



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍAS EN CIENCIAS APLICADAS

ESCUELA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

INGENIERO EN MECATRÓNICA

TEMA: AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA TERMOFORMADORA
MÚLTIPLE A BASE DE MATRICES CAMBIANTES PARA LA EMPRESA
MULTIPANELES CIA. LTDA.

AUTOR: ROMO ROJAS JIMMY NELSON

DIRECTOR: ING. WASHINGTON GUSTAVO MOSQUERA TERÁN

IBARRA – ECUADOR

2019



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 DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	040134499-9		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Romo Rojas Jimmy Nelson		
DIRECCIÓN:	Av.17 de julio – Ibarra		
EMAIL:	jnromo@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	062-960-452	TELÉFONO MÓVIL:	0981678211

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Automatización de una Máquina Termoformadora Múltiple A Base De Matrices Cambiantes Para La Empresa MULTIPANELES CIA. LTDA.
AUTOR (ES):	Romo Rojas Jimmy Nelson
FECHA:	11/12/2019
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	PREGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en mecatrónica
DIRECTOR:	Ing. Washington Mosquera

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la 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 11 días del mes de diciembre de 2019



Romo Rojas Jimmy Nelson

C.I.: 040134499-9



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CERTIFICACIÓN

En calidad de director del trabajo de grado “Automatización de una Máquina Termoformadora Múltiple A Base De Matrices Cambiantes Para La Empresa MULTIPANELES CIA. LTDA.”, presentado por el egresado ROMO ROJAS JIMMY NELSON, para optar por el título de ingeniero en mecatrónica, certifico que el mencionado proyecto fue realizado bajo mi dirección.

Ibarra, diciembre de 2019


Ing. Washington Mosquera
DIRECTOR DE TESIS



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
DECLARACIÓN

Yo, Romo Rojas Jimmy Nelson con cédula de identidad Nro. 040134499-9, declaro bajo juramento que el trabajo aquí escrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Universidad Técnica del Norte – Ibarra, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Ibarra, diciembre de 2019

Romo Rojas Jimmy Nelson

C.I.: 040134499-9

Agradecimientos

Agradezco a mi familia por brindar su compañía y preocupación durante el periodo de estudiante, demostrando su apoyo incondicional.

A la empresa Multipaneles CIA.LTDA. por haber aportado este proyecto como trabajo de grado, brindando la oportunidad de obtener el título profesional.

A los docentes de la carrera en Mecatrónica, por haber compartido sus conocimientos y experiencias a lo largo del periodo de preparación como estudiante, en especial a mi tutor y asesores de tesis, quienes han guiado este proyecto.

“Aprende del pasado, disfruta del presente y sueña con el futuro. Lo importante es que nunca dejes de pensar.” Albert Einstein (1879-1955)

Dedicatoria

El presente trabajo está dedicado especialmente a mi familia, a mi padre Nelson que con su sabiduría ha logrado inculcar grandes valores de humanidad y socialismo, a mi madre Mercedes quien, con su compañía, amor, y paciencia ha dado significado a los logros, que estos llegan a cumplirse cuando se tornan difíciles.

A mis hermanos Lisseth y Michael que, con su confianza, amor, sus picardías y amistad siempre me han brindado su apoyo a cada instante.

A mis abuelos que siempre estuvieron cerca de mí, que dieron con su carisma, su conocimiento y el valor de lo que es la familia.

En especial al motor de mi vida y mi superación personal a mi querida hija Danna que, a pesar de la distancia, el tiempo y el espacio aporta el amor necesario para seguir adelante porque es el resultado de tenerla siempre en mis pensamientos.

Romo Rojas Jimmy Nelson

Abstract

Plastic has many processing methods one of them is thermoforming, which has a great variety of influence on our daily lives, it's a very suitable process to manufacture a great variety of products either simple as packaging methods or complex as used in aeronautics.

The company Multipaneles CIA. LTDA. in one of production areas makes chocolates, for this reason is necessary to have molds made of polyvinyl chloride sheets (PVC), which are formed by vacuum thermoforming.

In possession of the company has a handmade construction machine to which based on its design and the experience of the operator proceeded to make an analysis for the development of an appropriate automation that meets the requirements of the operation of the process.

With the appropriate study was designed the main thermoforming processes, so it was divided into subsystems such as heater, support frame, vacuum chamber, pneumatic section, structure, and control section, together, give an automatic system that fulfills the proposed characteristics in lower time, cost and an accessible construction compared to an industrial level thermoformer.

The system was developed in an open software platform, choosing the most accessible components in the market at low cost and with disposition so that the human-machine interface is the simplest, lightest and thus fulfilling the proposed objectives.

Prefacio

El plástico tiene muchos métodos de procesamiento, uno de estos es el termoformado, proceso que tiene una gran variedad de influencia en nuestra vida cotidiana, es un proceso característico para fabricar una gran variedad de productos ya sean simples como métodos de embalaje o complejos como los usados en aeronáutica.

Multipaneles CIA. LTDA. ofrece una producción de decoración en desarrollo de arquitectura interior y exterior, mejorando el trabajo de decoradores o arquitectos en la elaboración de diseños, la empresa en una de sus áreas de producción realiza chocolates, por ello en la elaboración de estos es necesario tener moldes realizados en láminas de policloruro de vinilo (PVC), las cuales son creadas por medio de termoformado al vacío.

La empresa cuenta con una máquina de construcción artesanal a la cual basándose en su diseño y la experiencia del operario se procedió a realizar un análisis para el desarrollo de una automatización apta que cumpla con los requerimientos de funcionamiento del proceso.

Con el estudio necesario se procede a realizar un sistema que cumpla con los procesos principales de termoformado, así dividido en subsistemas como calefactor, bastidor de sujeción, cámara de vacío, sección neumática, estructura, y sección de control. Los cuales en conjunto forman un sistema automático que cumple con las características planteadas de elaboración de matrices con menos tiempo, un costo y una construcción accesible en comparación a una termoformadora de nivel industrial.

El sistema se desarrolló en una plataforma de software abierto, eligiendo los componentes más accesibles en el mercado a bajo coste y con disposición para que la interfaz humano-maquina sea lo más sencilla, ligera así cumpliendo con los objetivos planteados.

Tabla de Contenidos

Apéndice	xv
Lista de tablas.....	xv
Lista de ilustraciones.....	xvi
Lista de ecuaciones	xix
Capítulo I Introducción	1
Antecedentes	1
Planteamiento.....	2
Alcance.....	3
Objetivos	4
1.1.1 Objetivo General.....	4
1.1.2 Objetivos Específicos.....	4
Capítulo II Marco teórico.....	5
Termoformado.....	5
2.1.1 Proceso del termoformado	5
Historia del termoformado	6
Polímero	8
El código de los plásticos.....	9
Termoplásticos	11
2.1.2 Propiedades térmicas	13
2.1.3 Comportamiento de los termoplásticos durante el calentamiento	15
2.1.4 Influencia del periodo de calentamiento	16
Selección del material	16

2.1.5	PVC en packaging.....	17
	Consideración para el diseño de productos	18
2.1.6	Resistencia y rigidez	19
2.1.7	Resistencia al impacto.....	19
2.1.8	Temperaturas de servicio	19
2.1.9	Expansión térmica.....	20
2.1.10	Espesor de las paredes	20
2.1.11	Secciones huecas.....	20
2.1.12	Esquinas	21
	Medios de transmisión de calor.....	21
2.1.13	Calentamiento por contacto	21
2.1.14	Calentamiento por inmersión.....	21
2.1.15	Calentamiento por convección.....	22
2.1.16	Calentamiento por radiación infrarroja.....	22
	Función de la maquina termoformadora	22
	Moldes para el termoformado	23
2.1.17	Criterios para el diseño del molde	24
2.1.18	Tipos de materiales en los moldes	25
	Variables en el termoformado.....	25
2.1.19	Variables independientes	25
2.1.20	Variables dependientes	26
	Automatización del sistema	27
2.1.21	Elementos de señal.....	28

2.1.22	Elementos de control.....	29
2.1.23	Elementos de mando.....	32
2.1.24	Elementos de fuerza.....	32
	Método de criterios ponderados.....	34
	Consideración para la automatización del sistema.....	35
Capítulo III Metodología.....		36
	Estructura de la máquina.....	36
	Funcionamiento de maquina termoformadora de la empresa Multipaneles CIA.LTDA.....	38
	Requerimientos de la maquina termoformadora.....	39
	Limitaciones para el diseño.....	40
	Diseño estructural planteado.....	41
3.1.1	Calefactor.....	41
3.1.2	Bastidor de sujeción.....	55
3.1.3	Cámara de vacío.....	56
3.1.4	Sección neumática.....	58
3.1.5	Estructura.....	67
3.1.6	Sección de control.....	73
Capítulo IV Construcción.....		101
	Elaboración de los elementos de la maquina.....	103
4.1.1	Calefactor.....	103
4.1.2	Bastidor de sujeción.....	105
4.1.3	Cámara de vacío.....	106
4.1.4	Estructura.....	107

4.1.5	Sistema neumático	107
4.1.6	Implementación del sistema de control.....	109
Capítulo V Análisis de resultados		111
Pruebas de funcionamiento		111
Análisis económico – financiero		114
5.1.1	Costos directos e indirectos	115
Conclusiones		124
Recomendaciones.....		125
Referencias.....		126
Anexos.....		130
Anexo 1. Clima en Ibarra, Ecuador.....		130
Anexo 2. Datos técnicos del PVC		132
Anexo 3. Emisividad para resistencias de Incoloy		133
Anexo 4. Propiedades de la atmosfera a gran altitud		134
Anexo 5. Masa molar, constante de gas y calores específicos de ciertas sustancias.		135
Anexo 6. Propiedades del aire a presión de 1 atm.		136
Anexo 7. Fuerzas teóricas en cilindros de doble efecto		137
Anexo 8. Características técnicas de aspiradora Rainbow E2		138
Anexo 9. Cilindros de doble efecto marca E-MC		139
Anexo 10. Perfil de tubería mecánica tipo cuadrado y rectangular		141
Anexo 11. Pletinas		142
Anexo 12. Equivalencia de calibre de cables en milímetros.....		143
Anexo 13. Amperaje que soporta los cables de cobre		143

Anexo 14. Planos mecanicos.....	144
Anexo 15. Diagrama eléctrico.....	233
Anexo 16. Manual de usuario	235

Apéndice

Lista de tablas

<i>Tabla 1.</i> Polímeros adecuados y más comunes para el termoformado	13
<i>Tabla 2.</i> Propiedades térmicas de algunos materiales	15
<i>Tabla 3.</i> Relación entre espesor y tiempo de calentamiento de lámina PVC	18
<i>Tabla 4.</i> Evaluación del peso específico de cada criterio en el calefactor	43
<i>Tabla 5.</i> Evaluación del peso específico del criterio robustez en el calefactor	43
<i>Tabla 6.</i> Evaluación del peso específico del criterio estabilidad en el calefactor.....	44
<i>Tabla 7.</i> Evaluación del peso específico del criterio rango de temperatura para el calentamiento del calefactor	44
<i>Tabla 8.</i> Evaluación del peso específico del criterio costo para el calefactor	44
<i>Tabla 9.</i> Tabla de conclusiones entre los criterios de calefacción	45
<i>Tabla 10.</i> Evaluación del peso específico de cada criterio para el sensor	77
<i>Tabla 11.</i> Evaluación del peso específico del criterio temperatura para el sensor	77
<i>Tabla 12.</i> Evaluación del peso específico del criterio costo para el sensor	77
<i>Tabla 13.</i> Evaluación del peso específico del criterio sensibilidad para el sensor	78
<i>Tabla 14.</i> Evaluación del peso específico del criterio aplicación para el sensor	78
<i>Tabla 15.</i> Tabla de conclusiones entre los criterios para el sensor	78
<i>Tabla 16.</i> Evaluación del peso específico de cada criterio para el controlador	83
<i>Tabla 17.</i> Evaluación del peso específico para el criterio costo	83
<i>Tabla 18.</i> Evaluación del peso específico para el criterio disponibilidad.....	83
<i>Tabla 19.</i> Evaluación del peso específico para el criterio robustez	84

<i>Tabla 20.</i> Evaluación del peso específico par a el criterio tamaño.....	84
<i>Tabla 21.</i> Tabla de conclusiones para los criterios de microcontrolador	84
<i>Tabla 22.</i> Especificaciones técnicas de Arduino mega 2560.....	86
<i>Tabla 23.</i> Herramientas utilizadas en la construcción de la maquina termoformadora.....	102
<i>Tabla 24.</i> Costo directo Calefactor	116
<i>Tabla 25.</i> Costo directo Bastidor de sujeción	116
<i>Tabla 26.</i> Costo Cámara de vacío	117
<i>Tabla 27.</i> Costo Sistema neumático	117
<i>Tabla 28.</i> Costo Sistema de control	118
<i>Tabla 29.</i> Costos Indirectos	119
<i>Tabla 30.</i> Costos de fabricación.....	120
<i>Tabla 31.</i> Costo total de fabricación de la maquina.....	121

Lista de ilustraciones

<i>Ilustración 1.</i> Primer Paso de Termoformado.....	5
<i>Ilustración 2.</i> Segundo Paso de Termoformado	6
<i>Ilustración 3.</i> Código Numérico De Identificación De Plásticos	10
<i>Ilustración 4.</i> Electroválvula (cortesía de FESTO, Alemania).....	32
<i>Ilustración 5.</i> Cilindro de doble efecto	33
<i>Ilustración 6.</i> Máquina termoformadora de empresa MULTIPANELES CIA.LTDA.	36
<i>Ilustración 7.</i> Estructura de la máquina de termoformado de la empresa MULTIPANELES CIA.LTDA.	37

<i>Ilustración 8.</i> Alambre de níquel-cromo en espiral.	41
<i>Ilustración 9.</i> Resistencias tubulares.....	42
<i>Ilustración 10.</i> Calentadores de cartucho.....	42
<i>Ilustración 11.</i> Caja de calentamiento realizado en SolidWorks 2016.....	46
<i>Ilustración 12.</i> Dimensiones de la resistencia tubular	49
<i>Ilustración 13.</i> Bastidor de sujeción A) Bastidor abierto, B) Bastidor cerrado	55
<i>Ilustración 14.</i> Caja de succión.....	57
<i>Ilustración 15.</i> Circuito neumático de conexión de componentes.....	65
<i>Ilustración 16.</i> Diagrama eléctrico de conexión neumática.....	66
<i>Ilustración 17.</i> Diagrama de estado de componentes neumáticos.	67
<i>Ilustración 18.</i> Diseño de estructura. Realizado en: SolidWorks 2016.	68
<i>Ilustración 19.</i> Análisis de tensión axial y flexión de la estructura.	69
<i>Ilustración 20.</i> Análisis de desplazamiento en la estructura.	69
<i>Ilustración 21.</i> Factor de seguridad en la estructura.....	70
<i>Ilustración 22.</i> Pieza 1.- Base de la estructura.....	71
<i>Ilustración 23.</i> Pieza 2.- Base para el calefactor.....	71
<i>Ilustración 24.</i> Pieza 3.- Tapa de la máquina.....	72
<i>Ilustración 25.</i> Pieza 4.- Soporte.....	72
<i>Ilustración 26.</i> Estructura final de la maquina termoformadora.....	73
<i>Ilustración 27.</i> Disposición de un teclado matricial 4x4.	74
<i>Ilustración 28.</i> Sensor RTD Pt100.....	75
<i>Ilustración 29.</i> Termocupla tipo K.....	75
<i>Ilustración 30.</i> Termopar tipo J.	76

<i>Ilustración 31.</i> Termocupla tipo K con su módulo MAX6675.....	80
<i>Ilustración 32.</i> Arduino Mega 2560. Adaptado de Arduino Mega 2560 REV3.....	81
<i>Ilustración 33.</i> Raspberry Pi 3 Model B.	81
<i>Ilustración 34.</i> M-DUINO PLC Adaptado de M-DUINO PLC Arduino Ethernet 50RRA.	82
<i>Ilustración 35.</i> Arduino Uno.....	85
<i>Ilustración 36.</i> Partes del módulo relé.	87
<i>Ilustración 37.</i> Circuito esquemático de un canal del módulo relé.....	88
<i>Ilustración 38.</i> LCD1602.....	90
<i>Ilustración 39.</i> Controlador de temperatura Camsco.....	91
<i>Ilustración 40.</i> Relé de estado sólido SSR.....	91
<i>Ilustración 41.</i> Diseño de circuito electrónico en Proteus 8.	94
<i>Ilustración 42.</i> Comportamiento de calentamiento en el calefactor..	95
<i>Ilustración 43.</i> Control realizado por el controlador Camsco.....	95
<i>Ilustración 44.</i> Simulación del modelo de la función de transferencia sin control.....	96
<i>Ilustración 45.</i> Simulación del modelo de función de transferencia con control de Camsco.....	96
<i>Ilustración 46.</i> Modelo de la función de transferencia.	97
<i>Ilustración 47.</i> Representación del control PID para el calefactor..	98
<i>Ilustración 48.</i> Riel de extensión.	103
<i>Ilustración 49.</i> Resistencia tubular.	104
<i>Ilustración 50.</i> Calefactor en su proceso final.	104
<i>Ilustración 51.</i> Jaladera para mueble	105
<i>Ilustración 52.</i> Seguros Sash Lock.	105
<i>Ilustración 53.</i> Bastidor de sujeción.	106

<i>Ilustración 54.</i> Cámara de succión.....	106
<i>Ilustración 55.</i> Estructura Final.. ..	107
<i>Ilustración 56.</i> Cilindro FVC 32x400-2 E-mc.....	108
<i>Ilustración 57.</i> Cilindros RAL 20x150-s E-mc.....	108
<i>Ilustración 58.</i> Válvulas V5221-E408 con sus componentes de conexión.....	109

Lista de ecuaciones

<i>Ecuación 1.</i> Calor requerido en lámina de plástico	14
<i>Ecuación 2.</i> Cambios finitos en la energía interna	47
<i>Ecuación 3.</i> Densidad para la materia.....	48
<i>Ecuación 4.</i> Razón neta de transferencia de calor por radiación entre dos superficies	51
<i>Ecuación 5.</i> Razón del conducción de calor	52
<i>Ecuación 6.</i> Ley del gas ideal	53
<i>Ecuación 7.</i> Expansión lineal a través de la calefacción	56
<i>Ecuación 8.</i> Diámetro del émbolo	59
<i>Ecuación 9.</i> Fuerza aplicada a una masa	59
<i>Ecuación 10.</i> Fuerza en relación con la gravedad.....	60
<i>Ecuación 11.</i> Fuerza sobre un área	60
<i>Ecuación 12.</i> Área del émbolo.....	61
<i>Ecuación 13.</i> Área del vástago.....	61
<i>Ecuación 14.</i> Fuerza efectiva de avance	61
<i>Ecuación 15.</i> Fuerza efectiva de retroceso	62

<i>Ecuación 16.</i> Fuerza teórica de avance.....	62
<i>Ecuación 17.</i> Fuerza teórica de retroceso	62
<i>Ecuación 18.</i> Presión de trabajo.....	63
<i>Ecuación 19.</i> Consumo de aire en un cilindro de doble efecto.....	64
<i>Ecuación 20.</i> Consumo de aire en condiciones normales.....	64
<i>Ecuación 21.</i> Función de transferencia del sistema de calefacción.	97
<i>Ecuación 22.</i> Estructura VAN.....	121
<i>Ecuación 23.</i> Estructura TIR.....	123

Capítulo I

Introducción

Antecedentes

Las termoformadoras industriales son ampliamente utilizadas para producir innumerables artículos de consumo diario, en el mercado poseen una automatización completa con características que cubren altos costos y métodos complejos de operación.

En la industria nacional, las termoformadoras son operadas de forma manual por un persona capacitada en el proceso debido al alto costo que contiene una automatización, esto conlleva a un gran número de problemas como la perdida de eficiencia por el agotamiento físico del operario, riesgo laboral, altos costos de mantenimiento, bajo rendimiento de producción entre otros. [1]

La implementación de este prototipo de termoformado automático es para la producción de matrices en la empresa Multipaneles CIA. LTDA. Esta aplicación involucra el proceso de calentamiento de láminas de plástico que toman la forma del molde sobre la cual se coloca, el termoformado puede llevarse a cabo por medio de vacío, como se muestra en el proyecto con la influencia de presión y temperatura. Este proceso será de fácil operación, con gastos de elaboración y mantenimiento por lo más mínimos, siendo eficaz para cumplir con una mayor calidad y cantidad de producción, así validando los requerimientos de trabajo que la empresa espera, aumentando la variedad de producción, reducción en tiempo, costo y dificultad en la elaboración.

Planteamiento

En una empresa siempre se busca una competitividad para el entorno cambiante que se produce en el campo industrial, es por eso que entre los objetivos a realizar son procesos lo más automáticos posibles en la producción. La automatización es la ciencia que ocupa dispositivos tecnológicos para ayudar al desarrollo en la manufactura de las empresas con desarrollo técnico.

El termoformado como técnica que modifica la forma del plástico, es proceso en el cual una lámina de vacoplast (Policloruro de vinilo (PVC)) es calentada y formada a un molde o matriz sobre el que se coloca.

Las termoformadoras industriales se utilizan para elaborar una gran variedad de artículos que se encuentran en nuestro medio y que son de consumo diario en la población, su automatización se desarrolla con altos costos y la complejidad que representa su operación.

Multipaneles CIA. LTDA. es una empresa de innovación que ofrece una producción de decoración en desarrollo de arquitectura interior y exterior con nuevas tendencias estéticas, con el uso de materiales ligeros, impermeables, de fácil acceso para mejorar y ayudar en el trabajo de decoradores o arquitectos en la elaboración de sus diseños.

La empresa cuenta con una termoformadora muy básica y de construcción artesanal la cual se pretende automatizar, para implementación en un diseño con una reducción de costo a comparación de máquinas industriales y generando un proceso adecuado para su funcionamiento deseado.

Automatizar esta máquina de termoformado dará solución eficaz en el mercado mejorando la calidad, precisión, y cantidad de la producción.

Alcance

El proyecto consiste en realizar una automatización de la máquina de termoformado para la producción de moldes en la empresa Multipaneles CIA. LTDA. mediante la elaboración de una nueva estructura formada por nuevos materiales y elementos que hagan un correcto funcionamiento, para reducir el tiempo de elaboración de las matrices, el costo a comparación de una máquina industrial y la dificultad de elaboración de una termoformadora a gran escala.

El sistema será desarrollado en una plataforma de software abierto, utilizando un microcontrolador que permitirá el proceso de termoformado para una operación sencilla entre el usuario y la máquina. Los elementos utilizados se estiman obtener a un costo económico y con disposición en el mercado para que el sistema sea lo más ligero capaz de cumplir con los objetivos planteados.

El proyecto se apoya en la utilización de materiales de alcance, costos con desarrollo económico y reducción de tiempo de elaboración, para que el proceso de termoformado sea adecuado para la elaboración de matrices de bajo volumen de producción.

Objetivos

Objetivo General

Automatizar la máquina termoformadora de la empresa Multipaneles CIA.LTDA.

Objetivos Específicos

Determinar requerimientos de funcionamiento de termoformado.

Realizar la caracterización de la máquina termoformadora

Desarrollar el diseño automático de la máquina termoformadora.

Implementar el diseño para pruebas y análisis de los resultados.

Capítulo II

Marco teórico

Termoformado

Un término genérico que abarca muchas técnicas para la producción de artículos útiles mediante laminas planas de termoplásticos. En su concepto básico, el termoconformado es simplemente la realización de pliegues en una lámina que se ablanda temporalmente (aplicándole calor) sobre una herramienta o molde de forma simple. [2]

Este proceso industrial consiste en dar forma a la lámina de polímero termoformable por medio de calor y vacío utilizando un molde o matriz (madera, resina epóxica, o aluminio). La lámina termoformable se calentará y tomará la forma del molde o matriz sobre la que es colocada, la temperatura puede llegar a fundir la lámina cuando se exceda y cuando falte dar una mala calidad a la pieza final sin detalles definidos.

1.1.1 Proceso del termoformado

Como se mencionó anteriormente es un proceso industrial que cambia la forma de una lámina y adopta una nueva de un molde o matriz, mediante la transferencia de calor sobre esta.

Al ser calentado este plástico desciende sobre la matriz se deforma como se muestra en la Ilustración 1 y adquiere la forma del contorno de la misma.

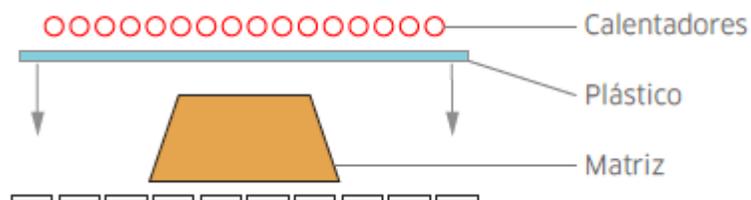


Ilustración 1. Primer Paso de Termoformado. Adaptado de [3], Tutorial Termoformado,(p.3)

En la Ilustración 2, la parte del vacío succiona el aire entre la matriz y la lámina, el plástico se adapta a la forma de la matriz para ser una copia en su forma y en detalle.

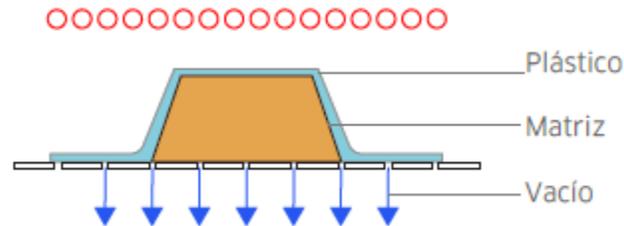


Ilustración 2. Segundo Paso de Termoformado. Adaptado de [3], Tutorial Termoformado,(p.3).

Finalizado el proceso se deja enfriar y se realiza la sustracción del molde para ser recortada de su material excedente, así obteniendo la pieza final.

