Cálculos del sistema	39
3.5. Análisis de los componentes críticos del sistema	42
3.5.1. Análisis de la mesa	42
3.5.2. Análisis térmico del molde	47
CAPÍTULO 4	49
4. RESULTADOS	49
4.2. Funcionamiento del sistema de preformado, formado y secado.....	51
4.3. Pruebas experimentales.....	52
4.4. Análisis de las pruebas.....	53
4.5. Geometría del perfil pultruido.....	58
4.6. Análisis y discusión de resultados.....	59
CAPÍTULO 5	63
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	63
5.1. Conclusiones	63
5.2. Recomendaciones	64
BIBLIOGRAFÍA	65
ANEXOS	67
A. CASA DE LA CALIDAD	67
B. PLANO ELECTRICO.....	69
C. PLANOS DEL SISTEMA DE PREFORMADO-FORMADO Y CURADO.....	71
D. MANUAL DE USO Y MANTENIMIENTO	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I. Normativa en España.....	20
Tabla II. Normativa en Japón	21
Tabla III. Normativa ISO	21
Tabla IV. Normas Técnicas ASTM	21
Tabla V. Módulo 1	31
Tabla VI. Solución del Módulo 1	31
Tabla VII. Módulo 2.....	32
Tabla VIII. Solución del módulo 2.....	33
Tabla IX. Etapas del molde.....	39
Tabla X. Pruebas de pultrusión	52
Tabla XI. Análisis de pruebas.....	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de los materiales compuestos reforzados por fibras. [10]	8
Figura 2. Esquema que muestra el proceso de pultrusión. [12]	9
Figura 3. Almacenamiento de las bobinas de fibra de vidrio en un armario de metal [14].	11
Figura 4. Tanque de acero inoxidable que sirve de fuente para la matriz [15].	11
Figura 5. Preformado de las fibras saturadas que salen del tanque [15].	12
Figura 6. Moldes de diferente geometría interna [18].	13
Figura 7. Sistema de tracción mediante cilindros reciprocantes hidráulicos [19].	14
Figura 8. Corte del perfil con una sierra automática con un disco de diamante [15].	14
Figura 9. Sistema de pre conformado.	15
Figura 10. Sistema de pre formado cónico	15
Figura 11. Curva del curado del molde. [1]	17
Figura 12. Lana de vidrio [22]	18
Figura 13. Calentamiento por resina	19
Figura 14. Análisis funcional. Nivel 0	26
Figura 15. Análisis funcional. Nivel 1	27
Figura 16. Análisis funcional. Nivel 2	29
Figura 17. Análisis Modular	30
Figura 18. Preformado cónico (Fuente Propia).	36
Figura 19. Molde mecanizado con acoples (Fuente propia)	39
Figura 20. Sistema de preformado, formado y curado. (Fuente Propia).	42
Figura 21. Cargas en la viga	42
Figura 22. Reacciones	42
Figura 23. Diagramas de Fuerza cortante y Momento flector (MD Solid 4.0).	43
Figura 24. Simulación de esfuerzo por Von Mises	44
Figura 25. Simulación factor de seguridad	45
Figura 26. Simulación de desplazamiento	45
Figura 27. Simulación de esfuerzo por Von Mises	46
Figura 28. Simulación del factor de seguridad	46
Figura 29. Simulación del desplazamiento de la mesa	47
Figura 30. Primera fase del molde, con 70 °C.	47
Figura 31. Fase de curado con 170 °C	48
Figura 32. Distribución de las temperaturas en el molde.	48
Figura 33. Sistema de preformado	50
Figura 34. Sistema de curado.	50
Figura 35. Preformado y curado.	50
Figura 36. Molde desmontado.	51
Figura 37. Control de Temperatura	51
Figura 38. Prueba 1	53
Figura 39. Prueba 2	53
Figura 40. Prueba 3	54
Figura 41. Prueba 4	54
Figura 42. Prueba 5	54
Figura 43. Prueba 6	55
Figura 44. Prueba 7	55
Figura 45. Prueba 8	56

Figura 46.Prueba 9	56
Figura 47.Prueba 10	56
Figura 48.Prueba 11	57
Figura 49.Prueba 12	57
Figura 50.Prueba 13	57
Figura 51.Prueba 14	58
Figura 52.Prueba 15	58
Figura 53. Temperaturas en perfiles frágiles.	60
Figura 54. Temperaturas en perfiles semi-duros.....	60
Figura 55. Temperaturas en perfiles duros.	61

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 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.

Dado lo anterior, el Grupo de Investigación en Diseño, Simulación y Manufactura (GIDSIM) proponen, a través de la presente investigación, el diseño y construcción de un sistema para realizar el proceso de pultrusión del material compuesto para obtener perfiles I.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Diseñar un sistema de preformado-formado y curado para un proceso de Pultrusión para la utilización en las prácticas de materiales compuestos y la obtención de perfiles en "I" de material compuesto.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Investigar las variables que intervienen en el proceso de Pultrusión y los diferentes sistemas de preformado-formado y curado para establecer el más óptimo.
- Diseñar un sistema de preformado-formado y curado capaz de realizar el proceso establecido para obtener un perfil I
- Construir los sistemas establecidos para que cumpla con su función y se acople al resto de procesos de una máquina de pultrusión
- Validar el funcionamiento de los sistemas establecidos para una producción óptima de perfiles I.

1.2. Alcance

Se diseñará un sistema de preformado-formado y curado que sea capaz de integrarse a un proceso general de pultrusión para producir perfiles tipo "I", tomando las alternativas adecuadas y controlando las variables de cada proceso para obtener un material con buenos acabados superficiales; posteriormente se construirán los elementos que constituyen el dispositivo y finalmente se validará el funcionamiento realizando pruebas con el equipo.

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 a 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, y a su vez innovar este proceso poco conocido en el país y permitirá 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. 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 el que el refuerzo de fibra está 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 compuestos se pueden clasificar en tres categorías: con partículas, con fibras y laminares, dependiendo de la forma de los materiales. El concreto, que es una mezcla de cemento y grava, es un compuesto que contiene partículas; la fibra de vidrio contiene fibras incrustadas en un polímero, a este se denomina un compuesto reforzado con fibras; y la madera contrachapada o triplex, que tiene capas alternas de chapa de madera, es un compuesto laminar. Si las partículas de refuerzo están distribuidas uniformemente, los compuestos particulados tendrán propiedades isotrópicas; los compuestos con fibras pueden ser isotrópicos o anisotrópicos; los laminares siempre tienen un comportamiento anisotrópicos [9].

En estos compuestos al introducir las fibras resistentes y rígidas pero frágiles dan la factibilidad de poseer mayor resistencia a la fatiga, mejor rigidez y una excelente relación resistencia – peso, esto se da porque la matriz transmite la fuerza a las fibras que son las encargadas de soportar la fuerza aplicada en su mayor porción. Un ejemplo se ve al observar en la fibra de vidrio que es un compuesto reforzado por fibra, que contiene largas fibras rígidas de vidrio en una matriz polimérica más blanda [1].

Los materiales compuestos se encuentran conformados inicialmente por tres fases; la fase continua o matriz, formada por el polímero, que puede ser termoplástica, termoestable o elastómera, siendo en el proceso de pultrusión generalmente de tipo termoestable; una fase discontinua o refuerzo, constituida por materiales tipo fibra, que bien pueden ser fibras largas o fibras corta, tipo whisker u hojuelas y/o por partículas, en la figura 1 se muestra la clasificación de los materiales compuestos, y adicionalmente hay que hacer modificaciones al material de refuerzo, para fomentar su interacción con la matriz, estos materiales son conocidos

como elementos de acople, cuyo aditivo permite mejorar la adhesión entre las fases, aunque se pueden necesitar otros tipos de aditivos, tales como son los antioxidantes, los protectores UV, entre otros [10].

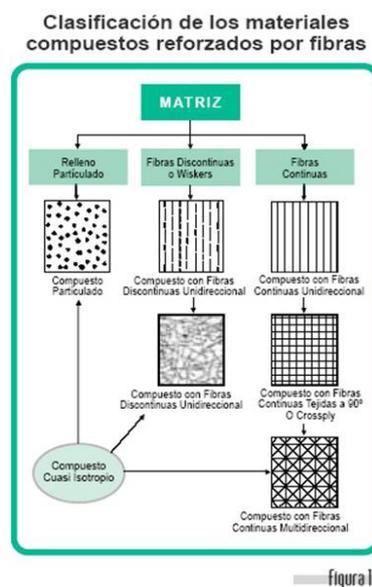


Figura 1. Clasificación de los materiales compuestos reforzados por fibras. [10]

2.2. Pultrusión

2.2.1. Breve historia

La pultrusión es una técnica que se origina con Brandt Goldsworthy quien, en la década de 1950 llevó a cabo la construcción de la primera máquina para la obtención de materiales compuestos utilizando este método, además fue perfeccionando máquinas posteriores. Durante los años 50, 60 y 70 los compuestos eran fabricados principalmente con fibra de vidrio largas continuas como refuerzo y con resina poliéster insaturada como matriz, también en este transcurso de tiempo se desarrolló la técnica para la fabricación de perfiles tubulares huecos con diferentes espesores [11].

No obstante, al término de los años 70 e inicios de los 80 el proceso de pultrusión fue mejorando considerablemente al incluir en el compuesto otras configuraciones de refuerzo adicionales, así como tejidos o telas (simples o complejas) que contribuyeron a obtener productos con mejores propiedades, además, de la mano con este avance fueron introduciéndose

en la industria el uso de nuevos tipos de refuerzo a base de carbono, aramida o sus mezclas con vidrio y nuevos tipos de matrices, incluso con el avance de la tecnología fue posible producir perfiles complejos, de mayores dimensiones, personalizados y para uso estructural secundario. En 1990, con el incremento en el tamaño de la máquina y su fuerza de tracción se obtuvieron perfiles con dimensiones realmente grandes que aumentarían su intervención en el mercado de infraestructura desde ese entonces [5].

2.2.2. Concepto

La pultrusión es una técnica que se utiliza para producir materiales compuestos de sección transversal constante con la intervención de una máquina que trabaja de manera continua, en donde básicamente se tiran de largas fibras que son impregnadas en una matriz de resina para posteriormente atravesar un molde cerrado que es calentado previamente y por donde saldrá el compuesto final. [1]

2.2.3. Proceso

En la figura 2 se muestra un esquema del como se realiza el proceso de pultrusión que se describe a continuación:



Figura 2. Esquema que muestra el proceso de pultrusión. [12]

El proceso inicia con la tracción continua de las fibras que se encuentran enrolladas en carretes y almacenadas en un armario o estantería, las mismas pasan por el sistema de impregnación de resina utilizado, para posteriormente atravesar un sistema de preformado que

dirigen las fibras saturadas con la mezcla (resina y aditivos) hacia el molde caliente, en donde se realiza el compactado y curado del que será el compuesto final. Para terminar el proceso se procede a realizar el corte del perfil según la longitud deseada con una sierra automática radial.

[4]

Generalmente los materiales compuestos fabricados con esta técnica están constituidos por un 70% de volumen de fibra, por esta razón los productos pultruidos son muy rígidos. Además, esta técnica es la más destacada y sencilla en comparación con otros procesos utilizados para la fabricación de productos a base de fibra [13].

2.2.4. Etapas

La máquina de pultrusión se compone de varias estaciones o etapas que hacen posible llevar a cabo todo el proceso para la obtención de los compuestos, cada una debe encontrarse en perfecta alineación con la siguiente para evitar inconvenientes durante la producción de los perfiles.

Almacenamiento de bobinas

La primera etapa es la de almacenamiento o también llamada estantería, el material que comúnmente se utiliza para construir estas estructuras son de metal como muestra la figura 3, pues se puede conectar a tierra para disminuir la energía estática producida por las fibras cuando se encuentran en rozamiento. Su función es almacenar las bobinas de fibra de vidrio para que puedan ser haladas de manera fácil y sin generarse nudos entre ellas, además en su estructura presentan una serie de guías de cerámica que sirven para evitar que las fibras se desprendan y dirigiirlas hacia la próxima etapa, el número de bobinas se encuentra en relación con el tamaño del perfil y el porcentaje de fibra seleccionado. [1]



Figura 3. Almacenamiento de las bobinas de fibra de vidrio en un armario de metal [14].

Tanque de mojado de resina

Se caracteriza por ser un tipo de tina fabricada de metal o aluminio, aquí se vierte la resina con los demás aditivos (sustancias que ayudan a ajustarse al proceso de pultrusión) para que las fibras puedan sumergirse en la mezcla y saturarse por completo, para obtener mejor humectación de las fibras se colocan rodillos a la entrada, en la base y al final del tanque, para guiar, sumergir y quitar el exceso de resina respectivamente como se observa en la figura 4. El tamaño de la tina dependerá de la cantidad de resina calculada. [1]

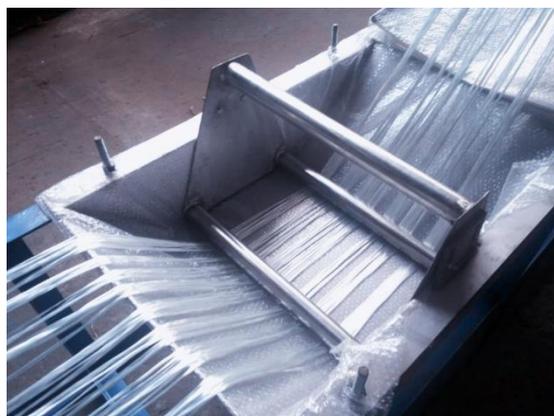


Figura 4. Tanque de acero inoxidable que sirve de fuente para la matriz [15].

Preformado

En la figura 5 se muestra una serie de placas que se encuentran ubicadas una tras otra con cierta distancia de separación, son encargadas de quitar el exceso de resina, ejercer presión para

favorecer la humectación de los refuerzos y alinear cada una de las hebras para que tomen la forma previa del perfil antes de ingresar a la matriz caliente. El exceso de resina retorna hacia el tanque mediante una bandeja que se coloca de manera diagonal para que esta pueda resbalar fácilmente. [16].



Figura 5. Preformado de las fibras saturadas que salen del tanque [15].

Molde cerrado

Se conoce también como molde de pultrusión o matriz caliente comúnmente de acero, los refuerzos humedecidos con resina pasan a través de este mientras se compactan y se lleva a cabo el proceso de curado para finalmente dar origen al perfil pultruido con la forma y características establecidas con anterioridad. A continuación, se muestran en la figura 6 moldes para obtener perfiles de diferente geometría mediante el proceso de pultrusión. [1]

Los dados de pultrusión generalmente tienen aproximadamente 1 m (40 pulgadas) de largo, generalmente, se fabrican a partir de dos o más piezas de acero para herramientas mecanizadas de tolerancia estrecha que forman herramientas tanto superiores como inferiores. mitades que, cuando se unen, crean una cavidad paralela que muestra una tolerancia de 0.05 mm (0.002 pulgadas) o mejor en toda su longitud. [17]



Figura 6. Moldes de diferente geometría interna [18].

La transferencia de calor se logra con el uso de un sistema de resistencias eléctricas que se encuentran conectadas al molde y que son controladas para asegurar los rangos de temperatura adecuados y evitar el sobrecalentamiento de la matriz que puede causar inconvenientes en el proceso de curado (pérdida de propiedades).

Además, se conoce que mientras más cerca del perfil se coloquen los sensores más exactos serán los valores de temperatura para la matriz y que la capacidad y el tamaño de las resistencias dependerán del tamaño del molde y de la temperatura en que se genera el curado de la resina.

El intervalo para la obtención de compuestos pultruidos varía entre 100 y 200 ° C. Puede disminuirse la temperatura cuando se incrementa el porcentaje de catalizador y puede incrementarse cuando se eleva la velocidad de extracción [13].

Arrastre

Al iniciar el proceso las fibras de refuerzo son haladas de forma manual hasta que el compuesto pultruido sea lo suficientemente resistente para adaptarse al sistema de tiro automático continuo. Los dispositivos de tracción que son mayormente utilizados en la industria son los rodillos, orugas o cilindros recíprocos. En la figura 7 se muestra uno de los métodos

más usados para realizar el arrastre. Por lo general el sistema de tracción se encuentra ubicado a una distancia de tres metros o más desde la salida de la matriz caliente. [5]



Figura 7. Sistema de tracción mediante cilindros reciprocantes hidráulicos [19].

Corte

Aquí interviene simplemente una sierra automática como la que se observa en la figura 8, esta se activa cuando la longitud del perfil es la correcta, esto depende de las necesidades que se tenga. Se debe tomar en cuenta que el radio de la sierra debe ser lo suficientemente grande para realizar el corte sin mayor inconveniente y que la velocidad de giro de la herramienta sea la adecuada tomando en cuenta que el compuesto final tiene naturaleza abrasiva. [5]



Figura 8. Corte del perfil con una sierra automática con un disco de diamante [15].

2.3. Elementos de Pre-conformado y Formado de un perfil

2.3.1. Pre-conformado

El pre-conformado es la parte en la cual se coloca los hilos a los antes del ingreso al molde, en esta zona se encarga de eliminar la resina excedente, y la eliminación de aire y humedad y ubica a las fibras de forma que quedan homogéneas dentro del molde. Para este proceso se pone dos alternativas [1].

Pre-conformado recto

Este pre conformado está provisto de una sola placa la cual tiene perforaciones en el cual se hace pasar al material al molde de manera uniforme como se muestra en la figura 9 [1].

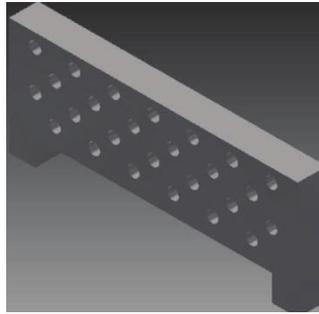


Figura 9. Sistema de pre conformado.

Ventajas

- Montaje fácil.
- Fácil mantenimiento y limpieza.
- Costo bajo.

Desventajas

- Poca uniformidad y exceso de resina.

Pre conformado cónico

Es la más usada en la industria y permite una forma simétrica, bien homogeneizada en la selección que uno desea, esto permite una entrada suave al modelo [1]. En la figura 10 se puede observar el pre-formado cónico.

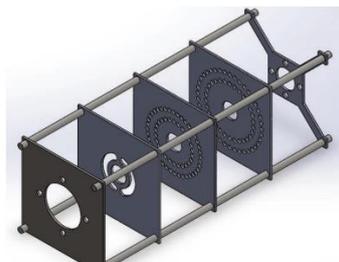


Figura 10. Sistema de pre formado cónico

Ventajas

- Sistema simple, confiable y de bajo costo.

Desventajas

- La ubicación de las fibras, lleva alto costo de tiempo.

2.4. Molde o dado de pultrusión

Este es uno de los subsistemas más importantes del proceso, ya que el dado junto con la resistencia genera el calor y el medio para el curado del perfil pultruído, por ello las opciones que se puedan diseñar son limitadas, sin embargo, se tomaron dos modelos que son muy similares, la diferencia radica en la opción que se tenga para instalar diferentes clases de moldes de perfiles [17].

El diseño del dado tendrá una cavidad con la forma del perfil I tanto en la entrada como en la salida.

2.4.1. Zonas de calentamiento

Según datos obtenidos experimentalmente en un modelo de máquina de pultrusión se establecen parámetros de temperaturas y además la estandarización de las dimensiones en dicho proceso, como muestran las figuras 11.

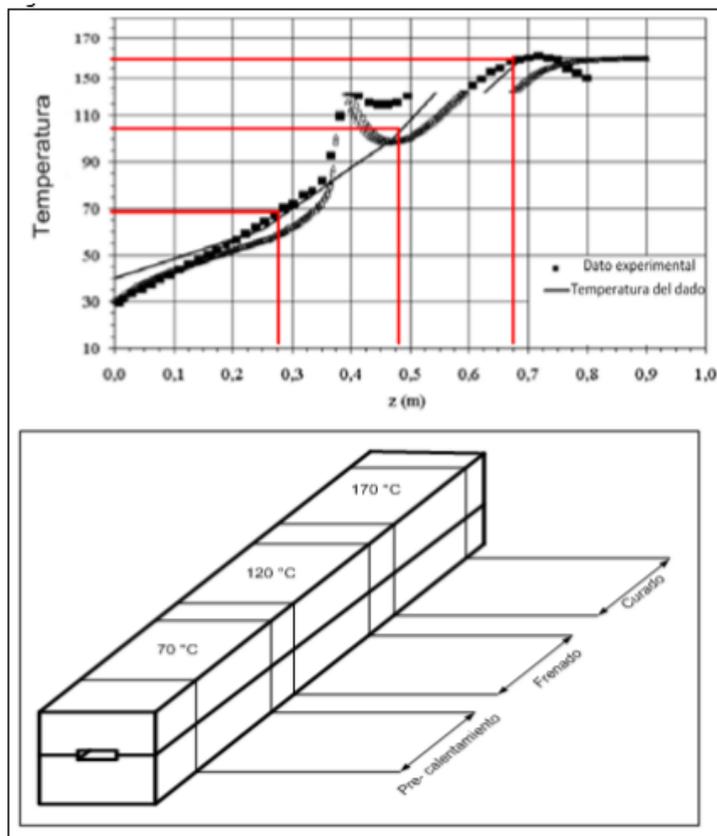


Figura 11. Curva del curado del molde. [1]

2.4.2. Sistema de protección termos-aislante

Los materiales aislantes se encuentran clasificados por unos parámetros que les harán ser diferentes de los otros, estos tienen propiedades diferentes de acuerdo a la función específica de cada uno. Las propiedades a destacar de cada aislante se enumeran a continuación: [20]

- Transmitancia térmica (U)
- Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua (μ)
- Densidad (ρ)
- Calor específico (cp)
- Resistencia térmica (Rt)

Lana de vidrio

Es un producto compuesto con arena de cuarzo, ácido bórico y silicato de sodio, entre otros. Es una solución ideal para la conservación de calor. La Lana de Vidrio está constituida por miles de celdas de aire por lo que presenta una alta resistencia al paso de flujos calóricos, es decir, posee un alto Coeficiente de Resistencia Térmica. Además, ofrece una óptima resistencia al fuego. La Lana de Vidrio se utiliza en conductos de aire acondicionado, aislamiento de galpones industriales, centrales eléctricas, tubos de calefacción, etc. [21].



Figura 12. Lana de vidrio [22]

2.5. Sistemas para el calentamiento del dado

El proceso de pultrusión permite producir cualquier forma de perfil que se puede extruir. La única condición para realizar el proceso de pultrusión es que el producto sea de una forma constante a lo largo de su longitud, no se pueden fabricar perfiles de sección variable. Cuando se producen perfiles de sección hueca de tamaños grandes obliga a fabricar un molde más grande incrementando los costos del mismo. Al tener máquinas grandes de pultrusión se debe aumentar el equipo de tracción, para no tener inconvenientes con el proceso continuo del perfil. Esta capacidad de tracción es importante al momento del curado al salir del molde. En máquinas de una exigencia de trabajo normal su tracción esta de 6 a 8 toneladas, mientras que para máquinas grandes llegan a tener una tracción de 20 toneladas [1].

2.5.1. Zona de calor del molde

El proceso de formado y curado de los elementos del molde se lo realiza mediante un proceso que involucra intercambio de calor para lo cual se propone dos posibles soluciones:

Zona de calor por resistencias eléctricas

El proceso de intercambio de calor se realiza mediante la implementación de resistencias que están ubicadas dentro de placas que transfieren uniformemente el calor a lo largo del molde siendo más factible la regulación de la temperatura deseada, pero a su vez tiene alto consumo eléctrico y a su vez mayor costo económico. [1]

Zona de calor mediante calentamiento de resina

El proceso se lo realiza antes del ingreso del molde lo cual se tiene la resina a una temperatura alta; el montaje es fácil al igual que el mantenimiento, pero el control de la temperatura es de difícil acceso y de alto costo económico. En la figura 13 se muestra el calentamiento del molde por medio de la resina. [1]



Figura 13. Calentamiento por resina

Formado de materiales compuestos

La particularidad del proceso de pultrusión es su gran variedad de materiales que se pueden usar para adicionar en este proceso generando esto productos compuestos con una

gran variedad de propiedades. Para elegir un material se deben tener en cuenta lo siguiente:

- Cumplir la exigencia mecánica del producto obtenido
- Observar las consecuencias de temperatura
- Observar las consecuencias ambientales
- Estar pendiente del tiempo del proceso de operación
- Evaluar el precio del material en el producto obtenido

2.6. Normativa

El proceso de pultrusión en Ecuador aún no registra normativa de certificación, dicho proceso califica los perfiles obtenidos de acuerdo a su aplicación, mediante normativas internacionales los cuales se encuentran en España, Japón, ISO y ASTM [23].

- a. En España (Solo tiene adaptaciones de la Norma Europea En13706):

Tabla I. Normativa en España

Nombre	Estado	Descripción
UNE – EN 13706 – 1:2003	Vigente	Materiales compuestos de plástico reforzado. Especificaciones para perfiles pultruidos. Parte 1: Designación.
UNE – EN 13706– 2:2003	Vigente	Materiales compuestos de plástico reforzado. Especificaciones para perfiles pultruidos. Parte 2: Métodos de ensayo y requisitos generales.
UNE – EN 13706– 3:2003	Vigente	Materiales compuestos de plástico reforzado. Especificaciones para perfiles pultruidos. Parte 3: Requisitos específicos.

b. En Japón

Tabla II. Normativa en Japón

Nombre	Descripción
K 7015	Plásticos reforzados con fibras pultruidos, esta norma fue aprobada el 20 de noviembre de 2006).

c. Normativa ISO

Tabla III. Normativa ISO

Nombre	Descripción
ISO 1268 – 6	Los métodos de producción de placas de ensayo para los plásticos reforzados con fibra. Parte 6: moldeo por pultrusión Esta norma de aplica en conjunción con la norma ISO 1268-1 (2001-12).
ISO 1268 – 1:2001:	Plásticos reforzados con fibra. Método de producción de placas de ensayo – Parte 1: Condiciones generales.

d. Normas técnicas ASTM

En estas normas se encuentran especificaciones estándar para la fibra de vidrio (GRP) pultrusión abierta - tiempo tormenta y guardia, sistemas de barandillas cuadrados. La revisión de la norma ANSI / ASTM F1092-1997 se aprobó el 01 de Marzo de 2004.

Tabla IV. Normas Técnicas ASTM

Tipo de Norma	Numero de Norma	Descripción
ASTM	C 581	Método de prueba para resistencia química de resinas termoendurecibles usadas en estructuras reforzadas con fibra de vidrio.

ASTM	C 582	Especificación para laminados de plástico reforzados para estructuras auto portantes para uso en ambientes químicos.
ASTM	D 2105	Método de prueba de propiedades de tracción longitudinal de tubo de plástico termo fijo reforzado
ASTM	2143	Método de prueba de resistencia a la presión cíclica de tubos de plástico termo fijo reforzado
ASTM	D 2310	Clasificación de tubos de resina termo fija reforzada hechos a máquina.
ASTM	D 2344	Test para la determinación de la resistencia a cortante fuera del plano de laminados unidireccionales mediante el método de viga corta.
ASTM	D 2517	Especificación para tubos y accesorios de presión de gas de resina epóxica reforzada.
ASTM	D 2562	Práctica para clasificar defectos visuales en partes moldeadas de plásticos termo fijo reforzado.
ASTM	D 2563	Práctica para clasificar defectos visuales en partes del laminado de plástico reforzado con fibra de vidrio.
ASTM	D 2924	Método de prueba de resistencia a la presión externa de tubos de resina termo fija
ASTM	D 2925	Método de prueba de desviación de haz de tubos de plástico termo fijo reforzado bajo un flujo de paso completo.
ASTM	D 2992	Método para obtener bases de diseño hidrostático para tubos y accesorios de resina termo fija reforzada.
ASTM	D 2996	Especificación para tubos de resina termo fija reforzada con enrollado de filamentos.
ASTM	D 2997	Especificación para tubos de resina termo fija reforzada moldeada por centrifugación
ASTM	D 3262	Especificación para tubos de desagüe de mortero de plástico reforzado.

ASTM	D 3299	Especificación para tanques resistentes a químicos de resina termo endurecibles reforzada con fibra de vidrio enrollado de filamentos.
ASTM	D 3518	Test para la determinación de la resistencia a cortante-deformación en el plano de laminados unidireccionales.
ASTM	D 3647	Clasificación de las formas debido a su composición de plásticos reforzados fabricados por pultrusión.
ASTM	D 3878	Definición estándar de términos relacionados con fibras de refuerzo de alto modulo y sus componentes.
ASTM	D 3914	Método para la determinación de la resistencia a cortante en el plano de plásticos reforzados con fibra de vidrio (GRP) fabricados mediante pultrusión. Aprobado en 2008.
ASTM	D 3916	Método de prueba estándar para propiedades de tracción de barra de plástico de fibra de vidrio reforzado con pultrusión
ASTM	D 3917	Tolerancias dimensionales de secciones de plástico reforzadas con fibra de vidrio fabricadas mediante la pultrusión.
ASTM	D 3918	Terminología de uso corriente en relación con plástico reforzado con productos pultruidos. Aprobado en 2003.
ASTM	D 3919	Definición estándar de términos relacionados con piezas de plástico reforzado.
ASTM	D 3982	Especificación para cascos de resina termo fija reforzada con fibra de vidrio y moldeada a presión de contacto media.
ASTM	D 4350	Método de prueba de índice de corrosión de plásticos y complementos.
ASTM	D 4385	La práctica estándar para la clasificación de los defectos visuales en productos pultruidos termoestables reforzados de plástico.
ASTM	D 4475	Método de prueba estándar para la fuerza cortante horizontal aparente de pultrusión varillas de plástico reforzado por el método corto de la viga. Esta norma fue aprobada en 2003.
ASTM	D 4476	Método de prueba estándar para las propiedades de flexión de fibra reforzada varillas de plástico pultruidos.

ASTM	D 5028	Método de prueba estándar para la curación de las propiedades de las resinas de pultrusión por análisis térmico. Esta norma tuvo un cambio editorial aprobado en 2003.
ASTM	D 5117	Método de prueba estándar para la penetración de tinte de fibra de vidrio sólida armado de stock pultruidos.
ASTM	E 1922	Método de prueba estándar para la resistencia a la fractura tras- laminar de materiales compuestos de matriz polimérica laminados y pultruidos.
ASME/ANSI	RTP – 1	Norma nacional americana para equipos resistentes a la corrosión de plástico termo fijo reforzado
	AMS 3811B AMS	Varillas de fibra de aramida, resina de poliéster recubierto, pultrusión. Aprobado en agosto de 1998.

Fuente: ASTM INTERNATIONAL [En línea]. Disponible en: < <http://www.astm.org/> >

CAPÍTULO 3

3. METODOLOGÍA

3.1. Especificaciones técnicas usando la casa 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. Requerimiento 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. Voz del ingeniero

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

La casa de la calidad brinda información para determinar las especificaciones técnicas y como están relacionadas entre sí.

3.1.3. Casa de la calidad

Mediante la casa de la calidad podemos entrelazar los requerimientos del cliente y la voz del ingeniero para obtener las necesidades mas importantes con las cuales se debe diseñar el sistema (**Ver Anexo A**).

Las necesidades más relevantes son:

- Perfil 46x25mm
- Dimensiones
- Costo Total

3.2. ANÁLISIS FUNCIONAL DEL SISTEMA DE PULTRUSION

El análisis funcional permite determinar las funciones del sistema por medio de diagramas de flujo.

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

NIVEL 0



Figura 14. Análisis funcional. Nivel 0

NIVEL 1

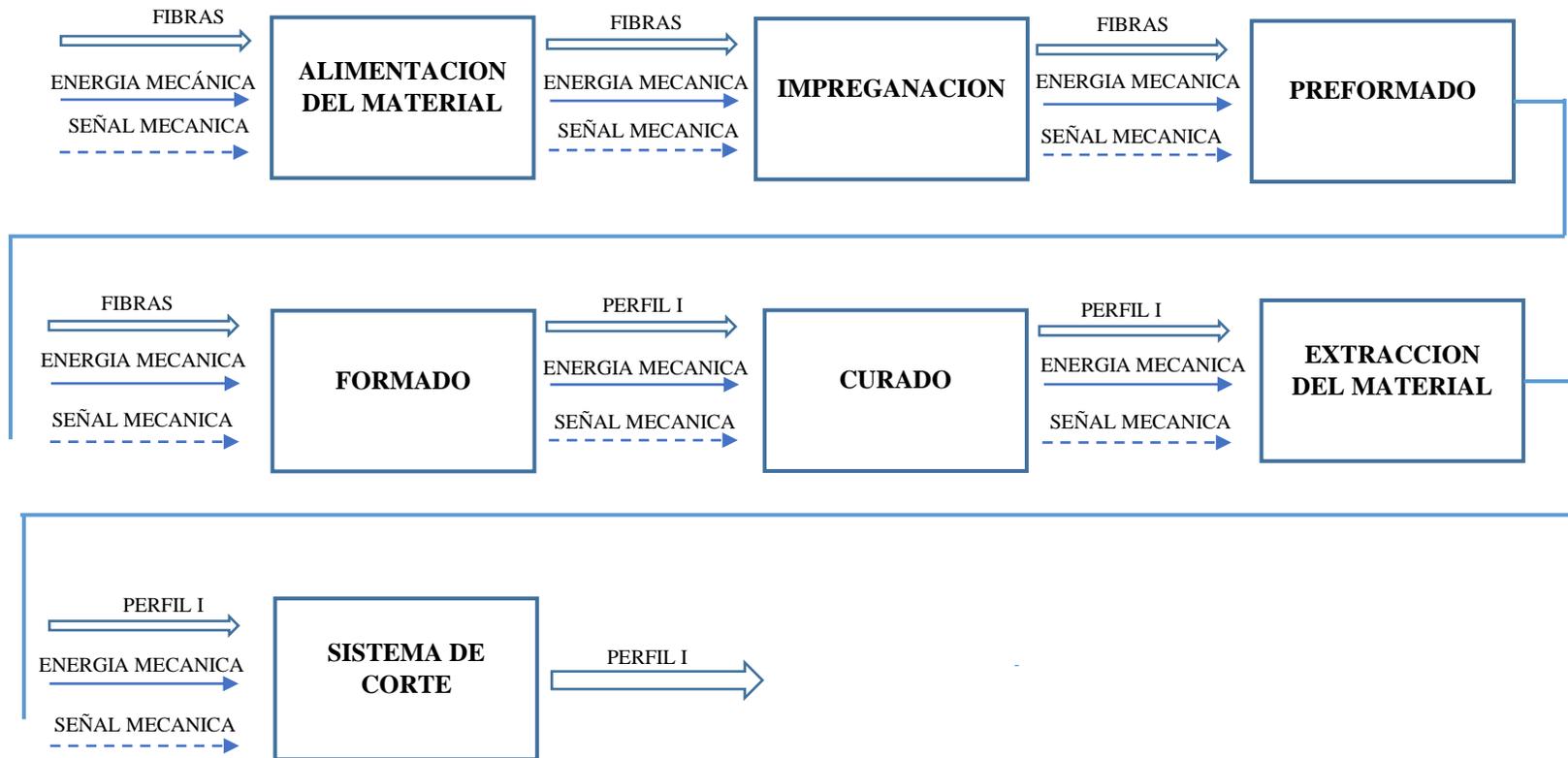
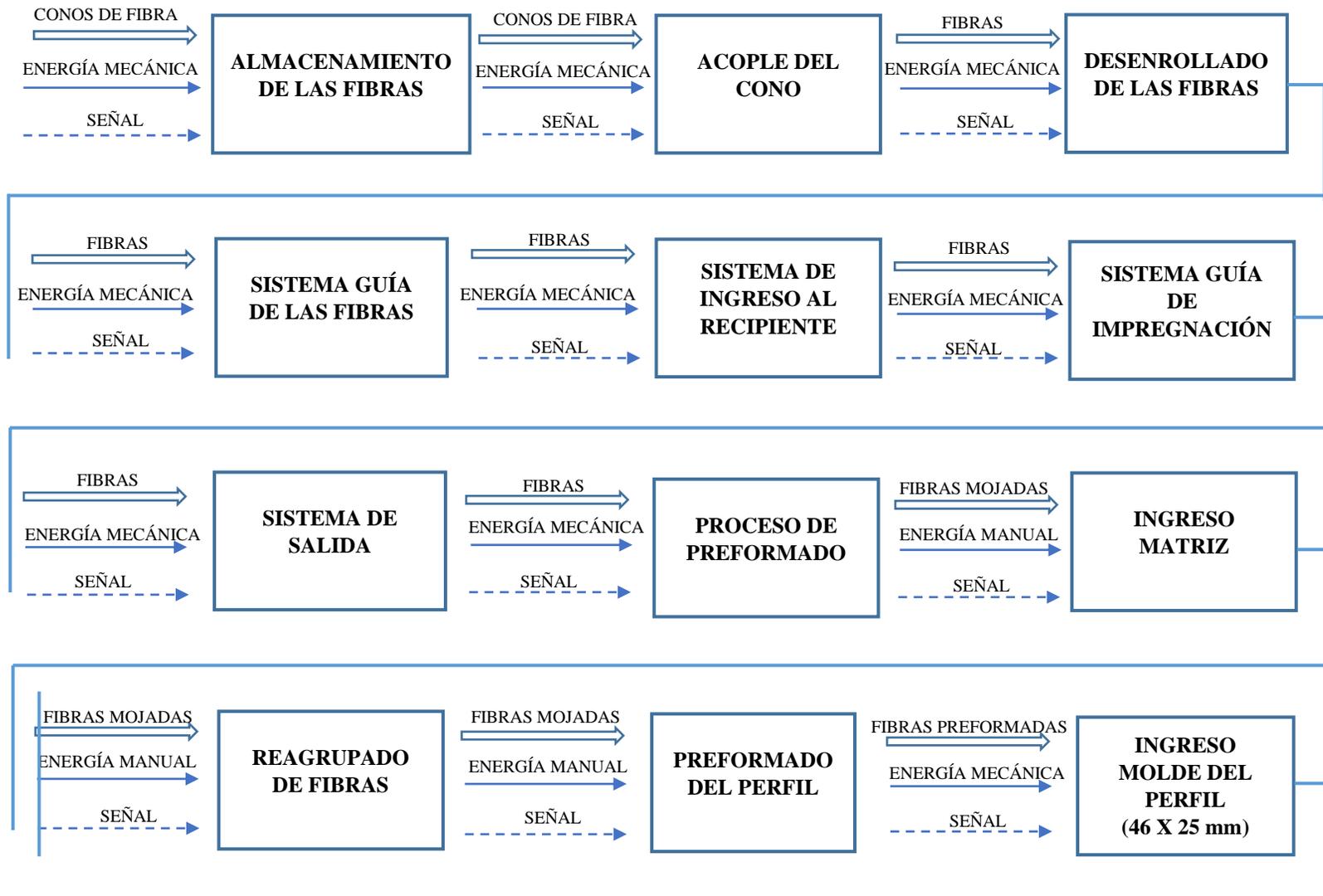


Figura 15. Análisis funcional. Nivel 1

NIVEL 2



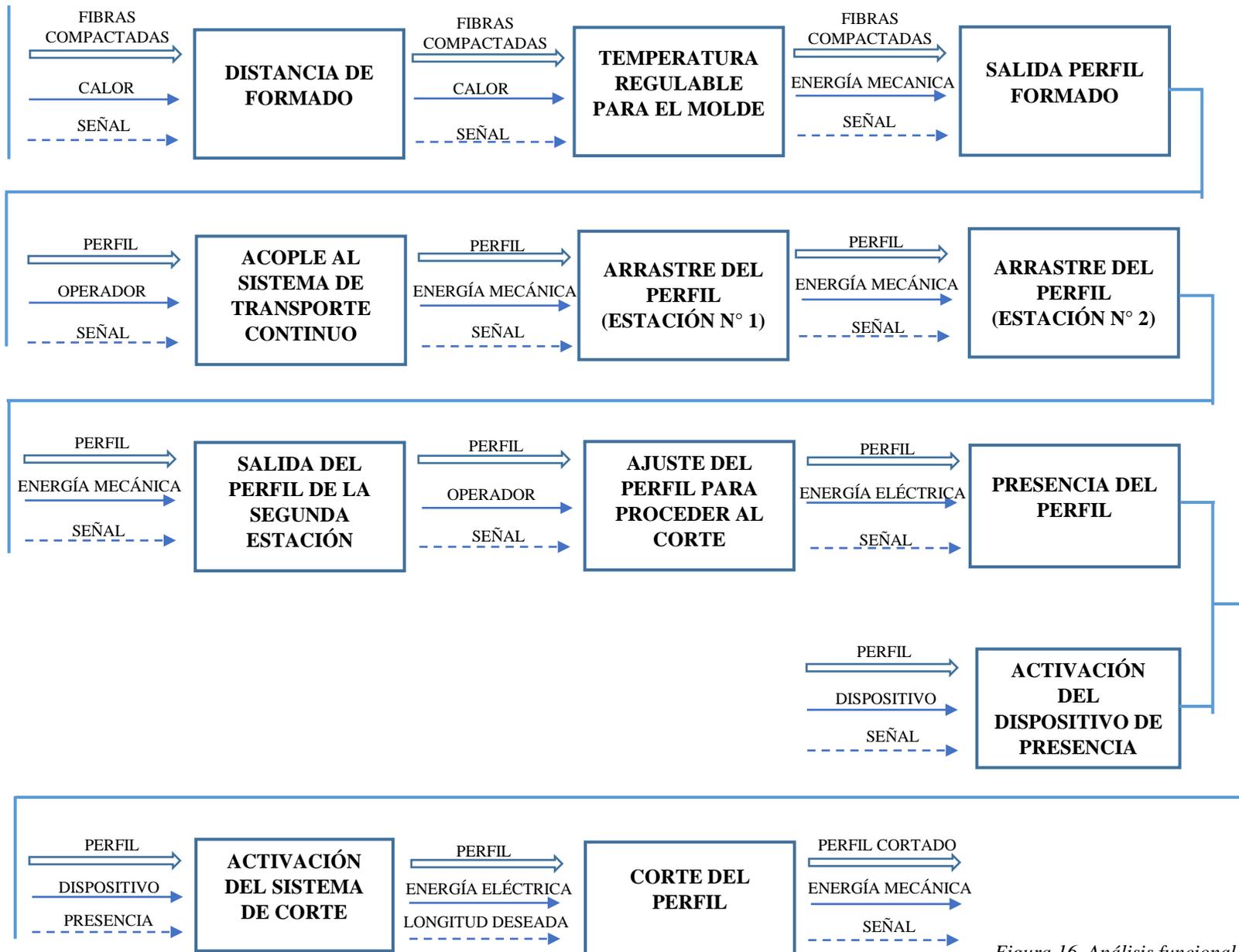


Figura 16. Análisis funcional. Nivel 2

3.3. Análisis modular del sistema de preformado-formado y curado de un equipo de pultrusión

Para este análisis se procede a una división modular en varios bloques funcionales, que posteriormente servirá para considerar diferentes soluciones en cada módulo, tomando en cuenta variables importantes, como son: material, energía y señal para cada uno de los bloques. Los módulos que se determinaron son:

MÓDULO 1: SISTEMA DE PREFORMADO

MÓDULO 2: SISTEMA DE FORMADO

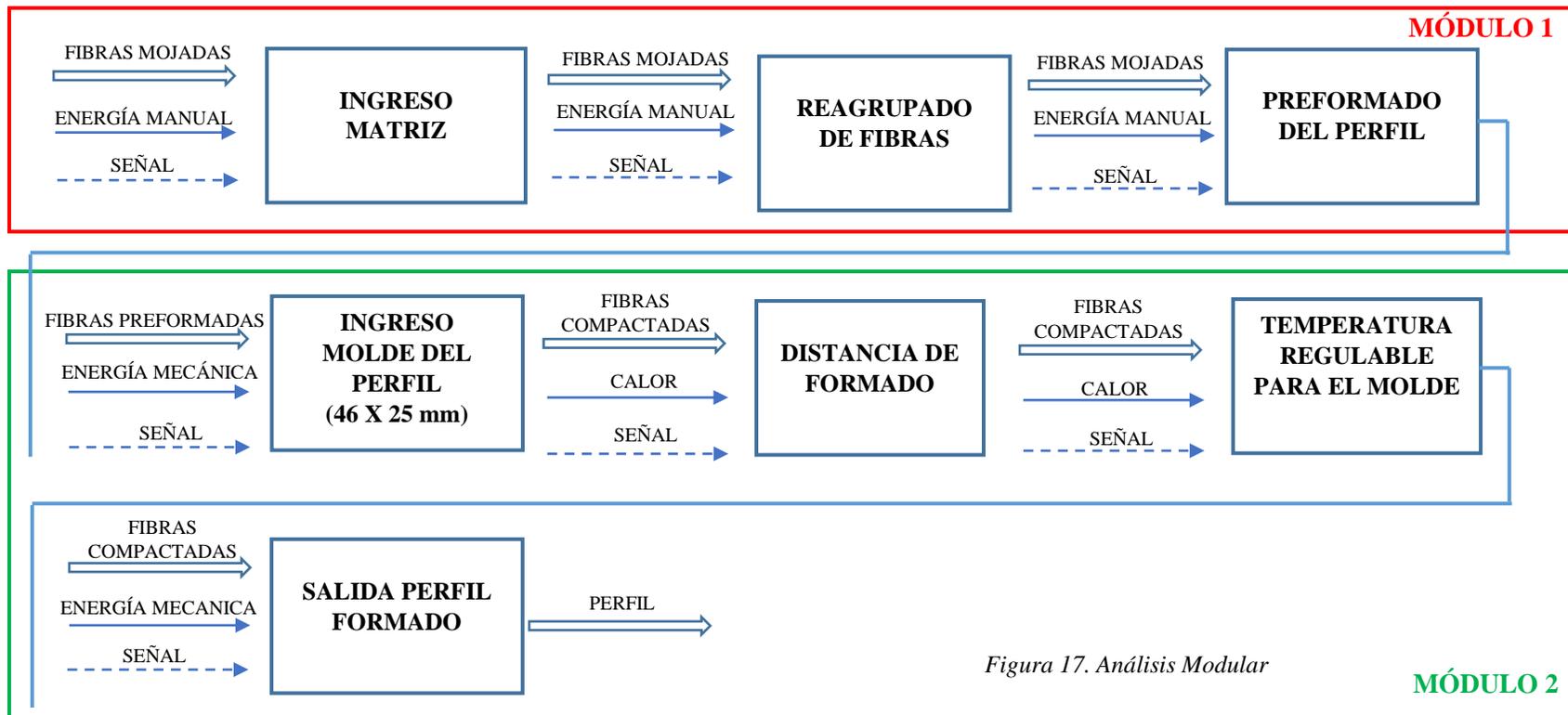


Figura 17. Análisis Modular

MÓDULO 2

3.3.1. Soluciones para cada módulo

Tabla V. Módulo 1

N°	FUNCIONES	SOLUCIONES	VENTAJAS	DESVENTAJAS
1	INGRESO A MATRIZ	<i>Rodillos guías</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Bajo costo - Fácil uso - Fácil reemplazo (mantenimiento) - Mejorar reagrupado de la fibra 	<ul style="list-style-type: none"> - No escurre todo el exceso de resina de las fibras
		<i>Anillos guías</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Bajo costo - Buena separación de las fibras 	<ul style="list-style-type: none"> - No permite que las fibras se adhieran con ayuda de la resina
		<i>Orificios fijos</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Bajo costo - Fácil uso - Buena separación de las fibras 	<ul style="list-style-type: none"> - No permite que las fibras se adhieran con ayuda de la resina
2	PREFORMADO DEL PERFIL	<i>Matriz cónica</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Ayuda a la formación del producto final (Perfil I) 	<ul style="list-style-type: none"> - Las fibras pueden enredarse en el cambio de una matriz de ingreso a otra.
		<i>Matriz lineal</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Evita el enredado de las fibras 	<ul style="list-style-type: none"> - Atascamiento de la fibra impregnada de resina

Tabla VI. Solución del Módulo 1

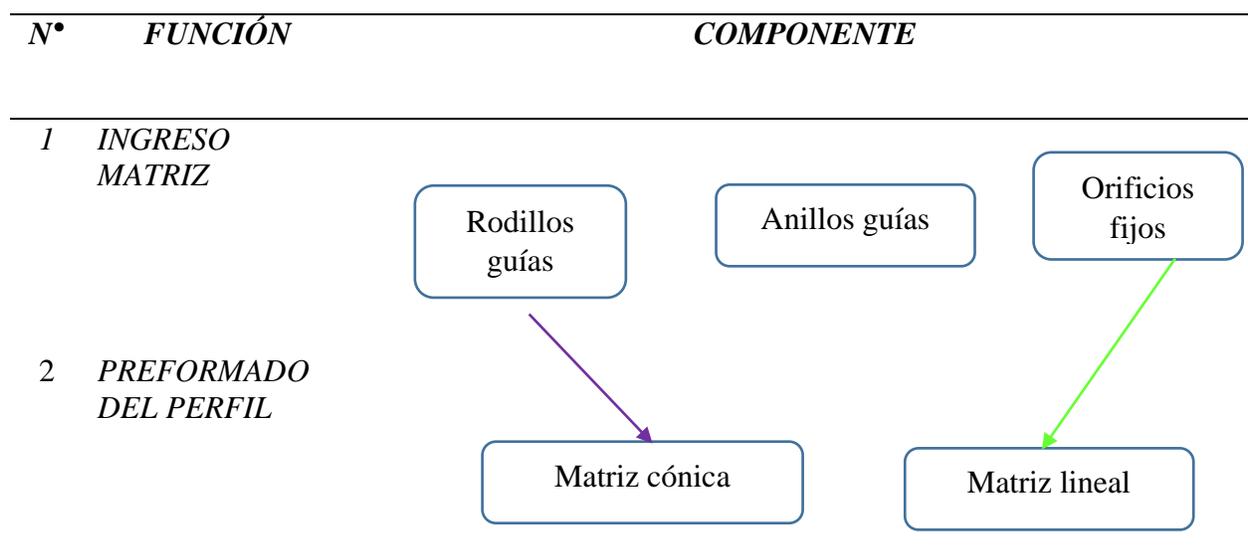


Tabla VII. Módulo 2

	FUNCIONES	SOLUCIONES	VENTAJAS	DESVENTAJAS
1	INGRESO AL MOLDE DEL PERFIL	<i>LINEAL</i> <i>CÓNICA</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Fácil mecanizado - Fácil montaje en el proceso - Fácil ingreso de las fibras impregnadas de resina al molde 	<ul style="list-style-type: none"> - Ingreso reducido de la fibra impregnada de resina. - Atascamiento de las fibras en el cambio brusco de la zona cónica a la recta - Mecanizado complejo - Mayor tiempo de montaje y ensamblado
2	DISTANCIA DE FORMADO	<i>MOLDE CUADRADO MECANIZADO CON ACOPLÉS</i> <i>MOLDE FUNDIDO</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Mejor acabado superficial del molde - Fácil construcción - Mayor precisión en las medidas del producto final 	<ul style="list-style-type: none"> - Acabado superficial con porosidad
3	TEMPERATURA REGULABLE PARA EL MOLDE	<i>RESISTENCIAS TIPO ABRAZADERAS</i> <i>RESISTENCIAS PLANAS</i> <i>RESISTENCIAS TUBULARES</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Calentamiento uniforme de todo el bloque - Bajo costo - Fácil implementación - Bajo costo - Fácil implementación - Bajo costo - Fácil implementación 	<ul style="list-style-type: none"> - Vida útil de 3 meses - Calentamiento no uniforme de todo el molde - Calentamiento no uniforme de todo el molde

Tabla VIII. Solución del módulo 2

N°	FUNCIÓN	COMPONENTE	
1	INGRESO DEL MOLDE DEL PERFIL	Lineal	Cónico
2	DISTANCIA DE PFORMADO	Molde cuadrado mecanizado	Molde fundido
3	TEMPERATURA REGULABLE PARA EL MOLDE	Resistencias tipo abrazaderas	Resistencias tubulares Resistencias planas

Alternativas

Módulo 1= 2 Soluciones

Solución 1.

Ingreso a la matriz con rodillos guías

Preformado del perfil cónico.

Solución 2.

Ingreso a la matriz por orificios fijos

Preformado del perfil por matriz lineal.

3.3.2. Aplicación de la matriz pugh

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 de valoración más determinantes:

- Perfil 46x25mm
- Dimensiones
- Costo Total

La evaluación de los criterios y módulos 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	0.67
Solución 2	0		1	0.33
		Total	3	1

Solución 1 > Solución 2

Dimensiones de la máquina	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0.5	1.5	0.5
Solución 2	0.5		1.5	0.5
		Total	3	1

Solución 1=Solución 2

Costo	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0.5	1.5	0.5
Solución 2	0.5		1.5	0.5
		Total	3	

Solución 1=Solución 2

	Perfil I 46x25mm	Dimensiones de la máquina	Costo	$\Sigma+1$	Ponderación	Prioridad
Solución 1	0.67	0.5	0.5	2.67	0.67	1
Solución 2	0.33	0.5	0.5	1.33	0.33	2

Se determina que la solución que más se ajusta a los criterios es la 1.

En la figura 18 se muestra el diseño del módulo 1.

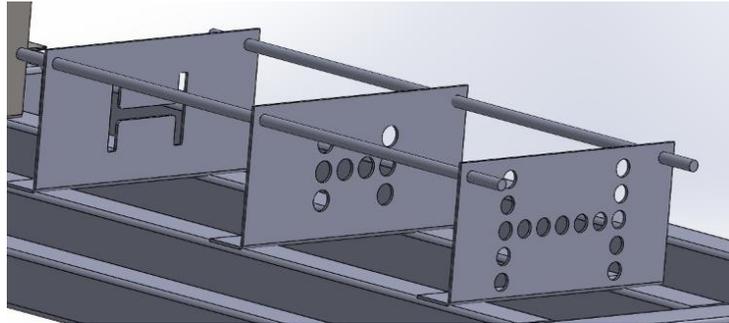


Figura 18. Preformado cónico (Fuente Propia)

MÓDULO 2= 3 Soluciones

Solución 1.

Ingreso Lineal

Molde cuadrado mecanizado con acoples

Resistencias tipo abrazaderas

Solución 2.

Ingreso lineal

Molde fundido

Resistencias tubulares

Solución 3.

Ingreso cónico

Molde fundido

Resistencias planas

Se listan a continuación los criterios de valoración más determinantes:

- Perfil 46x25mm
- Dimensiones
- Costo Total

La evaluación de los criterios y módulos 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	0.5	2.5	0.42
Solución 2	0		0.5	1.5	0.25
Solución 3	0.5	0.5		2	0.33
			Total	6	1

Solución 1 > Solución 3 > Solución 2

Dimensiones de la máquina	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		1	0.5	2.5	0.42
Solución 2	0		0	1	0.16
Solución 3	0.5	1		2.5	0.42
Total				6	1

Solución 1=Solución 3>Solución 2

Costo	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

	Perfil I 46x25mm	Dimensiones de la máquina	Costo	$\Sigma+1$	Ponderación	Prioridad
Solución 1	0.42	0.42	0.5	2.34	0.39	1
Solución 2	0.25	0.16	0.25	1.66	0.28	3
Solución 3	0.33	0.42	0.25	2	0.33	2

Se determina que la solución que más se ajusta a los criterios es la 1.

En la figura 19 se muestra el diseño del módulo 2.

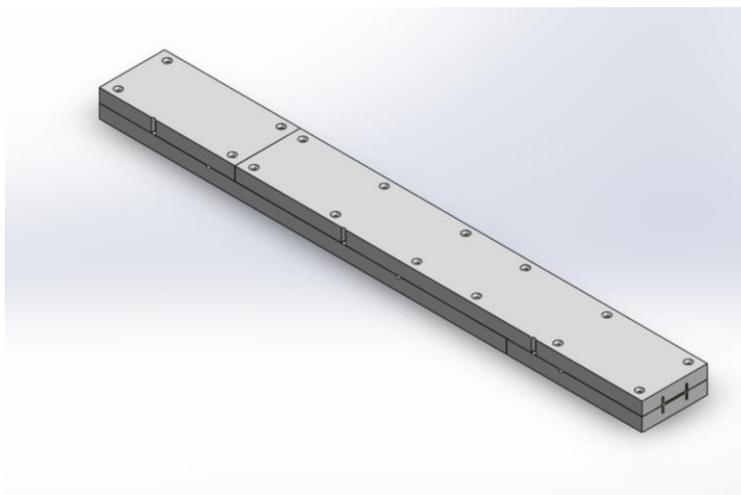


Figura 19. Molde mecanizado con acoples (Fuente propia)

3.4. Cálculos del sistema

Una vez establecidas las soluciones a construir, se realizan los cálculos necesarios en el sistema.