Historia del termoformado

El termoformado es uno de los métodos más antiguos y comunes de procesamiento de plástico. Los productos de plástico termoformados están a nuestro alrededor y juegan un papel importante en nuestras vidas diarias. Es un proceso muy versátil utilizado para fabricar una amplia gama de productos desde bandejas de empaque simples hasta fundas de cabina para aviones de alto impacto. También se utiliza ampliamente para hacer prototipos de diseño de productos para ser producidos por otros procesos. [4]

Según [5], la técnica del termoformado tiene sus inicios en el siglo XX, desde que se generó el concepto de conformado a materiales como el metal, vidrio, y fibras naturales. Al pasar los años el desarrollo de nuevos materiales termoplásticos dio un salto a esta industria, durante la segunda guerra mundial, en muchos de los adelantos

científicos y sociales actuales, la utilización de plásticos genera todo tipo de productos que satisfacen a la necesidad del momento, surgió una evidente evolución y con ello la industrialización del termoformado.

A décadas de los años 50, 60, 70's el termoformado alcanzo un desarrollo impresionante, se generaron productos para cada necesidad a base de formar laminas plásticas. Esto desarrollo las técnicas de producción, control y distribución, entre otras. Por medio de la electrónica existen procesos de termoformado muy complejos que incluyen hasta instrumentos de autocontrol y de diagnóstico que pueden ser operados en su mayoría por una sola persona correctamente capacitada para cierta función. [5]

Considerando lo anterior la pequeña y mediana industria no cuenta con lo necesario para contar con este tipo de recursos de alto costo por ello los procesos se realizan de forma manual, disminuyendo así la capacidad de producción y el riesgo del personal laboral.

Desde el inicio del termoformado, la industria del empaquetado ha tenido más beneficio debido a sus cualidades de alta producción, aumentando la relación costo-beneficio. Para [5] los procesos alimenticios entre los cuales encontramos empaques y comida para llevar, utilizan en su mayoría todo tipo de termoformado para refrescos, dulces, carnes frías, hamburguesas entre muchos otros.

Polímero

Es un material que supone la revolución en el mundo de los plásticos y el primero que genera una nueva evolución como compuesto sintético termoestable está a manos del químico Leo Baekeland, como cita Antonio Miravete en su publicación “Los nuevos materiales en la construcción”, mencionando que:

“La bakelita fue el primer polímero completamente sintético, fabricado por primera vez en 1909. Recibió su nombre del de su inventor, el químico estadounidense Leo Baekeland. La baquelita es una resina de fenolformaldehído obtenido de la combinación del fenol (ácido fénico) y el gas formaldehído en presencia de un catalizador; si se permite a la reacción llegar a su término, se obtiene una sustancia bituminosa marrón oscura de escaso valor aparente. Pero Baekeland descubrió, al controlar la reacción y detenerla antes de su término, un material fluido y susceptible de ser vertido en moldes” [6]

Debido a este compuesto plástico a partir de la química se puede apreciar que se puede mejorar las composiciones de los plásticos naturales, para que esto tenga un gran avance en la industrialización y la comercialización de los nuevos polímeros como el acetato o las resinas urea-formaldehído con la cual se presta para elaborar objetos transparentes.

En la sociedad la creciente demanda en los productos de consumo genera más elaboración de objetos de plástico.

En la historia de los plásticos en 1915 cuando se descubre la formación de polímeros por el encadenamiento molecular de dos o más monómeros de diferente naturaleza (copolimeración), se genera una mayor variedad de plásticos que se adecuan para una gran variedad de aplicaciones, durante la década de los 30 en el desarrollo

industrial de los polímeros más importante hasta la actualidad ha sido el policloruro de vinilo, el poliestireno , las poliolefinas y el poli metacrilato de metilo, y todo este desarrollo remonta a los años de 1930 a 1935 por el nacimiento de la técnica de los termoplásticos. [7]

El código de los plásticos

Los plásticos en la sociedad son necesarios porque han contribuido a facilitar el modo de vida, sus aplicaciones son grandes por lo que están presentes en nuestro medio en gran cantidad por lo que desde 1988 el *Bottle Institute de la Society of the Plastics Industry*, crea un sistema de código para identificar los recipientes de plásticos. En la Ilustración 3 cada código tiene un número de un símbolo triangular y una abreviatura debajo a fin de identificarlos correctamente para su posterior reciclaje.

Los propósitos originales de la SPI fueron:

- Brindar un sistema adecuado para la facilidad al reciclar los plásticos usados,
- Concentrarse en los recipientes plásticos,
- Ofrecer un medio que identifique el contenido de las resinas de las botellas y recipientes que se encuentran en los residuos,
- Brindar una codificación para los tipos de resinas más comunes y una categoría única para los otros tipos que no se encuentren en los otros grupos.

	PET	Tereftalato de polietileno – Botellas de refrescos y bandejas de platos preparados para microondas.
	HDPE	Polietileno de alta densidad – Botellas de leche y líquido lavavajillas.
	PVC	Cloruro de polivinilo – Bandejas de alimentos, película plástica, botellas de agua.
	LDPE	Polietileno de baja densidad – Bolsas de plástico.
	PP	Polipropileno – Envases de margarina.
	PS	Poliestireno – Envases de yogurt, bandejas para alimentos, envases de comida rápida, embalajes de electrodomésticos.
	OTROS	Todos los otros plásticos – Melamina, utilizada en enseres domésticos.

Ilustración 3. Código Numérico De Identificación De Plásticos. Recuperado de [8].

Los plásticos son materiales más eficientes desde el punto de vista energético. Al usar el plástico y reciclarlo se ahorra más el petróleo que se emplea en su propia fabricación. La materia prima que se utiliza para la fabricación consume tan solo un 4% del total del petróleo.

En su vida final del plástico, la energía equivalente es de 1,9 millones de toneladas de petróleo que puede ser recuperada como fuente de electricidad o calefacción. [8]

Termoplásticos

Los polímeros están formados por moléculas que a su vez están formadas por átomos. Estos átomos tienen muchas combinaciones diferentes para que tengan propiedades diferentes también contienen una amplia gama de aditivos para dar a cada material sus propias características.

Los plásticos comprenden una amplia gama de materiales, pero fundamentalmente se dividen en dos grupos, termoestable y termoplástico. Al hablar de este segundo es un material que debido a su estructura molecular tienen la propiedad de ablandar repentinamente cuando se calienta y vuelve a endurecer cuando se enfría.

Algunos termoplásticos poseen la característica que se conoce como memoria permitiendo que una parte formada vuelva a su estado original cuando se recalienta. [4]

Todos los termoplásticos son adecuados para el proceso del termoformado, dichos materiales cuando son sometidos al calentamiento representan una variación en su módulo de elasticidad, dureza y capacidad de resistencia bajo carga. Con el incremento de temperatura que rebase el HDT (temperatura de deflexión térmica), el material entra a un estado ahulado y esto se puede apreciar inmediatamente con la deformación suficiente de la gravedad. [5]

Los termoplásticos se dividen en dos grupos diferentes: amorfo y cristalino.

Los termoplásticos cristalinos contienen una forma ordenada de moléculas y los amorfos contienen un arreglo aleatorio.

En términos generales, para [4], los materiales amorfos, por ej. El poliestireno y el ABS son más fáciles de termoformar ya que no tienen una temperatura de formación tan crítica.

Con el calor los materiales amorfos aplicados temperatura se vuelven suaves y flexibles cuando alcanzan el estado de temperatura de transición de vidrio (T_g). Si se calienta a un nivel más alto la temperatura alcanza un estado viscoso (T_v). Los cambios se producen en un rango de temperaturas y permiten al operador tener un rango de formación bastante amplio.

Los materiales semicristalinos y cristalinos, p. Ej. El polietileno y el polipropileno tienen una temperatura de formación mucho más crítica y avanzan rápidamente desde el estado T_g a T_v , cambio conocido como la temperatura de transición de fusión (T_m). Cuando se usa cristalino es imperativo que se utilicen controles de temperatura precisos para controlar el proceso de calentamiento.

Las bandas de temperatura de formación para materiales amorfos son mucho más anchas y como ese resultado son fáciles de procesar en comparación con los semicristalinos, tienen una resistencia de derretimiento mucho mejor y no alcanzarán la transición del fundido. [4]

Un aspecto importante que hay que tener en cuenta en el termoformado es la aplicación de las propiedades térmicas de los polímeros con esto se reducirá aspectos relevantes y críticos del proceso, ayudará a disminuir el riesgo de mala elaboración final del producto y desperdicio de material en la pre-producción. En la tabla 1 se muestran las

propiedades térmicas de los polímeros más relevantes para la aplicación del termoformado.

Tabla 1
Polímeros adecuados y más comunes para el termoformado

Polímeros	Temperatura de deflexión al calor			Temperatura de termoformado		
	A 264 PSI(°C)	A 66 PSI(°C)	Sin Carga (°C)	Temp. de la hoja(°C)	Temp. del molde (°C)	Temp. de ayuda (°C)
Acrílico extruido	94	98		135-175	65-75	
Acrílico cell-cast	96	110		160-180	65-75	
Acetobutirato de celulosa	65-75	75-80	120-150	140-160		
Polietileno de alta densidad		60-80	100	145-190	95	170
Polipropileno	55-65	110-115	140	145-200		
Poliestireno	70-95	70-100	100	140-170	45-65	90
Poliestireno de alto impacto	85-95	90-95	120	170-180	45-65	90
SAN	100	105		220-230		
ABS	75-115	80-120	95	120-180	70-85	90
Polivinilo de cloruro(P.V.C.)	70	75	110	135-175	45	80
Policarbonato	130	140	160	180-230	95-120	140

Nota. Adaptado de Plastiglas de México. (2002). Manual Técnico de Termoformado. (p.8). Recuperado de: www.plastiglas.com.mx

1.1.2 Propiedades térmicas

La energía es disipada a través de la fricción y de ahí aparece una forma de energía térmica interna de un cuerpo denominada calor.

En algunas veces de forma deliberada al subir el calor en una sustancia se puede aumentar su temperatura y se alteraría su forma. El calor específico y la conductividad térmica son las propiedades físicas de los polímeros que se deben usar en el proceso de termoformado.

Los plásticos no son buenos conductores de calor, es por ello que las láminas de espesores gruesos requieren un tiempo de calentamiento largo.

Para el calentamiento de la lámina de plástico en el termoformado hay que considerar el método de calentamiento y su tamaño de este equipo de calentamiento.

En ciertos casos se puede reducir el tiempo de calentamiento de la lámina de plástico y mantenerla a una temperatura adecuada para su posterior termoformado, pero para láminas de espesor menos a 6mm es muy poco común realizar esto.

En los plásticos es necesaria una cantidad de calor alta para poder elevar la temperatura, para realizar un calor requerido en una lámina de plástico se puede aplicar la siguiente fórmula:

$$Cr = L \times A \times E \times \rho m \times (Ce \times \Delta t + Cf) \quad \text{Ecuación 1. Calor requerido en lámina de plástico}$$

Donde:

Cr = calor requerido,

L = Largo,

A = Ancho,

E = Espesor,

ρm = Densidad del material,

Ce = Calor específico,

Δt = Diferencia de temperatura,

Cf=Calor de fusión.

Tabla 2
Propiedades térmicas de algunos materiales

Materiales	Gravedad específica g/cm³	Calor específico Btu/Lb	Conductividad térmica Btu ft/sq ft hr °F	Coefficiente térmico de exp. Lineal in/in °F¹⁰
Aire	0.0012	0.24	0.014	
Agua	1	1	0.343	
Hielo	0.92	0.5	1.26	2.8
Madera suave	0.5	0.4	0.052	1.5
Madera dura	0.7	0.4	0.094	1.5
R. fenólicas	1.5	0.3	0.2	3-5
R.epóxicas	1.6-2.1	0.3	0.1-0.8	1.5-2.8
Polietileno	0.96	0.37	0.28	7
Acrílico	1.19	0.35	0.108	3.5
Policarbonato	1.2	0.30	0.112	3.7
Grafito	1.5	0.20	87	0.44
Vidrio	2.5	0.20	0.59	0.5
Cuarzo	2.8	0.20	4 y 8	0.4 y 0.7
Aluminio	2.7	0.23	90	1.35
Acero	7.8	0.10	27	0.84
Cobre	8.8	0.092	227	0.92

Nota. Adaptado de Plastiglas de México. (2002). Manual Técnico de Termoformado. (p.19). Recuperado de: www.plastiglas.com.mx

1.1.3 Comportamiento de los termoplásticos durante el calentamiento

Al instante de realizar el calentamiento de los termoplásticos existen varios factores que hay que tomar en cuenta como muy importantes:

- El periodo de calentamiento
- La expansión y el alabeo
- La resistencia del material a la temperatura del conformado
- Rango de temperaturas para el conformado
- Gradiente de temperatura en el espesor del material

1.1.4 Influencia del periodo de calentamiento

El proceso de calentamiento de la lámina está sujeto al grado del plástico (PS, PVC, etc.), el color y el espesor de la lámina.

Según [2], en la práctica, se comienza con la energía calorífica máxima disponible y a continuación se reduce gradualmente la entrada de calor. Si después del calentamiento o durante el termoconformado la temperatura del material está por debajo de la temperatura mínima de termoconformado el proceso se vuelve imposible o se produce con un acabado de muy baja calidad.

Un tema que no se resuelve con facilidad es la temperatura del material ya que no puede ser medido sin ser destruido ya que por ello para este proceso se necesita una experiencia para configurar los parámetros necesarios de la calefacción.

Un material con la sección transversal menor es más fácil de moldear por su diferencia de temperatura pequeña y el producto final obtendrá propiedades mecánicas mejores que una lámina calentada a temperaturas dañinas para su termoconformado y una pésima distribución de espesor en sus paredes.

Durante un tiempo de calefacción se puede calentar una lámina de hasta 2,5 mm de espesor y después de este es conveniente calentar la lámina por ambos lados.

Selección del material

Los polímeros ocupados para el termoformado son muy variados dependiendo de la aplicación en la tabla 1 se muestra los polímeros más comunes en el mercado y en ellos el más usado para la aplicación de moldes de chocolate es el policloruro de vinilo (PVC).

El PVC es una combinación química entre el carbono, hidrogeno, y cloro. Su característica es ser termoplástico es decir que bajo la acción del calor se reblandece u puede así moldearse fácilmente al enfriarse recupera la consistencia s de su estructura inicial y conserva su nueva forma.

Es un material resistente a la abrasión, bajo peso, resistencia mecánica y resistencia al impacto que se llegado a aplicar en la construcción y edificación.

Su aplicación es muy apreciable con la prioridad en la higiene, sus características ofrecen aplicaciones hasta médicas, al ser resistente tiene una durabilidad de años(construcción), es un material muy seguro ya que no se quema con facilidad, se aplica en la protección de cables electricos en el hogar, ofician e industrias. Es un material reciclable que puede ser reconvertido en sí mismo.

1.1.5 PVC en packaging

El PVC se puede establecer como un embalaje competitivo ya que se puede aplicar en el empaque de alimentos frescos, envases para cosméticos y farmacéuticos, agua mineral, productos de higiene persona y limpieza del hogar. Muy importante en la aplicación de productos medicinales como bolsas de sangre y envases para suero, dependiendo de sus características ya sea el brillo, la transparencia, fácil rotulación, higiene y seguridad a los alimentos o dando forma a los envases modernos o practica manipulación, el PVC se distingue como un producto versátil y garantiza todas las propiedades características que el consumidor requiere del producto.

En la Tabla 1 se observa las propiedades del polivinilo de cloruro, su temperatura de deflexión al calor es de 110°C y su temperatura de termoformado es de 135°C a 175°C.

En la Tabla 3 se muestra un resumen de la relación de la temperatura con el espesor de la sección en la lámina de PVC de una maquina calentadora Formech de calefacción infrarroja, se tomará como guía para determinar el tiempo que se necesitara para calentar la lámina de PVC.

Tabla 3
Relación entre espesor y tiempo de calentamiento de lámina PVC

Material	Espesor(mm)	Tiempo de Calentamiento
	1	30
	1,5	45
PVC	2	60
	3	90
	4	120

Nota: Adaptado de Formech International Ltd. (2010) . [4].(p15).

Consideración para el diseño de productos

Los termoplásticos son muy bueno para el diseño de productos, pero hay que tomar en cuenta sus limitaciones, por esto se ha de aclarar las siguientes consideraciones:

- Resistencia y rigidez
- Resistencia al impacto
- Temperaturas de servicio

- Expansión térmica
- Espesor de las paredes
- Secciones huecas
- Esquinas

1.1.6 Resistencia y rigidez

Los plásticos no son tan fuertes ni tan rígidos como los metales es por ello que en el diseño no se puede aplicar diseños que requieran de una carga superior a esta propiedad.

La resistencia de los plásticos varia significativamente dependiendo a su composición y la relación de resistencia al peso para algunos polímeros plásticos es competitiva con los metales en ciertas aplicaciones.

1.1.7 Resistencia al impacto

La capacidad de los plásticos para absorber los impactos en general es buena, se los puede comparar favorablemente con la mayoría de los materiales cerámicos.

1.1.8 Temperaturas de servicio

Esta propiedad es limitada por su diferente composición a diferencia de los metales de ingeniería y a los cerámicos.

1.1.9 Expansión térmica

Es la propiedad que da cambios de dimensiones debidos a las variaciones de la temperatura es mejor en los plásticos que en los metales. Muchos tipos de plásticos se degradan por la exposición a diferentes tipos de radiación como la del sol u otras, en algunos casos los plásticos se degradan con la interacción de oxígeno y ozono. Los plásticos son solubles a diferentes solventes comunes y son resistentes a mecanismos convencionales de corrosión que afligen a muchos metales.

Para el proceso de extrusión en el conformado del plástico se debe tomar en cuenta otros factores como:

1.1.10 Espesor de las paredes

El espesor de las paredes es conveniente tener en cuenta su espesor ya que al ser moldeado no tendrá un espesor uniforme, las paredes son el resultado de un flujo plástico no uniforme y de un enfriamiento irregular que tiende a arrugar la extrusión.

1.1.11 Secciones huecas

Las secciones huecas complican el diseño, es aconsejable usar formas transversales extruidas que no sean huecas y que satisfagan lo requerimientos funcionales para que no exista mala conducción y falta de aire en estas secciones.

1.1.12 Esquinas

Se debe evitar las esquinas agudas dentro y fuera de la sección transversal ya que provocan un flujo irregular durante el proceso y deja concentraciones de esfuerzos en el acabado del producto final. [5]

Medios de transmisión de calor

Par situaciones practicas se puede dividir los medios de calor en cuatro tipos:

- Calentamiento por contacto
- Calentamiento por inmersión
- Calentamiento por convección
- Calentamiento por radiación infrarroja

1.1.13 Calentamiento por contacto

Es el método de calentamiento más rápido, su proceso es colocar la hoja de plástico íntimamente en contacto con una placa caliente de metal. Se usa especialmente para la producción en masa de artículos pequeños y delgados.

1.1.14 Calentamiento por inmersión

Un método que consta en sumergir la hoja de plástico en algún líquido que trasfiere el calor lo más uniformemente posible y rápidamente, es complejo para partes grandes por su limpieza y manipulación.

1.1.15 Calentamiento por convección

Los hornos de convección de aire son ampliamente utilizados, porque poseen un calentamiento uniforme y pueden, en cierto grado, secar algún material que contengan algún porcentaje de humedad. Estos hornos proveen un gran margen de seguridad con respecto a las variaciones en el tiempo de los ciclos de termoformado.

Todos estos medios de calentamiento requieren un tiempo de precalentado considerable en el equipo.

1.1.16 Calentamiento por radiación infrarroja

Este método proporciona calentamiento instantáneo, sus ciclos de exposición son cortos que a veces basta con uno segundos. La superficie de estos calentadores por radiación puede estar entre los 315° C a 705° C.

Debe observarse que, a temperaturas más altas, la masa de la radiación ocurre a longitudes de onda más baja. En contraste, a temperaturas más bajas, la radiación se esparce sobre longitudes de onda mayores; y esto es sumamente importante, puesto que cada plástico absorbe radiación infrarroja en distintas regiones. Solo la radiación absorbida se utiliza para calentar el plástico directamente. [9]

Función de la maquina termoformadora

El termoformado consta en su mayoría de diseños de las siguientes etapas: sujeción de la lámina, precalentamiento, formado (vacío, presión, mecánico), enfriamiento (agua,

aire, rocío de flujo), corte, expulsión. Por lo cual se ha dividido el sistema en secciones o subconjuntos para su análisis y diseño.

Subconjunto mesa de vacío. -Su estructura cumple con la función de generar una cámara de vacío en la cual se apoya la lámina con un alcance de toda la superficie y se genere un flujo de aire a través de agujeros que darán forma al diseño.

Subconjunto estructura. -Es el desarrollo del mecanismo y soportes de cada uno de los elementos que se van a acoplar a la máquina.

Subconjunto calefacción. -Es una cámara en la cual se generará una variación de temperatura mediante resistencias eléctricas.

Subconjunto sistema eléctrico. -La composición de todo se sistema eléctrico para generar el control de la máquina.

Subconjunto soportes de lámina. -Una estructura que ayudara a la sujeción de la lámina para que esta se encuentre fija en todo su proceso de cambio de forma.

Moldes para el termoformado

En el termoformado según [10] la parte esencial del proceso es el molde porque en este se realiza el conformado de la pieza. Con el molde se le otorga a la pieza características como simetría, pulidez y entre otras. Los moldes suelen ser económicos o dependiendo del material que se quiera para el acabado final que se desee obtener.

En algunas aplicaciones estos son contruidos con más de una pieza, lo importante en el molde es la ubicación adecuada de las zonas de aspiración para así realizar el vacío sobre la lámina, se introducen finos orificios que permiten la entrada y salida del aire.

1.1.17 Criterios para el diseño del molde

- a) Un molde macho es más fácil de usar, económico y su aplicación en termoformado de piezas profundas que su contraparte (molde hembra).
- b) En el molde se debe ubicar los orificios tan adecuadamente que la hoja pueda adaptarse al molde. Se recomienda que los orificios sean suficientemente pequeños ($1/32$ a $1/8$ de diámetro) y ensanchando el orificio en su parte interna para no dejar marcas en la lámina.
- c) Si las dimensiones de la pieza son críticas el molde debe ser con una dimensión que compense la contracción de polímero, se debe considerar un 1% de encogimiento al momento del enfriamiento.
- d) Es aconsejable realizar una curvatura en el molde para superficies planas de áreas grandes.
- e) No se puede generar piezas de 90° por ello se debe realizar un molde que tenga un ángulo de salida de 3° por lo mínimo.
- f) Es aconsejable redondear las aristas para evitar la acumulación de esfuerzos internos en la lámina ocasionados por los vértices.
- g) Se puede diseñar con orillas que ayuden al refuerzo en partes delgadas y débiles o en áreas planas de gran tamaño.
- h) Para el empaquetado de productos hay que tomar en cuenta la expansión de los materiales.

1.1.18 Tipos de materiales en los moldes

Los moldes en el proceso de termoformado se pueden realizar en una amplia variedad de material ya que las variables que se ocupan en el proceso no son grandes.

Los moldes de madera son adecuados para una producción baja ayuda a que no se enfríe la lámina en el proceso de termoformado, no es aconsejable cuando se realiza una producción más grande.

En una producción media es aconsejable realizar los moldes con sustancias minerales o metálicas y resinas poliéster, epóxica o poliuretano rígido, por su resistencia a cargas térmicas. En el caso de producción alta es mejor usar moldes de aluminio, pero este debe ser precalentado antes del proceso debido a su conductividad térmica.

Variables en el termoformado

Como se indica en [11], para realizar un estudio de las variables que se presentan en el proceso de termoformado se ha llegado a determinar dos tipos:

1.1.19 Variables independientes

- Temperatura
- Tiempo
- Espesor de la lamina
- Tipo de plástico
- Dimensión de la lamina
- Tipo de molde

1.1.20 Variables dependientes

- Acabado superficial
- Producción
- Desperdicio de material

Tomando muy en cuenta hay variables que influyen directamente en el aspecto, calidad, y dimensiones del material en el acabado final del diseño de la pieza [9].

Tomando en cuenta las variables anteriores se puede decir que aquellas que más sobresalen en el proceso de termoformado son:

1.1.20.1 Espesor de la hoja

Al emplear un calentamiento en la lámina mediante radiación infrarroja o resistencia eléctrica, puede originar una variación en el espesor de la hoja por mala distribución del calentamiento es por ello que hay que tener en cuenta en el diseño del molde las zonas delgadas para así reducir el error en el acabado final de la pieza.

1.1.20.2 Tamaño de la hoja

Para aplicaciones que se necesita tener una pieza de mayor profundidad en el molde es adecuado utilizar una lámina de mayor tamaño que una con más espesor.

1.1.20.3 Temperatura de la hoja

La hoja al calentarse disminuye su fuerza de tensión u se hace más maleable. Por ello es indispensable un calentamiento homogéneo a través de toda la lámina, la condición adecuada para un resultado bueno es realizar el calentamiento a un rango inferior a la temperatura de revenido.

1.1.20.4 Orificios de succión

La calidad del producto final también depende de la velocidad de la succión que se realiza a la lámina. Por ello se debe considerar tener una succión uniforme para que el molde se pueda enfriar en todas sus secciones.

1.1.20.5 Superficie del molde

El acabado de la pieza final depende del aspecto del molde, si este tiene un acabado mate el material tendrá un aspecto opaco pero un acabado pulido le dará a la pieza un resultado brillante.

Automatización del sistema

Para el concepto de automatización se puede expresar como la realización de uno o diversos procesos, donde se pueda obtener el control de las variables que se encuentran en el sistema (tiempo, temperatura, presión, etc.) con la mínima interacción de la mano del operario más que la supervisión del proceso o el mantenimiento, en donde se emplee diferentes tipos de energía [12].

Para aplicaciones de la maquina se emplea un tipo de automatización programable, es decir que el operario puede cambiar las características de la máquina para que pueda ser funcional en otros procesos similares, pero con diferentes características específicamente el tamaño y tipo de material a usar en la máquina.

Para un sistema automático, Figura 1 se orienta a una jerarquía de dispositivos que ocupan diferentes elementos.

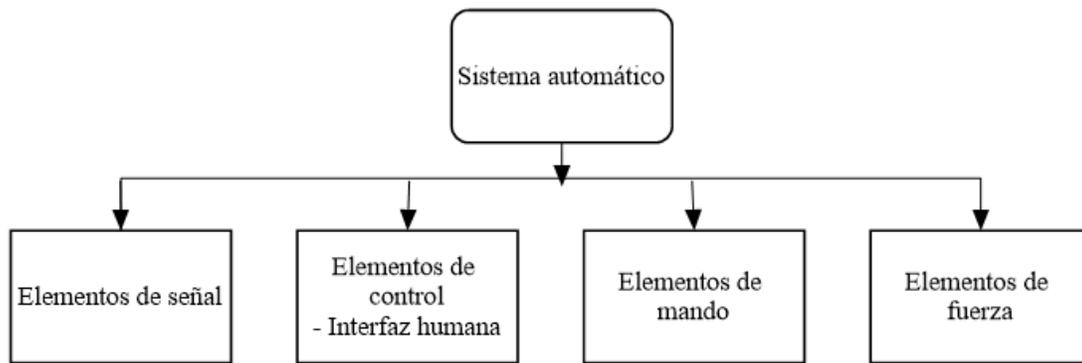


Figura 1. Esquema de la configuración de un sistema automático. Adaptado de [12] pg.20. (2015)

1.1.21 Elementos de señal

Los elementos que se analizan son las entradas que tiene la máquina termoformadora, elementos que perciben alguna magnitud física y a convierte en una señal digital o analógica, que se dirige a la etapa de control y actúa con algún elemento de mando. Son los elementos como pulsadores, interruptores, y sensores que se pueden ocupar.

1.1.21.1 Algoritmos y leyes de control

Para realizar un control automático es importante conocer el proceso de manufactura o industrial, y es necesario conocer ciertos términos que se utilizan en todo sistema de automatizado.

Señal de salida: Es la variable que se desea controlar (en este caso es la temperatura), también se denomina variable controlada.

Señal de referencia: Es el valor que se desea que alcance la señal de salida (Set point).

Error: es la diferencia entre la señal de referencia y la señal de salida real.

Señal de control: Señal que produce el controlador para modificar la variable controlada de tal forma que se disminuya y casi se elimine el error (Output).

Señal analógica: Señal continua durante cierto tiempo

Señal digital: Señal que toma valores de 1 y 0.

Planta: Es el elemento físico que se desea controlar. En este caso sería el horno y el sistema de disparo de los pistones neumáticos.

Proceso: Es toda la operación que conduce al resultado esperado.

Sistema: El conjunto de elementos que actúan en sincronización para realizar el objetivo deseado.

Perturbación: La señal que tiende a realizar cambios en la salida del sistema generando valores no deseados.

Sistema de control en lazo cerrado: Aquel sistema que está siendo monitoreada su señal de salida y comparándola con la señal de referencia para así calcular el error que se produce y trata de corregirlo lo más pronto posible para llevar la señal al valor deseado, también se lo conoce como control retroalimentado.

Sistema de control en lazo abierto: Es el tipo de sistema que su señal de salida no es monitoreada para generar una señal de control.

1.1.22 Elementos de control

Son los elementos o dispositivos que controlan el sistema que ejercen una acción ante cualquier señal que perciba de los elementos de entrada y que devuelve una señal a los elementos de mando.

Estos elementos son supervisados por el operario o también denominado como interfaz humana, ya que este puede condicionar o programar a los elementos dependiendo de los requerimientos que necesite la máquina. Aquí se encuentran la computadora que controla el sistema.

1.1.22.1 Especificación

Conocimiento de la planta o proceso.

Esta parte es de interés ya que es la parte fundamental de la automatización del sistema es decir aquí en el sistema de control se realiza el estudio de del proceso automático que puede realizarse para elaborar los moldes.

Estudio y definición de necesidades

La necesidad principal en la automatización de este proceso es conseguir el control necesario para la resistencia, el movimiento del bastidor, el movimiento del calefactor y la etapa de succión.

Estudio y definición de variables a controlar

Tomando estas consideraciones se podría dividir en cuatro etapas en el control, un sistema de interacción en el cual se puede dar parámetros para el proceso mediante la interfaz con el usuario, un sistema de control que realiza el algoritmo de comandos para cumplir las acciones automáticas, la parte operativa conlleva a los elementos que han sido controlados todos los sensores y los actuadores que se puede utilizar en la máquina, y la planta o proceso es la acción del proceso de control donde se observa cada movimiento por acción del control establecido.

Para entender esto se puede observar el siguiente esquema que muestra un proceso de control.

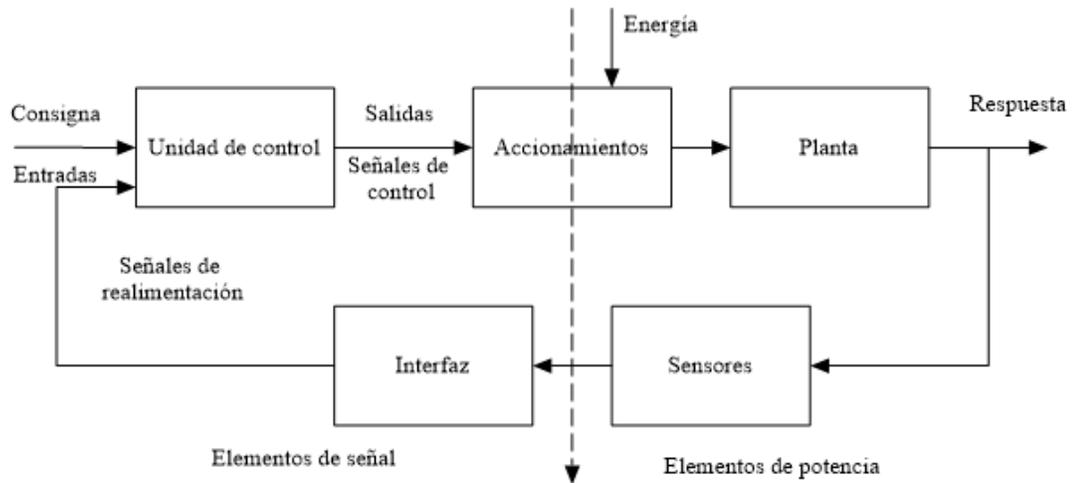


Figura 2. Sistema de control en bucle cerrado. Realizado por Autor: (Romo Jimmy).

Diseño del sistema de control

Para realizar un diseño se dividirá en los elementos propuestos que tendrá el sistema para su control tales como señales de entrada y señales de salida mostrados en la Figura 3.

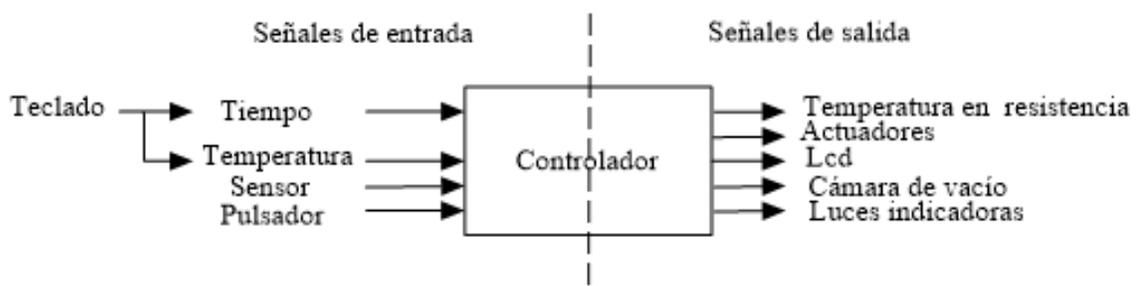


Figura 3. Diagrama con entradas y salidas en el sistema de control para termoformadora. Realizado por: Romo Jimmy.

1.1.23 Elementos de mando

Elementos electromecánicos que actúan mediante una señal recibida del elemento de control para transformarla en energía mecánica.

1.1.23.1 Electroválvulas

Son elementos que controlan el arranque, la parada, dirección y sentido del flujo de aire en un circuito neumático.

La válvula de ejemplo, Ilustración 4 ha de funcionar mediante el mando de una señal eléctrica que es transformada en una señal neumática, destinada a accionar el mecanismo de cierre o apertura de las distintas vías de la válvula. [13]



Ilustración 4. Electroválvula (cortesía de FESTO, Alemania). Recuperado de: [13].

1.1.24 Elementos de fuerza

Elementos que actúan sobre el proceso generando un trabajo en su estructura para cumplir con la acción a realizar.

1.1.24.1 Cilindros de doble efecto

Son aquellos que realizan su trabajo tanto en carrera de avance como en retroceso por la acción del aire comprimido. Los cilindros de doble efecto siempre contienen aire en una de sus dos cámaras por lo que se asegura su posicionamiento.

Según [13], el cilindro neumático se compone básicamente en tapa trasera(1), tubo o camisa(3), pistón(6), vástago(7) y tapa delantera(9), en las tapas se montan juntas estáticas (2), en el pistón juntas estáticas(4) y dinámicas(5), y en el vástago la dinámica(8), la junta (10) es lo que se denomina anillo rascador, y tiene por misión limpiar el vástago de polvo o de impurezas que adquiere al ponerse con contacto al ambiente.

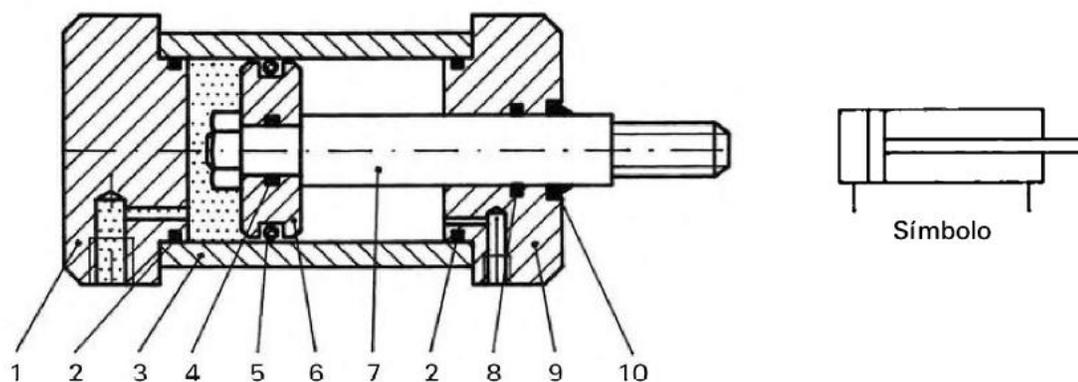


Ilustración 5. Cilindro de doble efecto. Recuperado de: [13]

En el cilindro de doble efecto una cámara recibe el aire a presión y la otra esta comunicada a la atmosfera generando una diferencia de presiones por lo cual se realiza esto mediante una válvula de control que por lo general es de 4 o 5 vías con 2 o 3 posiciones [14].

Según [13], la fuerza desarrollada por un cilindro de doble efecto al avanzar el vástago depende de la presión del aire, de la sección del embolo y del rendimiento o pérdida por rozamiento en las juntas dinámicas. Para el retroceso se ha de considerar también el diámetro del vástago.

Método de criterios ponderados

Para [15], en la etapa de diseño conceptual se puede decidir entre diversas soluciones conociendo el orden de preferencia en una evaluación global.

En este método se puede evaluar los parámetros de cada elemento mediante sus propiedades sin tener que estimar numéricamente el peso del criterio.

En este método se realiza talas con cada criterio o solución y se hace una comparativa con otros criterios para realizar valores, así como:

- 1 si el criterio o solución es superior en las filas que en las columnas.
- 0.5 si el criterio o solución es equivalente tanto en filas como en columnas.
- 2 si el criterio o solución de las filas es inferior que el de las columnas.

A continuación, se suman los valores asignados en relación con los demás criterios y se le añade una unidad (para que la solución as desfavorable no tenga una valoración nula), y en otra columna se suman los valores ponderados para cada criterio.

Consideración para la automatización del sistema

De acuerdo con la estructura existente de la máquina de termoformado se ha considerado tomar en cuenta los siguientes aspectos para la automatización del proceso de termoformado.

Un análisis para la elaboración de un calefactor que cumpla con las condiciones que soporten la transferencia de energía producida por el banco de resistencias.

Un bastidor que cumpla con las dimensiones requeridas de trabajo 0,420 x 0,297 m.

La cámara de succión adecuada que cumpla con características para la elaboración adecuada de las piezas.

Un cambio en la estructura de la máquina que soporte con la adecuación de los elementos y demás componentes en conjunto de todo el sistema.

Un control accesible y de fácil operación, una interfaz que sea capaz de cumplir los parámetros que el usuario necesite para el desarrollo de las piezas de termoformado.

Capítulo III

Metodología

Estructura de la máquina

La empresa Multipaneles CIA.LTDA. tiene en posesión una maquina termoformadora, Ilustración 6 , pero pese a su trabajo y desempeño se encuentra con problemas en su diseño y en la calidad del producto final, es por ello que se realiza un diseño tomado a base del mismo y se opta por una propuesta para su automatización para el mejoramiento adecuado para la producción deseada.



Ilustración 6. Máquina termoformadora de empresa MULTIPANELES CIA.LTDA.
Fuente: Autor (Romo Jimmy).

Según el funcionamiento de una máquina de termoformado convencional de una sola área de trabajo, como en la Ilustración 7 se clasifica en etapas para que se pueda realizar el proceso de termoformado.

1. Calefactor
2. Bastidor de sujeción
3. Cámara de vacío
4. Estructura
5. Sección neumática
6. Sección de control

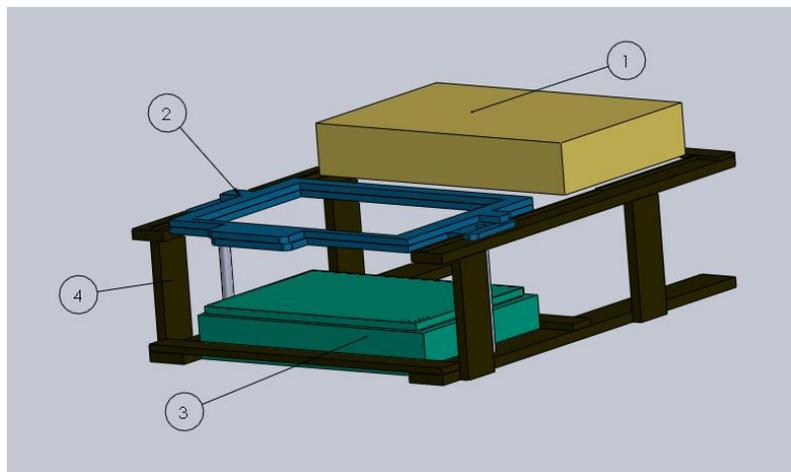


Ilustración 7. Estructura de la máquina de termoformado de la empresa MULTIPANELES CIA.LTDA. Fuente: Autor (Jimmy Romo R.)

Esta máquina tiene un proceso manual por lo cual para su mejoramiento se realizará un análisis en los elementos de neumática y control, componentes que se adecuarán a una debida automatización y que serán de importancia en la implementación al diseño establecido.

Funcionamiento de maquina termoformadora de la empresa Multipaneles

CIA.LTDA.

Su proceso de termoformado se basa fundamentalmente en el mecanismo de termoformado convencional, para ello se describe el funcionamiento que emplea esta máquina para así determinar los elementos a analizar, se define los elementos de entrada y salida a su respectivo control e interfaz con el operario para así lograr una automatización adecuada en este proceso.

En la Figura 4 tanto como a continuación, se describe el funcionamiento de la maquina termoformadora de la empresa Multipaneles CIA.LTDA.

1. El proceso inicia cuando en la maquina se ha colocado la lámina de PVC en el bastidor y es sujeta para que no haya ninguna alteración posteriormente.
2. Se enciende el calefactor y es colocado manualmente sobre el bastidor, durante un tiempo establecido por el operario, este calienta la lámina de PVC.
3. En la trasformación de la lámina el operario hace que el calefactor sea alejado del bastidor y este sea bajado por ejes que lo sostienen.
4. Al tocar la lámina con la caja de succión esta persona enciende la succión hasta observar que tome forma la lámina de PVC, al terminar esto se desmolda la lámina y se realiza otro ciclo.

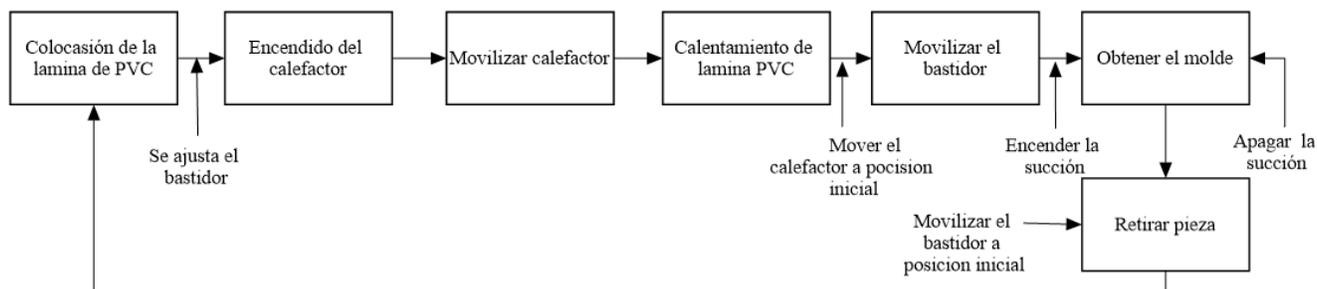


Figura 4. Diagrama del proceso de termoformado. Realizado por: Autor (Romo Jimmy)

Cabe recalcar que todo el proceso el operario lo realiza manualmente sin ayuda mecánica de ningún tipo.

Requerimientos de la maquina termoformadora

En la realización de la máquina de termoformado es necesario considerar diferentes especificaciones determinadas para la máquina, ver [12].

- Voltaje
- Potencia eléctrica
- Corriente eléctrica
- Área útil de formado
- Número de calefactores
- Control de temperatura
- Grado de automatización
- Tipo de sujeción en la lámina
- Capacidad de producción
- Costo-beneficio

Se propone la automatización de la máquina de termoformado para la empresa Multipaneles CIA.LTDA., y se desarrolla la implementación de las siguientes características.

- Realizar una nueva estructura que sea adecuada para la realización del proceso ya que actualmente está realizada con madera tipo MDF.

- Realzar un análisis de automatización para el calefactor y el bastidor los cuales están en contacto con el operario.
- Un control de temperatura para la resistencia en el calefactor.
- Una interfaz de funcionamiento para su operación.

Con esto se plantea realizar la maquina a un costo accesible, y su elaboración toma en cuenta el consumo eléctrico por el calefactor, el trabajo neumático, eléctrico y mecánico.

Limitaciones para el diseño

La máquina termoformadora ha sido realizada de manera personal por parte de la empresa lo cual el equipo tiene limitaciones a nivel industrial, sus características están enfocadas a la fabricación, alcance y cumplimiento con el ciclo de producción adecuado para las piezas a desarrollar.

El análisis promete realizar un método de diseño conceptual, producción y distribución de los materiales ocupados, para cumplir con el objetivo a realizar.

Para mencionar a la maquina como un diseño de bajo coste se reúne conceptos de un desarrollo practico, básico y económico que cumple con los objetivos requeridos. Ello implica que la máquina se enfoque a no tener un alto precio, con un grado de calidad y de mantenimiento razonable de acuerdo al precio.

La máquina representara un prototipo que supone una inversión para la empresa y así no estar limitada a comparación de grandes empresas que pueden costearse la adquisición de una maquinaria con todas las características de diseño y fabricación a gran escala.

Diseño estructural planteado

Para la estructura de la máquina de acuerdo con el método convencional de termoformado se plantea realizar el diseño por etapas para desarrollar cada uno de sus componentes.

2.1.1 Calefactor

Es indispensable tomar en cuenta el calentamiento que se produce en el proceso del termoformado, tomando en consideración las características de la lámina de PVC que su punto de deflexión es a 110 °C (sin carga) y su temperatura de termoformado está entre 135 y 175 °C como muestra la tabla 1.

Para la selección alternativa de calentamiento se considera las alternativas según el método de criterios ponderados.

Solución A. Alambre de níquel-cromo, Ilustración 8. Alambre sin recubrimiento, se lo aprecia en las secadoras de pelo o en tostadoras de pan.



Ilustración 8. Alambre de níquel-cromo en espiral. Adaptado de Resista. Resistencias en espiral de alambre. Recuperado de: www.resistaltda.com

Solución B. resistencia tubular, alambre de níquel-cromo que se encuentra recubierto por cerámica y con chaqueta de cobre, Ilustración 9, su aplicación es común en cocinas eléctricas, hornos eléctricos, cafeteras, entre otros.



Ilustración 9. Resistencias tubulares. Adaptado de Resister Perú, Resistencia eléctrica. Recuperado de: www.resisterperu.com.pe

Solución C. resistencias de cartucho, Ilustración 10, usadas en aplicaciones que implican moldes, matrices, platos, placas calientes y operaciones de sellado.

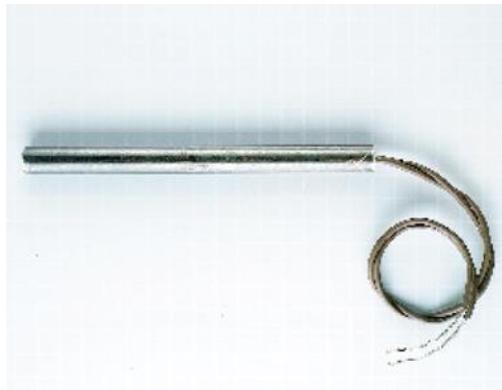


Ilustración 10. Calentadores de cartucho. Adaptado de Omega, Calentadores de cartucho de la serie CIR con vaina de Incoloy y alta densidad de vatios. Recuperado de: es.omega.com

Los criterios para la valoración de las soluciones en la calefacción son:

- a) Robustez: que soporte altas temperaturas y que no se deteriore con el funcionamiento a un largo periodo de trabajo.
- b) Estabilidad: debe poseer la característica de poder controlar su temperatura sin tener que alterar su mecanismo de funcionamiento.
- c) Rango de temperatura: debe soportar la temperatura deseada para el proceso de termoformado.
- d) Costo: el valor a considerarse será el más adecuado para cumplir con el objetivo de menor coste.

Con la determinación de los criterios se prosigue al análisis de cada criterio.

1. Evaluación del peso específico para cada criterio

Tabla 4

Evaluación del peso específico de cada criterio en el calefactor

Criterio	Robustez	Estabilidad	Rango	Costo	$\Sigma+1$	Ponderación
Robustez		0,5	1	0	2,5	0,25
Estabilidad	0,5		0	1	2,5	0,25
Rango	0	1		0	2	0,2
Costo	1	0	1		3	0,3
				Suma	10	

2. Evaluación de peso específico del criterio robustez

Tabla 5

Evaluación del peso específico del criterio robustez en el calefactor

Robustez	Alambre de níquel-cromo	Tubulares	De Cartucho	$\Sigma+1$	Ponderación
Alambre de níquel-cromo		0	0	1	0,16
Tubulares	1		0,5	2,5	0,42
De Cartucho	1	0,5		2,5	0,42
			Suma	6	1

3. Evaluación de peso específico del criterio estabilidad

Tabla 6

Evaluación del peso específico del criterio estabilidad en el calefactor

Estabilidad	Alambre de níquel-cromo	Tubulares	De Cartucho	$\Sigma+1$	Ponderación
Alambre de níquel-cromo		0	0	1	0,16
Tubulares	1		0,5	2,5	0,42
De Cartucho	1	0,5		2,5	0,42
			Suma	6	1

4. Evaluación de peso específico del criterio rango en temperatura

Tabla 7

Evaluación del peso específico del criterio rango de temperatura para el calentamiento del calefactor

Rango	Alambre de níquel-cromo	Tubulares	De Cartucho	$\Sigma+1$	Ponderación
Alambre de níquel-cromo		0,5	1	2,5	0,42
Tubulares	0,5		1	2,5	0,42
De Cartucho	0	0		1	0,16
			Suma	6	1

5. Evaluación del peso específico del criterio costo

Tabla 8

Evaluación del peso específico del criterio costo para el calefactor

Costo	Alambre de níquel-cromo	Tubulares	De Cartucho	$\Sigma+1$	Ponderación
Alambre de níquel-cromo		0	0	1	0,17
Tubulares	1		0	2	0,33
De Cartucho	1	1		3	0,5
			Suma	6	1

A continuación, se realiza un análisis mediante una tabla de conclusiones

Tabla 9
Tabla de conclusiones entre los criterios de calefacción

Conclusión	Robustez	Estabilidad	Rango	Costo	Suma	Prioridad
Solución A	0,16	0,16	0,42	0,17	0,91	3
Solución B	0,42	0,42	0,42	0,33	1,59	1
Solución C	0,42	0,42	0,16	0,5	1,5	2

De acuerdo con la ponderación realizada se puede apreciar que la mejor alternativa a la solución para el calentamiento del calefactor es utilizar la solución B, es decir la utilización de resistencias de tipo tubular porque aplica los requerimientos más adecuados que se han considerado.

2.1.1.1 Etapa de calentamiento.

Con la selección de la resistencia tubular se optará por elegir la adecuada para que cumpla con las dimensiones establecidas para la caja de calentamiento, se ha considerado realizar un diseño de dimensiones 44 x 30 x 6,5 cm , la Ilustración 11 considera la medida de la resistencia obtenida, el aislamiento con las paredes del calefactor y la dimensión de la lámina que será calentada en la etapa de sujeción.