El molde se realiza en Dura Aluminio 7075 (Propiedades ANEXO A), con las siguientes medidas 50x120x1000 mm, y con la cavidad del perfil I de 46 mm de alto, 25 mm de ancho y 2.5 mm de alma.

Los 1000 mm de largo del molde se dividirán en 3 zonas quedando de la siguiente manera:

Tabla IX. Etapas del molde

ETAPA	TEMPERATURA	LONGITUD
Pre calentamiento	70°C	400 mm
Calentamiento	120°C	300 mm
Curado	170°C	300 mm

Para diseñar el molde es necesario conocer la dilatación de material, para evitar que el producto final salga con dimensiones no específicas. Para realizar este cálculo, como datos

tenemos el coeficiente de dilatación del aluminio ($\alpha = 0,000025/^{\circ}C$), las longitudes y variación de temperaturas se encuentran en la tabla IX, teniendo en cuenta que se encuentra como temperatura inicial ($20^{\circ}C$).

- Dilatación lineal

Aluminio

$$\Delta_{Al} = \alpha * L * \Delta T$$

Ecuación 1

$$\Delta_{Al} = 0,2mm \quad \text{Dilatación en } 70^{\circ}C$$

$$\Delta_{Al} = 0,375mm \quad \text{Dilatación en } 120^{\circ}C$$

$$\Delta_{Al} = 0,375mm \quad \text{Dilatación en } 170^{\circ}C$$

La dilatación promedio del molde es de 0,316 mm

- Dilatación volumétrica

$$\Delta_V = \beta * V_o * \Delta T$$

Ecuación 2

$$\Delta_V = \frac{0,000076}{^{\circ}C} * 5000000mm^3 * 50^{\circ}C$$

$$\Delta_V = 18,75 cm^3$$

Al conocer la curva de temperatura (figura 11), se puede calcular la energía necesaria para transferir calor al molde y llegar a las temperaturas establecidas y realizar el respectivo curado de la resina.

Para calcular la energía para calentar cada zona de trabajo del molde se conoce que la masa es de 18 Kg en total, por lo que cada zona consta de 6 Kg de aluminio; las temperaturas a obtener se ven reflejadas en la tabla IX tomando en cuenta que la temperatura inicial en todo el molde es de 20°C, como dato del aluminio se conoce su calor específico ($C_p=880 \text{ J/Kg}^{\circ}\text{K}$).

$$Q = m * C_p * \Delta T \quad \text{Ecuación 3}$$

$$Q_{\text{zona1}} = 1421860 \text{ J}$$

$$Q_{\text{zona2}} = 1641860 \text{ J}$$

$$Q_{\text{zona3}} = 1861860 \text{ J}$$

Calculo del tiempo de calentamiento del molde

Una vez obtenida la energía necesaria se calcula el tiempo de calentamiento de las zonas de trabajo, conociendo la potencia de las resistencias ($P=2800 \text{ J/s}$).

$$\Delta t = \frac{Q}{P} \quad \text{Ecuación 4}$$

$$\Delta t_{\text{zona1}} = 507 \text{ s}$$

$$\Delta t_{\text{zona2}} = 586 \text{ s}$$

$$\Delta t_{\text{zona3}} = 665 \text{ s}$$

Selección de protecciones para las resistencias (1400 W) en la zona de calor, teniendo en cuenta que estas trabajan a 220 V.

$$I = \frac{\text{Potencia resistencias}}{\text{Voltaje}} \quad \text{Ecuación 5}$$

$$I_{\text{calculada}} = 6,4 \text{ A}$$

$$I_{\text{medida}} = 7 \text{ A}$$

Después del análisis de las soluciones de los módulos, aplicando la matriz pugh, se escogieron las soluciones a ejecutar, en la figura 20 se muestra el diseño a construir.



Figura 20. Sistema de preformado, formado y curado. (Fuente Propia)

3.5. Análisis de los componentes críticos del sistema

3.5.1. Análisis de la mesa

Establecido el diseño se procede a realizar un análisis de la estructura para conocer el factor de seguridad, y para obtener los diagramas necesario se utiliza MD Solid 4.0.

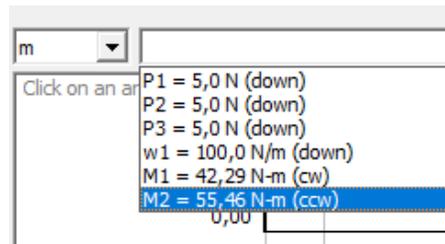


Figura 21. Cargas en la viga



Figura 22. Reacciones

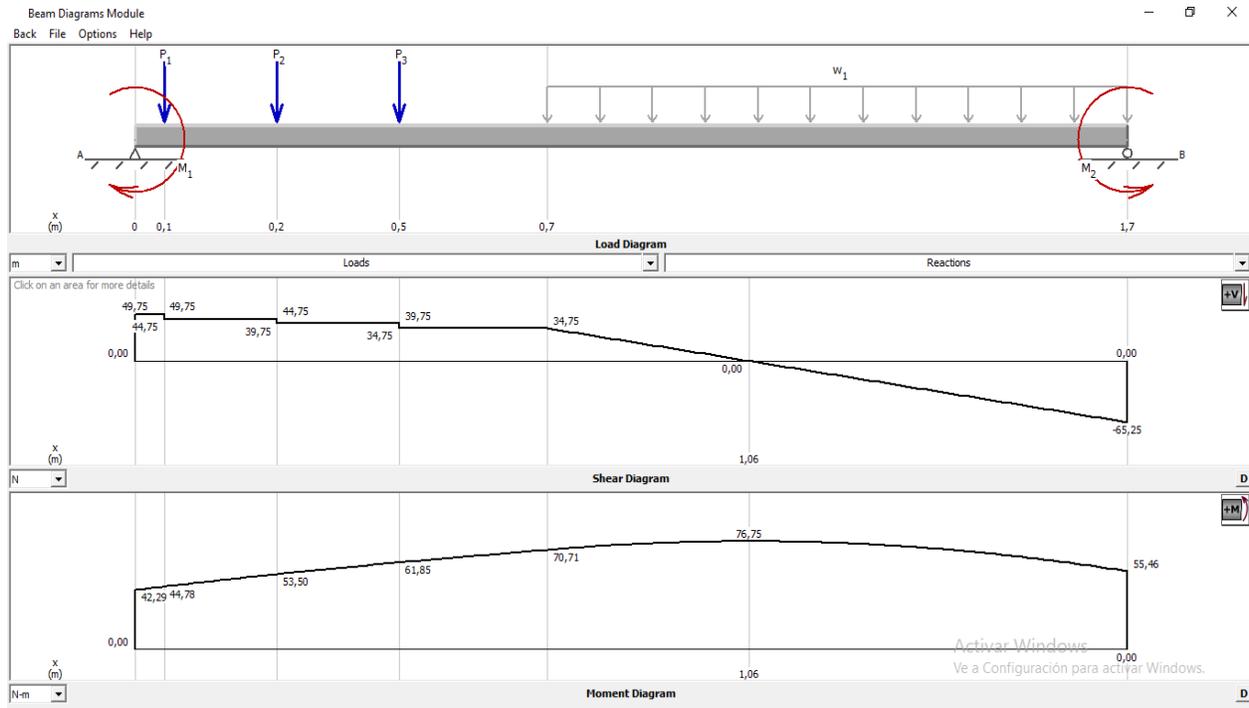


Figura 23. Diagramas de Fuerza cortante y Momento flector (MD Solid 4.0)

Del diagrama de la figura 23 obtenemos el momento flector máximo ($M=76,75 \text{ N}\cdot\text{m}$).

Se utiliza tubo cuadrado de 1 ½'' con 2 mm de espesor, sus propiedades mecánicas se detallan a continuación:

$$S_u=400 \text{ MPa}$$

$$S_y=250 \text{ MPa}$$

$$E=200 \text{ GPa}$$

Para calcular el esfuerzo se necesita calcular la sección del tubo cuadrado, con la ecuación 9.

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

Ecuación 6

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

Al conocer la sección del tubo se procede a calcular el esfuerzo con la ecuación 10 y finalmente se encuentra el factor de seguridad del tubo con la ecuación 11.

$$\mathcal{T} = \frac{M}{S}$$

Ecuación 7

$$\mathcal{T} = 23,39 \text{ MPa}$$

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

Ecuación 8

$$N = 10,69$$

Para validar los datos calculados se realizan simulaciones con la ayuda de SolidWorks, tomando en cuenta que los resultados tienen un margen de error del 10 %.

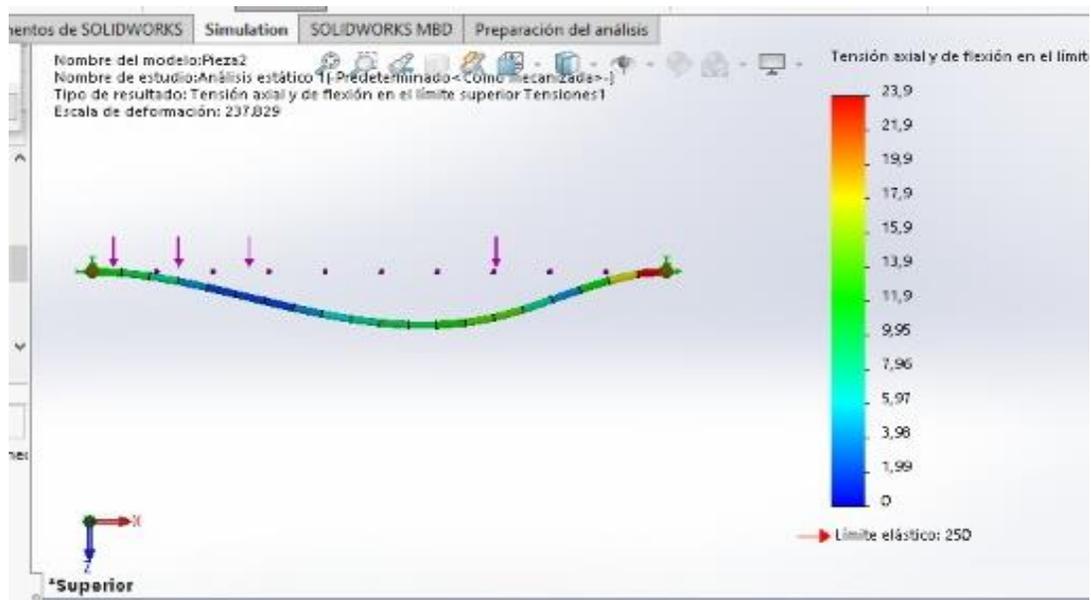


Figura 24. Simulación de esfuerzo por Von Mises

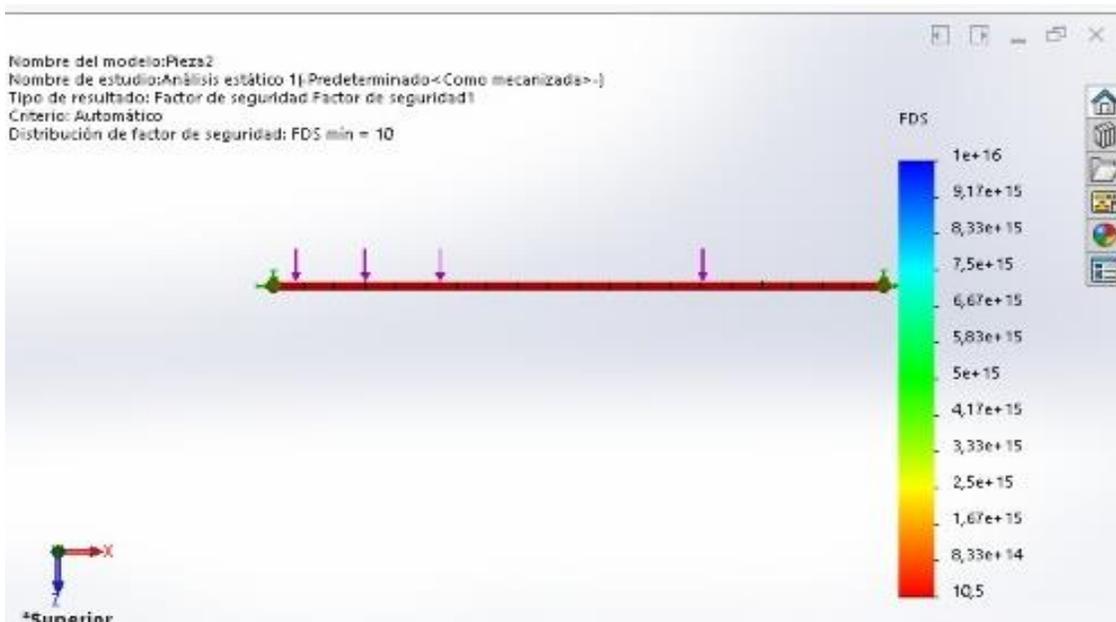


Figura 25. Simulación factor de seguridad

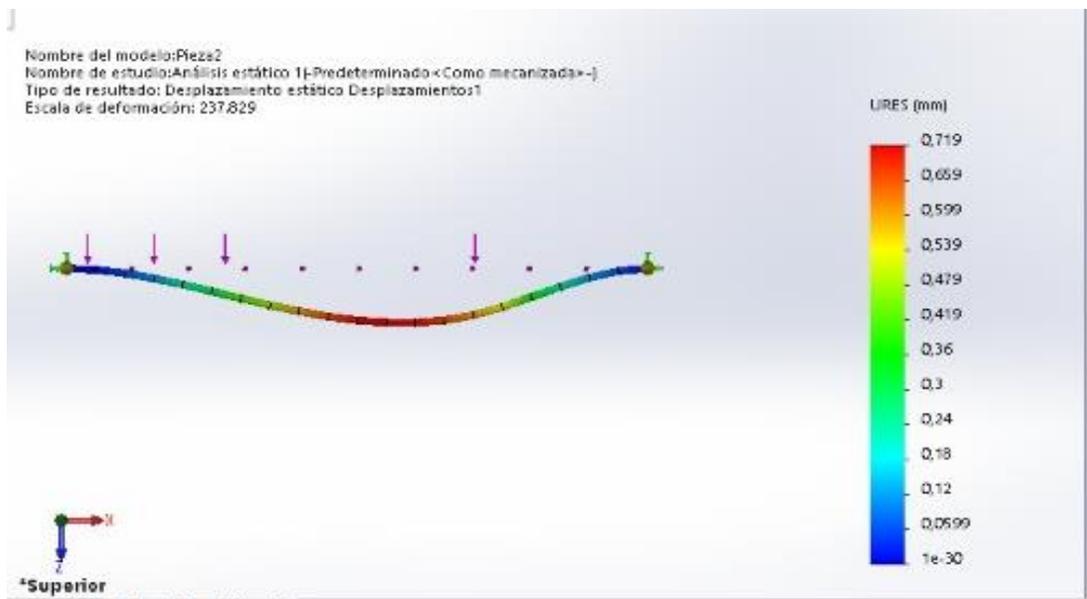


Figura 26. Simulación de desplazamiento

Como resultados de la simulación de las figuras 24 y 25 se obtiene por Von Mises un $\mathcal{T} = 23,9 \text{ MPa}$ y un factor de seguridad $N = 10,5$ dando como variación de resultados el 2% de error, se toma como válido porque se encuentra dentro del margen de error (10%). Esta viga fue

calculada con un número de elementos = 10, con este dato se procede a realizar la simulación de la estructura total.

En la figura 27 se muestra la simulación de la mesa total, en el análisis se obtiene como resultados $T = 12,5 \text{ MPa}$ y un factor de seguridad $N = 20$.

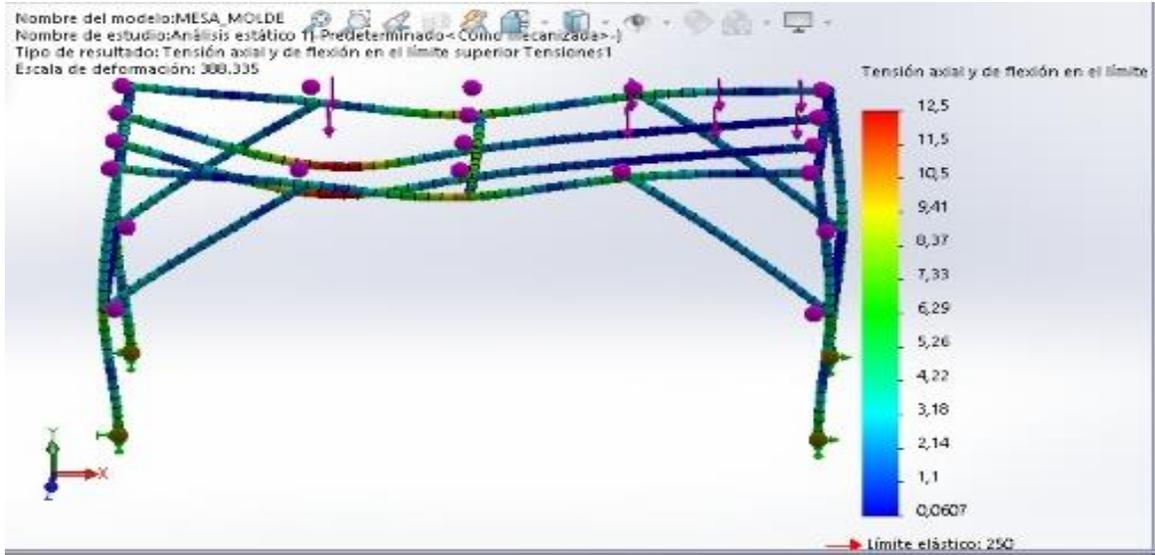


Figura 27. Simulación de esfuerzo por Von Mises

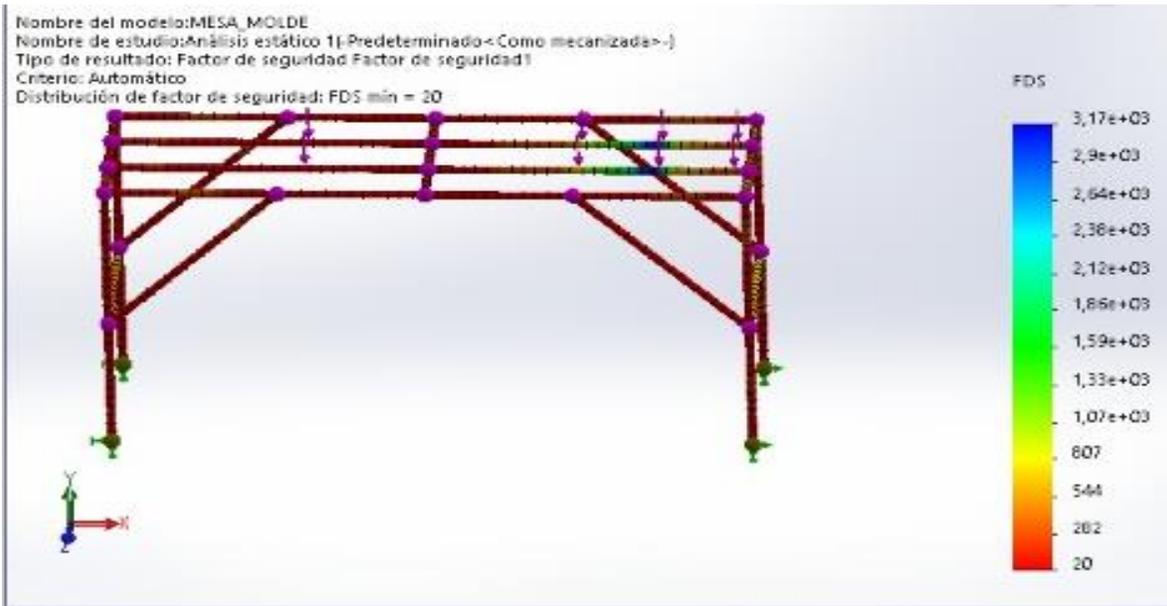


Figura 28. Simulación del factor de seguridad

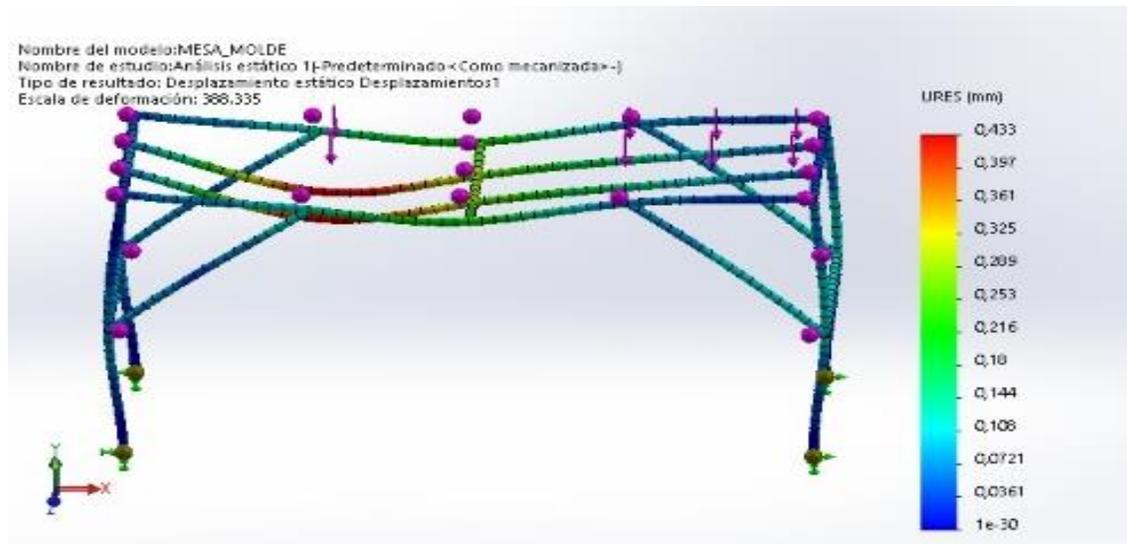


Figura 29. Simulación del desplazamiento de la mesa

3.5.2. Análisis térmico del molde

A esta etapa del sistema se realiza un análisis térmico para determinar las temperaturas de trabajo. En las figuras 30, 31 y 32 se muestra las temperaturas en cada zona del molde.

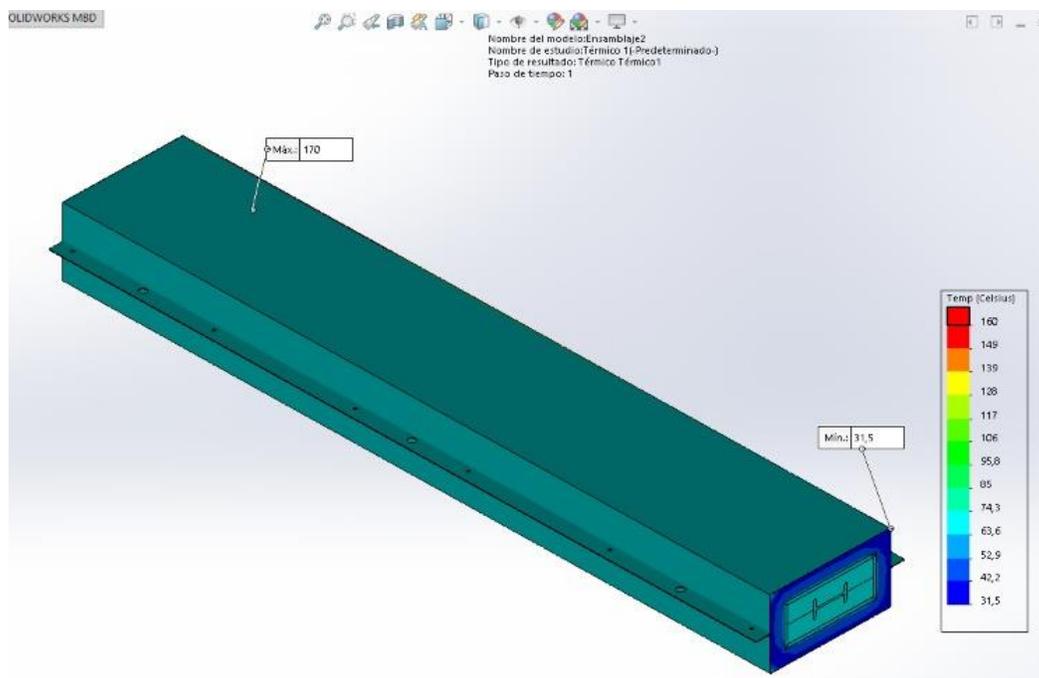


Figura 30. Primera fase del molde, con 70 °C.

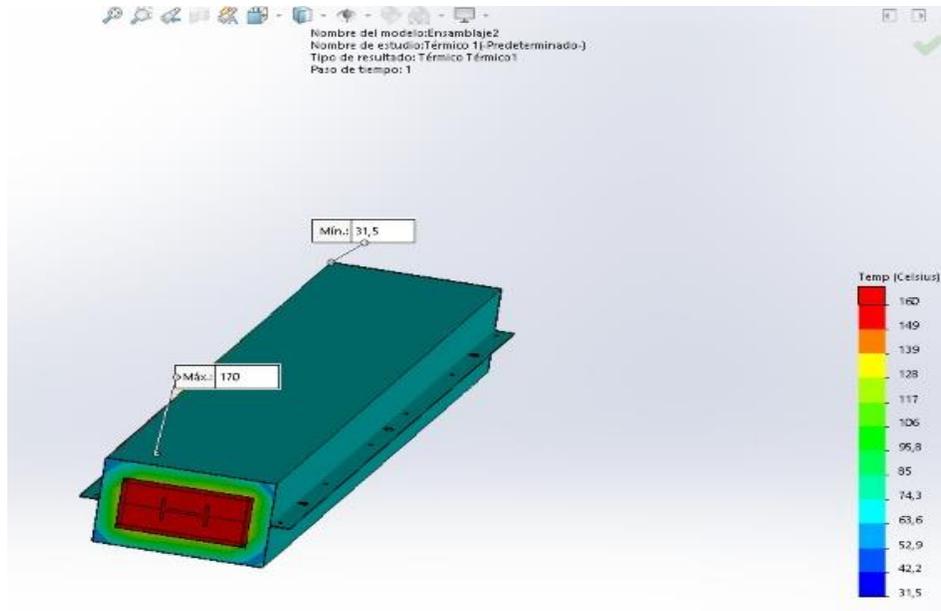


Figura 31. Fase de curado con 170 °C

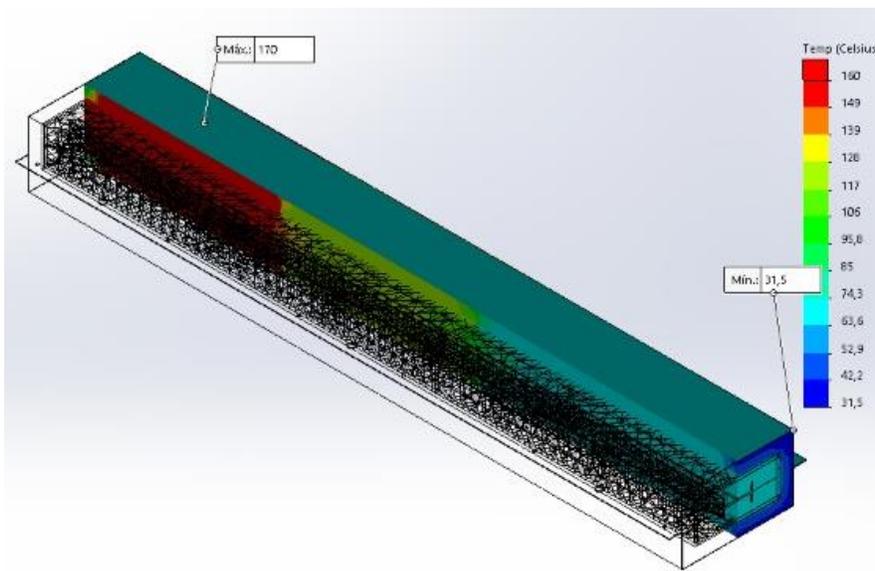


Figura 32. Distribución de las temperaturas en el molde

CAPÍTULO 4

4. RESULTADOS

El capítulo de resultados expone los productos finales de las diversas pruebas experimentales de funcionamiento de la máquina, aplicando un protocolo de 15 ensayos los cuales cambian los parámetros de temperatura en las zonas de formado y curado. Además, en la fase preformado se verificará el proceso mediante pruebas de pérdida de material.