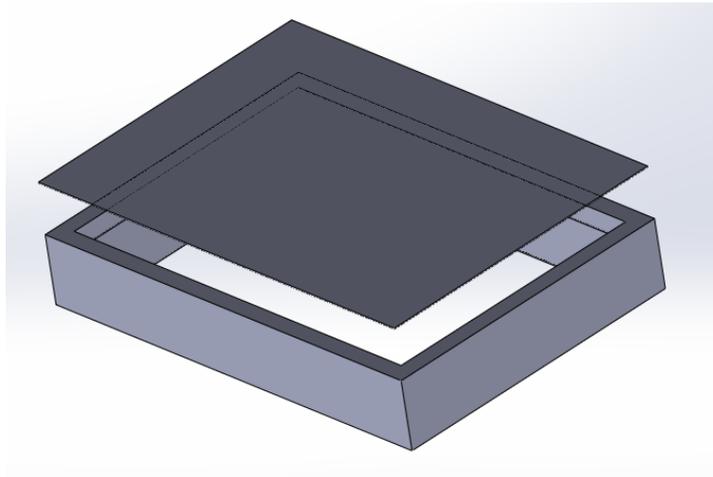


Ilustración 11. Caja de calentamiento realizado en SolidWorks 2016 Fuente: Autor (Jimmy Romo R).

Su construcción se realizara en tubo rectangular de dimensiones 20x40 mm, con espesor de 1.10 y un peso de 6,09 kg/6m. Anexo 10

2.1.1.2 Calor transferido

En este proceso se analizará las condiciones que necesita la lámina de PVC para que su trabajo sea optimo utilizando la resistencia tipo tubular y las dimensiones de la caja de calor.

Se ha de determinar el calor especifico que la lámina necesita para calentarse y el calor que se trasmite desde el calefactor y así tener la relación que optimice las características adecuadas para el termoformado.

Mediante la tabla 1, se requiere calentar la lámina de PVC a 160 °C para su termoformado. Si tomamos en cuenta que la temperatura promedio de la ciudad de Ibarra es 16,3 °C (Anexo 1) se diría que se necesita elevar la temperatura desde este valor hasta los 160 °C requeridos.

Mediante la selección en el anexo 2 se obtiene la densidad y el calor específico promedio de la lámina de PVC.

$$\rho = 0,014 \left[\frac{kg}{cm^2} \right] = 1400 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

$$c_p = 0,28 \left[\frac{Kcal}{Kg * ^\circ C} \right] = 1,172 \left[\frac{Kj}{Kg * ^\circ C} \right]$$

2.1.1.3 Cambios finitos de la energía interna

Según [16], los cambios finitos en la energía interna y la entalpia de un gas ideal durante un proceso se pueden expresar aproximadamente usando valores de los calores específicos a la temperatura promedio como:

$$Q = \Delta U = mc_{prom}(T_2 - T_1) \quad \text{Ecuación 2. Cambios finitos en la energía interna}$$

Donde:

m = masa,

c_{prom} = calor específico promedio,

T_2, T_1 = temperatura inicial, temperatura final.

La cantidad que se transfiere de calor a la lámina de PVC es una forma de cambio de energía interna.

Para [17], la densidad es una propiedad característica de la materia, cuando decimos que el plomo es pesado o que el aluminio es ligero, en realidad nos referimos a la densidad de estos materiales, la densidad se define como la masa por unidad de volumen.

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

Ecuación 3. Densidad para la materia

Donde:

ρ = densidad,

m = masa,

v = volumen.

despejando la masa se obtiene que:

$$m = \rho * v$$

Al remplazar con los valores antes descritos se tiene que:

$$m = 0,064[kg]$$

Para [16], la cantidad de calor transferido durante el proceso se denota por Q , la cantidad de calor transferido por unidad de tiempo se llama razón de transferencia de calor y se denota por \dot{Q} , el punto arriba representa la derivada respecto al tiempo o "por unidad de tiempo". La velocidad de transferencia de calor tiene la unidad J/s, lo cual es equivalente a W.

Sustituir los valores ya mencionados en la ecuación 2 y se obtendrá:

$$Q = mc_{prom}(T_2 - T_1)$$

$$Q = 10,78 [Kj]$$

Con estos valores se tiene que transferir una cantidad de 10,78 KJ a la lámina de PVC, para que esta llegue a su punto de termoformado, en la Tabla 3 se aprecia el tiempo que se necesitará para calentar la lámina PVC para este caso el tiempo de calentamiento es 15s aproximadamente por relación lineal característica del PVC.

Por lo cual la velocidad de transferencia de calor que necesita el material para ser calentado está dada por:

$$\dot{Q}_{PVC} = \frac{10778,65}{15s} = 718,58 [W]$$

Por lo cual se concluye que para calentar la hoja de PVC se requiere 719 W para calentar de 16,3°C a 160°C en 15 segundos.

Ahora se realizará el análisis del calor emitido mediante la resistencia que se ha obtenido.

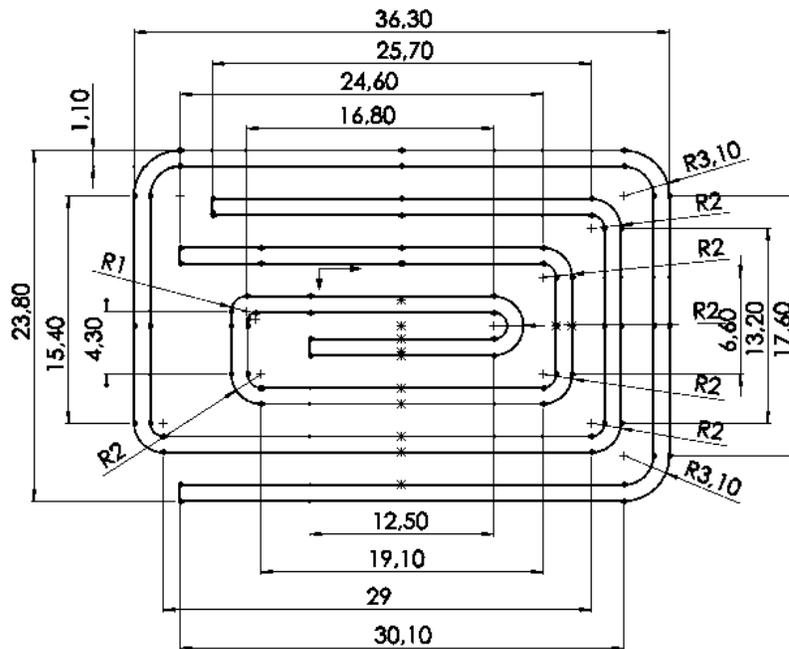


Ilustración 12. Dimensiones de la resistencia tubular (cm), realizado en SolidWorks 2016
Fuente: Autor (Jimmy Romo R)

Esta resistencia se adquirió como repuesto para una cocina de horno cuyas características cumplen con los parámetros para su aplicación.

La resistencia elaborada de Incoloy 800, una aleación de níquel-cromo con gran capacidad de mantener una estructura estable durante la exposición prolongada de altas temperaturas. Su aplicación implica la exposición a ambientes corrosivos y alta temperatura en sustancias químicas y petroquímicos, para el intercambio de calor y otros sistemas de transporte de ácidos nítricos y especialmente donde se requiera una alta resistencia a la corrosión por cloruros. [18]

De acuerdo a las características que posee la resistencia se ha obtenido mediante valores experimentales, así la potencia de consumo es de 770 W aproximadamente y que genera una temperatura promedio de 400°C en 15 minutos, datos tomados experimentalmente.

Se debe calcular el calor que transfiere la resistencia y verificar si esta es suficiente para este diseño.

La convección se realiza mediante transferencia de calor entre el calefactor y el aire ya que la resistencia se calienta y se transfiere al aire para que varíe su temperatura y esto pueda calentar a lámina de PVC., y mediante radiación la superficie de la lámina también recibe calor.

La radiación es la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas como resultado de los cambios de los átomos o moléculas.

Según [14], cuando una superficie de emisividad ε y área superficial A_s , a una temperatura termodinámica T_s , está dada por completo encerrada por una superficie mucho más grande, a una temperatura termodinámica T_{alred} , y separada por un gas (el aire) que no interfiere con la radiación, la razón neta de la transferencia de calor por radiación entre estas dos superficies está dada por la ecuación:

$$\dot{Q}_{rad} = \varepsilon \times \sigma \times A_s \times (T_s^4 - T_{alred}^4) \quad \text{Ecuación 4. Razón neta de transferencia de calor por radiación entre dos superficies}$$

Donde:

ε = emisividad de la superficie,

σ = constante de Stefan-Boltzmann,

T_s = temperatura en la superficie,

T_{alred} = temperatura alrededor.

Para una resistencia tubular de cubierta metálica de Incoloy la emisividad es de $\varepsilon=0.6$. Ver anexo 3.

Para esta resistencia se ha calculado el área que está directamente proyectada hacia lamina de PVC mediante software, al ser de característica redonda se ha calculado primeramente el área superficial que cubre dicha resistencia, y se ha divide para dos por lo que solo la mitad estará directamente en contacto con la superficie de la hoja. Y su área superficial es $A_s = 45131 \text{ mm}^2$.

Para σ (constante de Stefan-Boltzmann) su valor es de $5.67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2} \cdot k^4$.

Se reemplaza los valores en la ecuación 4 y se obtiene:

$$\dot{Q}_{rad} = 261 [W]$$

Potencia promedio de calor por radiación de la resistencia, se indicó que la lámina de PVC necesita 719 W para ser calentada así que aún se necesita aun una diferencia de 458 W.

Se necesitará saber las pérdidas de energía que se produce para ello se plantea que la temperatura interior debe estar a 160°C y la temperatura exterior debería mantenerse a

40°C. Sabiendo que las medidas interiores de la caja térmica son 44 x 30 x 6.5 (cm) y las exteriores 46 x 32 x 8 (cm) y para la conductividad térmica de $\lambda = 0.044 \frac{W}{mk}$ en lana de vidrio seleccionada como alternativa para el aislamiento térmico. [19]

Según [16], la razón de la conducción de calor a través de un medio depende de la configuración geométrica de este, su espesor, y el material de que este hecho. Entre más grueso sea el aislamiento, menor será la pérdida de calor. Entonces la razón de la conducción de calor a través de una capa plana es:

$$\dot{Q}_{cond} = -k \cdot A \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} \quad \text{Ecuación 5. Razón del conducción de calor}$$

Donde:

k = conductividad térmica del material,

A = área del material,

$T_1 - T_2$ = diferencia de temperatura,

Δx = espesor.

Dada esta ecuación y reemplazando valores se obtendría entonces que:

$$\dot{Q}_{cond} = 54,27 \text{ W}$$

Lo que significa que existe el valor de 54,27 W de pérdidas permitidas en el calefactor por ello mediante conservación de la energía se obtiene la igualdad con los valores así:

$$\dot{Q}_{total} = \dot{Q}_{conv} + \dot{Q}_{rad}$$

Por tanto se obtiene que $\dot{Q}_{total} = 772 W$, y se puede afirmar que la resistencia que se ocupara para el diseño está dentro de los parámetros necesarios, obteniendo como valor diferencial de 2 W aproximadamente.

Ahora se necesitará realizar el cálculo de el volumen de aire que se encuentra entre el calefactor y la lámina de PVC para ello se realiza el cálculo siguiente tomando en cuenta que las dimensiones de la base son 0.30 x 0.44 cm:

$$V = (0.30 \times 0.44 \times h)[m^3] = 0.132 \times h [m^3]$$

Para lo cual nos queda dos incógnitas una la del volumen de aire y la altura que se necesita para obtener el calentamiento adecuado para la lámina de PVC.

Para una determinada cantidad de gas donde la presión, el volumen y la temperatura son las únicas variables se puede establecer la cantidad en gramos o moles de esta muestra de gas. Para ello se utiliza la ecuación de la ley del gas ideal que se expresa así:

$$\frac{P \cdot V}{T} = n \cdot R \quad \text{Ecuación 6. Ley del gas ideal}$$

Dónde

n = número de moles,

P = presión,

V = volumen,

R = constante universal de los gases,

T = temperatura.

A continuación, se despeja n y se obtiene:

$$n = \frac{P \cdot V}{R \cdot T}$$

Para realizar el respectivo remplazo se toma en consideración que la altura de Ibarra es de 2225 msnm [10], y una presión atmosférica de 77,31 KPa. Tomado de Anexo 4.

Al remplazar los valores en la ecuación 6 se obtiene que:

$$n = 4,24 (h)(mol)$$

Tomando en cuenta que la masa molar del aire es de 28,97 g/mol (Anexo 5), se realizaría la transformación dándonos resultado de masa de:

$$m = \left(28,97 \left(\frac{g}{mol} \right) \right) (4,24 (mol)h) = 0,123 (Kg.h)$$

Para el aire el calor específico a 16,6 °C y presión constante es $C_p = 1007 \left[\frac{J}{kg.k} \right]$. (Anexo 6).

El calor en términos de energía está expresado en función del tiempo sabiendo que necesitamos transferir los 772,85 W se expresaría de esta manera:

$$Q = 772,85 \times t [J]$$

Mediante la Ecuación 2 se puede calcular la distancia permisible para hallar la transmisión de calor deseado así que remplazando los valores anteriores nos quedaría que:

$$t = 28,255 h$$

En donde t se expresa en (s) y h en (mm), concluyendo que se utilizara un valor de 28,25 mm por segundo, tomado en cuenta este valor se determina la distancia adecuada entre la lámina de PVC y la superficie del calefactor, considerando el diseño anterior se opta por tomar un valor de 5 cm, valor que en la construcción podría variar de acuerdo a los resultados en adecuar el sistema por estética y mecanismo, llevando a una relación proporcional y comparando con los resultados obtenidos debido a cambios en el ambiente

de trabajo en dicha aplicación, con ello se tomara en cuenta la variación de la distancia y el tiempo de calentamiento para realizar un análisis final de los resultados.

2.1.2 Bastidor de sujeción

Este elemento es importante para la lámina de PVC, Ilustración 13 porque esta parte del diseño debe brindar un mecanismo de sujeción para esta, no debe permitir movimientos, tensión o fallas en la etapa de calentamiento.

Se optó por tomar de referencia una lámina A3 (42 x 29,7) cm por ello basándose en su diseño original se ha planteado realizarlo en pletina de dimensiones 19 x 3 mm con un peso de 0,45 kg/m y 2,68 kg/6m:

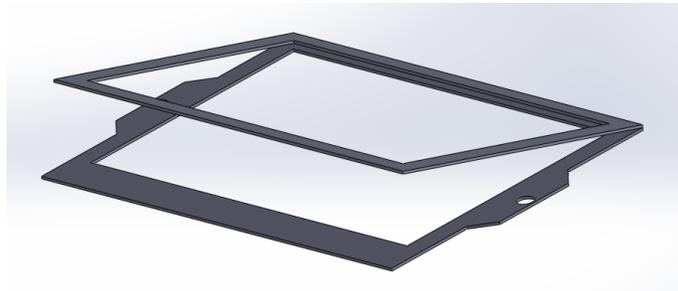


Ilustración 13. Bastidor de sujeción A) Bastidor abierto, B) Bastidor cerrado realizado en SolidWorks 2016 Fuente: Autor (Jimmy Romo R).

2.1.2.1 Expansión y alabeo

Para [2], al momento que se realiza el calentamiento de la lámina de PVC se produce una expansión en el material por parte de la temperatura transferida, por ello se debe

conocer la constante de expansión térmica ya que en los termoplásticos la deformación es aproximadamente lineal y se puede calcular mediante la ecuación:

$$\Delta l = l_1 \cdot \lambda \cdot (T_2 - T_1) \quad \text{Ecuación 7. Expansión lineal a través de la calefacción}$$

Donde:

Δl = expansión térmica(mm),

l_1 = longitud o dimensión a T_1 (mm),

λ = coeficiente de expansión térmica,

T_1 = temperatura de inicio,

T_2 = temperatura de finalización del periodo.

Por lo tanto, tomando referencia que a temperatura ambiente no se produce deformación y el coeficiente de expansión térmica es de $\frac{75 \times 10^{-6}}{^{\circ}\text{C}}$, en este caso el alabeo que se produce en la lámina de PVC es de 10,76 mm.

2.1.3 Cámara de vacío

Para realizar la cámara de vacío se seleccionó el material de acero inoxidable ya que este estará en contacto directo con la lámina de PVC, corresponde a la sección donde la lámina tocará el producto final antes de su empaquetado.

La cámara se ha de realizar en el tamaño adecuado para que encaje con el área interior del bastidor de sujeción, en su superficie se realizara los respectivos orificios para succión. Esta caja de succión se representa en la Ilustración 14.

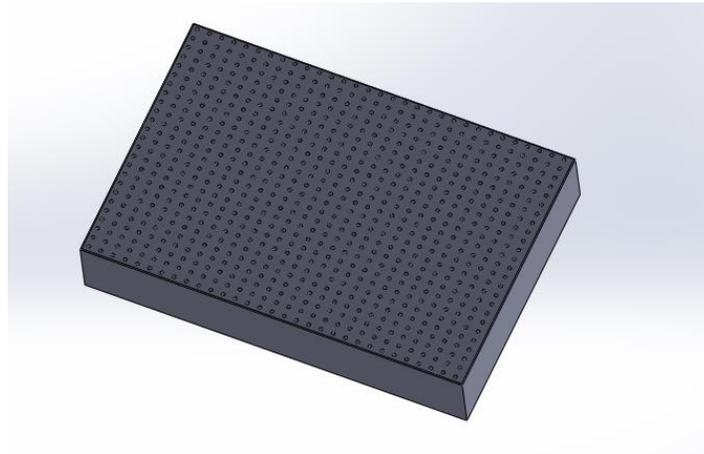


Ilustración 14. Caja de succión. Realizado en SolidWorks 2016 Fuente: Autor (Jimmy Romo R).

Se ha de realizar en plancha de acero inoxidable NTE INEN 115/AISI 304, 0.070 x 1220 x 2440 mm. Laminas que se encuentran en el mercado y son adecuadas por el contacto con alimentos.

Los orificios son suficientemente pequeños para no alterar el producto y serán de recomendación de 1/32" a 1/8" de diámetro, distanciados a 12mm cada uno. [9]

2.1.3.1 *Succión*

Para la maquina termoformadora de Multipaneles CIA.LTDA. se realiza una succión mediante una aspiradora Rainbow E2 la cual tiene las características fundamentales para su funcionamiento de 24.000 RPM a velocidad alta y 70 CFM en aire movido aspiradora que se encentra a disposición en la empresa para su utilización para esta práctica.

Para [9], un sistema de vacío adecuado se requiere una bomba capas de desplazar de 0,5 a 1 PSI absoluto en el tanque de almacenamiento antes del ciclo de formado.

El vacío que se produce en la parte de formación de la lámina debe estar por un determinado tiempo para que el material se enfríe y resista la fuerza interna del material para que no regrese a su forma original, provocando ondulaciones y pandeos.

El vacío será rápido para que la apariencia de la pieza sea mejor.

Debido a las fuentes se recomienda utilizar una bomba de aspiración de 3 HP, con un tiempo de 15 a 20 segundos.

Tomando las características de la aspiradora se realizará las pruebas y se determinará lo más cercano al tiempo necesario de aspiración con dichas características.

2.1.4 Sección neumática

La máquina termoformadora realiza su trabajo en dos movimientos mecánicos el primero en el que se requiere que el calefactor pase de la sección trasera de la máquina hacia la posición paralela del bastidor y pueda regresar al concluir su función, y el otro movimiento se realiza en el bastidor de sujeción el cual terminada su fase de calentamiento en la lámina de PVC este se mueve verticalmente hasta coincidir con la superficie de la caja de succión, así que se ha optado por tener tres cilindros neumáticos los cuales uno realice el movimiento horizontal y los otros dos el movimiento vertical.

Multipaneles CIA.LTDA. cuenta con un compresor de las siguientes características:

Potencia = 800 W

Desplazamiento = 154 L/min (5,43CFM)

Presión = 115 PSI (8 Bar)

Capacidad de tanque= 38 L

Los cilindros son elementos neumáticos que usan aire comprimido y generan un movimiento rectilíneo de avance y retroceso en su mecanismo, se dividen en cilindros de simple y doble efecto.

Para esta aplicación se ha optado por seleccionar cilindros de doble efecto por ser práctico en su funcionalidad.

Para este caso se va a utilizar una presión de 8 Bar, por razones prácticas se sobredimensiona el cilindro para trabajar con presiones diferentes a las establecidas.

2.1.4.1 Selección del cilindro neumático

Para la selección del cilindro neumático se necesita el diámetro teórico el cual se comparará con el catálogo del diámetro del cilindro más cercano al que se ha calculado.

$$D_t = \sqrt{\frac{4 \times F}{\pi \times P}}$$

Ecuación 8. Diámetro del émbolo

Dónde:

D_t = Diámetro teórico (m),

F = Fuerza (N), P =Presión (Pa).

Sabiendo que la fuerza es la acción que influye en un cuerpo para que realice un movimiento en dicha masa o en tal caso modificando su composición física.

$$F = m \times a$$

Ecuación 9. Fuerza aplicada a una masa

Dónde:

F= Fuerza aplicada (N),

m= masa (kg),

a= aceleración (m/s²).

Para el caso de que la fuerza sea dada en relación con la gravedad se tiene que:

$$W = F = m \times g \quad \text{Ecuación 10. Fuerza en relación con la gravedad}$$

Dónde:

W = peso (N),

g = Gravedad (9,81m/s²)

Hay que tomar importancia en que la relación entre la fuerza aplicada sobre un área genera una presión, así:

$$P = \frac{F}{A} \quad \text{Ecuación 11. Fuerza sobre un área}$$

Dónde:

P = presión,

F = fuerza aplicada (N),

A = área del embolo (m²).

Para el caso de cilindros de doble efecto se tiene que:

$$A = \pi x \frac{D^2}{4} \quad \text{Ecuación 12. Área del émbolo}$$

$$A = \pi x \frac{D^2 - d^2}{4} \quad \text{Ecuación 13. Área del vástago}$$

Dónde:

A = área del embolo en el lado del vástago (m²),

D = diámetro del embolo (m),

d = diámetro del vástago(m).

Para el rendimiento de los cilindros se tiene que según el fabricante se dará valores de diseño de los mismos, pero para consideración teórica se toma como referencia que para cilindros de hasta D= 40 mm el R= 0,85 y para cilindros superiores a D=40 mm el R=0,95.

Para el cálculo de la fuerza efectiva en cilindros de doble efecto se tiene que:

$$Fa = \frac{\pi}{4} x D^2 x p x R \quad \text{Ecuación 14. Fuerza efectiva de avance}$$

Dónde:

Fa = fuerza del cilindro en daN (o en kp),

D = Diámetro del cilindro en cm,

p = presión del aire en Bar (o kp/cm²),

R = Rendimiento del cilindro.

Para su fuerza de retroceso se da por:

$$Fr = \frac{\pi}{4} x (D^2 - d^2) x p x R \quad \text{Ecuación 15. Fuerza efectiva de retroceso}$$

Dónde:

d= Diámetro del vástago en cm.

Así se obtendrá que:

$$Fra = Fa x R \quad \text{Ecuación 16. Fuerza teórica de avance}$$

$$Frr = Fr x R \quad \text{Ecuación 17. Fuerza teórica de retroceso}$$

Es necesario saber que fuerza o peso va a levantar cada actuador por ello se realiza los siguientes cálculos:

Para el primer caso que es el calefactor se toma como referencias las propiedades del tubo rectangular, el peso complementario de la resistencia tubular y los rodamientos ocupados.

Así tenemos que los pesos ocupados para el diseño están establecidos con un peso experimental de 5,126 kg por lo cual lo aproximaremos a 5,5 kg para los cálculos teóricos.

Se Calcula el peso de la carga Ecuación 10:

$$W = 53,96 N$$

Y mediante la Ecuación 8, seleccionamos el cilindro de 10 mm del catálogo de cilindros y ya que se tomaría como eficiencia un 85%, sabiendo que la fuerza teórica se toma de la Ecuación 11.

Entonces para el actuador neumático 1 se tiene las características FVBC-32x350-S para su pedido según [20].

Para el segundo caso se necesita dos pistones para el bastidor, así mismo experimentalmente se obtiene un peso de 2 Kg.

Se tendría mediante la Ecuación 8 y Ecuación 11 respectivamente, un diámetro de embolo de 6 mm y una fuerza teórica de 19,22 N.

Como se considera tener dos cilindros la fuerza aplicada será compartida para dos y comparando con el catalogo que se dispone [20], se tiene que la orden de pedido es RAL-20x150-S.

2.1.4.2 Consumo de aire en cilindros neumáticos

Para [13], en los cilindros de doble efecto se debe considerar un ciclo completo, es decir, avance y retroceso del embolo, en estos cilindros la cantidad volumétrica de aire necesario por cada ciclo completo de ida y vuelta a la presión de trabajo es:

$$V = \frac{\pi}{4} \times (2D^2 - d^2) \times C \quad \text{Ecuación 18. Presión de trabajo}$$

Dónde:

V = volumen de aire (m³),

D = diámetro del cilindro (m),

d = diámetro del vástago (m),

C = carrera del vástago (m).

Calculo del consumo del aire en un cilindro de doble efecto:

$$V_t = \frac{\pi \times C \times n}{4} \times (2D^2 - d^2)$$

Ecuación 19. Consumo de aire en un cilindro de doble efecto

Dónde

V_t : consumo de aire(m³/min),

C: carrera del vástago (m),

n: número de ciclos/minuto

D: diámetro del cilindro (m),

d: diámetro del vástago(m).

Consumo de aire en condiciones normales:

$$V_{CN} = \frac{P_o + P_t}{P_o} \times V_t$$

Ecuación 20. Consumo de aire en condiciones normales

Donde:

V_{CN} = consumo de aire en condiciones normales(m³/min),

P_o = presión atmosférica (Pascal),

P_t = presión de trabajo (Pascal),

V_t = consumo de aire(m³/min).

Para este sistema se considerara unos 5 ciclos por minuto de tal forma que nuestro consumo está dado por la Ecuación 19 y es 2,62 litros/min para el actuador 1 y 0,70 litros/min para el actuador 2 y 3.

Y para el consumo de aire en condiciones normales según la Ecuación 20 tenemos 29,73 litros/min en el actuador 1 y 7,98 litros/min en el actuador 2 y 3.

Así que para el sistema se ordenara según [20], 2 válvulas 5/2 monoestables con retorno por muelle, VA5221-06.

2.1.4.3 Circuito electro neumático

Se procede a elaborar el circuito en el software FluidSIM 4, Ilustración 15, para una visualización del sistema en funcionamiento.

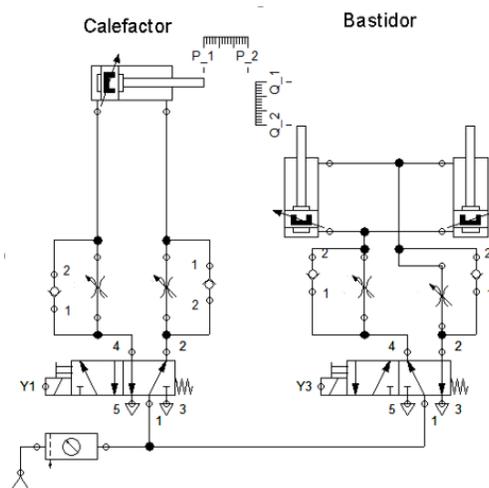


Ilustración 15. Circuito neumático de conexión de componentes. realizado en FluidSIM 4 Fuente: Autor (Romo Jimmy).

De la misma manera se realiza el diagrama de mando eléctrico, Ilustración 16.

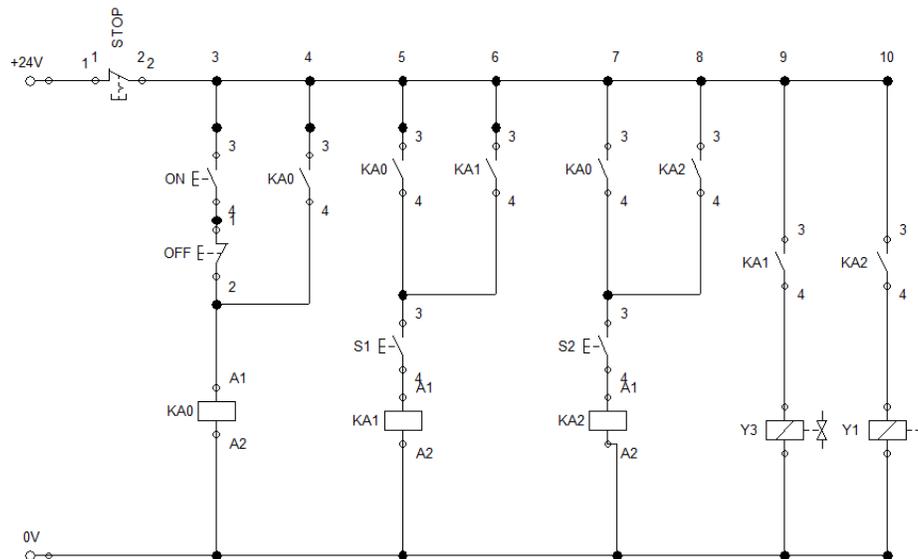


Ilustración 16. Diagrama eléctrico de conexión neumática. Realizado en FluidSIM 4
Fuente: Autor (Romo Jimmy).

Descripción del circuito

Como se aprecia en la simulación al comienzo el cilindro 1 correspondiente al calefactor empieza en la posición 1 que es en la que el calefactor se calentara hasta llegar a la temperatura deseada, el cilindro 1 y 2 corresponden al bastidor cuyo inicio del proceso tendrán como posición 1 la parte superior, como se muestra en la Ilustración 15.

Al recibir la señal 1 del microcontrolador activara la válvula 1 del calefactor y así este cambiara a la posición 2, la señal al desactivarse el tiempo programado hará que la válvula retorne y así la válvula 2 del bastidor recibirá la señal 2 para que cambie de estado y haga que este baje a la posición 2, así mismo en el tiempo programado retornara nuevamente para otro proceso. Todo este proceso se lo parecía en el diagrama de la Ilustración 17.

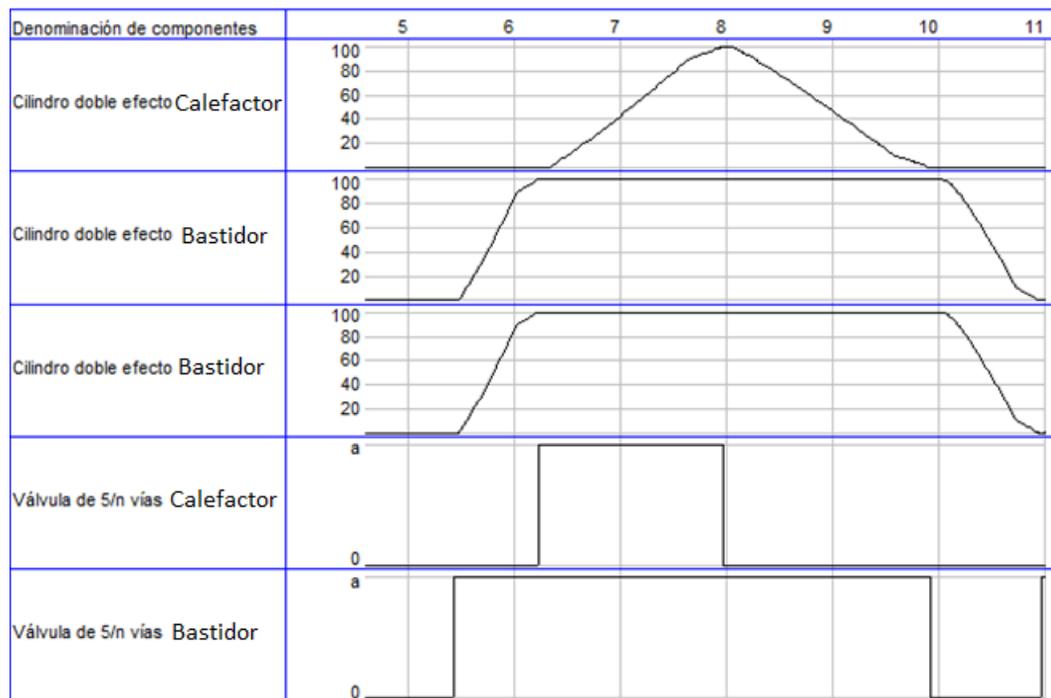


Ilustración 17. Diagrama de estado de componentes neumáticos. Realizado en FluidSIM 4 Fuente: Autor (Romo Jimmy).

2.1.5 Estructura

Para la construcción de la estructura de la maquina se opta por realizar en material de acero, seleccionando así el tubo mecánico cuadrado del proveedor Maxitubo de código 1121100080NUE que cumple con la normativa NTE INEN 2415, [21] .Con un espesor de 1,10 mm, diámetro 3/4” y con un peso de 4,13 kg/6m, según el Anexo 1010.

Con la selección del tubo se realiza la construcción en software, con ayuda de SolidWorks para el acople de las piezas que forman la máquina, optando por una adecuada construcción para su función mecánica.

Primero se realiza la estructura principal la cual está dada por la Ilustración 18 en la cual se aplica un análisis de esfuerzo para así obtener un resumen de estudio estático de la estructura.

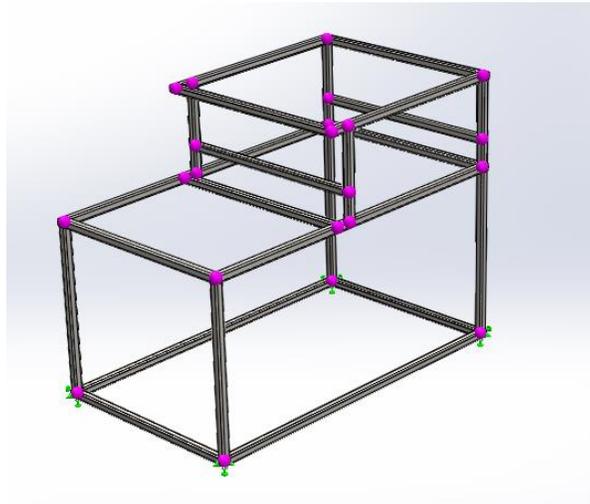


Ilustración 18. Diseño de estructura. Realizado en: SolidWorks 2016. Fuente: Autor (Romo Jimmy).

Considerando la carga de los elementos y de un peso involuntario en la máquina, se opta por analizar la estructura como si se tratara de vigas, así con ello el complemento en software nos dará los siguientes resultados.

Para un estudio de tensión axial y flexión se obtiene la Ilustración 19, en la cual se muestra que en los puntos medios de la estructura se puede considerar una fuerza máxima de 21,67 MPa.

Para la Ilustración 20 se observa que en el eje Y se genera un desplazamiento de 0,41mm que en consideración practica es un valor casi despreciable, y de acuerdo a la Ilustración 21 se puede decir que cumple con un factor de seguridad 9,85 que en la

estructura en su punto más crítico está acorde a las propiedades del material y resistencia a los esfuerzos producidos en los puntos de mayor concentración.

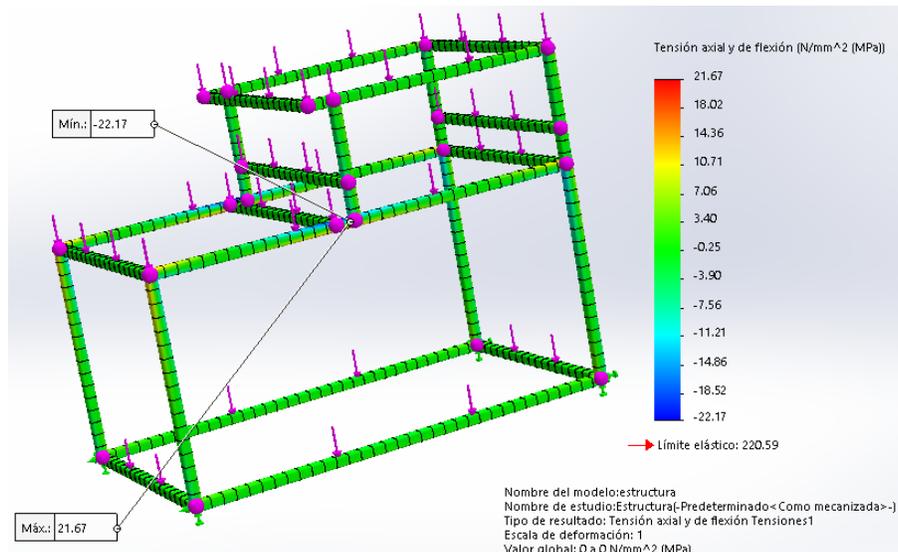


Ilustración 19. Análisis de tensión axial y flexión de la estructura. Realizado en: SolidWorks 2016. Fuente: Autor (Romo Jimmy).

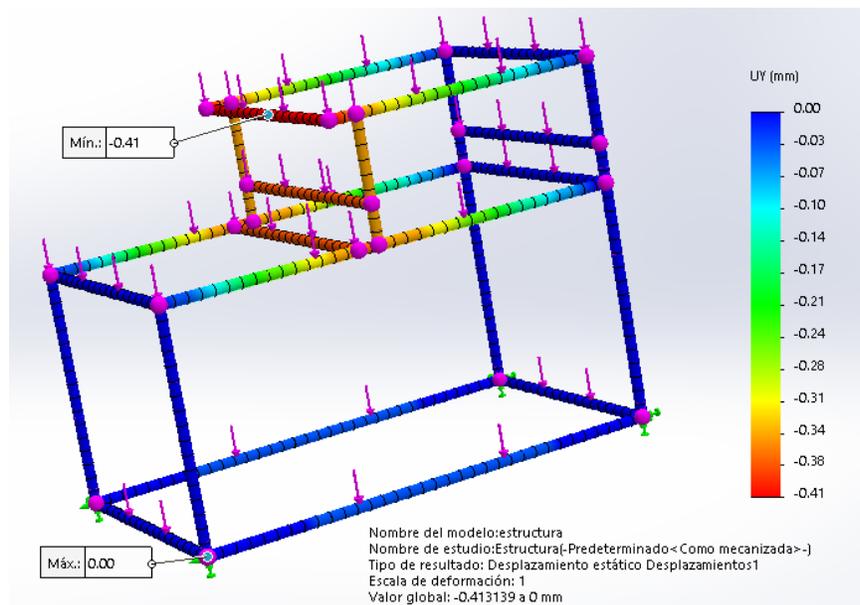


Ilustración 20. Análisis de desplazamiento en la estructura. Realizado en: SolidWorks 2016. Fuente: Autor (Romo Jimmy).

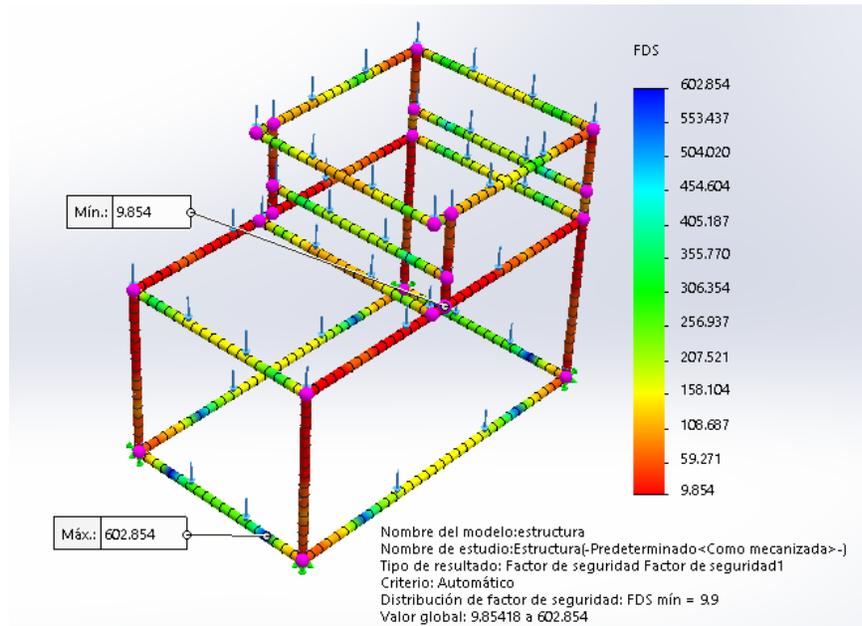


Ilustración 21. Factor de seguridad en la estructura. Realizado en: SolidWorks 2016.
Fuente: Autor (Romo Jimmy).

Su construcción optará por realizarse en piezas, es decir se dividirá en partes que sean de fácil acceso para manipulación al momento de elaboración como al final, para su trasportación o en el caso que sea necesario ocupar menos espacio cuando no se considere útil.

Por ello se realizará la pieza 1 correspondiente a la base de toda la estructura ver Ilustración 22, en la que se asentará la cámara de succión y los actuadores 2 y 3, en los cuales estará sujeto el bastidor.

En pieza 2, Ilustración 23 se representa la base del calefactor en la cual se localizará los rieles por donde se deslizará este, constará la sujeción del actuador 1, los componentes eléctricos, electrónicos y neumáticos.

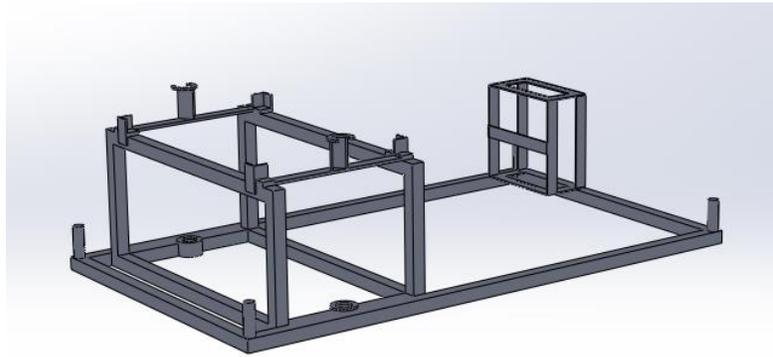


Ilustración 22. Pieza 1.- Base de la estructura. Realizado en: SolidWorks 2016. Fuente: Autor (Romo Jimmy).

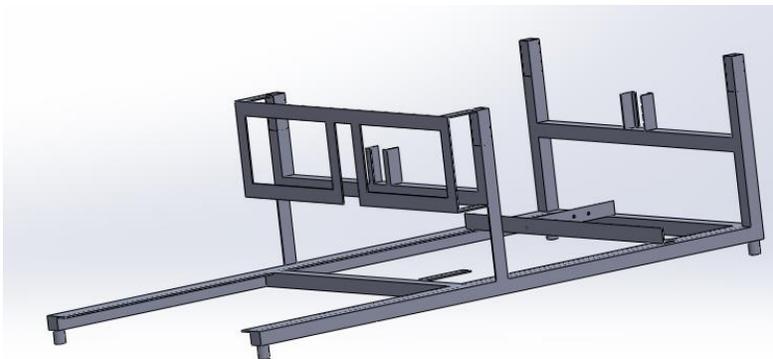


Ilustración 23. Pieza 2.- Base para el calefactor. Realizado en: SolidWorks 2016. Fuente: Autor (Romo Jimmy).

La Pieza 3 representa tan solo una cubierta final para toda la estructura vista desde la parte superior considerando que se va a ocultar los componentes de toda la máquina, Ilustración 24, y la pieza 4 es una pieza complementaria de soporte entre la pieza 1 y 2, Ilustración 25.

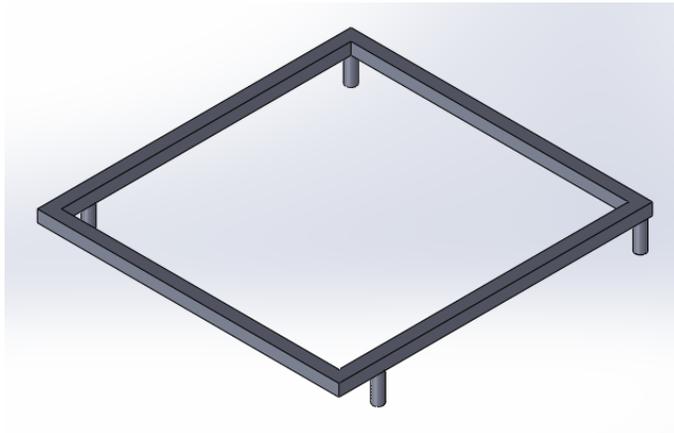


Ilustración 24. Pieza 3.- Tapa de la máquina. Realizado en: SolidWorks 2016. Fuente: Autor (Romo Jimmy).

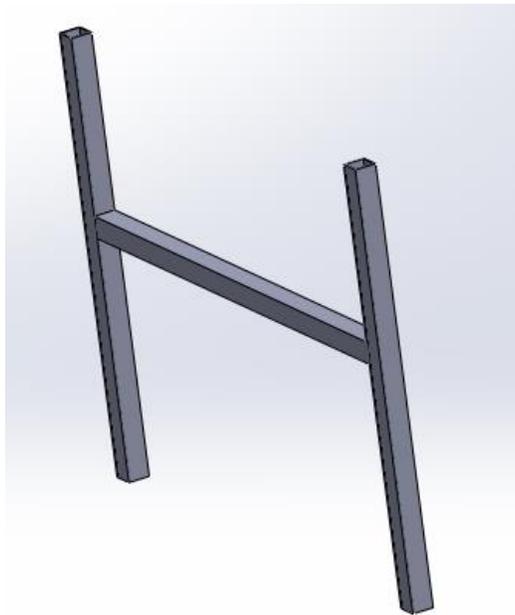


Ilustración 25. Pieza 4.- Soporte. Realizado en: SolidWorks 2016. Fuente: Autor (Romo Jimmy).

Con la unión de estas piezas unidas entre sí se muestra la Ilustración 26 , la cual representa la estructura final de la máquina.

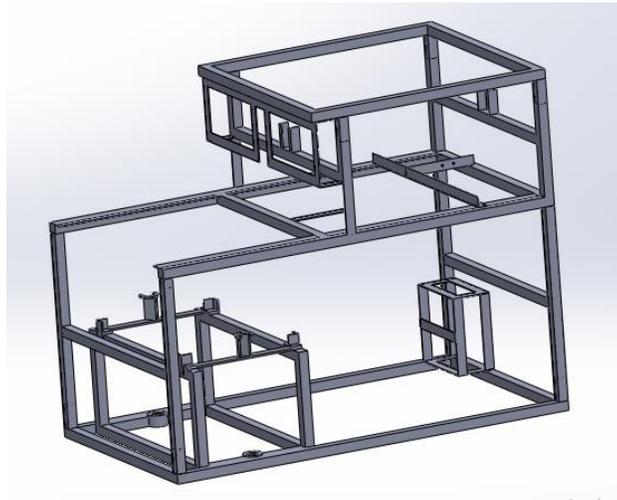


Ilustración 26. Estructura final de la maquina termoformadora. Realizado en: SolidWorks 2016. Fuente: Autor (Romo Jimmy).

2.1.6 Sección de control

Para [22], los procesos industriales no son estáticos, por lo contrario, son muy dinámicos. Cambian continuamente debido a los muchos tipos de perturbaciones y precisamente por eso se necesita que los sistemas de control vigilen continua y automáticamente las variaciones que se deben controlar.

2.1.6.1 Elección de elementos del control

Teclado

Para realizar la configuración de parámetros iniciales en la maquina tomaremos un teclado matricial, Ilustración 27, que es un dispositivo que cuenta con pulsadores y permite controlarlos. Los teclados matriciales agrupan pulsadores tanto en filas como en columnas formando de esta manera una matriz de 4x4 en este caso.

Los teclados matriciales están disponibles a bajo costo en el mercado.

En la imagen se muestra la disposición rectangular de un teclado matricial 4x4, su funcionamiento es análogo, pero al detectar una columna x y una fila y se puede conocer la ubicación de la tecla dando una dirección XY.

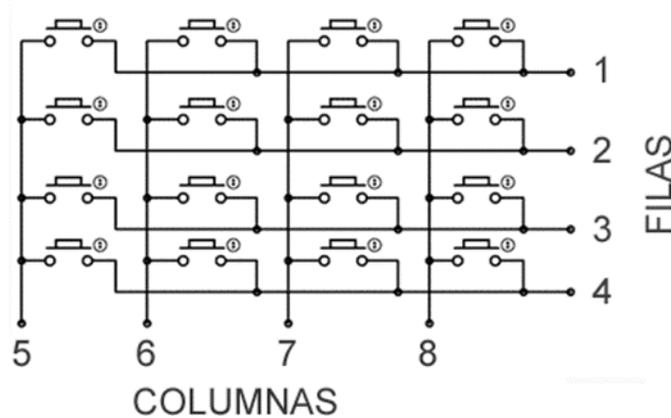


Ilustración 27. Disposición de un teclado matricial 4x4. Recuperado de: www.luisllamas.es

Su funcionamiento es similar a la adquisición de lectura de un pulsador, para ello se realiza un barrido por las filas que se encuentran conectadas a 5v se define que las columnas están como entradas con resistencias de pull-up.

Sensor

Para la selección del sensor adecuado se considera tomar una solución mediante los criterios ponderados.

Solución A. Sensor RTD Pt100, Ilustración 28, un detector de temperatura por medio de variación de resistencia, fabricado de platino con una resistencia eléctrica de 100 ohm a una temperatura de 0° C un tipo de sensor más común en el campo industrial.



Ilustración 28. Sensor RTD Pt100 Adaptado de RS PRO. Sensor Pt100 RS PRO, PT100, +250°C, diámetro 6mm, Cable de conexión, Clase A. Recuperado de: es.rs-online.com

Solución B. Termocupla, Ilustración 29, sensores más utilizados en la industria, con dos alambres de distinto material unidos a un extremo que generan un pequeño voltaje al aplicar temperatura en la unión de los metales.



Ilustración 29. Termocupla tipo K. Adaptado de JM Industrial. Termopar tipo k
Recuperado de: www.jmi.com.mx

Solución C. Termocupla tipo J, Ilustración 30, termopar muy común con rangos de temperaturas muy comunes, de hierro-constantán, produce voltaje al calentarse entre sus conductores al calentarse.



Ilustración 30. Termopar tipo J. Adaptado de JM Industrial. Termopar tipo J Recuperado de: www.jmi.com.mx

Los criterios a ser considerados para la solución sensor son:

- a) Temperatura: Que cumpla con los parámetros de temperatura que se necesita en la aplicación sus rangos de temperatura son considerados para su correcto funcionamiento.
- b) Costo: Disponible en el mercado y que su valor económico sea considerable para su adquisición.
- c) Sensibilidad: La variación de la medida y la exactitud en sus mediciones.
- d) Aplicación: De acuerdo a su composición y sus características que sea apto para este desarrollo práctico.
- e) Toando en cuenta estos criterios realizamos el análisis de cada uno de ellos.
- f) Evaluación del peso específico para cada criterio.