4.1. Constitución del sistema

De acuerdo a la metodología utilizada en el diseño propuesto se ejecuto desde el análisis QFD, por medio del cual se obtuvo los requerimientos técnicos que se tomaron en cuenta en el diseño tales son: el costo, dimensionamiento de la maquinaria y del perfil solicitado, además se llevo a cabo el análisis funcional el cual se basa en el ingreso del material compuesto en preformado y a la salida el perfil constituido en sí con las características que lo definen, posteriormente la implementación del análisis modular que define dos modulos y del cual parte la selección de alternativas y la matriz PUG. Posteriormente al análisis anteriormente definido se llevo a cabo los cálculos analíticos para delimitar el dimensionamiento de la maquinaria y a su vez el CAD (Figura 20).

Consecutivamente de la aprobación del CAD se llevó a cabo la construcción del mismo en los cuales se definen cada módulo antes mencionado, basándose en las dimensiones especificadas en el ANEXO B, el primero define el sistema de preformado como se puede observar en la figura 33 y el segundo lo conforma el sistema de curado como lo muestra la figura 34.



Figura 33.Sistema de preformado



Figura 34.Sistema de curado.

La implementación de los dos sistemas se refleja en la figura 35 el cual se lo diseño en la misma mesa de trabajo.



Figura 35.Preformado y curado.

4.2. Funcionamiento del sistema de preformado, formado y secado

El sistema de preformado, formado y curado en su etapa inicial de funcionamiento parte del ingreso de los hilos de fibra de vidrio tipo E sin la etapa de mojado, es decir los hilos deben ingresar en seco por las matrices del preformado, posteriormente llegan al molde el cual no debe estar ensamblado como se muestra en la figura 36, los hilos deben ser minuciosamente ubicados en la forma de las tapas inferiores del molde y a su vez se monta las tapas superiores del tomando en cuenta que los hilos no se queden en las uniones para evitar atascamientos posteriores, los hilos se adecuan al siguiente proceso de pultrusión y se enciende la maquinaria.



Figura 36. Molde desmontado.

El sistema eléctrico (ANEXO C) controla las temperaturas en 3 zonas de calor del molde, encendiendo y apagando las niquelinas automáticamente para mantener la temperatura deseada. Las temperaturas seteadas son medidas por las termocuplas en cada zona; se muestra en el display del control de temperatura asignado como se muestra en la figura 37



Figura 37. Control de Temperatura

4.3. Pruebas experimentales

El desarrollo de las pruebas se basa en un protocolo el cual enmarca diferentes aspectos como lo son la composición, temperaturas y la velocidad del arrastre, de acuerdo al planteamiento del trabajo de investigación se evaluará las condiciones adecuadas de las temperaturas, así también las características de cada prueba a su ingreso y salida del molde.

A continuación, en la Tabla X se detallan las pruebas realizadas

Tabla X. Pruebas de pultrusión

PRUEBAS	COMPOSICIÓN				TEMPERATURAS (°C)			VELOCIDAD DE ARRASTRE (m/min)
	Resina (g)	Catalizador (cc)	Carbonato (g)	Cobalto (cc)	Zona 1 (400 mm)	Zona 2 (300mm)	Zona 3 (300mm)	
1	1000	10	-	-	70	120	170	3,6
2	1000	10	-	-	100	150	210	2,4
3	1000	20	-	-	70	120	170	2,4
4	1000	20	-	-	90	140	190	1,8
5	1000	25	-	-	70	120	170	1,8
6	1000	25	-	-	90	140	190	1,62
7	1000	25	-	-	80	130	175	1,62
8	1000	25	100	-	70	120	180	1,62
9	1000	25	50	-	70	120	170	1,62
10	1000	20	-	0,5	70	120	170	1,62
11	1000	20	100	-	97	150	199	1,62
12	1000	20	100	0,5	97	150	199	1,62
13	1000	25	100	-	100	150	190	1,62
14	1000	25	100	-	100	160	210	1,62
15	1000	25	50	-	100	150	220	1,62

4.4. Análisis de las pruebas

En la tabla XI se detallan las características que mostraron las diferentes pruebas realizadas.

Tabla XI.Análisis de pruebas

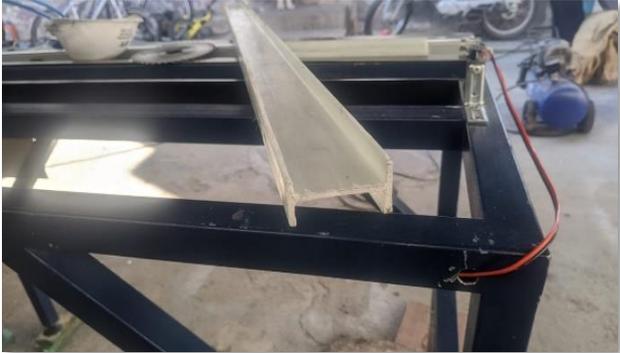
<p>Prueba 1</p>  <p><i>Figura 38.Prueba 1</i></p>	<p>Características del perfil:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Flexible • Estructura quebradiza • Resina sin gelificación total • Poca adherencia entre matriz y refuerzo • Geometría irregular • No presenta atascamiento
<p>Prueba 2</p>  <p><i>Figura 39.Prueba 2</i></p>	<p>Características del perfil:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Flexible • Estructura quebradiza • Resina sin gelificación total • Poca adherencia entre matriz y refuerzo • Geometría irregular • No presenta atascamiento
<p>Prueba 3</p>	<p>Características del perfil:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Flexible • Estructura quebradiza • Resina sin gelificación total

 <p data-bbox="440 548 634 575"><i>Figura 40. Prueba 3</i></p>	<ul data-bbox="951 199 1279 451" style="list-style-type: none"> • Poca adherencia entre matriz y refuerzo • Geometría irregular • No presenta atascamiento
<p data-bbox="199 606 326 634">Prueba 4</p>  <p data-bbox="440 1062 634 1089"><i>Figura 41. Prueba 4</i></p>	<p data-bbox="902 606 1252 634">Características del perfil:</p> <ul data-bbox="951 667 1279 1035" style="list-style-type: none"> • Flexible • Estructura quebradiza • Poca adherencia entre matriz y refuerzo • Geometría irregular • No presenta atascamiento
<p data-bbox="199 1117 326 1144">Prueba 5</p>  <p data-bbox="440 1577 634 1604"><i>Figura 42. Prueba 5</i></p>	<p data-bbox="902 1117 1252 1144">Características del perfil:</p> <ul data-bbox="951 1178 1295 1818" style="list-style-type: none"> • Flexible • Estructura quebradiza • Resina sin gelificación total • Adherencia media entre matriz y refuerzo • Geometría definida, sin dimensionamiento adecuado • Presenta atascamiento a los 5cm de salida del molde.

<p>Prueba 6</p>  <p><i>Figura 43. Prueba 6</i></p>	<p>Características del perfil:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Flexible • Estructura quebradiza • Resina sin gelificación total • Poca adherencia entre matriz y refuerzo • Geometría irregular • No presenta atascamiento
<p>Prueba 7</p>  <p><i>Figura 44. Prueba 7</i></p>	<p>Características del perfil:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rígido • Estructura dura • Resina sin gelificación total • Adherencia media entre matriz y refuerzo • Geometría definida, sin dimensionamiento adecuado • No presenta atascamiento
<p>Prueba 8</p>	<p>Características del perfil:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Flexible • Estructura quebradiza • Resina sin gelificación total • Adherencia media entre matriz y refuerzo

 <p data-bbox="440 562 634 590"><i>Figura 45. Prueba 8</i></p>	<ul data-bbox="951 197 1305 506" style="list-style-type: none"> • Geometría definida, sin dimensionamiento adecuado • Presenta atascamiento a los 30 cm de salida del molde.
<p data-bbox="199 621 326 648">Prueba 9</p>  <p data-bbox="440 1079 634 1106"><i>Figura 46. Prueba 9</i></p>	<p data-bbox="902 621 1252 648">Características del perfil:</p> <ul data-bbox="951 680 1305 1157" style="list-style-type: none"> • Flexible • Estructura quebradiza • Resina sin gelificación total • Adherencia media entre matriz y refuerzo • Geometría sin definir • No presenta atascamiento
<p data-bbox="199 1188 342 1215">Prueba 10</p>  <p data-bbox="440 1667 634 1694"><i>Figura 47. Prueba 10</i></p>	<p data-bbox="902 1188 1252 1215">Características del perfil:</p> <ul data-bbox="951 1247 1305 1724" style="list-style-type: none"> • Flexible • Estructura quebradiza • Resina sin gelificación total • Poca adherencia entre matriz y refuerzo • Geometría sin definir • No presenta atascamiento
<p data-bbox="199 1755 342 1782">Prueba 11</p>	<p data-bbox="902 1755 1252 1782">Características del perfil:</p> <ul data-bbox="951 1814 1198 1894" style="list-style-type: none"> • Rígido • Estructura dura

 <p data-bbox="435 491 639 520"><i>Figura 48. Prueba 11</i></p>	<ul data-bbox="951 197 1302 562" style="list-style-type: none"> • Resina gelificada • Adherencia entre matriz y refuerzo • Geometría definida, sin dimensionamiento adecuado • No atravesó el molde
<p data-bbox="199 642 342 672">Prueba 12</p>  <p data-bbox="435 1136 639 1165"><i>Figura 49. Prueba 12</i></p>	<p data-bbox="902 642 1252 672">Características del perfil:</p> <ul data-bbox="951 699 1302 1182" style="list-style-type: none"> • Rígido • Estructura dura • Gelificación de la resina antes del ingreso total del molde • Adherencia entre matriz y refuerzo • Geometría definida • No atravesó el molde
<p data-bbox="199 1205 342 1234">Prueba 13</p>  <p data-bbox="435 1709 639 1738"><i>Figura 50. Prueba 13</i></p>	<p data-bbox="902 1205 1243 1234">Características del perfil</p> <ul data-bbox="951 1262 1302 1850" style="list-style-type: none"> • Rígido • Estructura dura • Resina gelificada • Adherencia entre matriz y refuerzo • Geometría definida, sin dimensionamiento adecuado • Presenta atascamiento a los 50 cm de salida del molde.

<p>Prueba 14</p>  <p><i>Figura 51. Prueba 14</i></p>	<p>Características del perfil:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rígido • Estructura dura • Resina gelificada • Adherencia entre matriz y refuerzo • Geometría definida, sin dimensionamiento adecuado • Presenta atascamiento a los 30 cm de salida del molde.
<p>Prueba 15</p>  <p><i>Figura 52. Prueba 15</i></p>	<p>Características del perfil:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rígido • Estructura dura • Resina gelificada • Adherencia entre matriz y refuerzo • Geometría definida, PERFIL adecuado • Atravesó 30 cm del molde

4.5. Geometría del perfil pultruido

Durante las diversas pruebas se determinaron algunos factores que afectan a la estructura, siendo una característica principal la temperatura. De acuerdo a los resultados se puede definir la

geometría del perfil I planificado se obtuvo con la combinación de la prueba 15 y la distribución de las temperaturas en el molde se definen de la siguiente forma:

Zona 1 (400 mm) = 100 °C

Zona 2 (300 mm) = 150 °C

Zona 3 (300 mm) = 220 °C

Las demás pruebas cambiaron la geometría del perfil ya que la resina se impregnaba en el molde, creando pérdidas de medidas.

4.6. Análisis y discusión de resultados

El sistema de preformado, formado y curado con la experimentación ha permitido evidenciar varios aspectos que definen al perfil seleccionado a obtener como producto final, por ello se muestra a continuación la influencia de la temperatura en los diversos casos de estudio.

De acuerdo a las características presentes al salir del molde se les ha clasificado en perfiles frágiles, semi-duros y duros.

Dicha clasificación se puede observar en las figuras 53, 54 y 55.

Los perfiles frágiles se les denominó así debido a que después de su salida del molde presentan características tales como: son quebradizos, no cumplen el dimensionamiento adecuado, sus partes principales como el patín y el alma se encuentran separadas del cuerpo y no pueden ser utilizados en ninguna aplicación, en la figura 53 se tiene a detalle dichas pruebas con sus respectivas temperaturas.

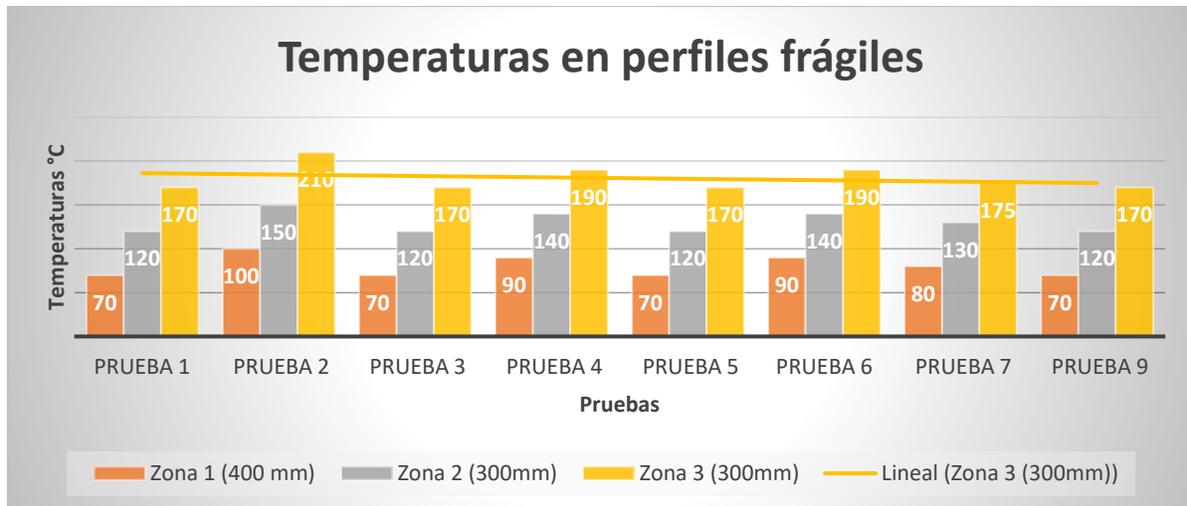


Figura 53. Temperaturas en perfiles frágiles.

Las pruebas en la zona 1, con temperatura de inferior a los 100 °C no se permite la correcta integración de las fibras al perfil por lo que en la salida se observa un material frágil, sin adherencia entre la matriz y el referzo.

Los perfiles semi-duros se les denomino así debido a que tienen una estructura rígida, pero su superficie muestra un desprendimiento de la resina y reduciendo su dimensionamiento y propiedades de mecánicas, en la figura 54 se puede observar dichas pruebas con sus respectivas temperaturas.

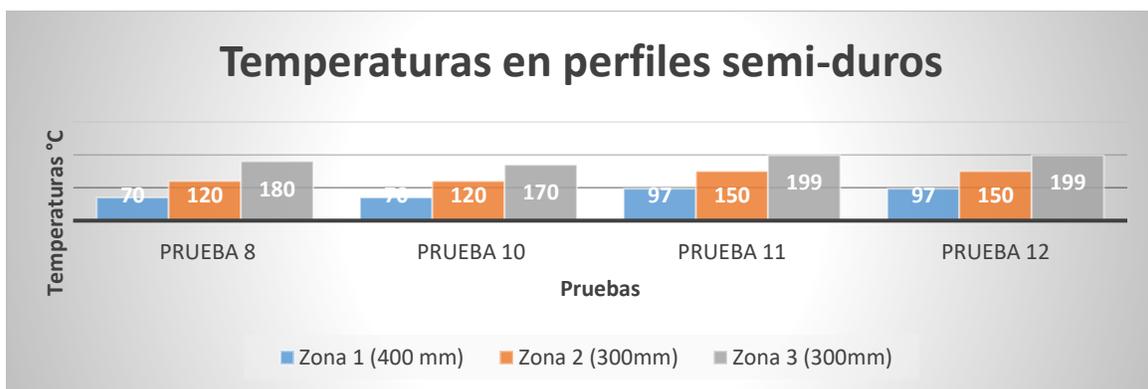


Figura 54. Temperaturas en perfiles semi-duros.

La temperatura de la zona 3 interviene en el curado adecuado del perfil por ello durante la practica se observo que la temperatura inferior a los 200 °C en dicha zona permitió que el material

gelifique, pero en las paredes del molde se impregnó pequeñas cantidades de resina, lo cual no permite el correcto dimensionamiento del producto final.

En base a las características encontradas en las pruebas se denominó perfiles duros (fig. 55) a los que denotaron su consistencia física como dura y rígida, además su dimensionamiento se acerca al buscado y en el caso de la prueba 15 cumplía con el dimensionamiento adecuado ya que no se encontró pérdida de resina en el molde.

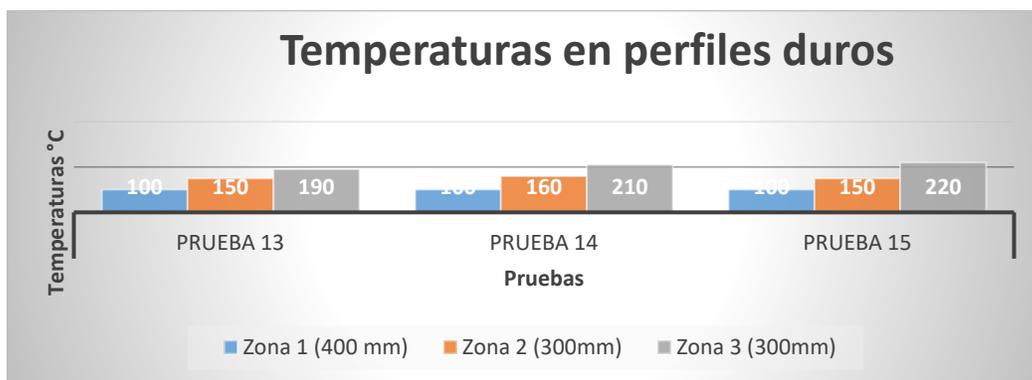


Figura 55. Temperaturas en perfiles duros.

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Como resultado de la investigación bibliográfica realizada sobre el proceso general de pultrusión se consiguió comprender las variables y establecer el correcto método de preformado, formado y curado para los perfiles pultruidos. Los estudios anteriores determinaron que aplicar de manera incorrecta las temperaturas en cada zona de calor del molde, estas influye en la geometría y en las propiedades del perfil resultante.

Basados en una correcta metodología mecatrónica según la norma VID 2206 se consiguió establecer las especificaciones necesarias para que el sistema propuesto cumpla con la correcta funcionalidad en un equipo de pultrusión, por lo tanto se definió que el diseño del sistema debe integrar principalmente matrices de preformado cónicas, un molde de formado y curado de aluminio y resistencias electricas tipo abrazadera controladas mediante histéresis para cada zona de calor.

Se construyó el sistema requerido tomando en cuenta las especificaciones planteadas en el diseño: molde de aluminio con sección constante tipo I y temperaturas controladas en cada zona, también matrices cónicas de preformado que ayudan a compactar las fibras y a su vez adquirir la forma del perfil.

Finalmente se procedio a la validación del sistema, realizando las pruebas de funcionamiento en las cuales se aplicó variaciones de temperaturas en las tres zonas que conforman el molde, de las cuales solo un 20% cumplen con las condiciones adecuadas a obtener; entre ellos la rigidez, compactación y geometría establecida. Las temperaturas adecuadas del molde se definen de la

siguiente forma: zona 1 - 100 °C, zona 2 - 150 °C y zona 3 - 220 °C, las cuales se trabajaron en relacion con la curva determinada en el proceso de pultrusión.

5.2. Recomendaciones

En la etapa de preformado cónico es recomendable que la última parte no sea muy distinta en dimensiones a la sección a obtener, para quitar el exceso de la resina y que esta no se quede en el ingreso del molde causando la polimerizacion antes de su ingreso.

Se recomienda realizar un tratamiento superficial al molde o colocar un desmoldeante para evitar que los materiales se adhieran a este, provocando que el perfil resultante se deforme y el proceso continuo se detenga.

Es importante tomar en cuenta los ángulos de desmoldeos en zonas pequeñas para evitar que el material compuesto realice la reticulación en la interfaz matriz-refuerzo.

Para futuros trabajos se debe considerar un molde con una geometría mas grande para mejores resultados.

Integrar un sistema de contínuo de arrastre mediante cilindros hidráulicos, para evitar atascamiento en el molde de pultrusión.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Edgar Sanchez, Jonathan Jimenez, Willian Venegas, «Diseño y construcción de un prototipo de maquina de pultrusion y estudio experimental de las variables para la obtencion de perfiles 'O' de material compuesto con matriz termoestable.» Escuela Politecnica Nacional, 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] Askeland, Donald R., *Ciencia E Ingeniería De Los Materiales.*, Mexico: International Thomson Editores, ISBN 968-7529-36-9. , 1998.
- [10] Forero R., Ricardo A, «Las fibras naturales en los materiales compuestos,» *a de*, vol. 22, p. 32, 2007.
- [11] S. T. F, *Pltrusion for engineers*, New York: Elsevier, 2000.
- [12] «Perfilass LTDA,» [En línea]. Available: <http://perfiglassltda.com/proceso-de-fabricacion/proceso-de-pultrusion/>. [Último acceso: 29 Noviembre 2019].
- [13] S. S. Z. E. J. C. Fairuz A.M., «Pultrusion Process of Natural Fibre-Reinforced Polymer Composites.,» *Springer*, 2015.
- [14] «fiberopticcablemachine,» [En línea]. Available: <http://www.fiberopticcablemachine.com/>. [Último acceso: 28 Noviembre 2019].
- [15] «Eplast,» [En línea]. Available: http://e-plast.ru/articles/view_articles/18. [Último acceso: 28 Noviembre 2019].
- [16] M. R. W., *Handbook of pultrusion technology*, New York, 2012.
- [17] T. F. Starr, *Pultrusion for engineers*, Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2000.
- [18] «Unicomposite,» [En línea]. Available: http://www.unicomposite.com/news/topic_526.html. [Último acceso: 28 Noviembre 2019].
- [19] «Ashirvad Techno Equipments,» *creativedeziner*, [En línea]. Available: http://www.unicomposite.com/news/topic_526.html. [Último acceso: 28 Noviembre 2019].

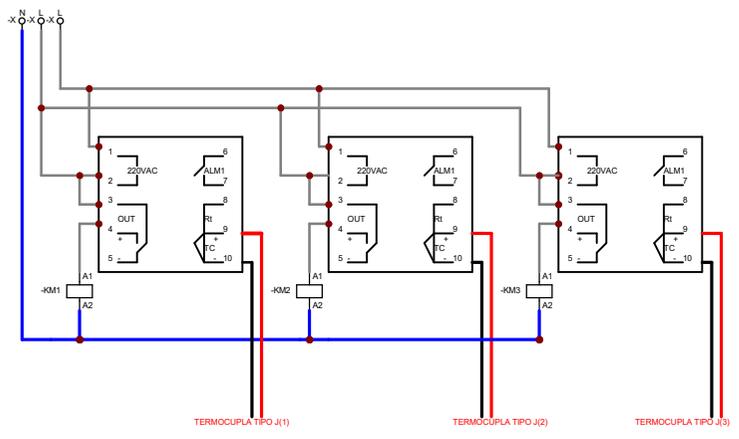
- [20] M. P. Cano, Aislantes térmicos. Criterios de selección por requisitos energéticos, Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2017.
- [21] SONOFLEX, «Lana de vidrio,» [En línea]. Available: <http://www.especificar.cl/registrocdt/uploads/FICHAS/SONOFLEX%20CHILE/Absorbentes%20ac%C3%Basticos/Lana%20de%20vidrio.pdf>. [Último acceso: 5 Enero 2020].
- [22] «HyN EMPAQUETADURAS,» [En línea]. Available: <https://www.hynempaquetaduras.com/producto/lana-de-vidrio/>. [Último acceso: 5 Enero 2020].
- [23] Nora, Lardiés Miazza, «INFORME DE VIGILANCIA TECNOLÓGICA: PRINCIPALES AVANCES EN,» . *Generalitat Valenciana. España : AIMPLAS Instituto Tecnológico del Plástico*, nº <http://www.aimplas.es>, p. 48, 2010.