Tabla 10
Evaluación del peso específico de cada criterio para el sensor

Criterio	Temperatura	Costo	Sensibilidad	Aplicación	$\Sigma+1$	Ponderación
Temperatura		0,5	1	1	3,5	0,35
Costo	0,5		1	0	2,5	0,25
Sensibilidad	0	0		1	2	0,20
Aplicación	0	1	0		2	0,20
				Suma	10	

1. Evaluación del peso específico para el criterio temperatura

Tabla 11
Evaluación del peso específico del criterio temperatura para el sensor

Temperatura	Pt100	Tipo K	Tipo J	$\Sigma+1$	Ponderación
Pt100		0	0,5	1,5	0,15
Tipo K	1		0,5	2,5	0,25
Tipo J	0,5	0,5		2	0,20
			Suma	6	

2. Evaluación del peso específico para el criterio costo

Tabla 12
Evaluación del peso específico del criterio costo para el sensor

Costo	Pt100	Tipo K	Tipo J	$\Sigma+1$	Ponderación
Pt100		0	0,5	1,5	0,15
Tipo K	1		0,5	2,5	0,25
Tipo J	0,5	0,5		2	0,20
			Suma	6	

3. Evaluación del peso específico para el criterio sensibilidad

Tabla 13

Evaluación del peso específico del criterio sensibilidad para el sensor

Sensibilidad	Pt100	Tipo K	Tipo J	$\Sigma+1$	Ponderación
Pt100		0	0	1	0,1
Tipo K	1		0,5	2,5	0,25
Tipo J	0,5	1		2,5	0,25
			Suma	6	

4. Evaluación del peso específico para el criterio aplicación

Tabla 14

Evaluación del peso específico del criterio aplicación para el sensor

Aplicación	Pt100	Tipo K	Tipo J	$\Sigma+1$	Ponderación
Pt100		0	0,5	1,5	0,15
Tipo K	1		0,5	2,5	0,25
Tipo J	0,5	0,5		2	0,20
			Suma	6	

Realizando el análisis se obtiene la tabla de conclusiones

Tabla 15

Tabla de conclusiones entre los criterios para el sensor

Conclusión	temperatura	costo	Sensibilidad	Aplicación	Suma	Prioridad
Solución A	0,15	0,15	0,1	0,15	0,55	3
Solución B	0,25	0,25	0,25	0,25	1	1
Solución C	0,20	0,20	0,25	0,20	0,85	2

De acuerdo con la tabla de conclusiones se toma como decisión la utilización del sensor termocupla tipo k siendo la solución B como la más adecuada para el trabajo a realizar.

Termocupla. Una termocupla es simplemente la composición de dos alambres de distinto material unidos en un extremo. Al aplicar temperatura en la unión de los metales se logra generar un voltaje muy pequeño, que aumenta proporcionalmente con la temperatura.

La termocupla tipo k de la Ilustración 31, posee unas características que lo diferencian de los demás tipos de termopares, es invulnerable ante la oxidación. Se fabrica con dos clases de aleaciones, alumel de Ni. Al y Cromel, aleación de Ni-Cr, [23].

Posee una amplia capacidad de resistir ante temperaturas muy elevadas.

Sus especificaciones generales son:

- Intervalo de temperatura = 0°C a 400°C
- Diámetro del sensor = 4,5 mm
- Longitud de cable = 1 metro
- Aislación interna = Fibra de vidrio
- Blindaje externo = Blindaje metálico
- Terminales = 2 hilos
- Tipo de conector = Zapatas eléctricas
- Rosca = M6

Ideal para medición de temperatura en ambientes hostiles, se los utiliza en fundición de metales hasta 1300°C (no ferrosos), para hornos en general.



Ilustración 31. Termocupla tipo K con su módulo MAX6675. Adaptado de Geek Factory. MAX6675 Modulo interfaz para termopar tipo K. Recuperado de: www.geekfactory.mx

Para su utilización se ha optado por usar un convertidor análogo digital para termopares tipo K. El max6675 es un módulo que nos hace posible conectar fácilmente el termopar a cualquier microcontrolador a través de la interfaz SPI unidireccional. Este módulo cuenta con la electrónica necesaria para amplificar, compensar y convertir a digital el voltaje generado por el termopar.

Controlador

Así mismo para la selección de la tarjeta de control se acudido a criterios ponderados y para ello se ha tomado en consideración las siguientes soluciones.

Solución A. Arduino, Ilustración 32, Es una pequeña placa de microcontrolador con un puerto USB para conectar al ordenador y diversos zócalos de conexión. Se puede alimentar con una batería de 9 V o con el cable USB al ordenador [24].

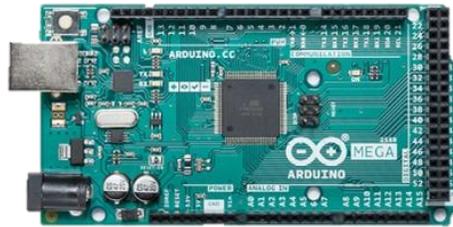


Ilustración 32. Arduino Mega 2560. Adaptado de Arduino Mega 2560 REV3 Recuperado de: [store.arduino.cc-rev](https://store.arduino.cc/rev3)

Solución B. Raspberry, Ilustración 33 , es efectivamente una PC de una sola placa reducida de bajo coste basada en Linux.



Ilustración 33. Raspberry Pi 3 Model B. Adaptado de Raspberry Pi 3 Model B+, análisis. Recuperado de: www.xataka.com

Solución C.PLC, Ilustración 34, Es una computadora utilizada en la ingeniería automática o en la automatización industrial se la utiliza para automatizar procesos electromecánicos como el control de maquinaria en líneas de producción o atracciones mecánicas.



Ilustración 34. M-DUINO PLC Adaptado de M-DUINO PLC Arduino Ethernet 50RRA. Recuperado de: www.industrialshields.com

Los criterios a ser considerados para la solución controlador serán:

- a) Costo: se debe considerar el precio que tiene en el mercado y los gastos que puede tener al ser ocupado con sus respectivos módulos.
- b) Disponibilidad: deberá ser de fácil acceso en el mercado, que no implique inconveniencia en su adquisición o en alguno de sus complementos a utilizar.
- c) Robustez: el más adecuado en su capacidad para realizar las acciones necesarias y que pueda ser compatible con las características necesarias para el proyecto sin ocupar mucho software.
- d) Tamaño: que cumpla con las características por lo más correctas posibles y su sea de tamaño adecuado para la aplicación sin complicaciones y sencillas en el hardware.

Realizamos la evaluación a los criterios considerados:

1. Evaluación del peso específico para cada criterio.

Tabla 16

Evaluación del peso específico de cada criterio para el controlador

Criterio	Costo	Disponibilidad	Robustez	Tamaño	$\Sigma+1$	Ponderación
Costo		0,5	1	0	2,5	0,25
Disponibilidad	0,5		1	1	3,5	0,35
Robustez	0	0		1	2	0,20
Tamaño	1	0	0		2	0,20
				Suma	10	

2. Evaluación del peso específico para el criterio costo

Tabla 17

Evaluación del peso específico para el criterio costo

Costo	Arduino	Raspberry	PLC	$\Sigma+1$	Ponderación
Arduino		1	1	3	0,3
Raspberry	0		1	2	0,2
PLC	0	0		1	0,1
			Suma	6	

3. Evaluación del peso específico para el criterio disponibilidad

Tabla 18

Evaluación del peso específico para el criterio disponibilidad

Disponibilidad	Arduino	Raspberry	PLC	$\Sigma+1$	Ponderación
Arduino		0,5	1	2,5	0,25
Raspberry	0,5		0,5	2	0,2
PLC	0	0,5		1,5	0,15
			Suma	6	

4. Evaluación del peso específico para el criterio robustez

Tabla 19
Evaluación del peso específico para el criterio robustez

Robustez	Arduino	Raspberry	PLC	$\Sigma+1$	Ponderación
Arduino		0	0	1	0,1
Raspberry	1		0	2	0,2
PLC	1	1		3	0,3
			Suma	6	

5. Evaluación del peso específico para el criterio tamaño

Tabla 20
Evaluación del peso específico para el criterio tamaño

Tamaño	Arduino	Raspberry	PLC	$\Sigma+1$	Ponderación
Arduino		0,5	1	2,5	0,25
Raspberry	0,5		1	2,5	0,25
PLC	0	0		1	0,10
			Suma	6	

Realizado el análisis en la tabla de conclusiones

Tabla 21
Tabla de conclusiones para los criterios de microcontrolador

Conclusión	Costo	Disponibilidad	Robustez	Tamaño	Suma	Prioridad
Solución A	0,3	0,25	0,1	0,25	0,9	1
Solución B	0,2	0,2	0,2	0,25	0,85	2
Solución C	0,1	0,15	0,3	0,1	0,65	3

Después de este análisis se ha llegado a tomar la decisión de utilizar el controlador de Arduino el cual es apreciable en Ilustración 35, adecuado para el uso en esta aplicación

por ser de bajo coste, pequeño, utilización de software y hardware libre, y es accesible en el mercado.

Arduino es una herramienta muy práctica para hacer que los ordenadores puedan asistir y controlar el mundo físico a través de un ordenador. Posee una plataforma de desarrollo de computación física de código abierto, basada en una placa con un sencillo microcontrolador, Ilustración 35, y un entorno de desarrollo para realizar cualquier tipo de software.



Ilustración 35. Arduino Uno. Adaptado de: Comenzando con Arduino. Recuperado de: <http://www.uca.es>

Para la aplicación se ha de seleccionar de las muchas alternativas que ofrece Arduino la más adecuada el Arduino mega por las características que nos presenta que cumple con un amplio acceso a sus puertos.

Especificaciones técnicas

Tabla 22
Especificaciones técnicas de Arduino mega 2560

Característica	Especificación
Microcontrolador	ATmega 2560
Voltaje de operación	5 V
Voltaje de entrada(recomendado)	7-12 V
Voltaje de entrada(limites)	6-20 V
Entradas y salidas digitales	54 (14 previstas de salidas PWM)
Entradas analógicas	16
DC corriente por Pin I/O	40 Ma
DC corriente para Pin a 3.3 V	50 Ma
Flash Memory	256 Kb, 8 utilizados para el arranque
SRAM	8 Kb
EEPROM	4 Kb
Velocidad del reloj	16 MHz

Nota: El Mega2560 presenta el Atmega8U2 programado como un USB a serie.
Recuperado de: <https://www.robotshop.com>

La alimentación al Arduino es con la conexión USB o mediante una fuente externa (recomendada de 7 a 12V), vamos a tener unas salidas de tensión continua debido a unos reguladores de tensión y condensadores de estabilización. [25]

Toda esta placa está desarrollada con hardware libre cuyas especificaciones y diagramas esquemáticos son de acceso público, hay que tomar en cuenta que tiene

asociados a esto costos variables directos, ninguna definición de hardware libre se puede aplicar directamente sin alguna modificación.

Para definir el libre software se puede decir que es el dominio del software que respeta la libertad sobre los usuarios sobre sus productos adquiridos y por tanto puede ser estudiado modificado y redistribuido libremente, según la Free Software Foundation, el software libre se refiere a la libertad de los usuarios a ejecutar, copiar, distribuir, estudiar, modificar el software y distribuirlo modificado.

Potencia

Las salidas de la placa de Arduino son útiles para controlar cargas que no consumen mucha corriente como un led, pero en el caso de cargas mayores, se conoce una descripción general de una placa, un módulo de 4 relés (relevadores) que funciona a 5 V, capaces de mejorar cargas de hasta 10 amperes en 250 voltios, aislados por opto acopladores de las entradas, las que cuentan con leds individuales que sirve como indicadores de estado.

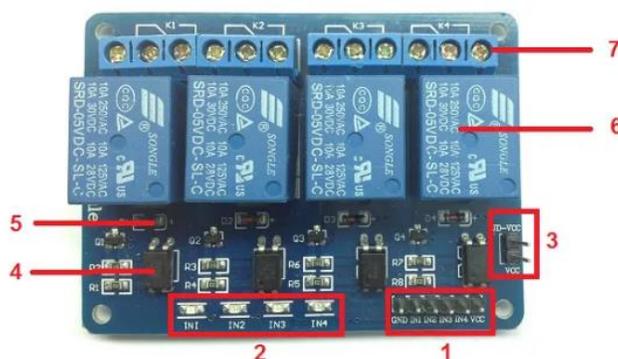


Ilustración 36. Partes del módulo relé. Adaptado de Modulo de 4 relés para Arduino. Recuperado de: www.profetolocka.com.ar

El módulo relé Ilustración 36, cuenta con las siguientes características:

1. La placa cuenta con entradas (IN1 a IN4) y alimentación (GND es masa o negativo y Vcc es el positivo).
2. Cuatro leds que indican el estado de las entradas.
3. Un jumper selector para la alimentación de relés.
4. Cuatro opto acopladores de tipo FL817C.
5. Cuatro diodos de protección.
6. Cuatro relés con bobinas de 5V y contactos capaces de controlar hasta 10 Amperes en una tensión de 250V.
7. Cuatro borneras, con tres contactos cada una (común, normal, abierto, y normal cerrado), para las salidas de los relés.

La configuración de cada relé, Ilustración 37, está dada por el circuito esquemático de la de un canal ya que los otros poseen la misma configuración.

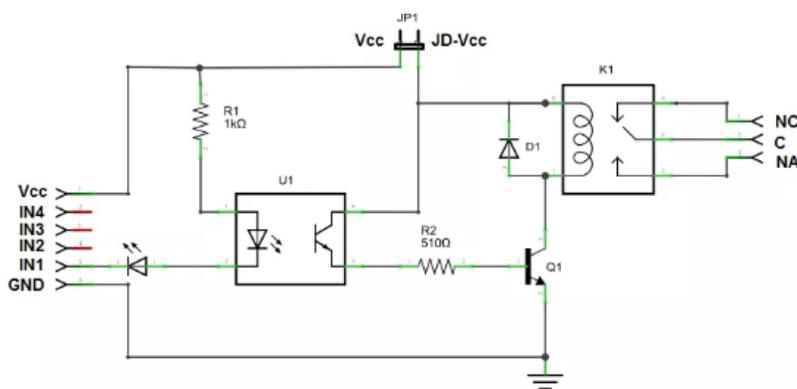


Ilustración 37. Circuito esquemático de un canal del módulo relé Adaptado de Modulo de 4 relés para Arduino. Recuperado de: www.profetolocka.com.ar

La forma segura de conectar este módulo a Arduino es alimentar la placa de relés con dos fuentes: la de la placa Arduino conectada a Vcc y una segunda fuente, con el positivo

a JD-Vcc y el negativo GND, sin estar este unido a la placa Arduino. Esta conexión da como ventaja que hay aislación entre la carga y el Arduino, y todo el consumo de los relés es tomado de la segunda fuente y no del Arduino o del puerto USB. [26]

Visualización (LCD)

En cada de muchos de nuestros proyectos se necesita visualizar o monitorear parámetros, la solución es los display, pero solo estamos limitados a valores numéricos e incluso si deseamos poner varios dígitos a nivel de hardware aumenta nuestro diseño electrónico por lo que se recurre a técnicas de multiplexado.

Los LCD alfanuméricos son más prácticos por su bajo consumo, tamaño disponible y trabaja con caracteres alfanuméricos.

Los LCD más utilizados en el mercado son el LCD1602 y el LCD204 con tamaños de 16x2 y 20x4 caracteres respectivamente. Entre estos tamaños hay diferentes modelos los cuales varían el color y sobretodo en la presencia o no de un Blacklight (retro iluminador incorporado).

El LCD 16x2 es una pantalla de cristal líquido que permite mostrar caracteres. Por lo general las pantallas LCD tienen una interfaz que controlan 16 pines, por lo cual el microcontrolador debe manipular varios puertos a la vez para lograr mostrarlos en pantalla. Los pines de control son los siguientes:

(R/S) Selector de registro. - Controla la memoria del LCD si muestra caracteres, posición del cursor o tomar datos en la pantalla para un comando de control para saber que hacer a la continuación.

(R/W) Lectura/escritura. - Selecciona el modo de lectura o escritura.

(E) Habilitar. – Permite la escritura de los registros.

(D0-D7) Pines de datos. – los estados de estos pines (altas o bajas) son los bits que se está escribiendo a un registro al escribir, o valores que se lee.

(Vo) Voltaje variable. - se puede ajustar el contraste de la pantalla.

(VDD) Voltaje de alimentación. - se conecta a fuente de 5V.

(VSS) Ground. - se conecta a 0V (Gnd).

(VLSS) Alimentación de LED de iluminación (Cátodo).

(VLED) Alimentación de LED de iluminación (Ánodo).



Ilustración 38. LCD1602 Adaptado de Tutorial LCD, conectando tu Arduino a un LCD1602 y LCD2004. Recuperado de: www.naylampmechatronics.com

Para esta aplicación es adecuada para mostrar los diferentes valores de entrada y salida que necesitamos como el valor de la temperatura y también la indicación del proceso.

Controlador de temperatura

Un controlador, utiliza un control PID que proporciona un fácil uso y práctico para cualquier aplicación industrial que requiera de un control de temperatura. Ver Ilustración

39.



Ilustración 39. Controlador de temperatura Camsco. Recuperado de: spanish.alibaba.com

El controlador Camsco REX-C700 cuenta con el control de temperatura con su salida principal de relevador, con capacidad de 250v-3^a AC o 30V/3^a DC, 7 combinaciones de salida doble y con una precisión en su control de un 0.5%. [27]

Relé de estado solido

Son interruptores que hacen una conmutación al paso de corriente al aplicar una tensión en su entrada de forma electrónica sin contacto mecánico, se muestra en la Ilustración 40. [28]



Ilustración 40. Relé de estado sólido SSR. Recuperado de: dynamoelectronics.com relé de estado sólido SSR-25da. Disponible en: www.dynamoelectronics.com

2.1.6.2 Construcción del sistema de control

Para el proceso de control se necesita conocer los pasos a seguir para realizar el funcionamiento de la maquina así se tiene que:

Encendida ya la maquina se configurar las variables de entrada y salida mediante teclado, luego aceptados los parámetros ingresados comienza el proceso automático, a tomar en cuenta que al aceptar los parámetros se asegura que el bastidor de sujeción está correctamente puesto y la lámina de PVC debidamente ajustada.

La resistencia calentará hasta el parámetro ingresado de temperatura, al estar en el setpoint propuesto se he de presionar el botón de inicio del proceso que accionara el primer pistón neumático que es el del calefactor y llevará a cabo el desplazamiento de este sobre la lámina, para ser calentada durante el tiempo también ingresado, al cumplir este tiempo el calefactor regresará a su posición inicial donde está en constante control de su temperatura, el bastidor de sujeción es bajado inmediatamente por accionamiento de los otros dos pistones al molde que se encuentra sobre la cámara de succión, en lo que se activa la succión y la lámina es dada forma durante el tiempo también ingresado, al realizar esto la succión se desactiva y el bastidor regresa a su posición inicial para que este sea abierto para la extracción de la lámina y cambio a otra.

Después de ello el proceso se repite al presionar nuevamente el botón de inicio de proceso.

Todo este proceso se lo ha representado mediante el diagrama de flujo que se muestra en la

Figura 5.

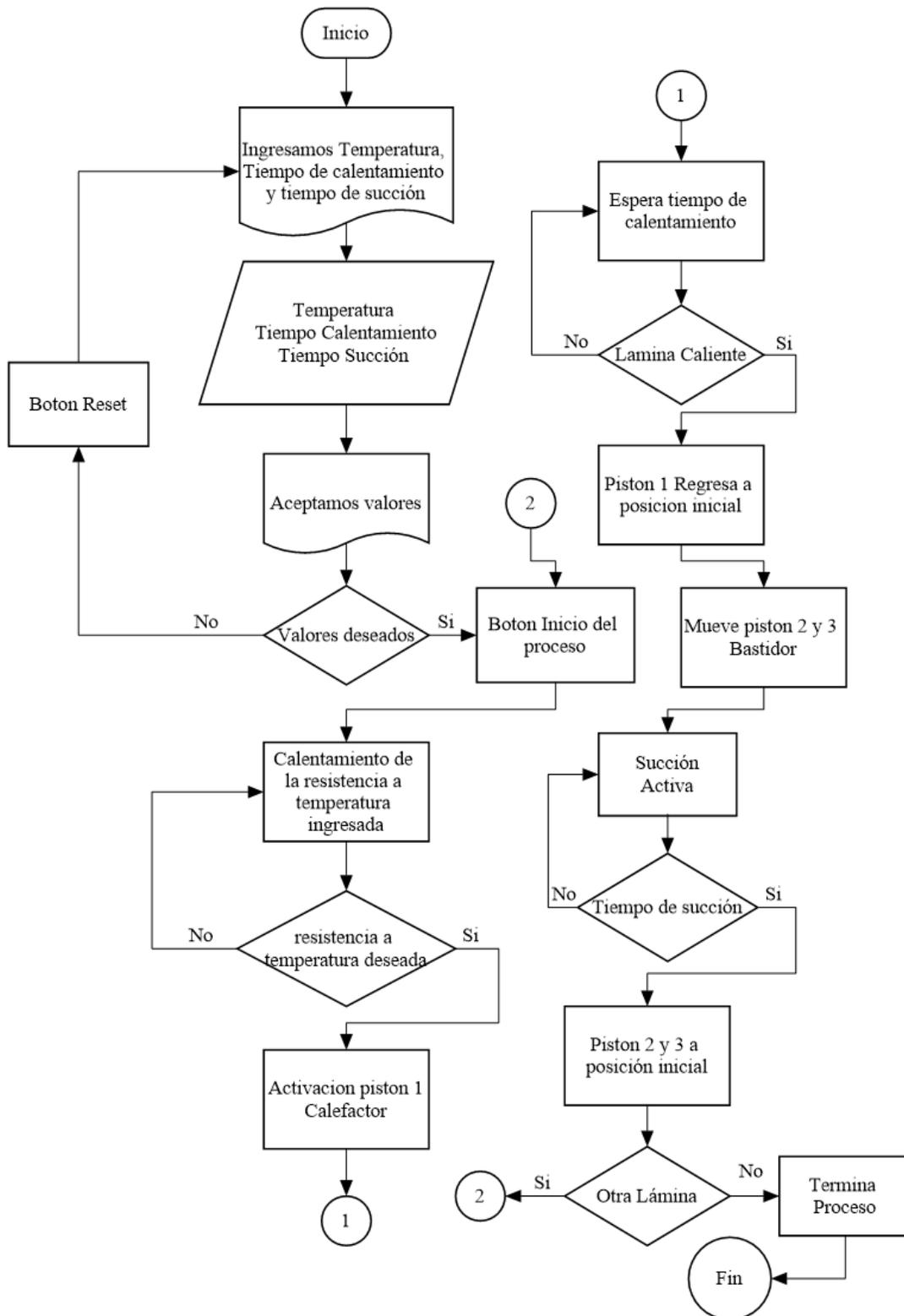


Figura 5. Flujograma de proceso de la maquina termoformadora. Fuente: Autor (Romo Jimmy).

2.1.6.3 Simulación y diagrama esquemático del sistema de control

Para el desarrollo del programa se va a ocupar la interfaz de Arduino y en conjunto se utiliza el software Proteus 8 para realizar la respectiva simulación y funcionamiento del programa. Como se muestra en la Ilustración 41.

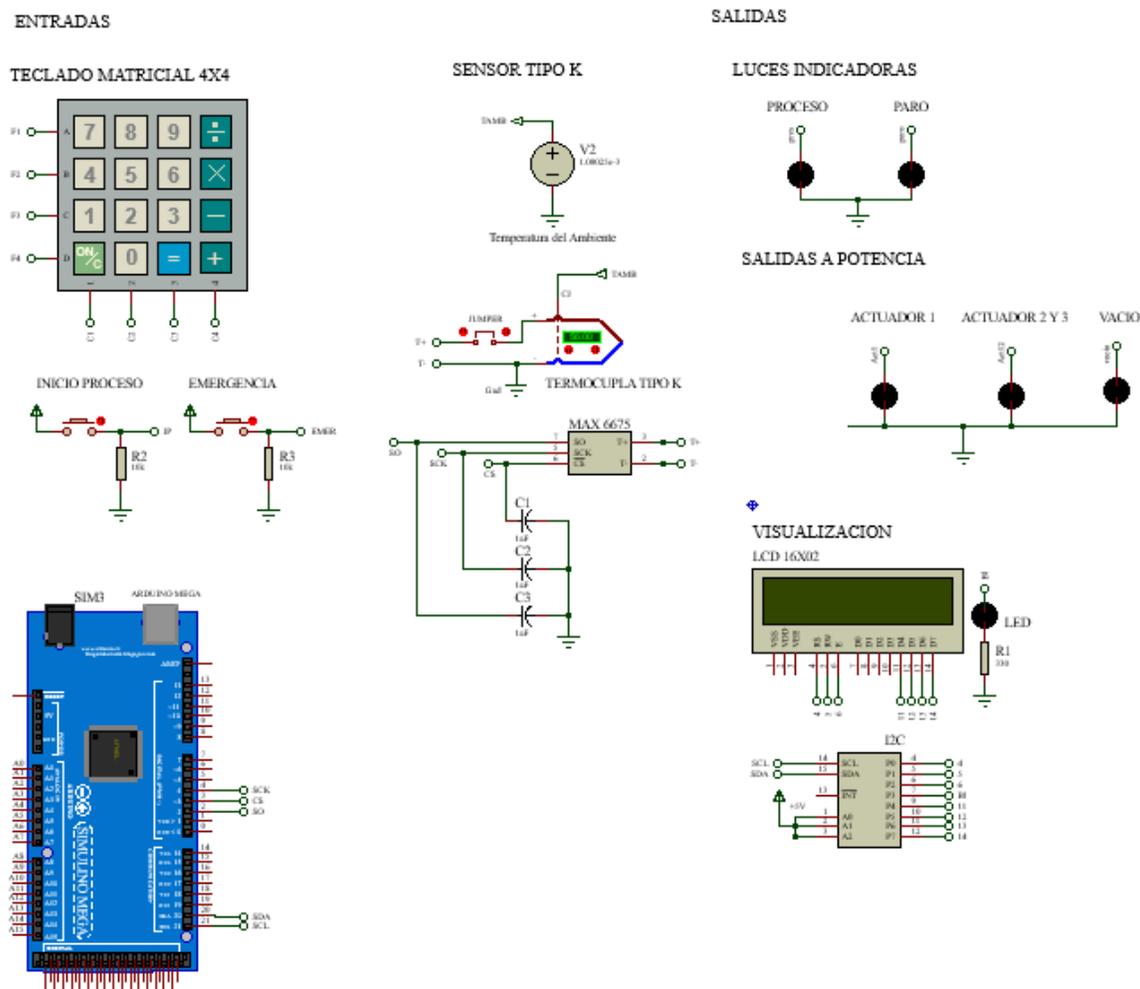


Ilustración 41. Diseño de circuito electrónico en Proteus 8. Fuente: Autor (Romo Jimmy).

2.1.6.4 *Análisis del sistema de control*

Tomando a consideración el funcionamiento del calefactor se ha realizado el análisis para su control mediante la ayuda de software.

Matlab es una herramienta que nos brinda una amplia solución en análisis de sistemas mediante la adquisición de datos se procede a tomar el comportamiento de la calefacción en tiempo real, dando como resultado el comportamiento que se muestra en la Ilustración 42.

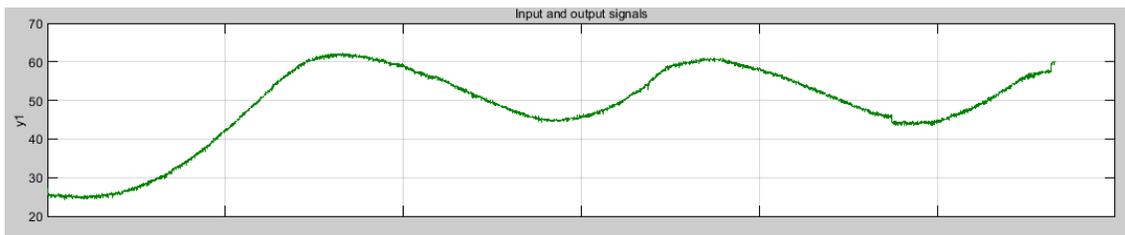


Ilustración 42. Comportamiento de calentamiento en el calefactor. Fuente: Autor (Romo Jimmy).

Aplicado el control automático definido por el controlador Camsco se aprecia un control más estable el cual se muestra en la Ilustración 43 .

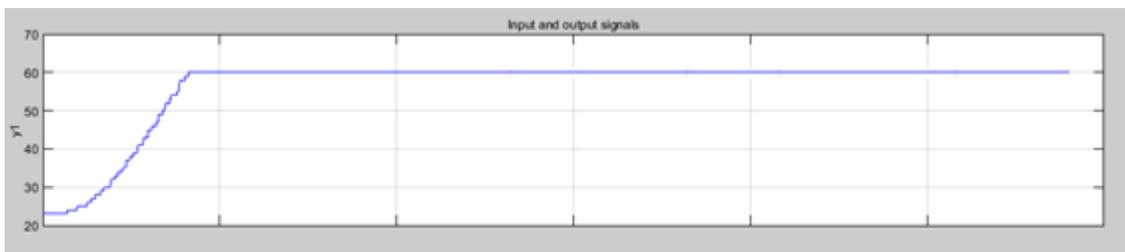


Ilustración 43. Control realizado por el controlador Camsco. Fuente: Autor (Romo Jimmy).

Se realiza un análisis para ambas gráficas para determinar sus funciones de transferencia que definen su comportamiento, asimismo con la ayuda de Matlab se representa el análisis de la Ilustración 42 e Ilustración 43 como se muestra en la Ilustración 44 e Ilustración 45 respectivamente.

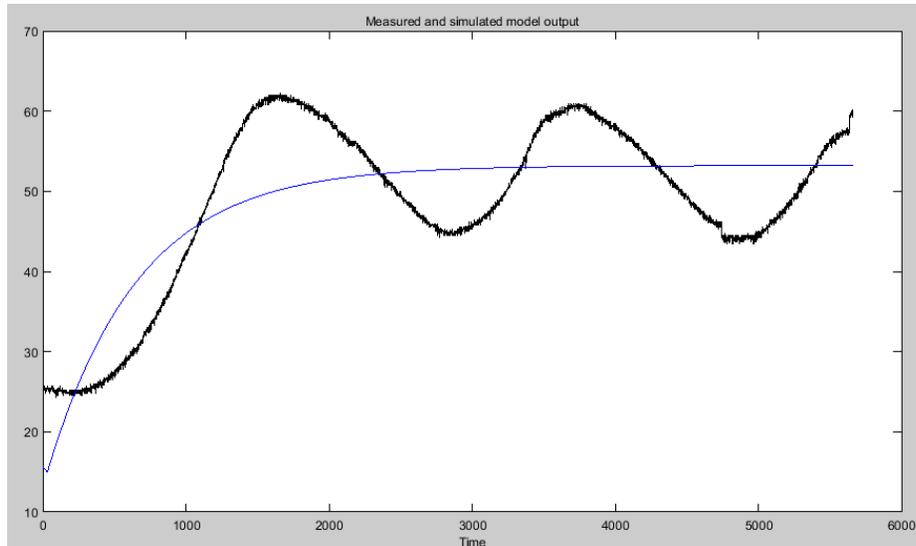


Ilustración 44. Simulación del modelo de la función de transferencia sin control. Fuente: Autor (Romo Jimmy).

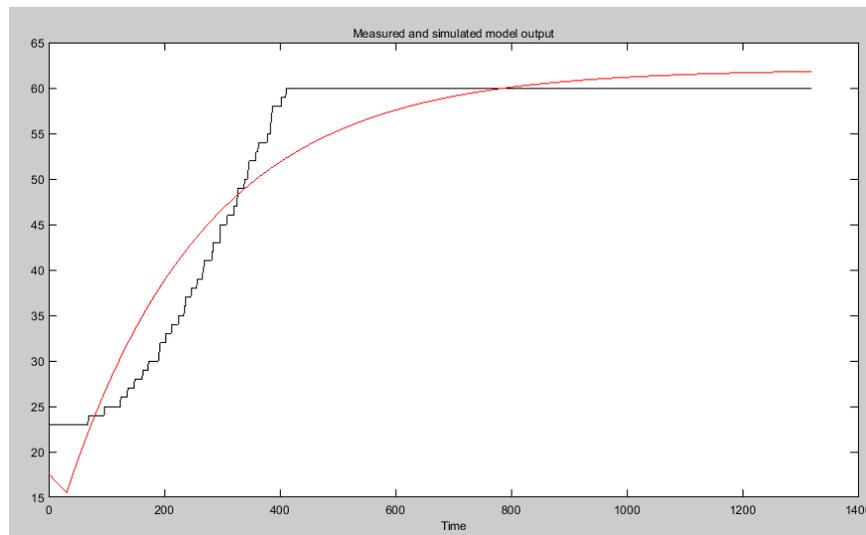


Ilustración 45. Simulación del modelo de función de transferencia con control de Camsco. Fuente: Autor (Romo Jimmy).

Con una aproximación en su estabilidad de un 86.73%, se obtuvo la función de transferencia, descrita en la Ecuación 21 y representada en la Ilustración 46.

$$G = \exp(-30s) * \frac{62.05}{243.2 * s + 1}$$

Ecuación 21. Función de transferencia del sistema de calefacción.

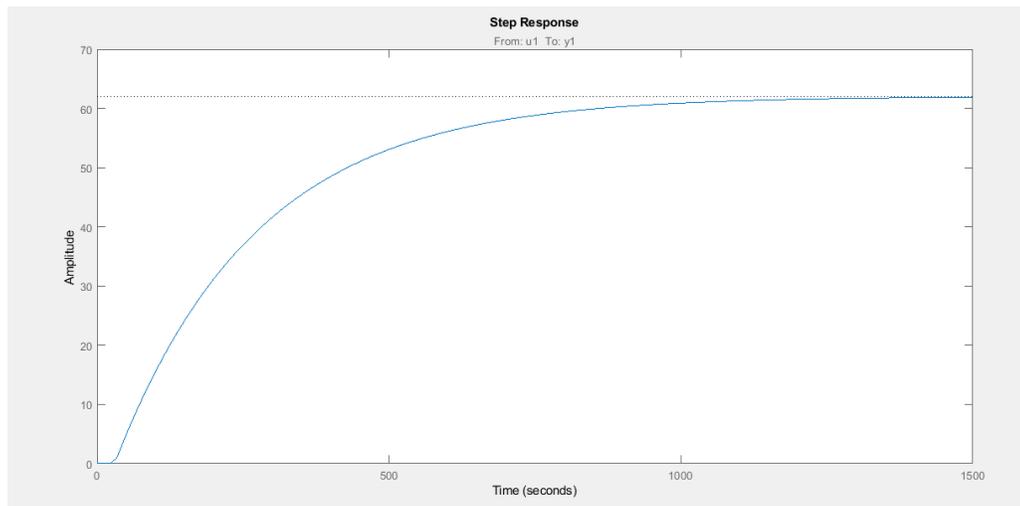


Ilustración 46. Modelo de la función de transferencia. Fuente: Autor (Romo Jimmy).

Para un control más estable y adecuado de acuerdo a la resistencia del calefactor que se tiene se utiliza la herramienta para el cálculo de un control PID, para mostramos los valores adecuados de las constantes de control.

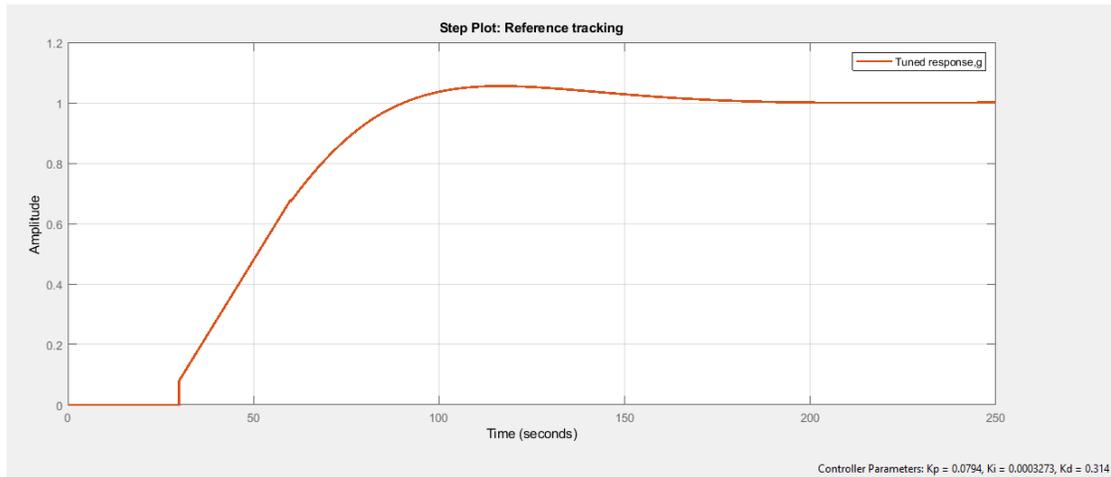


Ilustración 47. Representación del control PID para el calefactor. Fuente: Autor (Romo Jimmy).

De acuerdo al análisis realizado se ha obtenido las constantes para el control PID, $K_p=0.0794$, $K_d=0.314$, $K_i=0.0003273$, los cuales serán implementados en el controlador CamSCO para el funcionamiento correspondiente al calefactor.

2.1.6.5 Acondicionamiento eléctrico

Para la aplicación que se realiza se deberá tener las siguientes consideraciones, el aumento de las pérdidas, la capacidad de corriente nominal de los cables a ser usados por el sistema, el calentamiento que se puede llegar a producir y así dañar los materiales que lo rodean, la aislación y cubierta del cable.

Para la selección de un conductor [29], se debería tomar en consideración las principales características que tienen:

Consideraciones eléctricas. - tamaño (capacidad de corriente), tipo y espesor de la aislación, nivel de tensión (baja, media, alta), capacidad eléctrica, resistencia de aislación, factor de potencia.

Consideraciones térmicas. - compatibilidad con el ambiente, dilatación de la aislación, resistencia térmica.

Consideraciones mecánicas. - flexibilidad, tipo de chaqueta exterior, armado, resistencia al impacto, abrasión, contaminación.

Consideraciones químicas. - aceites llamas, ozono, luz solar, ácidos.

Calculo de calibre de los alimentadores

Existen métodos que nos ayudan a calcular el calibre de los alimentadores principales de una instalación eléctrica:

- Por corriente
- Por caída de tensión
- Por resistencia de los conductores

Dependiendo de las tensiones que se va a ocupar los cables se categorizan en grupos de tensiones por rango de volts.

- Cables de muy baja tensión (hasta 50 V)
- Cables de baja tensión (hasta 1000 V)
- Cables de media tensión (30 kV)
- Cables de alta tensión (hasta 66 kV)
- Cables de muy alta tensión (por encima de los 770 kV)

Los cables y los alambres eléctricos al categorizarse en el sistema AWG (American Wire Gauge), también es útil conociendo el diámetro del cable en el sistema métrico y decimal, Anexo 12.

De acuerdo al Anexo 13 se estima la capacidad de soportar el amperaje en los alambres de cobre, se sabe que la resistencia ocupa una potencia de 770 W es por ello que será adecuado un calibre 10 o 12 ya que es un consumo medio-bajo, ha de considerar que se seleccionara el tipo de cable que soporta temperaturas altas para no cubrir inconvenientes posteriormente. En cuanto a las conexiones electrónicas un calibre 16 a 18 será estéticamente adecuado para su utilización.

Capítulo IV

Construcción

Para el proceso de construcción de la máquina termoformadora representada en la Ilustración 48, se ha proporcionado de la utilización de los equipos que se muestran en la Tabla 23.

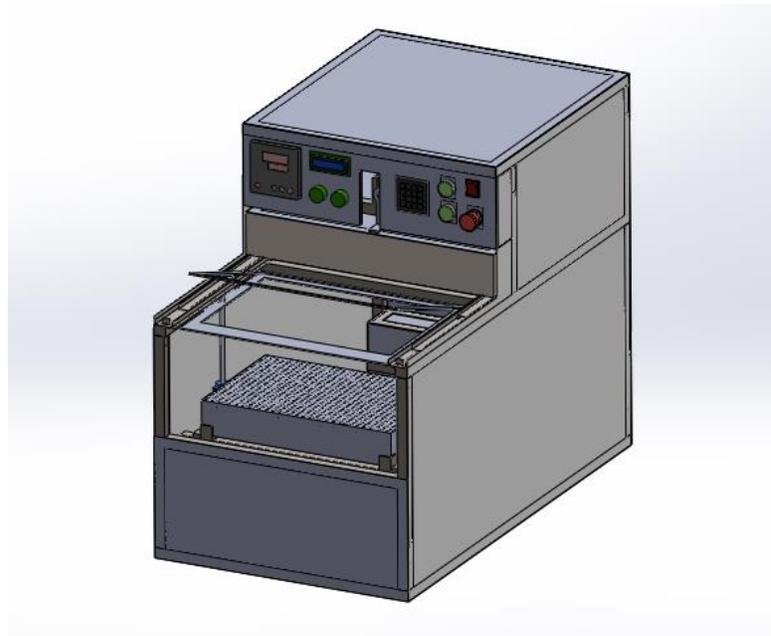


Ilustración 48. Representación final de máquina termoformadora en SolidWorks. Fuente: Autor (Romo Jimmy)

Para la construcción se ha de considerar también la protección y equipo de seguridad también utilizado tanto en operarios de máquinas ocupadas como en practicante o supervisor del proceso de manufactura utilizando así guantes de protección, mandil, casco, gafas, orejeras, cubre boca, entre otros equipos de seguridad personal.

Tabla 23
Herramientas utilizadas en la construcción de la maquina termoformadora

Tipo	Equipo
M	Cortadora
H	Escuadra metálica
H	Sierra de acero
M	Taladro
H	Lápiz
M	Amoladora
H	Brocas
H	Flexómetro
H	Pinzas
H	Alicates
H	Destornillador
H	Estilete
H	Tijeras de acero
M	Suelda de arco eléctrico
M	Motor-tool
H	Lija de acero

Nota: se toma de referencia que M es para máquina y H para lo que se considera una herramienta.

Elaboración de los elementos de la maquina

Para la construcción de la maquina se ha realizado la elaboración de los componentes en el siguiente orden.

3.1.1 Calefactor

Para la elaboración del calefactor se ha tomado los siguientes componentes:

- Tubo rectangular 20x40 mm, con espesor de 1.10
- Plancha galvanizada ASTM A653
- Plancha de aluminio liso AA110H14 LISA
- Riel de extensión de 55cm.
- Lijas gruesa y delgada para acero.
- Tornillos.



Ilustración 49. Riel de extensión. Recuperado de: Riles y correderas. Disponible en: www.ardisa.com

Considerando las medidas correspondientes se ha elaborado el calefactor, dando así el marco correspondiente y adaptando un par de riel de extensión. Una segunda parte se ha colocado la resistencia usando pletina para tenga soporte en el marco realizado como se observa en la Ilustración 50.



Ilustración 50. Resistencia tubular Fuente: Autor (Romo Jimmy).

Con la utilización de la lámina de acero galvanizado se ha realizado la cubierta o canaleta en la cual se coloca la lana de vidrio y para su cubierta en la construcción se ha colocado tapas. Con ello acabados manuales como lijada y pintura para su proceso final dando como resultado en lo que se aprecia en Ilustración 51.

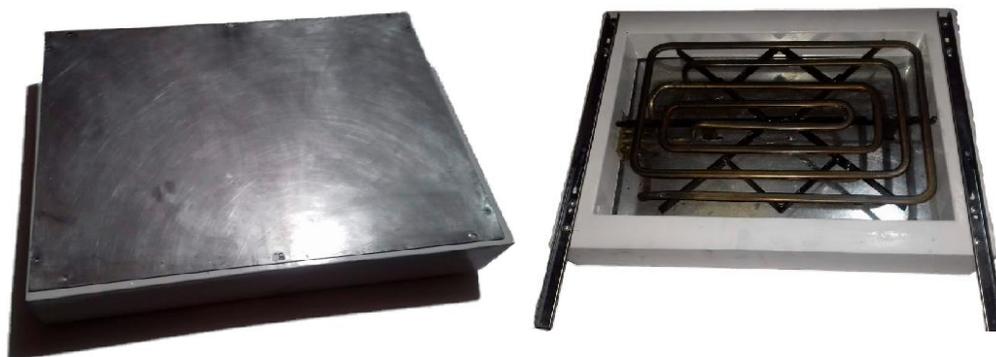


Ilustración 51. Calefactor en su proceso final. Fuente: Autor (Romo Jimmy).

3.1.2 Bastidor de sujeción

Para lo que conforma el bastidor de sujeción se ha utilizado los siguientes elementos:

- Pletina 19x3
- Bisagras de hierro.
- Jaladera para mueble (Ilustración 52).
- Seguros Sash Lock (Ilustración 53).
- Tornillos



Ilustración 52. Jaladera para mueble recuperado de: Jaladera Barra 12.5cm Acero Inoxidable Hueca Nickel. Disponible en: articulo.mercadolibre.com.mx



Ilustración 53. Seguros Sash Lock. Recuperado de: Window Sash Lock, Brass-Plated. Disponible en: www.bhg.com



Ilustración 54. Bastidor de sujeción. Fuente: Autor (Romo Jimmy).

3.1.3 Cámara de vacío

Para la construcción de la cámara de vacío, se ha elaborado un proceso de soldadura y se ha seleccionado para su realización plancha de acero inoxidable AISI-304/316 con espesor de 1mm como se observa en la Ilustración 55.



Ilustración 55. Cámara de succión. Fuente: Autor (Romo Jimmy).

3.1.4 Estructura

Tomando las consideraciones necesarias y anteriormente seleccionada se realizó la construcción de la estructura, la elaboración de las piezas se hizo mediante soldadura eléctrica para así dar forma a la estructura final. Ver Ilustración 56.



Ilustración 56. Estructura Final. Fuente: Autor (Romo Jimmy).

3.1.5 Sistema neumático

Se adquiere los cilindros de doble efecto FVC 32x400-S E-mc, con un desplazamiento de 32 mm de diámetro y 400 mm de carrera (Ilustración 57) y dos cilindros RAL 20x150-s E-mc, con un diámetro de 20mm y 150 mm de desplazamiento (Ilustración 588).

Para si adecuación y su conexión se adquiere conjuntamente dos válvulas 5-2 con solenoide a 24 V, y con retorno por muelle V5221-E408, 4 racores con regulación de 1/4"x6mm, 6 racores rectos 6mm x 1/8,4 silenciadores de bronce 1/8 A-6, 3 racores tipo T de 6mm y manguera de 6mm de diámetro.(Ilustración 599).



Ilustración 57. Cilindro FVC 32x400-2 E-mc. Fuente: Autor (Romo Jimmy).



Ilustración 58. Cilindros RAL 20x150-s E-mc. Fuente: Autor (Romo Jimmy).



Ilustración 59. Válvulas V5221-E408 con sus componentes de conexión Fuente: Autor (Romo Jimmy).

3.1.6 Implementación del sistema de control

El panel de control es aquel que está a vista del operario para su manipulación y opta por adecuar y colocar los componentes de una manera estética de acuerdo a su función.

Para la realización de este se colocó los siguientes componentes:

- Pulsador hongo retenido 22mm
- Luz piloto roja
- Luz piloto verde
- 2 Pulsadores de marcha metálico
- Switch On-off
- Teclado matricial 4x4
- Lcd 16x2
- Controlador de temperatura digital 96x96mm de 0- 1200°C 110/220V

En cuanto a el funcionamiento interno se utiliza:

- 2 relés de estado sólido IP mini 3-32 VCD 90-480 VAC 10^a
- 3 módulos de 1 relé.
- Fuente regulada de 5 y 24 Volts
- Arduino mega 2560
- Borneras de conexión
- Terminales para cables
- Cable 18, 14, 12 para conexiones eléctricas y de mando.

De acuerdo a lo establecido se ha armado con los componentes y de acuerdo a cada una de sus funciones y se ha colocado de la manera más acorde a su característica estética para su ejecución tal como se aprecia en la Ilustración 60, dado así el acabado final de la máquina.



Ilustración 60. Termoformadora de la empresa Multipaneles CIA.LTDA. Autor (Romo Jimmy)

Capítulo V

Análisis de resultados

Pruebas de funcionamiento

Para considerar las pruebas de funcionamiento de la máquina, se debe tomar en cuenta los siguientes aspectos.

Verificar la entrada de corriente, en la cual esté conectada la entrada de corriente y la salida a la aspiradora.

La entrada de aire de la aspiradora no debe estar con ningún tipo de escape de aire, ya sea por mala colocación de la manguera o por posibles configuraciones de la aspiradora ya que debe de tener su succión de aire a máximo porcentaje. Por seguridad verificar la llave de aire de la máquina que esté cerrada.

Tomar en consideración la salida de presión del compresor que no sobrepase los 6 Bar, de esta presión depende la apertura de la válvula de la máquina, para asegurar el funcionamiento y seguridad de los elementos neumáticos.

Una vez realizadas las conexiones de funcionamiento, se considera verificar el tamaño de las láminas del termoformado, el tipo de lámina con la cual se va a trabajar y el tiempo al cual se someterá dicha lamina.

Se han realizado las pruebas con funcionamiento de la maquina en un tiempo de una hora de trabajo, tomando esta consideración se ha realizado la Tabla 24, datos que se ha tomado experimentalmente.

Tabla 24
Tiempo vs. temperatura con respecto a las pruebas de funcionamiento

Temperatura de control	Temperatura trasferida al ambiente	Tiempo de control	Tiempo de termoformado
340	94,50	6,45	2,40
370	128	8,30	1,30
400	145	9,45	0,50
440	160	10,50	0,40

Nota: Valores realizados experimentalmente. Autor (Romo Jimmy).

De estos resultados se ha aprecia que el comportamiento real de la maquina está dada por un tiempo de 50 segundos como tiempo ideal de calentamiento para la lámina de PVC y es necesario tomar en cuenta que el control ha de llegar a una temperatura de 400°C en un tiempo de 10 minuto aproximados.

Gracias a estas variables se muestra los resultados de termoformado en la Ilustración 61. Formado de primeros moldes. Autor (Romo Jimmy) Ilustración 611, como primeras pruebas de funcionamiento.



Ilustración 61. Formado de primeros moldes. Autor (Romo Jimmy).

Tras varias pruebas de una muestra de 20 ciclos, 5 de los cuales se consideran con un error en su resultado final. Tal como se aprecia en la Ilustración 62.



Ilustración 62. Error de termoformado. Autor (Romo Jimmy).

Para mejorar el proceso se opta por precalentar el molde, aumentar el tiempo de espera para que se realice el control de temperatura del calefactor lo aconsejable dejar en reposo unos 15 minutos antes de ser usado, al considerar esto y mediante pruebas aumentar el tiempo de termoformado se aprecia un mejor resultado en la matriz tal como se muestra en la Ilustración 63, para ello se ha de tomar en cuenta el tipo de la matriz ya que puede alterar el acabado del molde, dejando irregularidades frágiles en las partes más altas del modelo.



Ilustración 63. Termoformado aceptable de las muestras. Autor (Romo Jimmy).

La automatización de la máquina termoformadora de la empresa Multipaneles CIA.LTA. ha sido modificada en su estructura dando como resultado una implementación de control automático, en el cual su estudio de termoformado en PVC mediante vacío, se muestra un proceso completo de producción de 50 moldes por hora, tomando en consideración que depende de medios del operario para su funcionamiento.

La inversión en esta máquina se ha considerado favorable ya que tiene una buena tasa de retorno lo que indica que en un cierto tiempo se generara ganancias recuperando dicha inversión.

Análisis económico – financiero

Para este análisis se ha de realizar con una toma de decisión en el proceso de manufactura dando un valor directo e indirecto a la máquina y sumando aquel valor

económico más relevante para así dar un presupuesto al valor que tenga esta máquina a comparación de otras ya realizadas.