ANEXOS

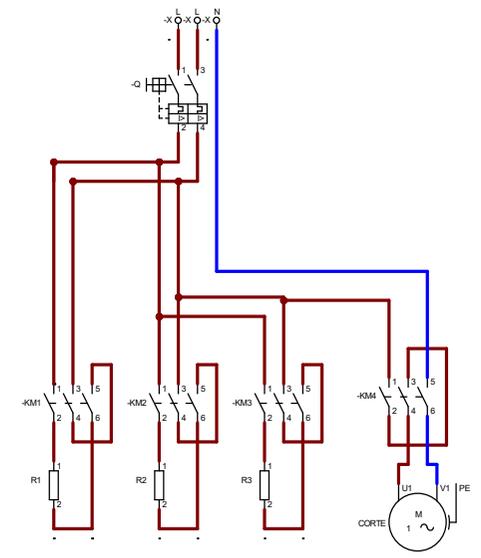
A. CASA DE LA CALIDAD

B. PLANO ELECTRICO

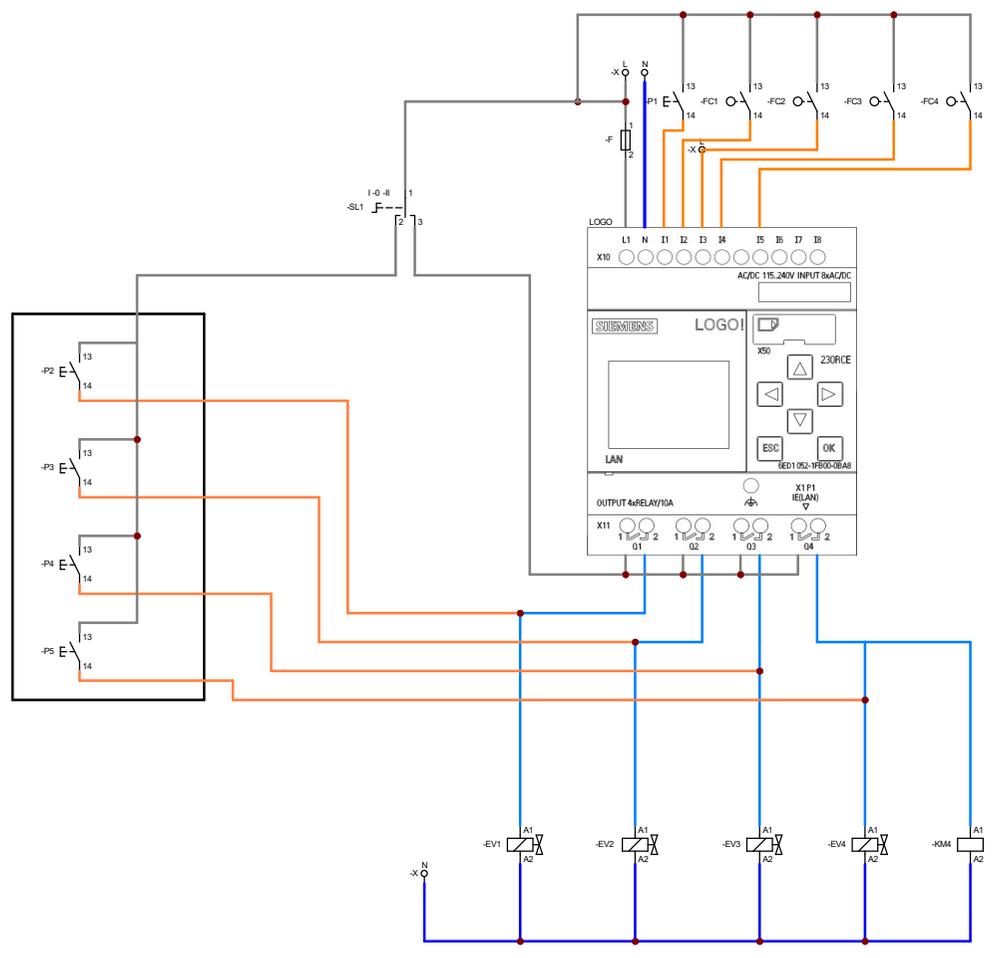
CONTROL DE TEMPERATURA



THERMOCUPLA TIPO J(1) THERMOCUPLA TIPO J(2) THERMOCUPLA TIPO J(3)

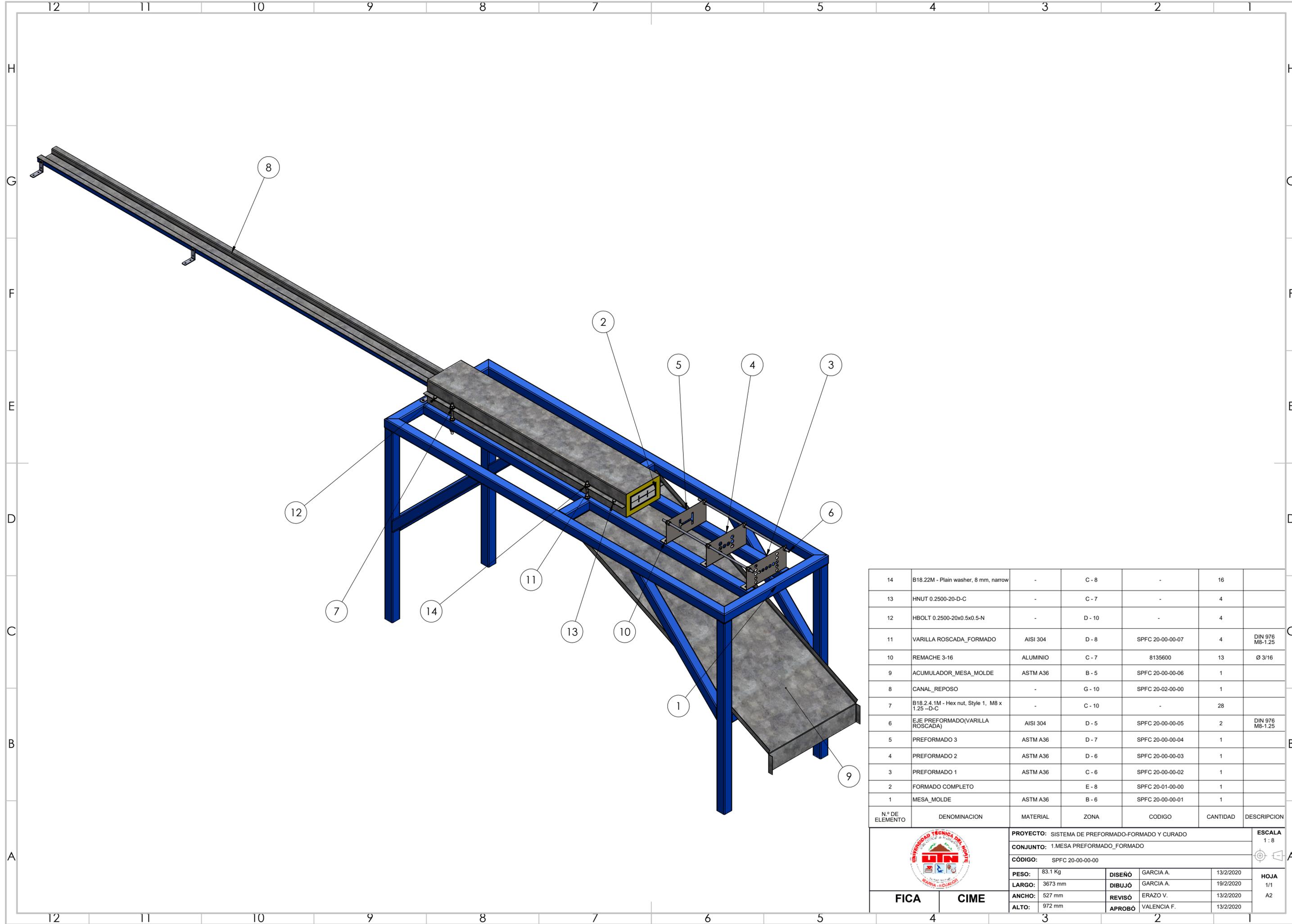


CONTROL DE CILINDROS NEUMATICO



- AWG 12
- AWG 16
- AWG 16
- AWG 16
- AWG 16

C. PLANOS DEL SISTEMA DE PREFORMADO-FORMADO Y CURADO



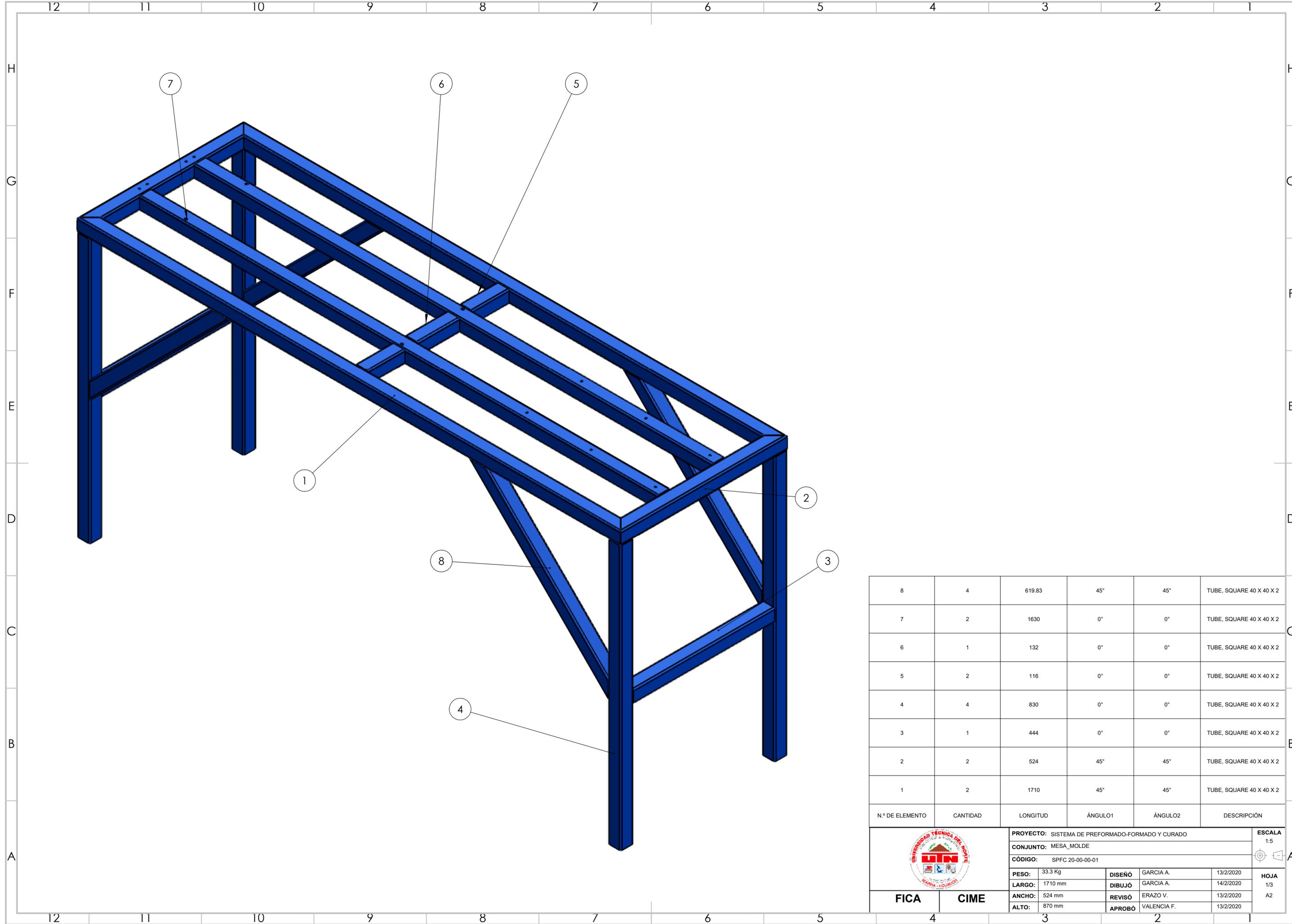
14	B18.22M - Plain washer, 8 mm, narrow	-	C - 8	-	16	
13	HNUT 0.2500-20-D-C	-	C - 7	-	4	
12	HBOLT 0.2500-20x0.5x0.5-N	-	D - 10	-	4	
11	VARILLA ROSCADA_FORMATO	AISI 304	D - 8	SPFC 20-00-00-07	4	DIN 976 M8-1.25
10	REMACHE 3-16	ALUMINIO	C - 7	8135600	13	Ø 3/16
9	ACUMULADOR_MESA_MOLDE	ASTM A36	B - 5	SPFC 20-00-00-06	1	
8	CANAL_REPOSO	-	G - 10	SPFC 20-02-00-00	1	
7	B18.2.4.1M - Hex nut, Style 1, M8 x 1.25 -D-C	-	C - 10	-	28	
6	EJE PREFORMADO(VARILLA ROSCADA)	AISI 304	D - 5	SPFC 20-00-00-05	2	DIN 976 M8-1.25
5	PREFORMADO 3	ASTM A36	D - 7	SPFC 20-00-00-04	1	
4	PREFORMADO 2	ASTM A36	D - 6	SPFC 20-00-00-03	1	
3	PREFORMADO 1	ASTM A36	C - 6	SPFC 20-00-00-02	1	
2	FORMADO COMPLETO		E - 8	SPFC 20-01-00-00	1	
1	MESA_MOLDE	ASTM A36	B - 6	SPFC 20-00-00-01	1	
N.º DE ELEMENTO	DENOMINACION	MATERIAL	ZONA	CODIGO	CANTIDAD	DESCRIPCION



PROYECTO: SISTEMA DE PREFORMADO-FORMADO Y CURADO				ESCALA 1 : 8	
CONJUNTO: 1.MESA PREFORMADO_FORMATO					
CÓDIGO: SPFC 20-00-00-00					
PESO:	83.1 Kg	DISEÑO:	GARCIA A.	13/2/2020	HOJA 1/1 A2
LARGO:	3673 mm	DIBUJÓ:	GARCIA A.	19/2/2020	
ANCHO:	527 mm	REVISÓ:	ERAZO V.	13/2/2020	
ALTO:	972 mm	APROBÓ:	VALENCIA F.	13/2/2020	

FICA

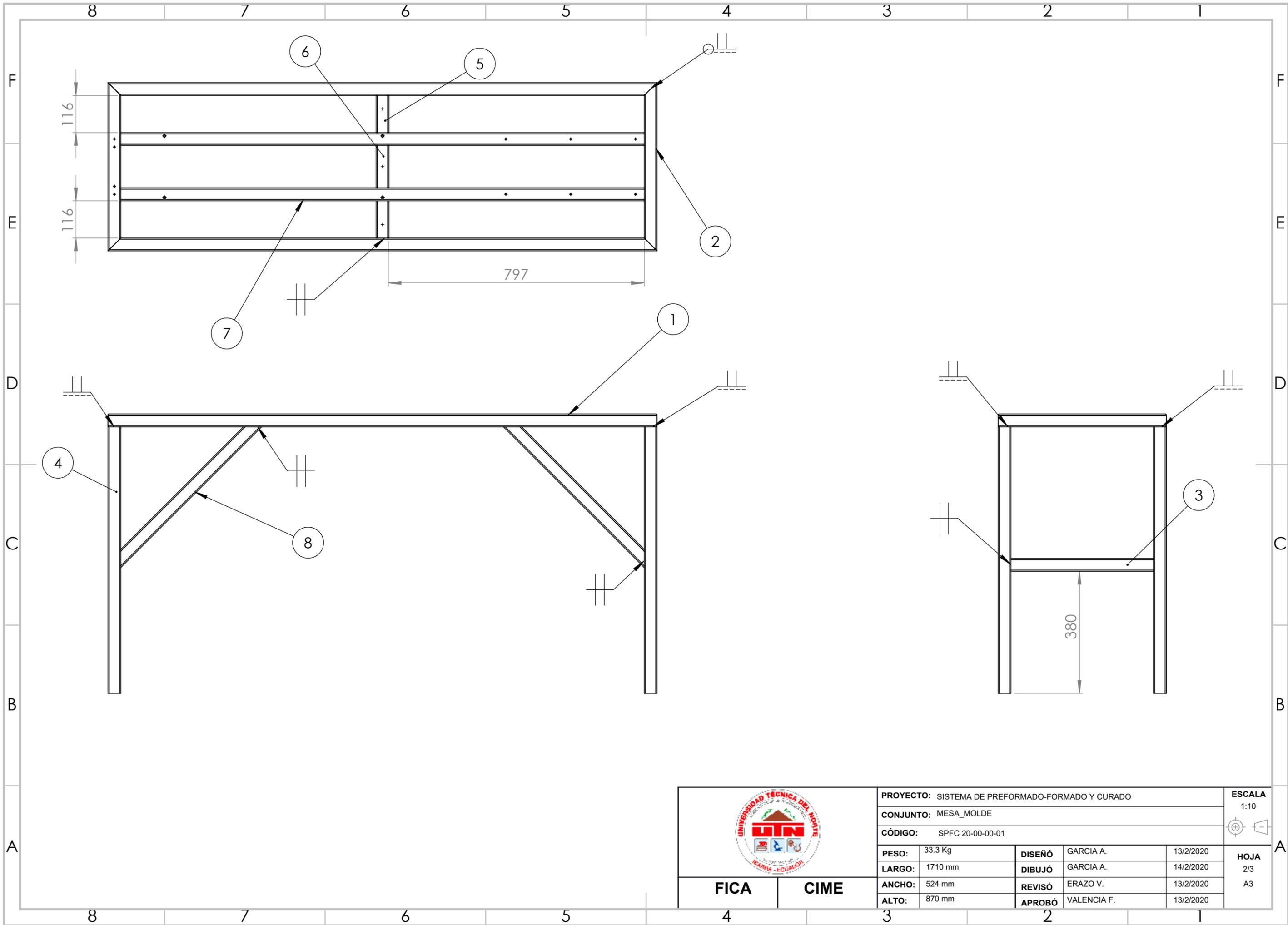
CIME



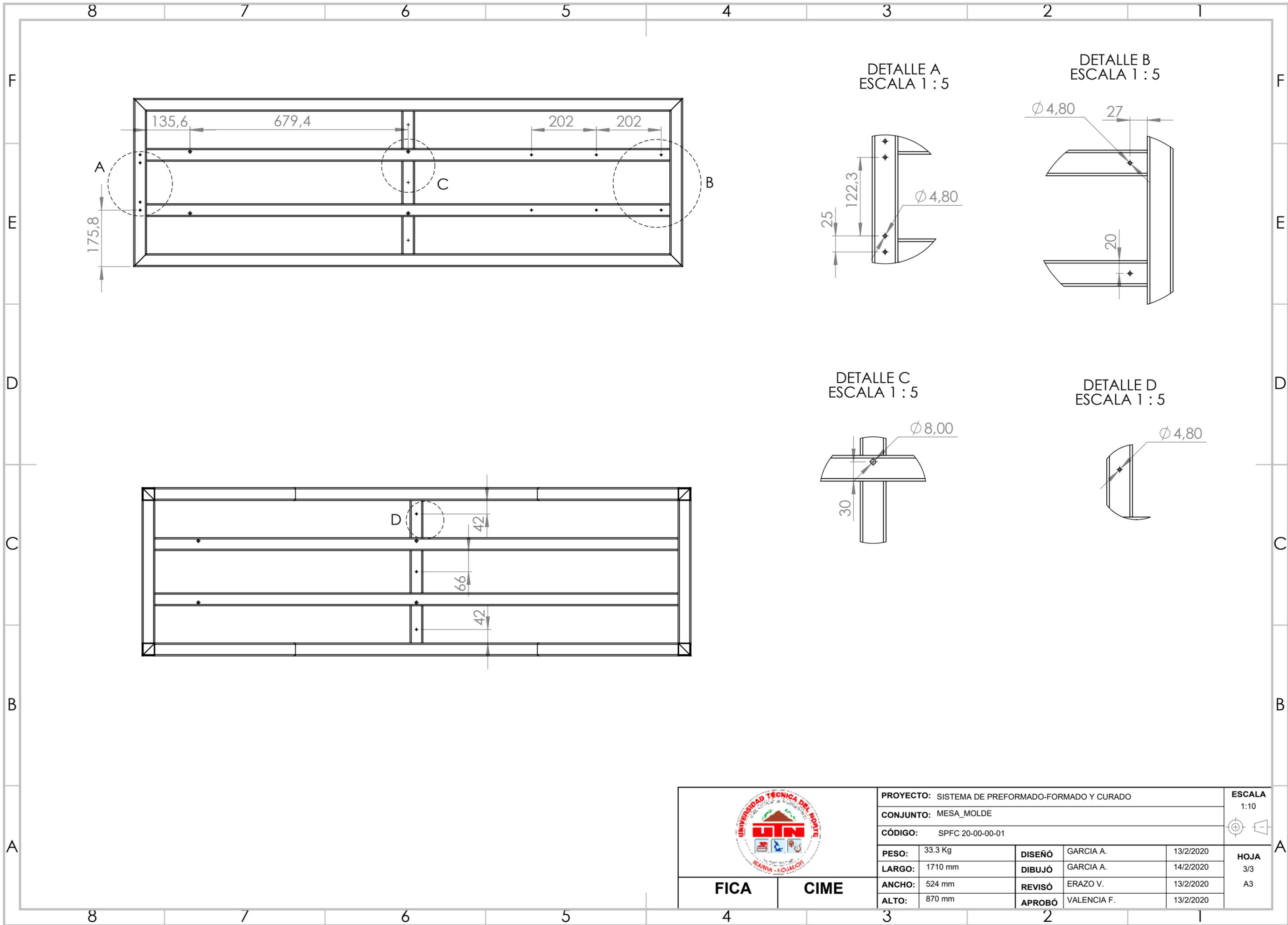
N.º DE ELEMENTO	CANTIDAD	LONGITUD	ÁNGULO1	ÁNGULO2	DESCRIPCIÓN
8	4	619.83	45°	45°	TUBE, SQUARE 40 X 40 X 2
7	2	1630	0°	0°	TUBE, SQUARE 40 X 40 X 2
6	1	132	0°	0°	TUBE, SQUARE 40 X 40 X 2
5	2	116	0°	0°	TUBE, SQUARE 40 X 40 X 2
4	4	830	0°	0°	TUBE, SQUARE 40 X 40 X 2
3	1	444	0°	0°	TUBE, SQUARE 40 X 40 X 2
2	2	524	45°	45°	TUBE, SQUARE 40 X 40 X 2
1	2	1710	45°	45°	TUBE, SQUARE 40 X 40 X 2

	PROYECTO: SISTEMA DE PREFORMADO-FORMADO Y CURADO			ESCALA 1:5
	CONJUNTO: MESA_MOLDE			
	CÓDIGO: SPFC 20-00-00-01			HOJA 1/3 A2
	PESO: 33.3 Kg	DISEÑO: GARCIA A.	13/2/2020	
LARGO: 1710 mm	DIBUJÓ: GARCIA A.	14/2/2020	HOJA 1/3 A2	
ANCHO: 524 mm	REVISÓ: ERAZO V.	13/2/2020		
ALTO: 870 mm	APROBÓ: VALENCIA F.	13/2/2020		

FICA	CIME
4	2

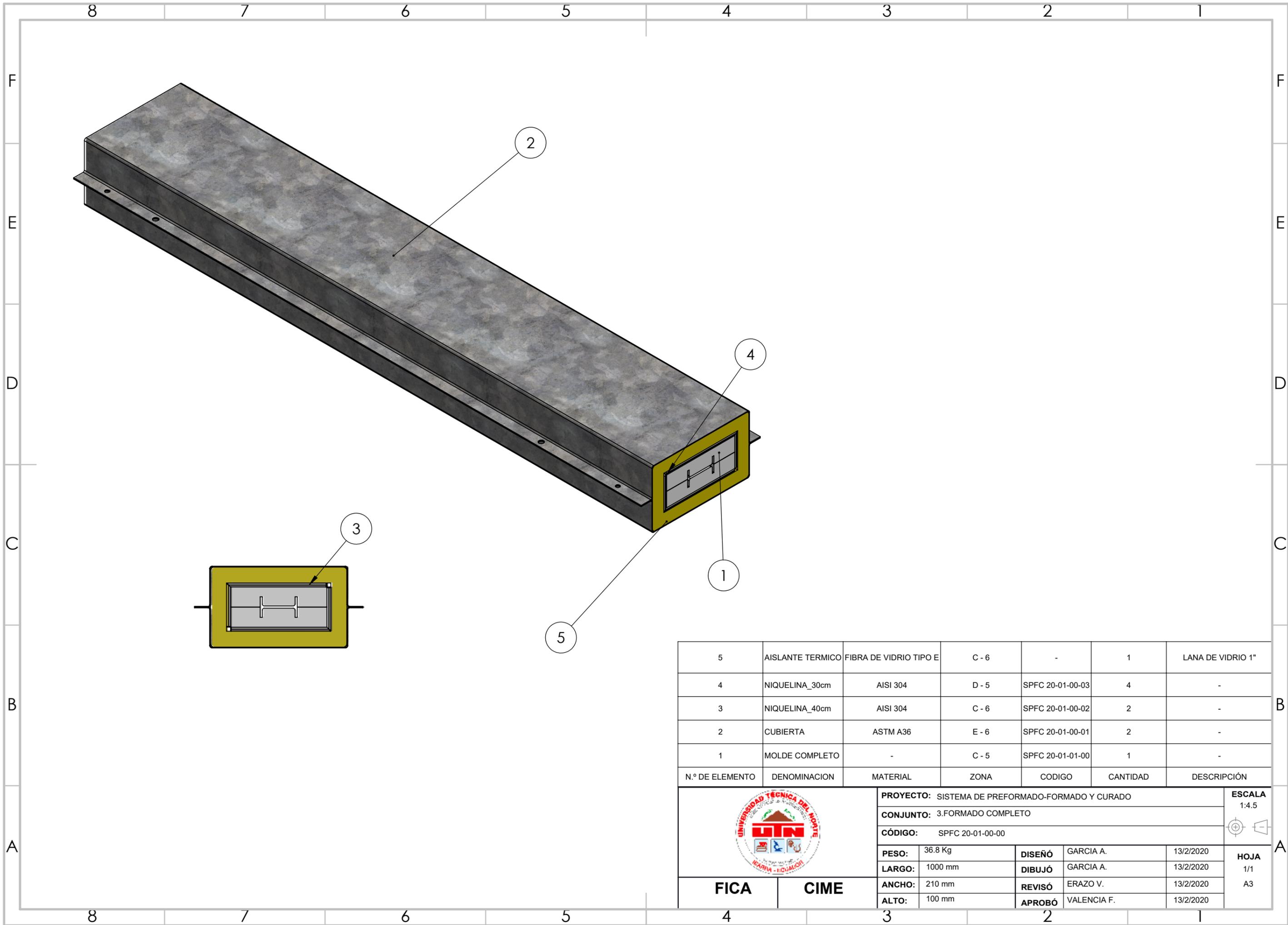


FICA	CIME	PROYECTO: SISTEMA DE PREFORMADO-FORMADO Y CURADO			ESCALA 1:10
		CONJUNTO: MESA_MOLDE			
		CÓDIGO: SPFC 20-00-00-01			HOJA 2/3 A3
PESO:	33.3 Kg	DISEÑO	GARCIA A.	13/2/2020	
LARGO:	1710 mm	DIBUJÓ	GARCIA A.	14/2/2020	
ANCHO:	524 mm	REVISÓ	ERAZO V.	13/2/2020	
ALTO:	870 mm	APROBÓ	VALENCIA F.	13/2/2020	



FICA **CIME**

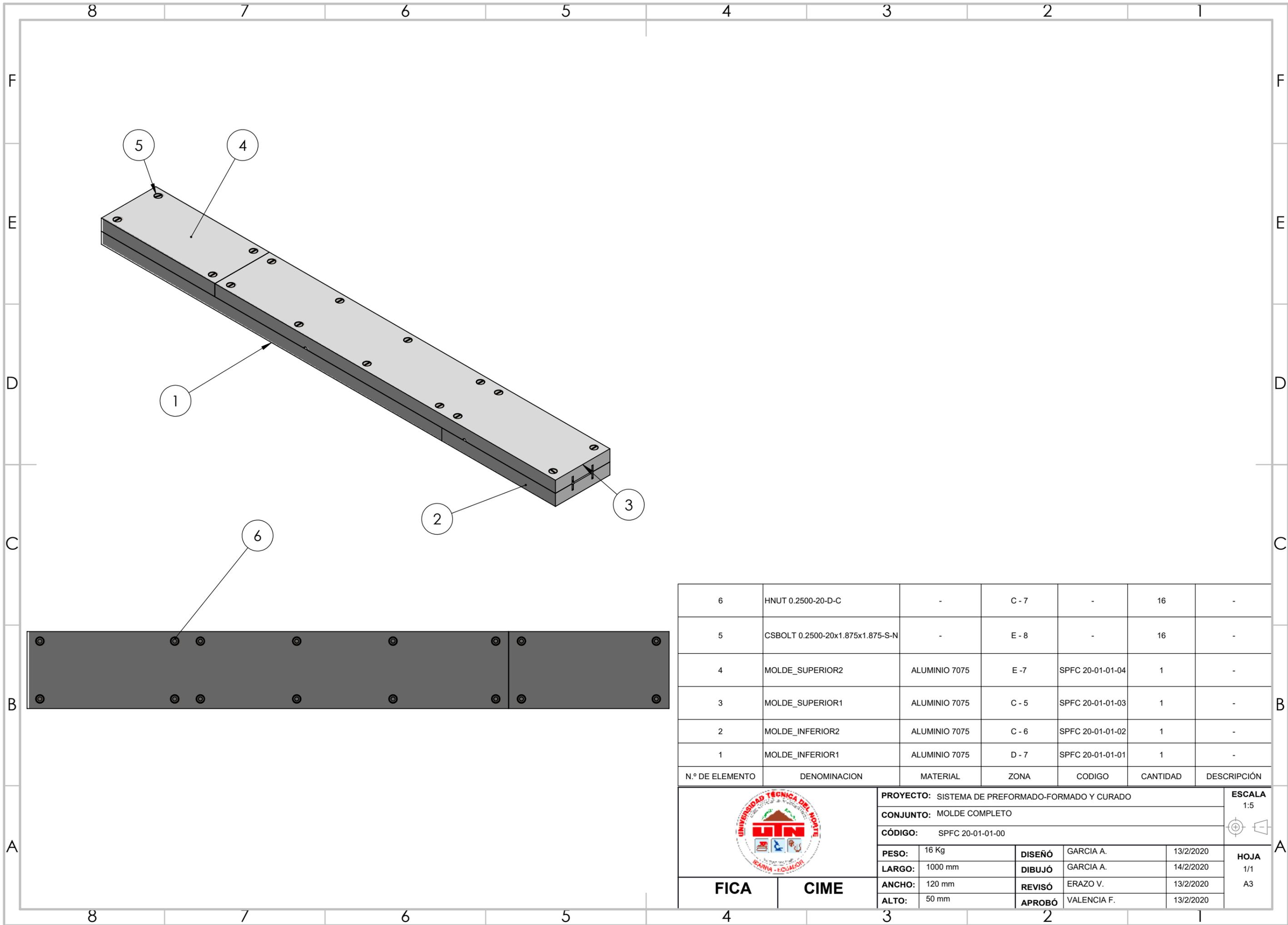
PROYECTO: SISTEMA DE PREFORMADO-FORMADO Y CURADO				ESCALA 1:10
CONJUNTO: MESA_MOLDE				
CÓDIGO: SPFC 20-00-00-01				 HOJA 3/3 A3
PESO:	33.3 Kg	DISEÑO	GARCIA A. 13/2/2020	
LARGO:	1710 mm	DIBUJÓ	GARCIA A. 14/2/2020	
ANCHO:	524 mm	REVISÓ	ERAZO V. 13/2/2020	
ALTO:	870 mm	APROBÓ	VALENCIA F. 13/2/2020	



N.º DE ELEMENTO	DENOMINACION	MATERIAL	ZONA	CODIGO	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
5	AISLANTE TERMICO	FIBRA DE VIDRIO TIPO E	C - 6	-	1	LANA DE VIDRIO 1"
4	NIQUELINA_30cm	AISI 304	D - 5	SPFC 20-01-00-03	4	-
3	NIQUELINA_40cm	AISI 304	C - 6	SPFC 20-01-00-02	2	-
2	CUBIERTA	ASTM A36	E - 6	SPFC 20-01-00-01	2	-
1	MOLDE COMPLETO	-	C - 5	SPFC 20-01-01-00	1	-

	PROYECTO: SISTEMA DE PREFORMADO-FORMADO Y CURADO				ESCALA 1:4.5
	CONJUNTO: 3.FORMADO COMPLETO				
CÓDIGO: SPFC 20-01-00-00					HOJA 1/1 A3
PESO:	36.8 Kg	DISEÑO	GARCIA A.	13/2/2020	
LARGO:	1000 mm	DIBUJÓ	GARCIA A.	13/2/2020	
ANCHO:	210 mm	REVISÓ	ERAZO V.	13/2/2020	
ALTO:	100 mm	APROBÓ	VALENCIA F.	13/2/2020	

FICA **CIME**

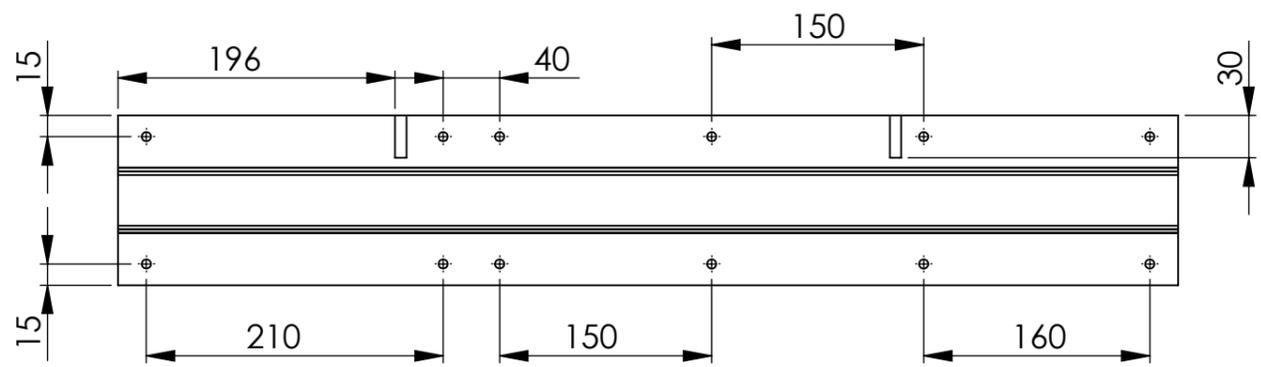
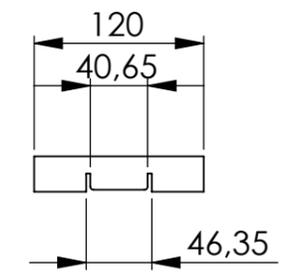
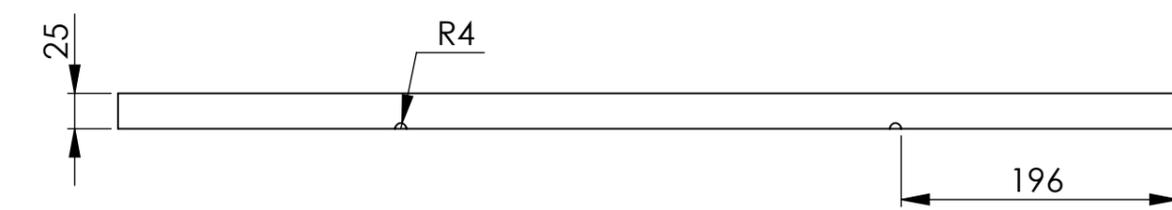
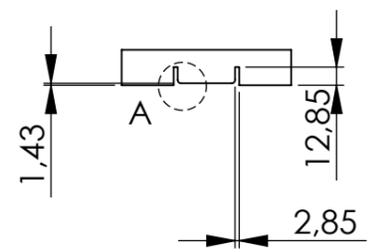
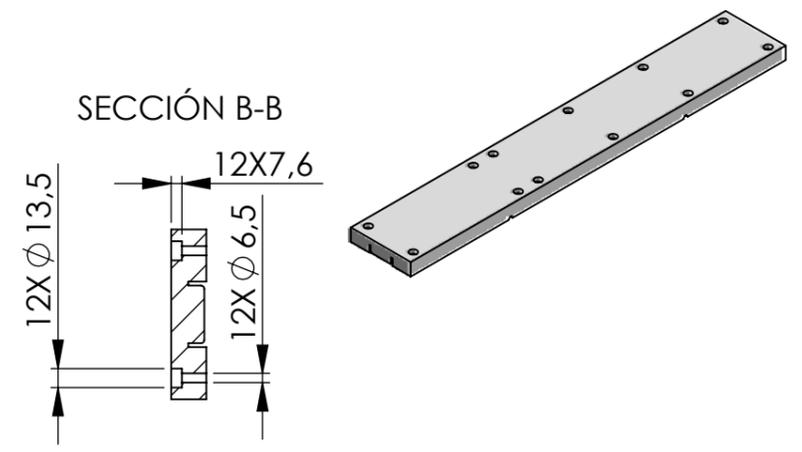
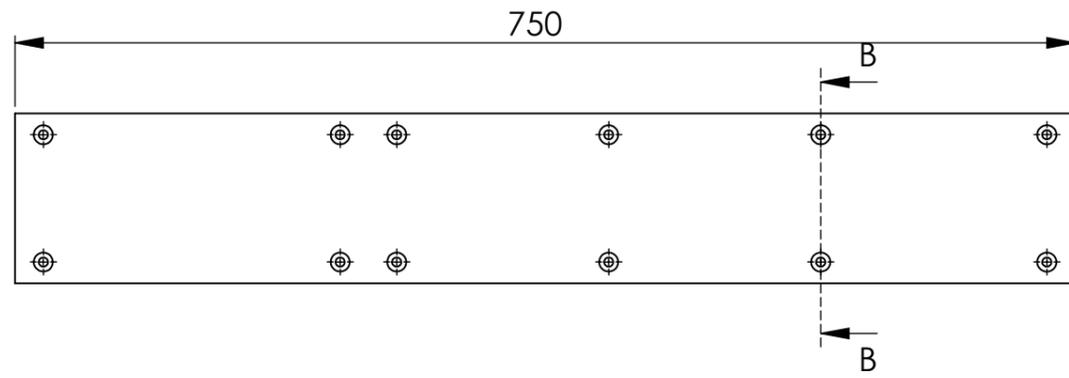


6	HNUT 0.2500-20-D-C	-	C - 7	-	16	-
5	CSBOLT 0.2500-20x1.875x1.875-S-N	-	E - 8	-	16	-
4	MOLDE_SUPERIOR2	ALUMINIO 7075	E - 7	SPFC 20-01-01-04	1	-
3	MOLDE_SUPERIOR1	ALUMINIO 7075	C - 5	SPFC 20-01-01-03	1	-
2	MOLDE_INFERIOR2	ALUMINIO 7075	C - 6	SPFC 20-01-01-02	1	-
1	MOLDE_INFERIOR1	ALUMINIO 7075	D - 7	SPFC 20-01-01-01	1	-
N.º DE ELEMENTO	DENOMINACION	MATERIAL	ZONA	CODIGO	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN

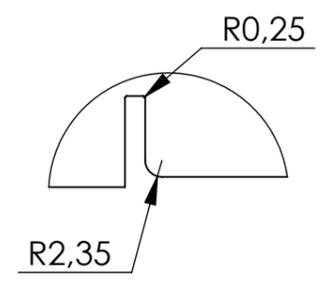
	PROYECTO: SISTEMA DE PREFORMADO-FORMADO Y CURADO				ESCALA 1:5
	CONJUNTO: MOLDE COMPLETO				
CÓDIGO: SPFC 20-01-01-00					HOJA 1/1 A3
PESO:	16 Kg	DISEÑO	GARCIA A.	13/2/2020	
LARGO:	1000 mm	DIBUJÓ	GARCIA A.	14/2/2020	
ANCHO:	120 mm	REVISÓ	ERAZO V.	13/2/2020	
ALTO:	50 mm	APROBÓ	VALENCIA F.	13/2/2020	

FICA

CIME

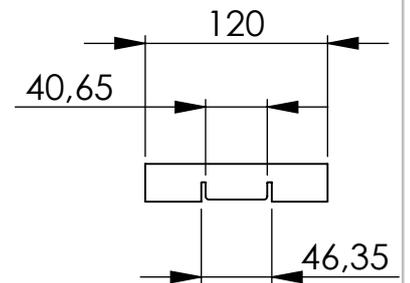
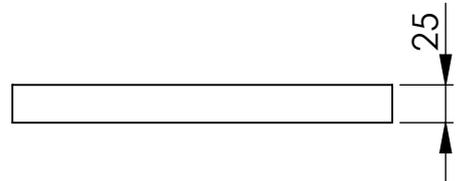
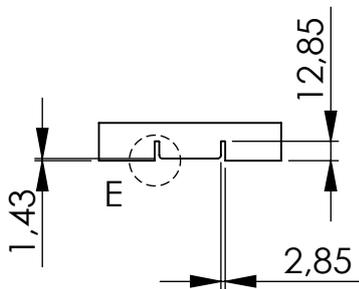
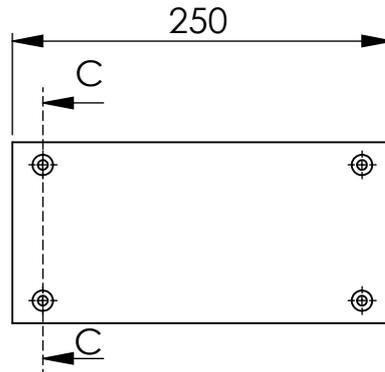
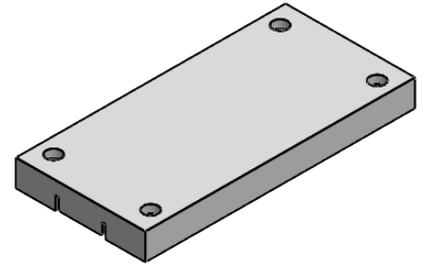
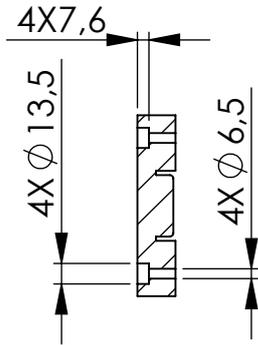


DETALLE A
ESCALA 1 : 1

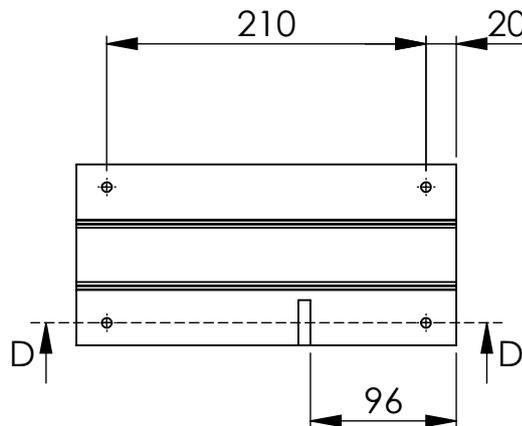
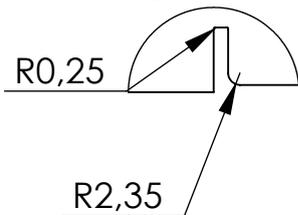


	PROYECTO: SISTEMA DE PREFORMADO-FORMADO Y CURADO				ESCALA 1:5	
	PARTE: MOLDE_INFERIOR1				TOLERANCIA: ±0,05	
CÓDIGO: SPFC 20-01-01-01				MATERIAL: ALUMINIO 7075	DISEÑO: GARCIA A. 13/2/2020	HOJA 1/1 A3
				TRATAMIENTO: NINGUNO	DIBUJÓ: GARCIA A. 19/2/2020	
				RECUBRIMIENTO: NINGUNO	REVISÓ: ERAZO V. 13/2/2020	
CANTIDAD: 1				APROBÓ: VALENCIA F. 13/2/2020		
FICA	CIME					

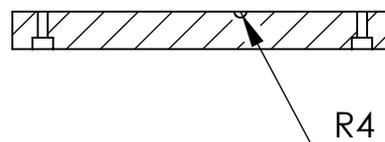
SECCIÓN C-C
ESCALA 1 : 5



DETALLE E
ESCALA 2 : 3



SECCIÓN D-D
ESCALA 1 : 5



PROYECTO: SISTEMA DE PREFORMADO-FORMADO Y CURADO

ESCALA
1:5



PARTE: MOLDE_INFERIOR2

CÓDIGO: SPFC 20-01-01-02

TOLERANCIA:
±0,05

MATERIAL: ALUMINIO 7075

DISEÑO: GARCIA A. 13/2/2020

TRATAMIENTO: NINGUNO

DIBUJÓ: GARCIA A. 19/2/2020

RECUBRIMIENTO: NINGUNO

REVISÓ: ERAZO V. 13/2/2020

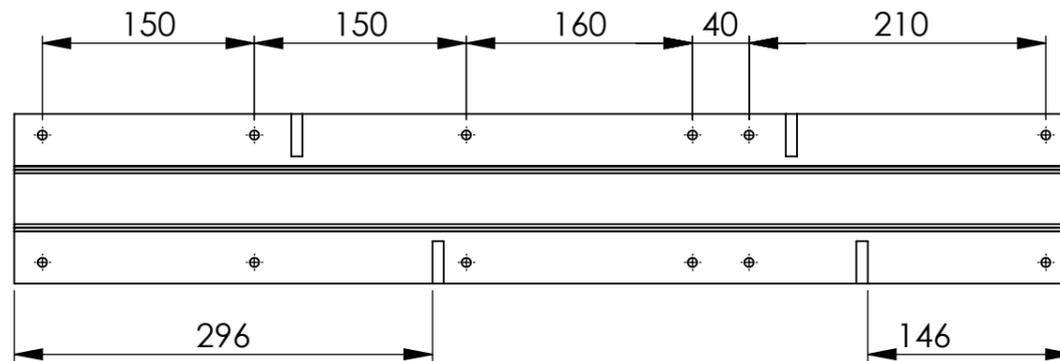
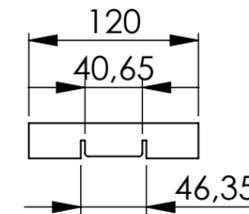
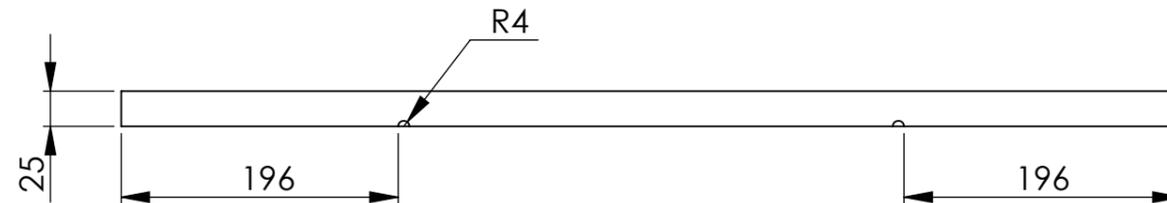
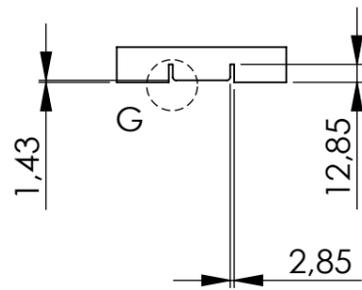
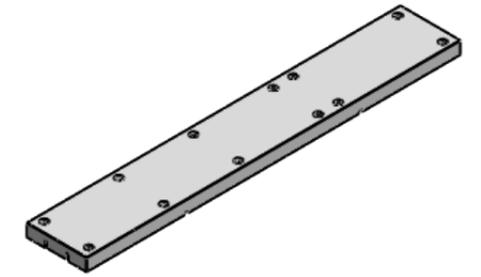
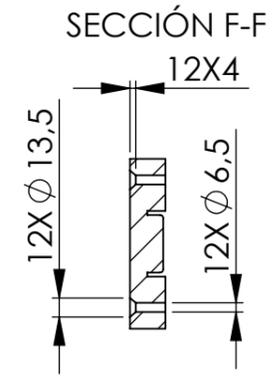
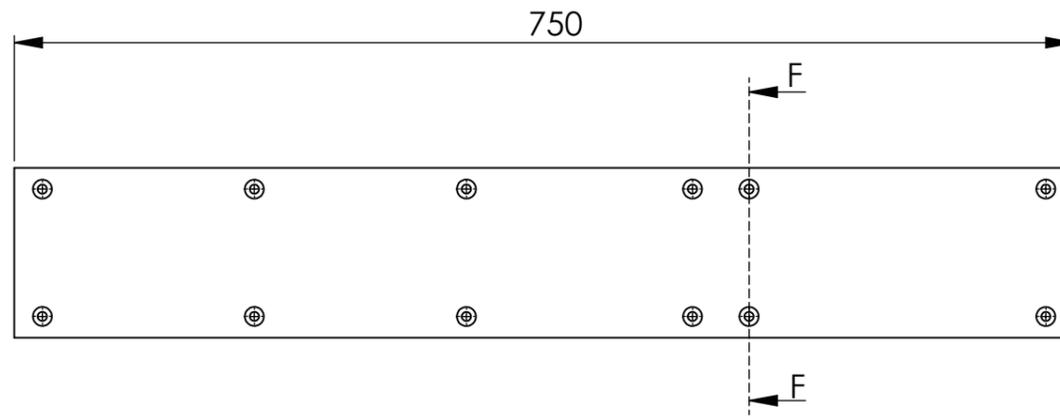
CANTIDAD: 1

APROBÓ: VALENCIA F. 13/2/2020

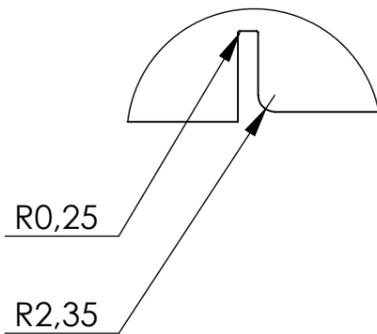
HOJA
1/1
A4

FICA

CIME



DETALLE G
ESCALA 1 : 1

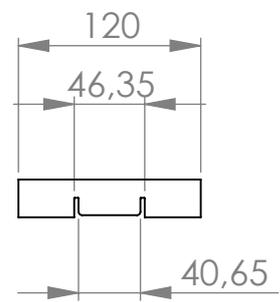
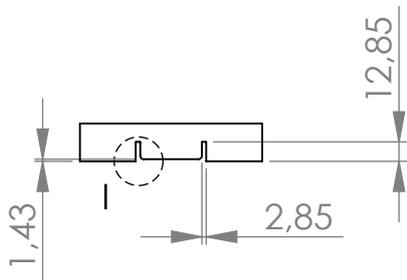
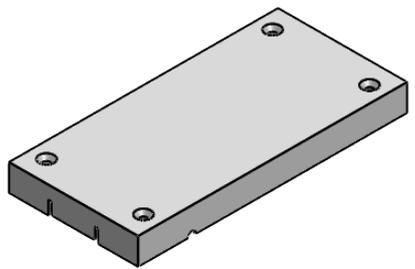
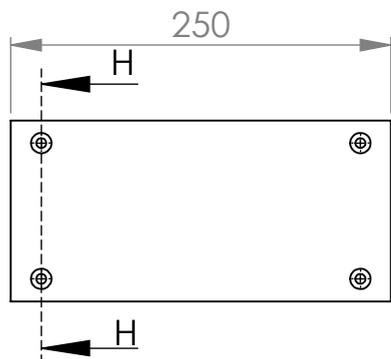
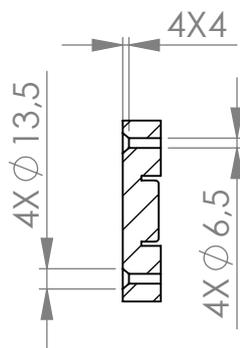


FICA

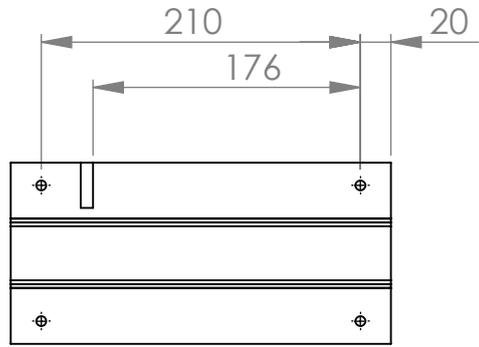
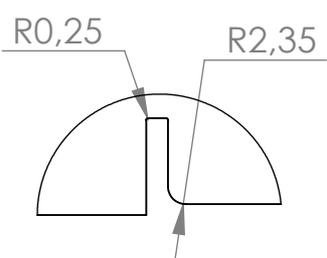
CIME

PROYECTO: SISTEMA DE PREFORMADO-FORMADO Y CURADO				ESCALA 1:5	
PARTE: MOLDE_SUPERIOR1				TOLERANCIA: ±0,05	
CÓDIGO: SPFC 20-01-01-03					
MATERIAL:	ALUMINIO 7075	DISEÑO	GARCIA A.	13/2/2020	HOJA 1/1 A3
TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ	GARCIA A.	19/2/2020	
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISÓ	ERAZO V.	13/2/2020	
CANTIDAD:	1	APROBÓ	VALENCIA F.	13/2/2020	

SECCIÓN H-H



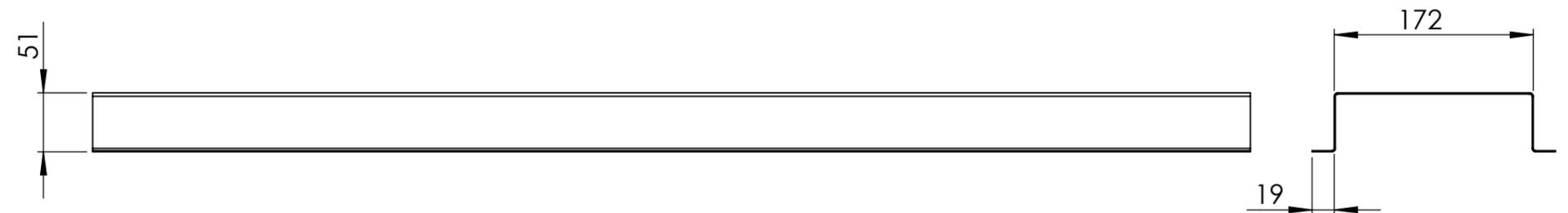
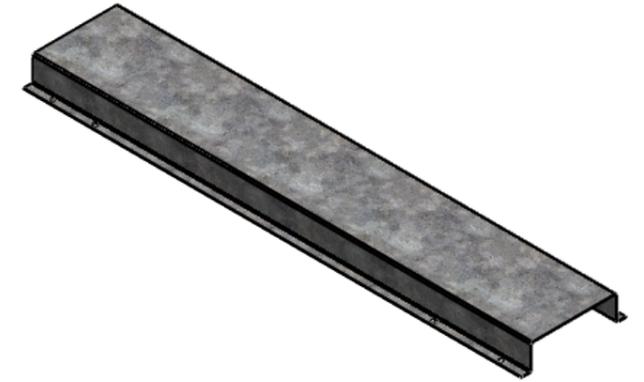
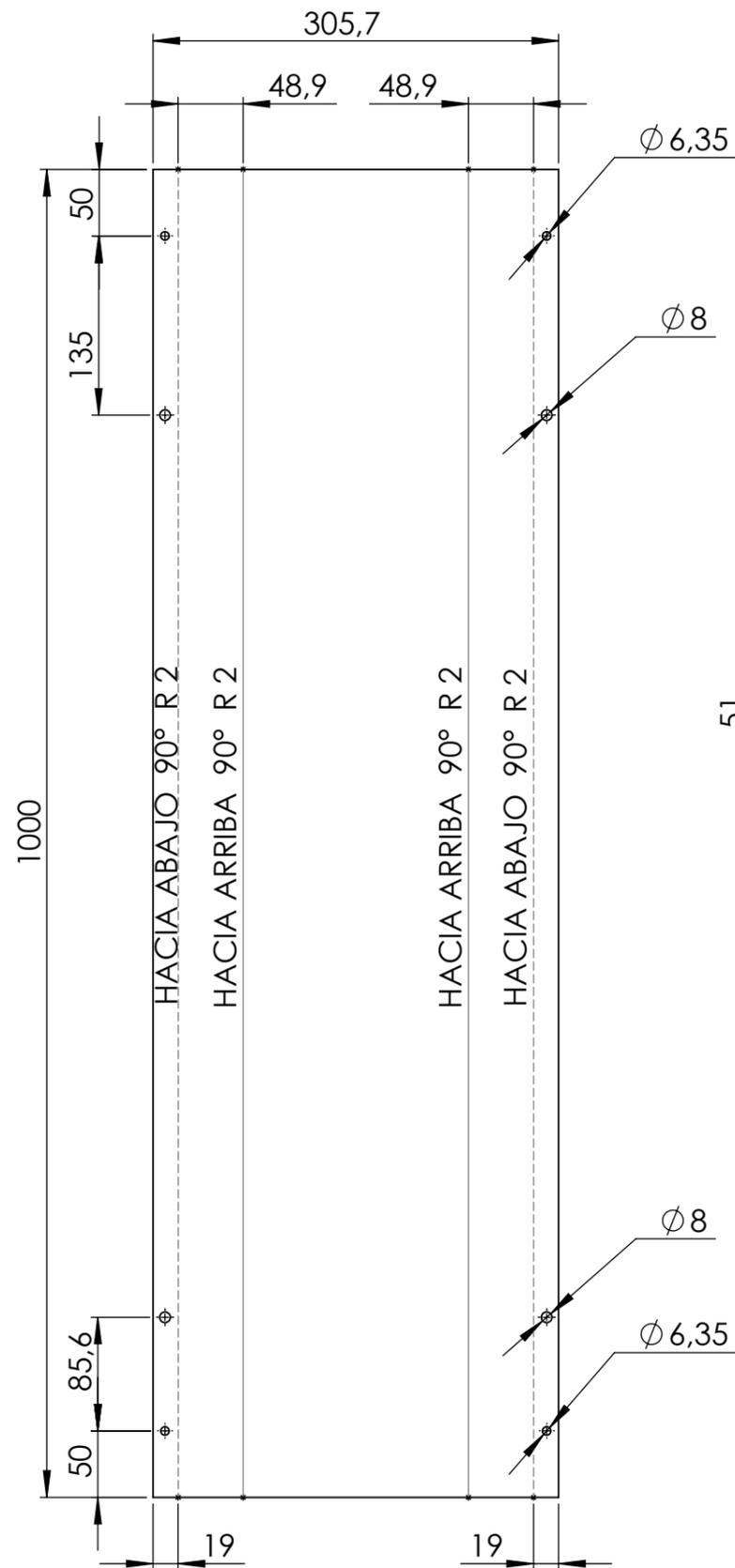
DETALLE I
ESCALA 1 : 1



PROYECTO: SISTEMA DE PREFORMADO-FORMADO Y CURADO				ESCALA 1:5	
PARTE: 8.MOLDE_SUPERIOR2					
CÓDIGO: SPFC 20-01-01-04				TOLERANCIA: ±0,05	
MATERIAL:	ALUMINIO 7075	DISEÑO	GARCIA A.	14/2/2020	HOJA 1/1 A4
TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ	GARCIA A.	19/2/2020	
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISÓ	ERAZO V.	13/2/2020	
CANTIDAD:	1	APROBÓ	VALENCIA F.	13/2/2020	

FICA

CIME



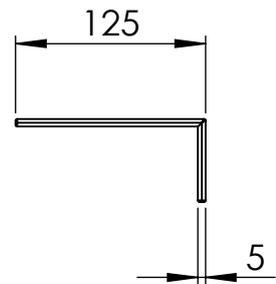
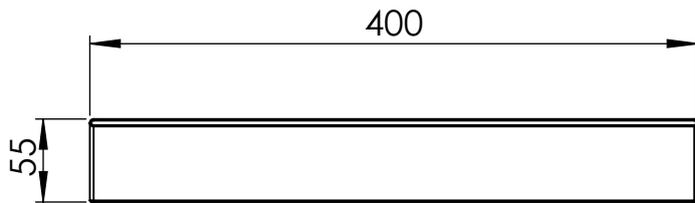
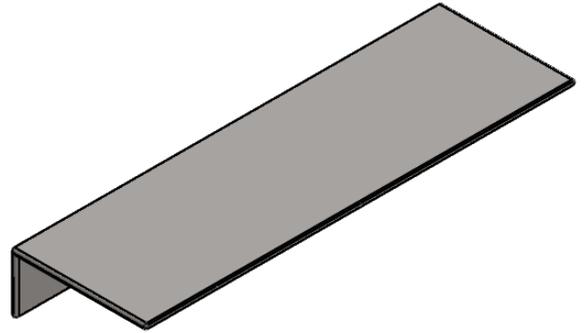
NOTA: PLANCHA METALICA ESPESOR 1.5MM



FICA

CIME

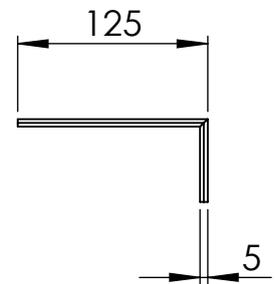
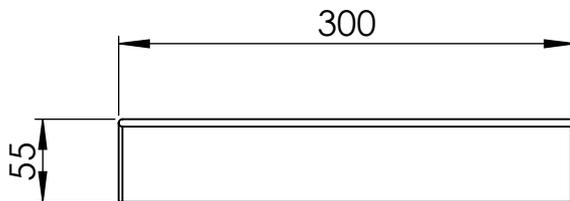
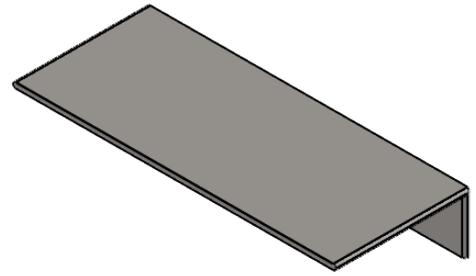
PROYECTO: SISTEMA DE PREFORMADO-FORMADO Y CURADO				ESCALA	
PARTE: CUBIERTA				1:5	
CÓDIGO: SPFC 20-01-00-01				TOLERANCIA: ±0,05	
MATERIAL:	ASTM A36	DISEÑO	GARCIA A.	13/2/2020	HOJA 1/1 A3
TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ	GARCIA A.	19/2/2020	
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISÓ	ERAZO V.	13/2/2020	
CANTIDAD:	2	APROBÓ	VALENCIA F.	13/2/2020	



PROYECTO: SISTEMA DE PREFORMADO-FORMADO Y CURADO				ESCALA 1:5	
PARTE: NIQUELINA_40cm					
CÓDIGO: SPFC 20-01-00-02				TOLERANCIA: ±0,05	
MATERIAL:	AISI 304	DISEÑO	GARCIA A.	13/2/2020	HOJA 1/1 A4
TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ	GARCIA A.	14/2/2020	
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISÓ	ERAZO V.	13/2/2020	
CANTIDAD:	2	APROBÓ	VALENCIA F.	13/2/2020	

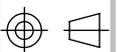
FICA

CIME



PROYECTO: SISTEMA DE PREFORMADO-FORMADO Y CURADO

ESCALA
1:5



PARTE: NIQUELINA_30cm

CÓDIGO: SPFC 20-01-00-03

TOLERANCIA: ±0,05

MATERIAL: AISI 304

DISEÑO

GARCIA A.

13/2/2020

TRATAMIENTO: NINGUNO

DIBUJÓ

GARCIA A.

14/2/2020

RECUBRIMIENTO: NINGUNO

REVISÓ

ERAZO V.

13/2/2020

CANTIDAD: 4

APROBÓ

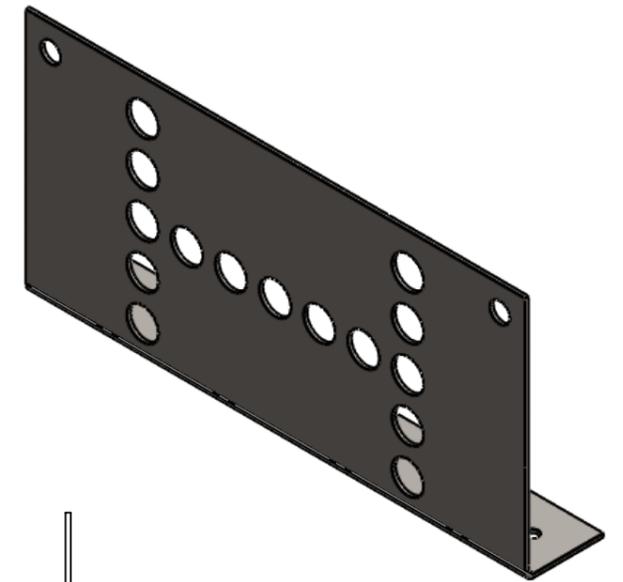
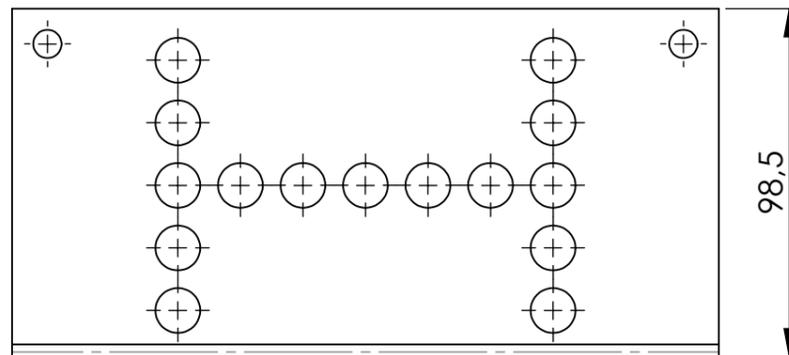
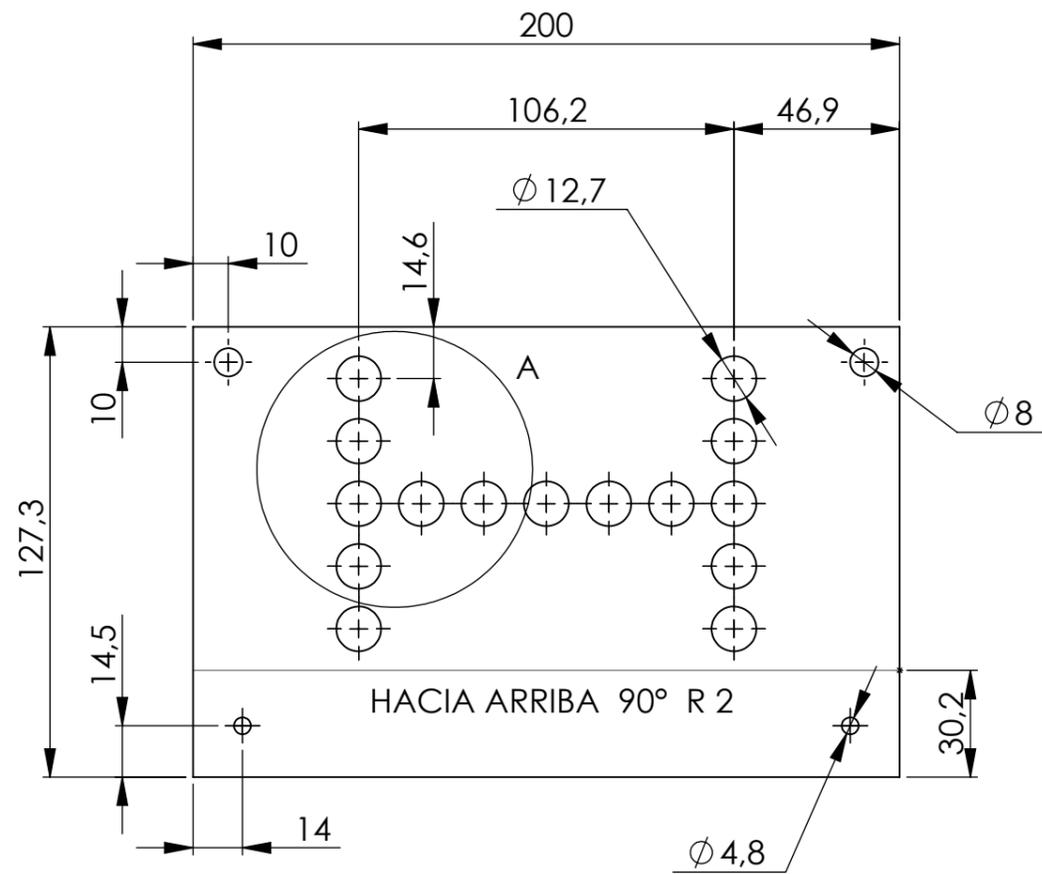
VALENCIA F.

13/2/2020

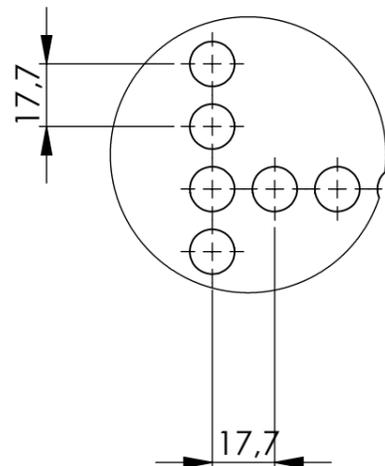
HOJA
1/1
A4

FICA

CIME

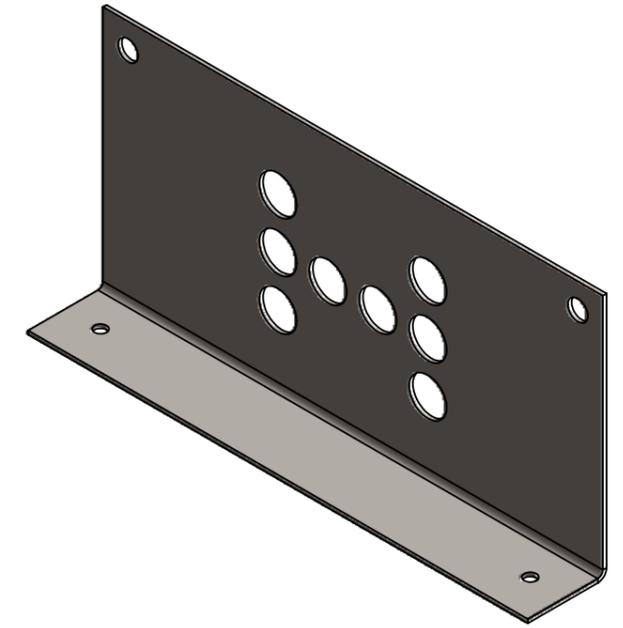
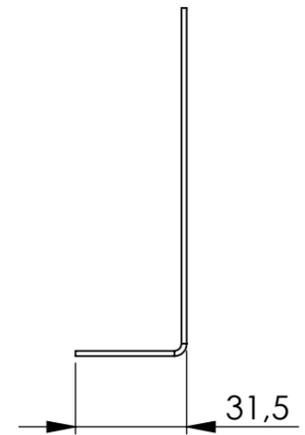
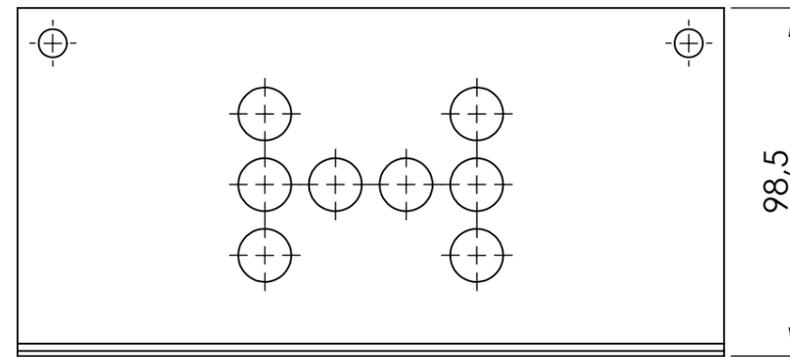
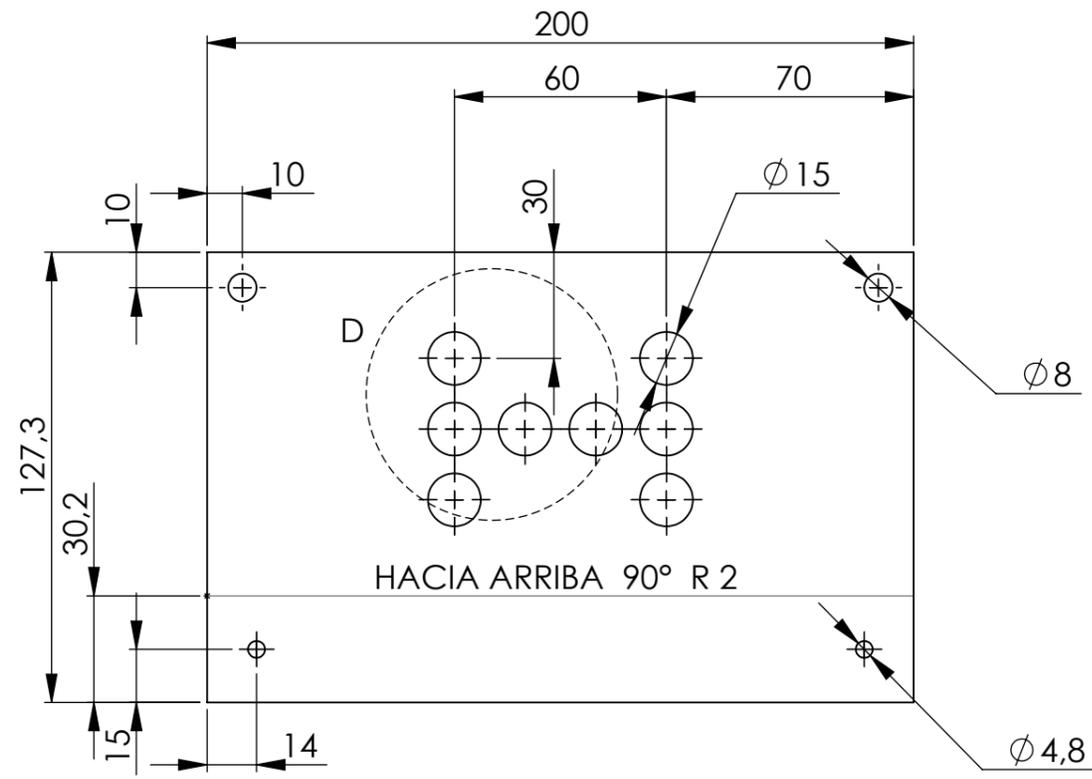


DETALLE A
ESCALA 1 : 2

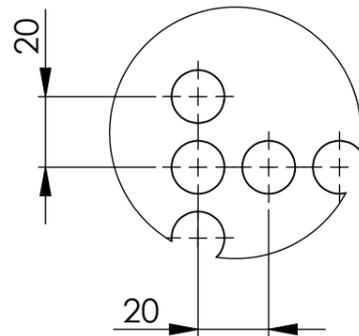


NOTA: ESPESOR 1.5MM

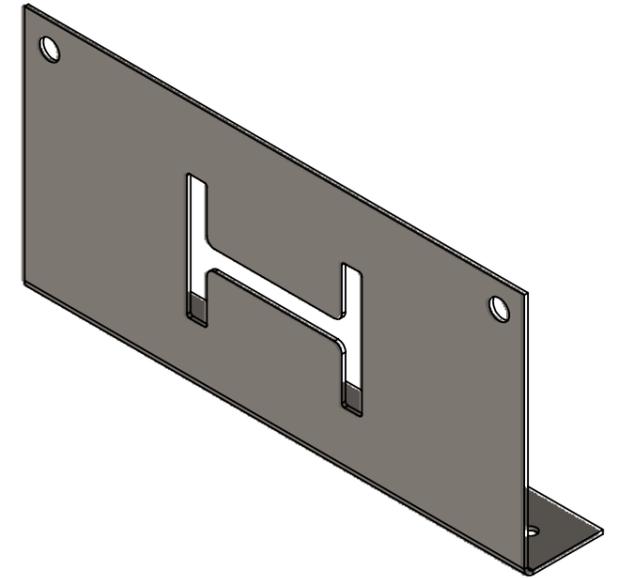
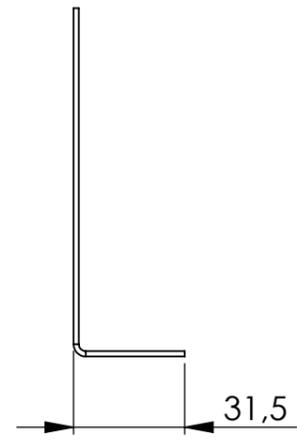
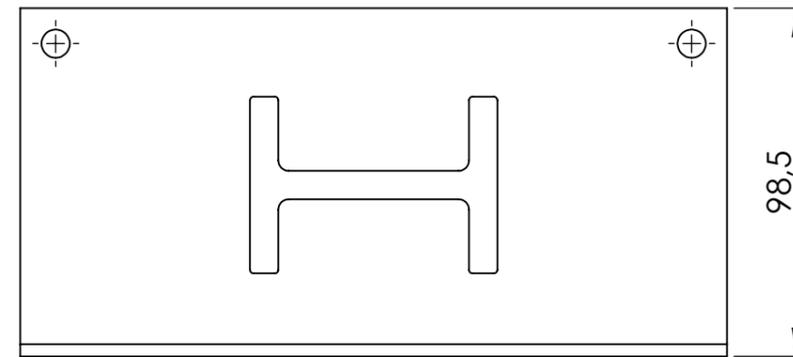
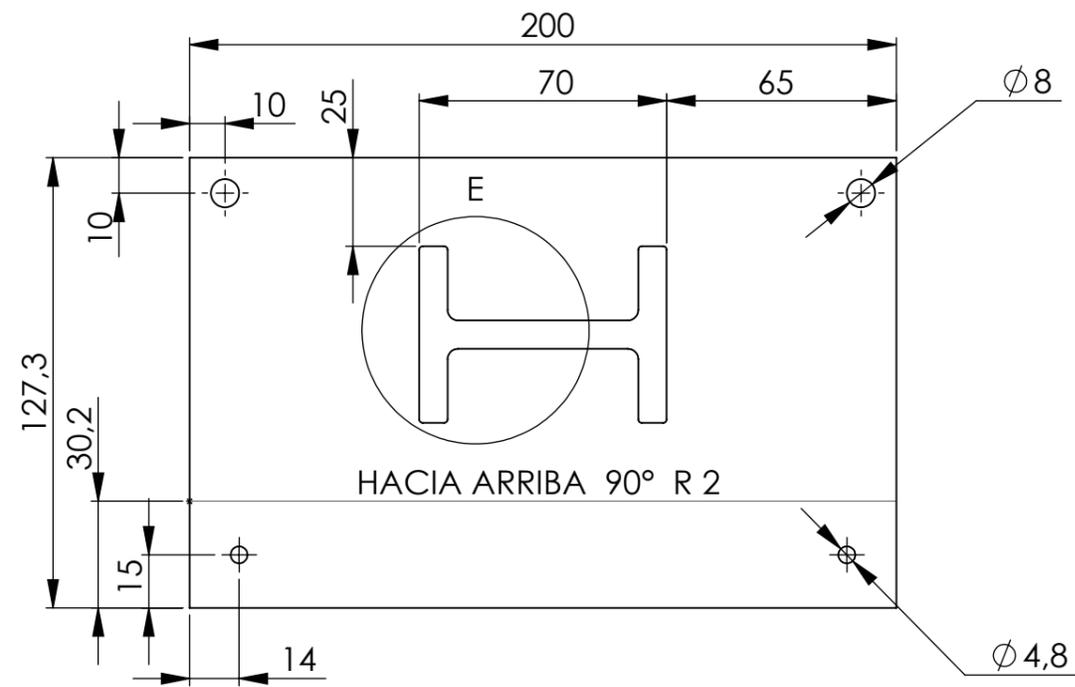
	PROYECTO: SISTEMA DE PREFORMADO-FORMADO Y CURADO				ESCALA 1:5	
	PARTE: PREFORMADO 1				TOLERANCIA: ±0,05	
CÓDIGO: SPFC 20-00-00-02				MATERIAL: ASTM A36	DISEÑO: GARCIA A. 13/2/2020	HOJA 1/1 A3
				TRATAMIENTO: NINGUNO	DIBUJÓ: GARCIA A. 19/2/2020	
				RECUBRIMIENTO: NINGUNO	REVISÓ: ERAZO V. 13/2/2020	
CANTIDAD: 1				APROBÓ: VALENCIA F. 13/2/2020		
FICA	CIME					



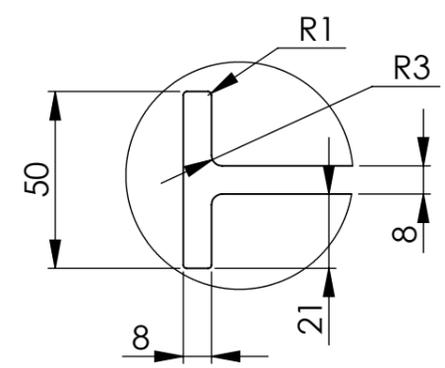
DETALLE D
ESCALA 1 : 2



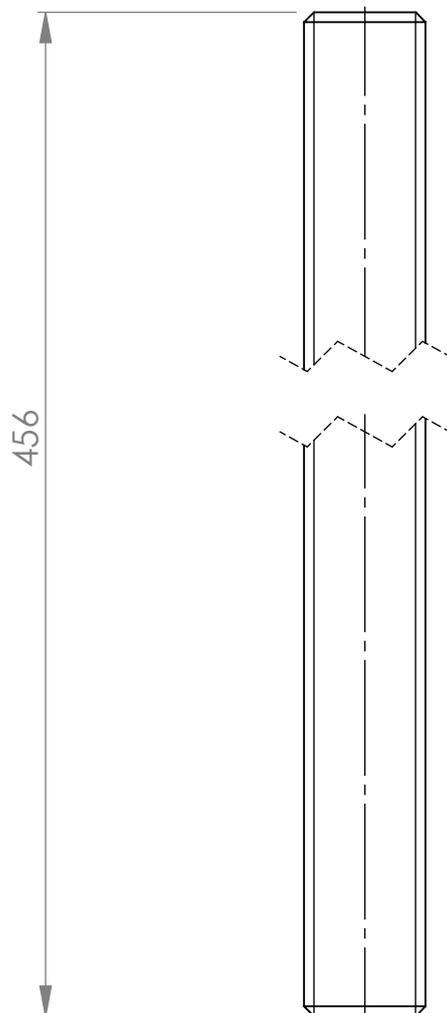
	PROYECTO: SISTEMA DE PREFORMADO-FORMADO Y CURADO				ESCALA 1:2	
	PARTE: PREFORMADO 2				TOLERANCIA: ±0,05	
	CÓDIGO: SPFC 20-00-00-03					
	MATERIAL:	ASTM A36	DISEÑO	GARCIA A.		13/2/2020
	TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ	GARCIA A.	19/2/2020	
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISÓ	ERAZO V.	13/2/2020		
CANTIDAD:	1	APROBÓ	VALENCIA F.	13/2/2020		
FICA	CIME					



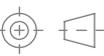
DETALLE E
ESCALA 1 : 2



	PROYECTO: SISTEMA DE PREFORMADO-FORMADO Y CURADO				ESCALA 1:2	
	PARTE: PREFORMADO 3				TOLERANCIA: ±0,05	
	CÓDIGO: SPFC 20-00-00-04					HOJA 1/1 A3
	MATERIAL: ASTM A36	DISEÑO GARCIA A.	13/2/2020			
	TRATAMIENTO: NINGUNO	DIBUJÓ GARCIA A.	19/2/2020			
	RECUBRIMIENTO: NINGUNO	REVISÓ ERAZO V.	13/2/2020			
CANTIDAD: 1	APROBÓ VALENCIA F.	13/2/2020				
FICA	CIME					



NOTA: VARILLA ROSCADA M8-1.25

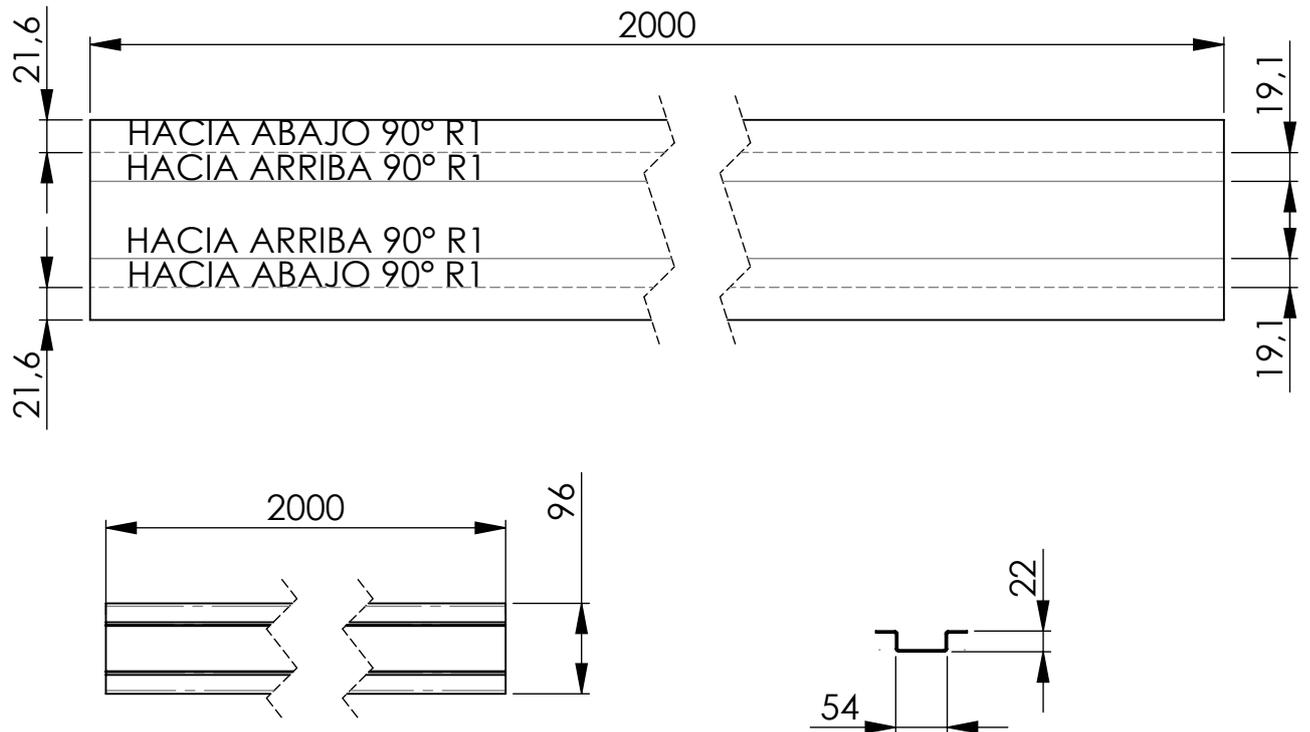
	PROYECTO: SISTEMA DE PREFORMADO-FORMADO Y CURADO			ESCALA 2:1		
	PARTE: 15.EJE PREFORMADO					
	CÓDIGO: SPFC 20-00-00-05			TOLERANCIA: ±0,05		
	MATERIAL:	AISI 304	DISEÑO	GARCIA A.	19/2/2020	HOJA 1/1 A4
	TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ	GARCIA A.	19/2/2020	
FICA	RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISÓ	ERAZO V.	13/2/2020	
	CANTIDAD:	2	APROBÓ	VALENCIA F.	13/2/2020	
CIME						



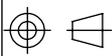
4	REMACHE 3-16	ALUMINIO	F - 8	8135600	6	Ø 3/16"
3	SOPORTE DE ARTICULACION	AISI 304	B - 5	DLM-B01HGWFOM	6	50X50X17 mm
2	TUBO_CANAL	ASTM A36	D - 8	SPFC 20-02-00-02	2	-
1	CANAL	ASTM A36	E - 6	SPFC 20-02-00-01	1	-
N.º DE ELEMENTO	DENOMINACIÓN	MATERIAL	ZONA	CODIGO	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN

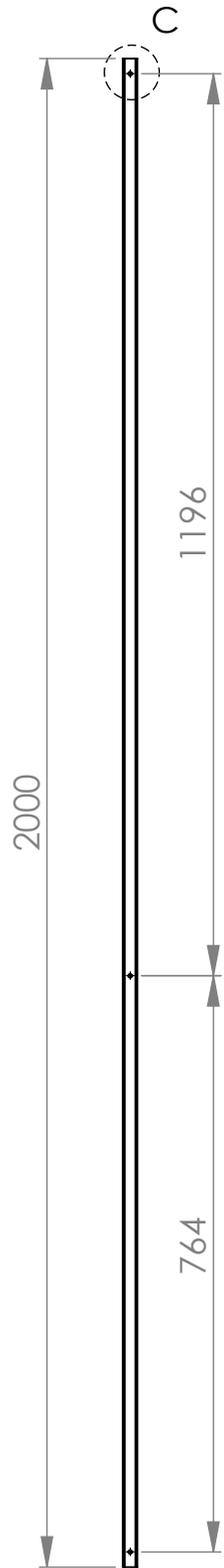
	PROYECTO: SISTEMA DE PREFORMADO-FORMADO Y CURADO				ESCALA 1:5
	CONJUNTO: 16.CANAL_REPOSO				
	CÓDIGO: SPFC 20-02-00-00				
	PESO:	7,3 Kg	DISEÑO	GARCIA A.	13/2/2020
LARGO:	2000 mm	DIBUJÓ	GARCIA A.	13/2/2020	HOJA 1/1 A3
ANCHO:	96 mm	REVISÓ	ERAZO V.	13/2/2020	
ALTO:	52 mm	APROBÓ	VALENCIA F.	13/2/2020	

FICA **CIME**

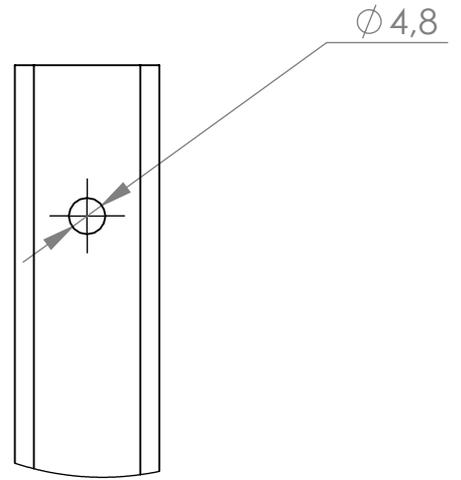


NOTA: PLANCHA METALICA ESPESOR 1MM

	PROYECTO: SISTEMA DE PREFORMADO-FORMADO Y CURADO		ESCALA 1:20			
	PARTE: CANAL					
	CÓDIGO: SPFC 20-02-00-01		TOLERANCIA: ±0,05			
FICA	CIME	MATERIAL: ASTM A36	DISEÑO	GARCIA A.	13/2/2020	HOJA 1/1 A4
		TRATAMIENTO: NINGUNO	DIBUJÓ	GARCIA A.	14/2/2020	
		RECUBRIMIENTO: NINGUNO	REVISÓ	ERAZO V.	13/2/2020	
		CANTIDAD: 1	APROBÓ	VALENCIA F.	13/2/2020	



DETALLE C
ESCALA 1 : 1



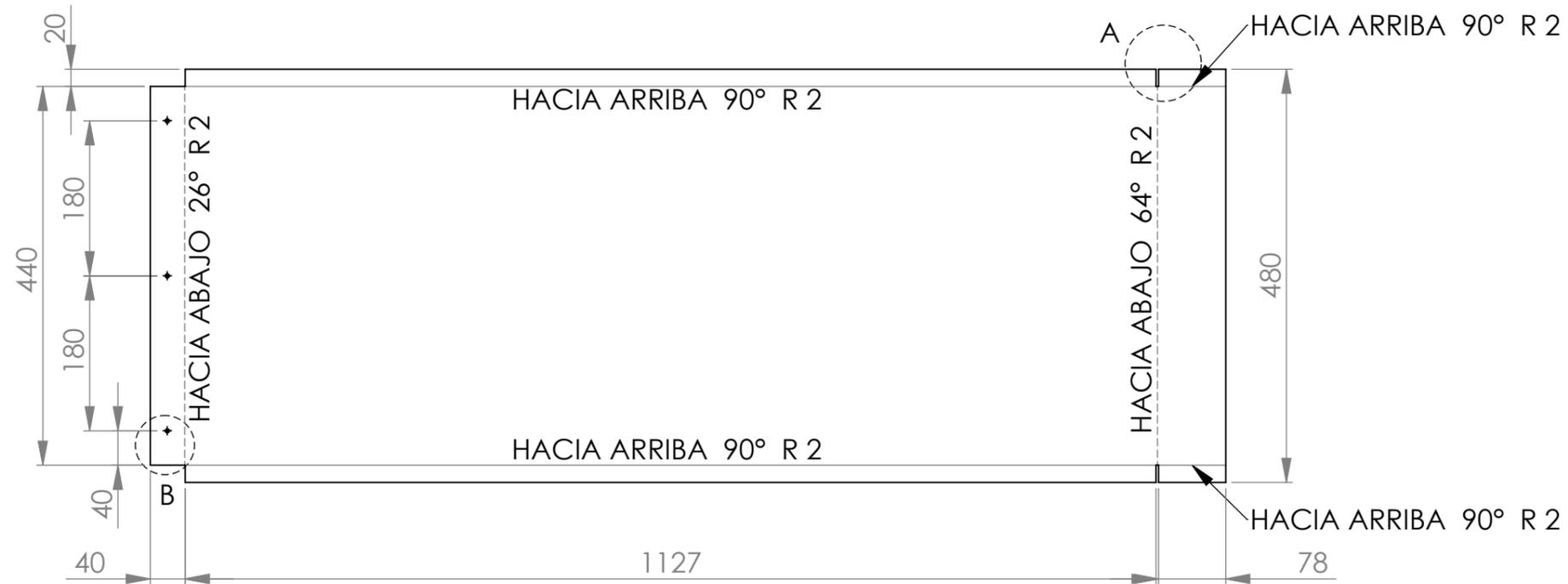
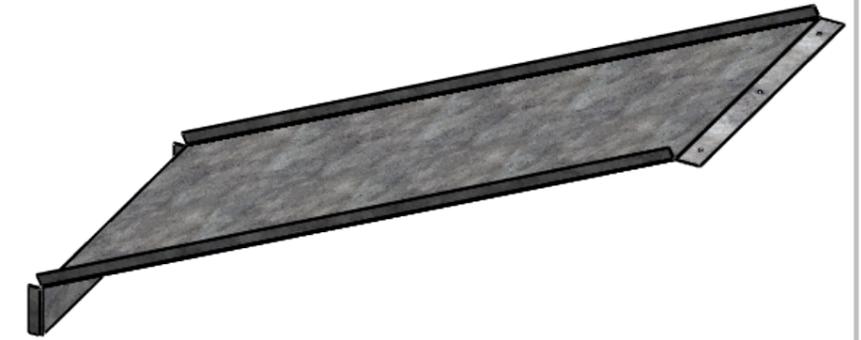
NOTA:TUBO CUADRADO 40X40X2



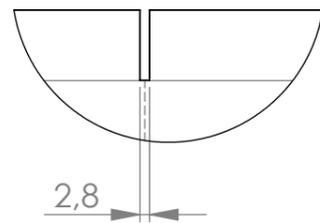
PROYECTO: SISTEMA DE PREFORMADO-FORMADO Y CURADO		ESCALA 1:10			
PARTE: 18.TUBO_CANAL					
CÓDIGO: SPFC 20-02-00-02		TOLERANCIA: ±0,05			
MATERIAL:	ASTM A36	DISEÑO	GARCIA A.	19/2/2020	HOJA 1/1 A4
TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ	GARCIA A.	19/2/2020	
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISÓ	ERAZO V.	13/2/2020	
CANTIDAD:	1	APROBÓ	VALENCIA F.	13/2/2020	

FICA

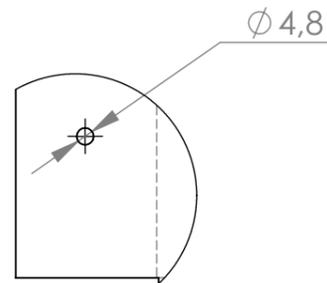
CIME



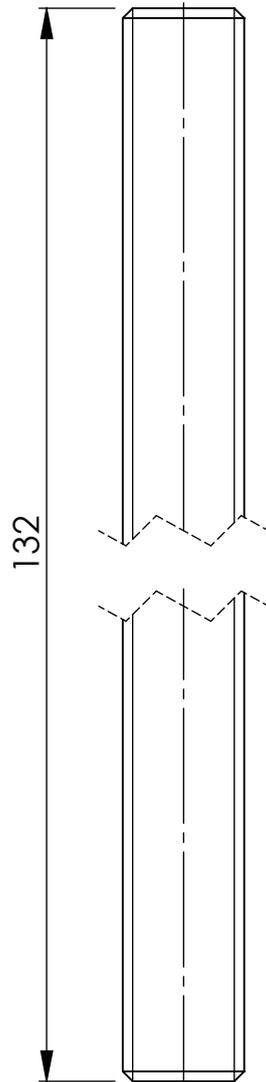
DETALLE A
ESCALA 1 : 2



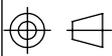
DETALLE B
ESCALA 1 : 2



	PROYECTO: SISTEMA DE PREFORMADO-FORMADO Y CURADO				ESCALA 1:7	
	PARTE: ACUMULADOR_MESA_MOLDE				TOLERANCIA: ±0,05	
	CÓDIGO: SPFC 20-00-00-06					
	MATERIAL:	ASTM A36	DISEÑO	GARCIA A.	13/2/2020	HOJA 1/1 A3
	TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ	GARCIA A.	14/2/2020	
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISÓ	ERAZO V.	13/2/2020		
CANTIDAD:	1	APROBÓ	VALENCIA F.	13/2/2020		
FICA	CIME					



NOTA: VARILLA ROSCADA M8-1.25

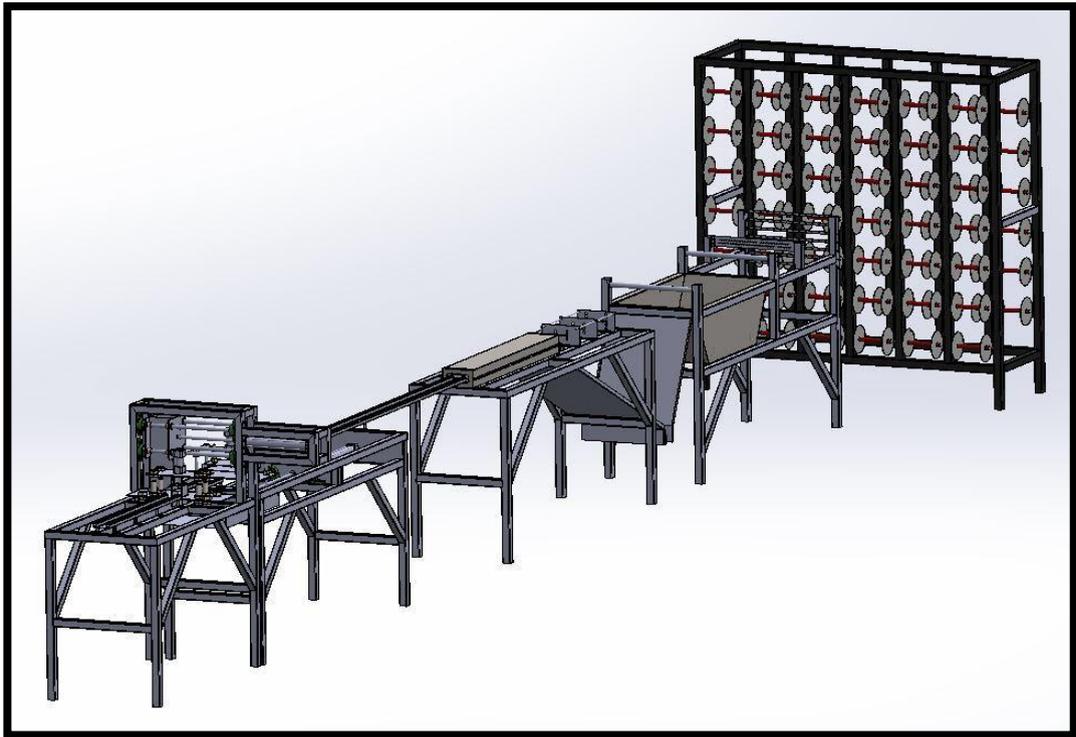
	PROYECTO: SISTEMA DE PREFORMADO-FORMADO Y CURADO				ESCALA 2:1 	
	PARTE: VARILLA ROSCADA_FORMADO					
	CÓDIGO: SPFC 20-00-00-07				TOLERANCIA: ±0,05	
	MATERIAL:	AISI 304	DISEÑO	GARCIA A.	19/2/2020	HOJA 1/1 A4
	TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ	GARCIA A.	19/2/2020	
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISÓ	ERAZO V.	13/2/2020		
CANTIDAD:	4	APROBÓ	VALENCIA F.	13/2/2020		
FICA	CIME					

D. MANUAL DE USO Y MANTENIMIENTO

MANUAL DE USUARIO

PULTRUSION MACHINE- GMA01

Modelo: SDP-20-CIME-01



Carrera de ingeniería en Mecatrónica
Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas
Universidad Técnica del Norte



Lea y asuma el contenido de este manual de instalación y uso.
La no lectura del manual puede dar lugar a lesiones, resultados inferiores o daños a la Pultrusion Machine GMA01. Asegúrese siempre de que cualquiera que utilice la Pultrusion Machine GMA01 comprenda el contenido del manual y conozca sobre el proceso de pultrusión.

La información de este documento queda a completa disponibilidad para el usuario, la no lectura o incomprensión puede ocasionar daño en los sistemas de la Pultrusion Machine GMA01 o causar lesiones graves al operario, cualquier mal uso, está fuera de nuestro control y no asumimos los daños. Por esta y otras razones, no asumimos responsabilidad alguna por perjuicios, lesiones, daños o gastos derivados, relacionados de cualquier manera con la máquina.

ÍNDICE

1.	SEGURIDAD Y CUMPLIMIENTO NORMATIVO.....	3
	MENSAJES DE SEGURIDAD	3
	PELIGROS	3
2.	INTRODUCCIÓN.....	5
	ETAPAS DEL PROCESO	5
	ESPECIFICACIONES	6
3.	FUNCIONAMIENTO.....	7
	SISTEMA DE DESEENROLLADO E IMPREGNACIÓN	7
	SISTEMA DE PREFORMADO-FORMADO Y CURADO.....	7
	SISTEMAS DE ARRASTRE	8
	SISTEMA DE CORTE	8
4.	MANTENIMIENTO	9
	LIMPIEZA DE LAS ETAPAS	9

1. SEGURIDAD Y CUMPLIMIENTO NORMATIVO

MENSAJES DE SEGURIDAD

Este capítulo trata sobre la seguridad y los riesgos. Lea toda la información cuidadosamente para evitar posibles lesiones y accidentes. Preste mucha atención a los avisos de seguridad:



Proporciona Información adicional para realizar una tarea o evitar problemas.



Advertencia de riesgos o daños si no se sigue las instrucciones de seguridad.

INFORMACIÓN GENERAL DE SEGURIDAD

La Pultrusion Machine GMA01 trabaja con altas temperaturas, estructuras móviles y zonas con herramientas de cortes que pueden causar lesiones.

Nunca manipule la Pultrusion Machine GMA01 mientras esté en funcionamiento. Siempre controle la Pultrusion Machine GMA01 desde el tablero de control.

Permita que los carros móviles de arrastre y corte retornen a su punto inicial sin interrupciones, mientras están en su ciclo de funcionamiento.

La Pultrusion Machine GMA01 está diseñada para ser utilizada por personas capacitadas en el proceso de pultrusión, se recomienda que niños y personas sin conocimiento para el uso de este equipo no lo manipulen.



Siempre corte la energía de la máquina y deje que la zona de moldeo retorne a su temperatura ambiente antes de realizar mantenimiento o modificaciones

PELIGROS

SEGURIDAD ELÉCTRICA

La Pultrusion Machine GMA01 funciona a 220 y 100 V, está dentro de la directiva de baja tensión. El sistema eléctrico está protegido contra cortocircuito, sobrecarga, sobretensión y sobre temperatura.

SEGURIDAD MECÁNICA

La Pultrusion Machine GMA01 contiene 5 etapas, en los sistemas de arrastre y corte contiene 2 carros móviles que pueden causar lesiones, se aconseja no manipular cuando esté trabajando.

RIESGO DE QUEMADURAS

Existe un riesgo potencial de quemaduras, ya que la etapa de moldeo trabaja a temperaturas de 70 a 220 °C en el aluminio, pero las resistencias eléctricas se encuentran a 700°C.



Siempre deje que la Pultrusion Machine GMA01 se enfríe durante al menos 3 horas antes de realizar mantenimiento o modificaciones.

RIESGOS DE VISIÓN



El uso de la fibra de vidrio en el proceso, puede causar daños oculares, debido a que este expulsa partículas por esto se recomienda el uso de gafas industriales.

RIESGO RESPIRATORIO



El uso de la resina poliéster y la fibra de vidrio en el proceso, con el tiempo causan enfermedades respiratorias, por eso se recomienda el uso de mascarilla

RIESGOS AUDITIVOS



La máquina cuenta con un sistema neumático, el compresor realiza ruidos elevados, para el oído del humano, el uso de protecciones auditivas es obligatorio.

RIESGOS DE QUEMADURAS



En la zona de formación del perfil es recomendable el uso de guantes para evitar quemaduras en las manos.

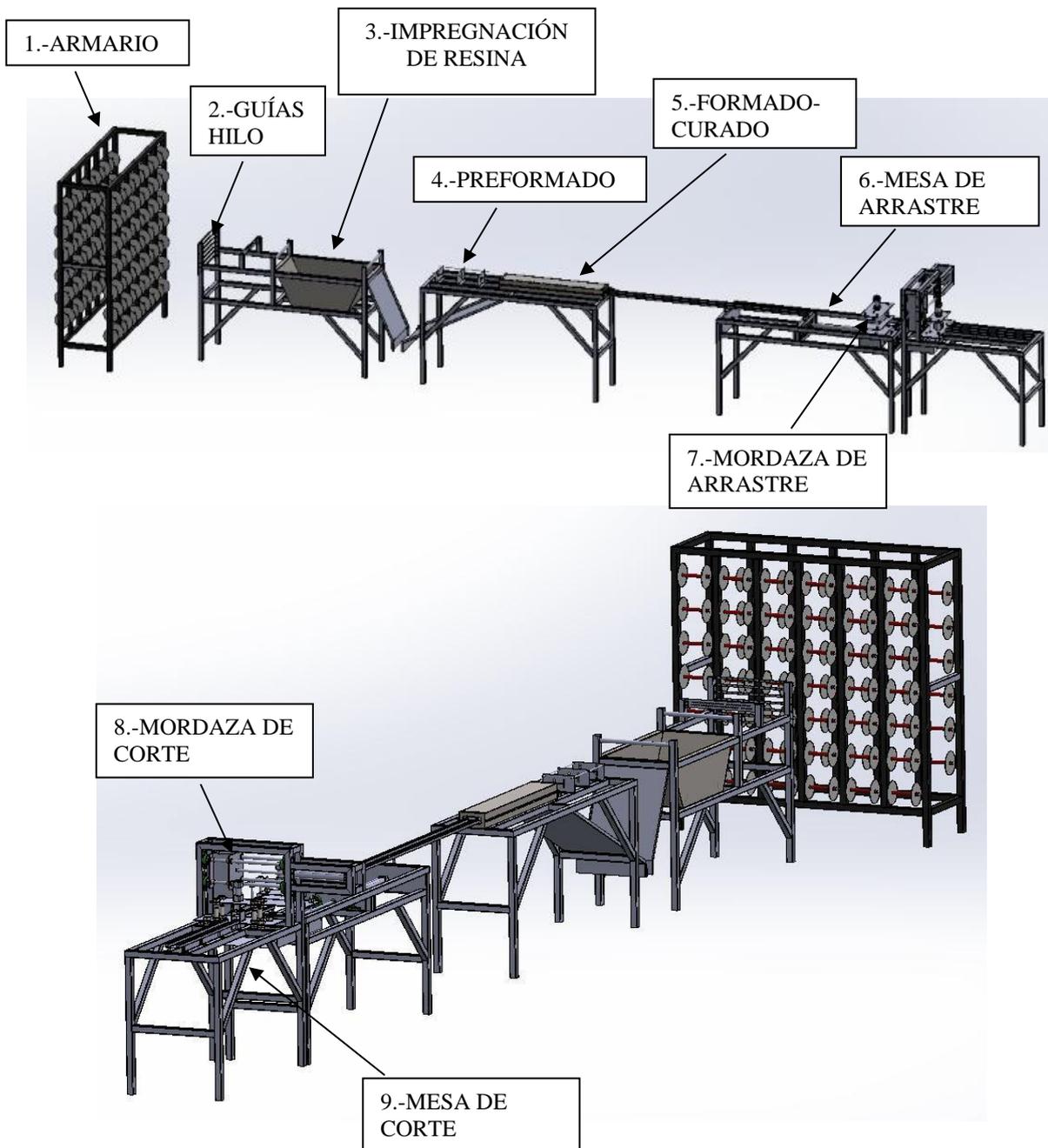
SALUD

La Pultrusion Machine GMA01 está diseñada para realizar perfiles de material compuesto con fibra de vidrio y resina poliéster con sus aditivos necesario. El uso de otros materiales, para formar el compuesto no daña los sistemas de la máquina, pero está bajo su responsabilidad el funcionamiento correcto.



Utilice la Pultrusion Machine GMA01 en un lugar que se encuentre a una temperatura de 20 a 25 °C.

2. INTRODUCCIÓN



ESPECIFICACIONES

DIMENSIONES FÍSICAS	
Dimensiones de la máquina	11 m
Estructura	Acero ASTM A36, Acero inoxidable AISI 304, Aluminio
Masa del armario	89 kg
Masa de la mesa de mojado	58,21 kg
Masa de la mesa de preformado- formado y curado	83 kg
Masa de la mesa de arrastre	62,28 kg
Masa de la mesa de corte	68 kg
REQUISITOS DE POTENCIA	
Entrada	220V
Salida	220V
CONDICIONES DE AMBIENTE	
Temperatura ambiente de funcionamiento	15° a 25° C
SOFTWARE	
Software	LOGO Soft
CARACTERÍSTICAS DE LA FUNCIÓN DE MOLDEO	
Temperatura zona 1	100 °C
Temperatura zona 2	150 °C
Temperatura zona 3	220 °C
CARACTERÍSTICAS DE LA FUNCIÓN DE ARRASTRE	
Velocidad de trabajo	1,62 m/min
Modo de control	On/off
CARACTERÍSTICAS DE LA FUNCIÓN DE CORTE	
Velocidad de corte	12500 rpm
Modo de control	On/off

3. FUNCIONAMIENTO

SISTEMA DE DESENLADO E IMPREGNACIÓN



En esta fase se realiza el desenrollado de los hilos, y la impregnación de los hilos en la resina, para la obtención del perfil I de dimensiones 46x25 mm y de alma-ala 2,5 mm, necesario ingresar 6 hilos en todas las etapas, si se desea cambiar el perfil es necesario hacer un cálculo para ingresar los hilos necesarios.

SISTEMA DE PREFORMADO-FORMADO Y CURADO



Las matrices de preformado ayudan a escurrir el exceso de resina y a que los hilos se compactan y vayan tomando la forma de la sección escogida.



Una vez pasado los hilos por todas las etapas, en el formado del perfil, se calientan las niquelinas de la siguiente manera, la primera zona es a la entrada de los hilos al molde con una temperatura de 100 °C la segunda zona a 150° la tercera a 220°C, el molde al adaptar las temperaturas necesarias se procede a mojar los hilos y a pasarlos por todo las etapas.

SISTEMAS DE ARRASTRE



El sistema de arrastre trabaja a una velocidad de 1,62 m/min, este proceso permite el desplazamiento de los hilos por todas las etapas

SISTEMA DE CORTE



El sistema de corte trabaja a una velocidad de 12500rpm, este sistema al final de la mesa tiene un sensor final de carrera una vez que este se activa la mordaza se cierra, se enciende la amoladora y el cilindro de trayectoria hace su recorrido



Tener siempre presente que cuando la máquina esté en funcionamiento no tocar la zona de moldeo para evitar quemaduras, ni introducir las manos en el proceso de arrastre o corte para evitar lesiones físicas.

4. MANTENIMIENTO

Para que la Pultrusion Machine GMA01 funcione sin problemas, es importante realizar un mantenimiento correcto. Este capítulo describe los consejos de mantenimiento más importantes. Lea atentamente con el fin de lograr los mejores resultados con el equipo.

MANTENIMIENTO PREVENTIVO

FRECUENCIA	ACTIVIDAD
Diario	<ul style="list-style-type: none">• Verificar conexiones eléctricas en el tablero de control y resistencias eléctricas.• Limpiar residuos de resina en matrices de preformado y en el molde.• Purgar el compresor.• Extraer resina sobrante de la tina de mojado.
Semanal	<ul style="list-style-type: none">• Reemplazo de aislante térmico en la cubierta del molde• Limpieza de acumuladores de resina.• Debe examinarse el nivel de agua condensada en la unidad de mantenimiento neumática, porque no debe sobrepasar la altura indicada en la mirilla de control.• Verificar nivel de aceite en la unidad de mantenimiento neumática.• Inspeccionar el ajuste de los elementos de sujeción en la etapa de arrastre y corte.
Mensual	<ul style="list-style-type: none">• Reemplazar tornillos del molde debido a los desgastes producidos por su montaje y desmontaje.• Verificar el estado de los dientes del disco de corte.• Reemplazo de disco de corte debido a desgaste en los dientes.• Sustituir cables conectores de níquelinas debido a que están sometidos a altas temperaturas.
Semestral	<ul style="list-style-type: none">• Cambiar las termocupas para prevenir datos erróneos en la medición.• Verificar el desgaste en los guía-hilos de las matrices de inicio.
Anual	<ul style="list-style-type: none">• Realizar cambio de mangueras de alimentación neumática en los cilindros• Controlar el desgaste del molde ya que las fibras que transitan en él son abrasivas.• Sustitución de bujes guías de los carros de arrastre y corte

LIMPIEZA EN PRUEBAS EXPERIMENTALES

Tras ejecutar pruebas experimentales en el equipo es recomendable realizar las siguientes actividades de limpieza para un correcto funcionamiento en las pruebas futuras.

1. Cortar los hilos antes del ingreso a la tina de impregnación de resina



2. Retirar la resina sobrante de la tina y limpiar los rodillos internos y a la salida de la tina con estireno.



3. Retirar los hilos de las matrices de preformado, y limpiar esta zona con estireno.



4. Cuando el molde se encuentre a una temperatura admisible al humano, retirar la protección, la lana de vidrio, las niquelinas, y desarmar el molde para quitar los residuos de resina o hilos, y realizar la limpieza correspondiente con estireno y espátula plástica.



5. Limpiar los canales y las zonas de arrastre y corte; después lubricar los ejes de estas etapas.



6. Revisar el estado del disco de corte, para observar si este necesita ser cambiado.



7. Verificar la lubricación de la Unidad de Mantenimiento y purgar si esta lo amerita.



8. Purgar el compresor.



Para asegurar que el perfil tenga un buen acabado superficial, es necesario realizar la composición a una temperatura de 20 a 25 °C que las zonas de moldeo se encuentren a las temperaturas establecidas.