4.1.1 Costos directos e indirectos

“Los costos se definen como la mediación en términos monetarios, de la cantidad de recursos utilizados para algún propósito u objetivo, tal como un producto comercial ofrecido para la venta en general de un proyecto o construcción. Los recursos emplean materia prima, materiales de empaque, horas de mano de obra trabajada, prestaciones, personal salariado de apoyo, suministros y servicios comprados y capital atado en inventario, terrenos edificios y equipo” - Edward Menesby. [30]

Para la realización de los costos se ha clasificado por costos directos e indirectos tal, como se muestra en la *Figura 6*.

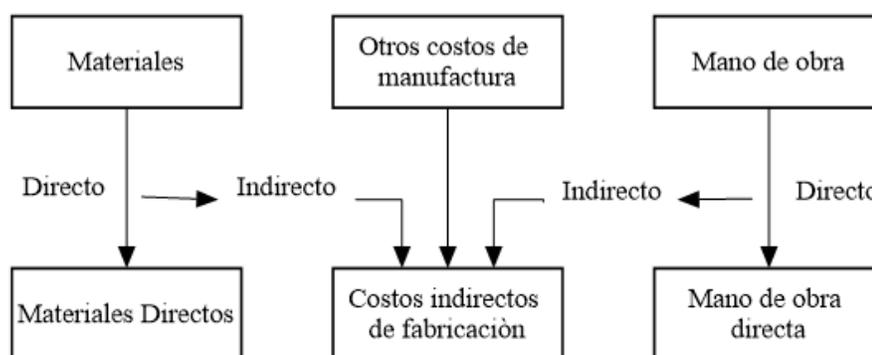


Figura 6. Elementos de un producto. Adaptado de: [30] Disponible en: repository.unad.edu.co

Tomando estas consideraciones se realiza cada costo directo e indirecto de cada elemento fabricado en la máquina.

4.1.1.1 Calefactor

Tabla 25
Costo directo Calefactor

Material	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Tubo rectangular 20x40 mm, con espesor de 1.10	1	6,35	6,35
Plancha galvanizada ASTM A653	1	8,00	5,00
Plancha de aluminio liso AA110H14 LISA	1	10,00	3,00
Riel de extensión de 55cm.	1	5,54	5,54
Resistencia	1	20,00	20,00
Fibra de vidrio		10,00	10,00
		Total	49,89 USD

4.1.1.2 Bastidor de sujeción

Tabla 26
Costo directo Bastidor de sujeción

Material	Cantidad	Precio Unitario	Precio total
Pletina	1	2,35	2,35
Bisagras	2	0,25	0,50
Jaladera para mueble	1	2,00	2,00
Seguros	2	2,50	5,00
Sellador Espuma en cinta	1	3,44	3,44
Tuercas 8mm	2	0,151	0,30
		Total	13,59 USD

4.1.1.3 Cámara de vacío

La cámara de vacío se ha realizado por soldadura y con material que se cobró con la mano de obra en un precio de 20 USD.

4.1.1.4 Estructura

Tabla 27
Costo Cámara de vacío

Material	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Tubo estructural 3/4x 1/2	3	4,95	14,85
Plancha de acero inoxidable	1	42,00	42,00
Tornillos	40	0,475	1,90
Arandelas	2	0,35	0,70
Abrazadera metálica	6	0,04	0,24
Garrucha	4	1,25	5,00
		Total	64,69 USD

4.1.1.5 Sistema neumático

Tabla 28
Costo Sistema neumático

Material	Cantidad	Precio unitario	Precio total
RAL-20X150-S	2	32,74	65,48
FVBC-32X350-S	1	109,89	109,89
V5221-E4-08	2	44,44	88,88

Racor recto 6mmX1/4"	6	1,43	8,58
Silenciador bronce 1/8	4	0,91	3,64
Manguera 6mm	5	0,85	4,25
Racor t 6mm	3	1,22	3,66
Racor regulable 1/4"X6mm	4	5,88	23,52
Llave paso aire 1/4"	1	3,80	3,80
Acople para compresor	1	1,50	1,50
Acople manguera	1	6,00	6,00
Total			319,20 USD

4.1.1.6 Sistema de control

Tabla 29
Costo Sistema de control

Material	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Arduino mega 2650	1	17,00	17,00
Control de temperatura digital	1	40,42	40,42
Relé estado solido	2	10,65	21,30
Módulo relé	3	2,80	8,40
Cable de poder	1	2,80	2,80
Jack para cable de poder	1	1,25	1,25
Pulsador hongo	1	2,50	2,50
Luz piloto roja	1	1,16	1,16

Luz piloto verde	1	1,25	1,25
Pulsador de marcha	2	2,01	4,02
Sensor tipo k	1	10,00	10,00
Cable conexión macho hembra hilos	1	3,00	3,00
Cable 18	4	0,90	3,60
Cable 14	2	0,71	1,42
Cable 12	1	0,80	0,80
		Total	118,92 USD

4.1.1.7 Costos Indirectos

Tabla 30
Costos Indirectos

Material	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Guantes	1	2,50	2,50
Gafas protección	1	3,00	3,00
Protección de oídos	1	0,75	0,75
Tornillos	20	0,475	0,95
Lija	10	0,35	3,50
Disco de corte	2	4,00	4,00
Disco abrasivo desbaste	1	3,00	3,00
Broca de hierro 1/8"	2	0,40	0,80
Broca de hierro 3/32"	4	0,25	1,00
Desarmador	1	1,70	1,70
Punta desarmador estrella	2	0,40	0,80

Terminal en u	14	0,10	1,40
Espagueti 2mm	2	0,50	1,00
Organizador de cable 12mm	1	2,17	2,17
Pintura negra	1	4,00	4,00
Pintura blanca	1	3,25	3,25
Masilla plástica	1	4,00	4,00
electrodos	1	5,00	5,00
		Total	42,82 USD

4.1.1.8 Costos de fabricación

Tabla 31
Costos de fabricación

Material	Descripción	Precio total
Soldadura y dobles de plancha galvanizada	Canaleta en la calefacción	20,00
Plancha acero inoxidable	Doble y corte	20,00
Soldadura eléctrica	Mano de obra	100,00
Pintura	Lijado y pitado de estructura	30,00
Calefactor	Soldadura y perforación	20,00
Total		190,00 USD

4.1.1.9 Costo total

Tabla 32
Costo total de fabricación de la maquina

Descripción	Precio
Calefactor	49,89
Bastidor de sujeción	13,59
Estructura	64,69
Sistema neumático	319,20
Sistema de control	118,92
Costos indirectos	42,82
Costos de fabricación	190,00
Total	857,52 USD

4.1.1.10 Rentabilidad de inversión

Se utiliza dos tipos de herramientas financieras que en el mundo de las finanzas dan la posibilidad de evaluar la rentabilidad que nos ofrecen los diferentes proyectos a los cuales se va a invertir el valor actual neto y la tasa interna de retorno.

El VAN se conoce como la diferencia del dinero que genera beneficios a la empresa.

$$VAN = -I + \sum \frac{FNE}{(1+i)^n} \quad \text{Ecuación 22. Estructura VAN}$$

Donde:

I: representa la inversión

FNE: flujo neto de efectivo

i: tasa de descuento

n: años de proyección

La empresa Multipaneles CIA.LTA. ha elaborado este proyecto como una fuente de ingreso como emprendimiento por lo que no se tiene registros anteriores de largo periodo en ventas y gastos directos e indirectos por lo cual se ha tomado la conclusión de hacer un aproximado de las ganancias durante el periodo que se hizo funcionar la máquina sin implementar.

Tomado los datos que ha proporcionado la empresa con la elaboración del chocolate se tiene que se realizaban 200 moldes de chocolate y al precio que se ha considerado en sus ventas generó una ganancia de \$ 900 dólares, tomando un descuento aproximado de los gastos indirectos de la producción.

Con la implementación de la máquina se toma en cuenta tiempos de producción, se intentaría duplicar la producción y disminuir los gastos indirectos para estimar un aproximado en ganancias de \$ 2600 dólares.

De estos \$ 2600 dólares que se generarían en la producción se realizara un descuento de costos de producción aproximado de \$ 800 dólares, \$ 250 en materia prima para el chocolate, \$ 100 en gastos de producción, y \$ 200 dólares en descuento de venta, y que cada plancha de chocolate se vende a \$ 4,50 dólares cada una.

La diferencia incluida de estos valores con el valor de la elaboración de la máquina termoformadora nos da un resultado de un flujo neto de efectivo de \$ 392,48 dólares y un desembolso inicial de \$ 857,52 dólares.

Para calcular el VAN de la inversión se realiza mediante la ec22. Con una tasa de interés de 12% y una proyección de vida útil del proyecto a 5 años.

Con un valor de \$ 558.22 dólares, el VAN nos indica que es una inversión favorable.

El TIR es un indicador muy fiable en lo que refiere a la rentabilidad de un proyecto, se define como la tasa de descuento que hace que el VAN de un Proyecto sea igual a cero, [31].

$$0 = -I + \sum \frac{FNE}{(1 + TIR)^n} \quad \text{Ecuación 23. Estructura TIR}$$

Donde:

I: representa la inversión

FNE: flujo neto de efectivo

TIR: tasa de retorno

n: años de proyección

Se acepta el proyecto ya que cuya tasa interna de retorno es 35,90 % y esta es mayor que el costo de oportunidad de la inversión, es decir que la tasa de interés que indica el TIR calculado, obtendrá ganancias y por eso el proyecto es rentable.

Conclusiones

Para la automatización de la máquina termoformadora se realizó un estudio pertinente, y así conocer el proceso y los subprocesos que debe cumplir la máquina, se requirió la experiencia de un experto para tomar las debidas sugerencias para realizar un buen acabado de termoformado para implementar el nuevo sistema y dar un control de fácil uso con una interfaz humano-máquina apropiada al proceso.

Con el análisis previo del sistema automático se realizó la fabricación de la maquina termoformadora dividiendo el sistema de termoformado en subconjuntos, calefactor, bastidor de sujeción, caja de succión, estructura, sistema neumático, y sistema de control.

Para el sistema de termoformado se considera un control para el calentamiento de las láminas de PVC de 297X420mm inferior a 400 °C, un desplazamiento de aire alrededor de 70 CFM en la caja de succión comprendida por orificios de 1/8" y distanciados a 12mm cada uno.

La máquina está diseñada para realizar hasta 50 moldes por hora aproximadamente en trabajo continuo.

La rentabilidad del proyecto es del 35 % con un VAN de \$ 558.22 dólares por lo que la máquina es completamente rentable y representa una recuperación de la inversión en el primer año de funcionamiento.

El sistema automático de la máquina termoformadora realiza un proceso adecuado para el operario, brindando seguridad y mejorando la calidad del producto final.

Recomendaciones

Se ha determinado que se puede realizar mejoras en trabajos futuros de cada uno de sus sistemas en el diseño del proceso, en el calefactor se sugiere realizar un estudio más profundo para un aislamiento de todo el sistema y así disminuir pérdidas de transferencia de energía, ya que por ser un sistema abierto es complejo controlar la cantidad de masa de aire que se desplaza para calentar la lámina de PVC.

Es aconsejable usar una aspiradora con capacidad de desplazar un flujo de aire mayor a 70 CFM. Una buena alternativa sería invertir en una turbina de succión que tendría la capacidad de desplazar mucho más aire en poco tiempo.

Al ser una máquina de proceso industrial es aconsejable utilizar un PLC para el sistema y así se pueda manejar diferentes potencias de consumo correspondientes a la aplicación.

En los moldes se aconseja diseñar con un ángulo de desmolde entre 1 a 3° para facilidad de la operación y llevar un historial de pruebas para el control de producción.

Realizar un estudio para establecer pruebas de relaciones entre diferentes materiales termoformables debido a su comportamiento práctico con su deformación y tiempo de calentamiento.

Es aconsejable tomar medidas de seguridad de la máquina con respecto a la parte de colocación y extracción de moldes por precaución a posibles daños en los moldes o por seguridad del mismo usuario.

Referencias

- [1] M. A. V. Wagner, Automatización de una termoformadora industrial, Santiago de Cali, 2011.
- [2] C. P. Belmonte, Desarrollo de sistema de bajo coste para termoconformado por vacío de láminas plásticas, Valencia, 2012.
- [3] Fabrinco, Tutorial Termoformado, Buenos Aires, 2014.
- [4] F. I. L. A Vacuum Forming Guide, Reino Unido: Formech International Limited.
- [5] Facultad de Ciencia y Tecnología, Manual de Temoformado UMSS, Cochabamba, 2017.
- [6] A. Miravete, Los nuevos materiales en la construcción, Zaragoza: Antonio Miravete, 1995.
- [7] S. García, Referencias historicas y evolución de los plasticos, Valencia, 2009.
- [8] M. Á. F. Morales, Reciclado y Tratamiento de Residuos, Madrid: UNED, 2008.
- [9] Plastiglas, Manual Técnico Termoformado, México, 2013.
- [10] E. G. Brusil Arellano, Automatización del proceso de termoformado para la elavoración de moldes de chocolate en la empresa"", Ibarra, 2016.
- [11] B. J. C. L. Viviana Patricia Pérez Ramos, Diseño y construccionn de una maquina de termoformado, Milagro, 2012.

- [12] J. M. Juárez López, Diseño, Simulación y Desarrollo del Sistema de Control Electromecánico Automatizado JMJLUC-AVAT-01 de una Máquina de Termoformado para la Pequeña y Mediana Empresa, México D.F, 2015.
- [13] A. S. Nicolás, Neumática Práctica, Madrid: Paraninfo, 2009.
- [14] F. J. H. Castañeda, «Diseño de redes de aire comprimido y selección de componentes neumáticos,» UTP.
- [15] C. Riba Romeva, Diseño Concurrente, Catalunya: UPC, 2002.
- [16] Y. A. Cengel y A. J. Ghajar, Transferencia de calor y masa, México: McGraw Hill, 2011.
- [17] R. A. Burns, Fundamentos de química, México: Pearson, 2011.
- [18] ELECTRICFOR, 2018. [En línea]. Available: <https://www.electricfor.es/es/17941/diccionario/Incoloy-800.htm>.
- [19] E. S.L, «Erica,» 2018. [En línea]. Available: <http://www.ericas.es/web/aislamiento-termico/>.
- [20] E.MC, Pneumatic Components manufactured by fully-automatic facilities and streamlines, Ningbo: Zhejiang Eternal Automation Sci-Tec Co.,Ltd, 2016.
- [21] Natumedia.com, «tugalt-riobamba.com.ec,» [En línea]. Available: <https://www.tugalt-riobamba.com.ec/producto/tubo-mecanico-cuadrado/>.
[Último acceso: 03 Junio 2019].
- [22] C. A. Smith y A. B. Corripio, Control Automático de procesos Teoría y Práctica, México: Noriega LIMUSA, 1991.

- [23] R. Pallás Areny, *Sensores y acondicionadores de señal*, Barcelona: Marcombo, 2003.
- [24] S. Monk, *30 Proyectos con arduino*, Madrid: McGraw-Hill, 2012.
- [25] E. Crespo, «Aprendiendo Arduino,» Wordpress, 09 Noviembre 2016. [En línea]. Available:
<https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/11/09/alimentacion-arduino/>.
[Último acceso: 18 Febrero 2019].
- [26] E. I. A. Vasquez, «PROFE TOLOCKA,» Etolocka, 09 05 2015. [En línea]. Available: <http://www.profetolocka.com.ar/2015/05/09/modulo-de-4-reles-para-arduino/>. [Último acceso: 18 Febrero 2019].
- [27] R. I. INC, «REX-C700,» Enero 2013. [En línea]. Available:
https://www.rkcinst.co.jp/english/pdf_manual/imnzc22e1.pdf. [Último acceso: 1 08 2019].
- [28] DISAI, «Relés de Estado Sólido (SSR),» DISAI AUTOMATIC SYSTEMS, [En línea]. Available: <https://www.disai.net/producto/reles-de-estado-solido-ssr/>. [Último acceso: 1 08 2019].
- [29] sectorelectricidad, «Sector Electricidad,» esolutions, 11 Septiembre 2013. [En línea]. Available: <http://www.sectorelectricidad.com/5669/conductores-electricos-seleccion/>. [Último acceso: 05 Marzo 2019].
- [30] U. P. L. Andes, «Marco teórico de los costos,» Exelencia Academica, Lima.

- [31] F. M. Morla, Manejo de costos y administración financiera de empresas, Guayaquil: CENAIM, 2002.
- [32] Watlow, «Electric Heaters, Application Guide,» 3 Noviembre 2003. [En línea]. Available:
https://www.instrumart.com/assets/heater_application_guide.pdf.
- [33] PICASSA, «rainbow,» Vorago, 2015. [En línea]. Available:
<https://www.rainbowespana.es/como-funcionan-aspiradoras-rainbow>. [Último acceso: 04 Marzo 2019].
- [34] N. 2018, «El acero del futuro Novacero,» 2015. [En línea]. Available:
<https://www.novacero.com/catalogo-productos/cptuberia-mecanica/tubo.html#tubos-rectangulares>. [Último acceso: 28 Junio 2019].
- [35] Masvoltaje, «Tipos de Cables Eléctricos: Uso, Medidas, Colores y Aislamientos,» Masvoltaje, 27 04 2016. [En línea]. Available:
<https://masvoltaje.com/blog/tipos-de-cables-electricos-que-existen-n12>. [Último acceso: 01 04 2019].
- [36] INALCOA, «Empresa INALCOA,» [En línea]. Available:
<https://www.inalcoa.net/catalogo/aluminios-2/perfiles-aluminio-6063/>.
- [37] C. S.A., Catálogo de perfiles, Quito: Cedal, 2008.
- [38] D. m. S.A., «DIPAC Productos de acero,» ACENOR, 2016. [En línea]. Available: <http://www.dipacmanta.com/planchas-inoxidables>. [Último acceso: 31 07 2019].

Anexos

Anexo 1. Clima en Ibarra, Ecuador.

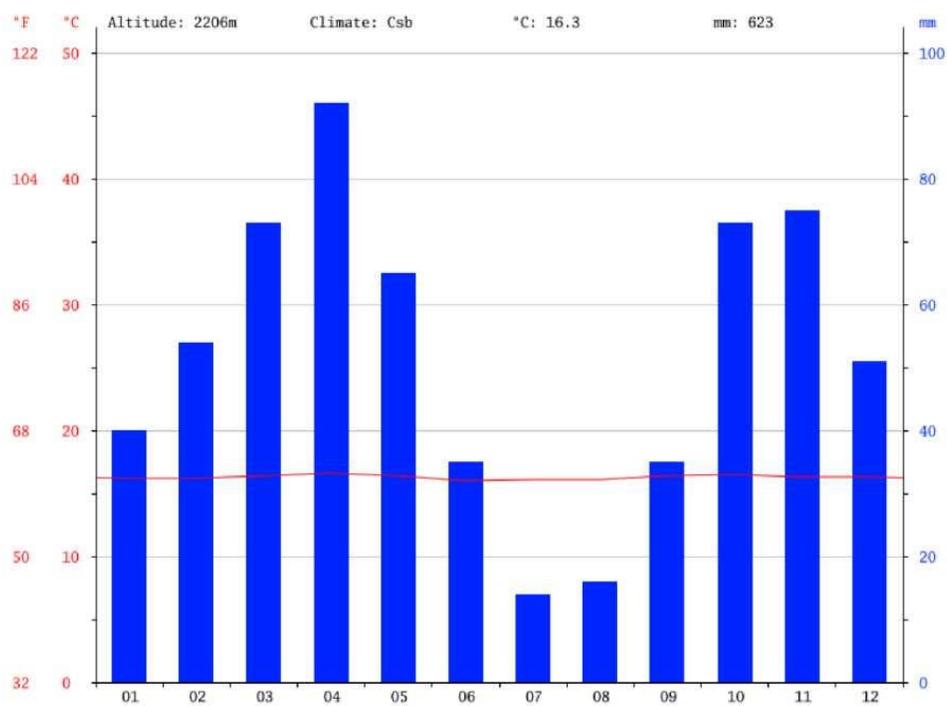
CLIMA IBARRA



Picture-Copyright: OpenStreetMap

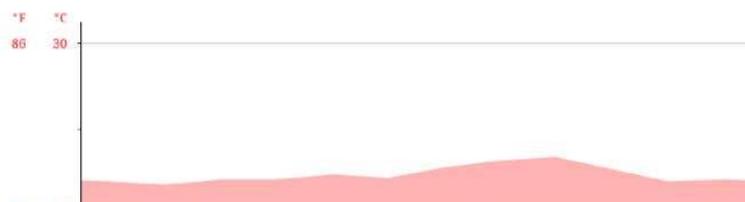
El clima en Ibarra es cálido y templado. La lluvia en Ibarra cae sobre todo en el invierno, con relativamente poca lluvia en el verano. La clasificación del clima de Köppen-Geiger es Csb. La temperatura media anual en Ibarra se encuentra a 16.3 °C. La precipitación es de 623 mm al año.

CLIMOGRAMA IBARRA



El mes más seco es julio, con 14 mm de lluvia. En abril, la precipitación alcanza su pico, con un promedio de 92 mm.

DIAGRAMA DE TEMPERATURA IBARRA



	Ene ro	Febre ro	Mar zo	Abr il	Ma yo	Jun io	Juli o	Agos to	Septiem bre	Octub re	Noviem bre	Diciem bre
Temperat ura máx. (°F)	71.6	71.2	71.8	71.8	72.3	72.0	73.0	73.8	74.1	72.9	71.6	71.8
Precipitac ión (mm)	40	54	73	92	65	35	14	16	35	73	75	51

Hay una diferencia de 78 mm de precipitación entre los meses más secos y los más húmedos. La variación en la temperatura anual está alrededor de 0.6 ° C.

AM Online Projects - Alexander Merkel
Degerforsenstr. 47
74229 Oedheim

Phone: +49 7136 830 52 56

We prefer contact by e-mail.
eMail: klimatable.info@gmail.com

USt-IdNR: DE279133320

[1] A. Merkel, «CLIMATE-DATA.ORG,» [En línea]. Available: <https://es.climate-data.org/america-del-sur/ecuador/provincia-de-imbabura/ibarra-2964/#climate-graph>.

ura mín. (°F)	50.7	51.3	51.3	52.0	50.9	49.8	48.9	48.4	48.9	50.5	51.1	50.9
------------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Anexo 2. Datos técnicos del PVC

Propiedades mecánicas a 23°C		
Propiedades	Unidad	Valores
Peso específico	gr/cm ³	1.45
Resistencia a la tracción	kg/cm ²	550
Resistencia a la compresión	kg/cm ²	610
Resistencia a la flexión	kg/cm ²	700
Resistencia al choque sin entalla	kg.cm/cm ²	No rompe
Alargamiento a la rotura	%	> 20
Densidad de masa	kg/cm ³	0.0014
Módulo de elasticidad longitudinal o de Young	kg/cm ²	30000
Coefficiente de Poisson		0.4
Módulo de elasticidad transversal o cortante	kg/cm ²	10714.29
Límite elástico	kg/cm ²	0.4589
Dureza	Shore D	80 - 83
Resistencia al desgaste por roce		Mala
Propiedades térmicas		
Propiedades	Unidad	Valores
Calor específico	Kcal/kg.°C	0.28
Temperatura de flexión b/carga (18.5kg/cm²)	°C	55
Temperatura de uso continuo en aire	°C	-15 a 60
Temperatura de fusión	°C	150
Temperatura de deflexión al calor	°C	110
Temperatura de termoformado	°C	135 a 175
Coefficiente de dilatación lineal de 23 a 100°C	por °C	0.00011
Coefficiente de dilatación térmica	/°C	0.0000092
Coefficiente de conducción térmica	cal/(cm.s.°C)	35×10 ⁻⁵
Propiedades químicas		
Propiedades	Observaciones	
Resistencia a Hidrocarburos	Deficiente	
Resistencia a ácidos débiles a temperatura ambiente	Muy buena	
Resistencia a alcalinos débiles a temperatura ambiente	Muy buena	
Resistencia a productos químicos definidos	Consultar	
Efecto de los rayos solares	Buena	
Aprobado para contacto con alimentos	Si	
Comportamiento a la combustión	Arde con dificultad	
Propagación de llama	Auto extinguable	
Comportamiento al quemarlo	Se ablanda y descomponc	
Color de la llama	Ámbar con borde verde	
Olor al quemarlo	Cloro	

Nota: Tomado de anexo 2 de [10]

Anexo 3. Emisividad para resistencias de Incoloy

Some Material Emissivities/Metals—Ref. 10

Material	Specific Heat Btu/lb-°F	Emissivity		
		Polished Surface	Medium Oxide	Heavy Oxide
Blackbody			0.75	1.00
Aluminum	0.24	0.09	0.11	0.22
Brass	0.10	0.04	0.35	0.60
Copper	0.10	0.04	0.03	0.65
Incoloy® 800	0.12	0.20	0.60	0.92
Inconel® 600	0.11	0.20	0.60	0.92
Iron, Cast	0.12	—	0.80	0.85
Lead, solid	0.03	—	0.28	—
Magnesium	0.23	—	—	—
Nickel 200	0.11	—	—	—
Nichrome, 80-20	0.11	—	—	—
Solder, 50-50	0.04	—	—	—
Steel				
mild	0.12	0.10	0.75	0.85
stainless 304	0.11	0.17	0.57	0.85
stainless 430	0.11	0.17	0.57	0.85
Tin	0.056	—	—	—
Zinc	0.10	—	0.25	—

Nota: Tomado de [32], Factores de pérdida de calor y gráficos, pg.(21) .

Anexo 4. Propiedades de la atmosfera a gran altitud

Altitud, z, m	Temperatura, T, °C	Presión, P, kPa	Gravedad, g, m/s ²	Velocidad del sonido, c, m/s	Densidad, ρ , kg/m ³	Viscosidad, μ , kg/m · s	Conductividad térmica, k, W/m · K
0	15.00	101.33	9.807	340.3	1.225	1.789×10^{-5}	0.0253
200	13.70	98.95	9.806	339.5	1.202	1.783×10^{-5}	0.0252
400	12.40	96.61	9.805	338.8	1.179	1.777×10^{-5}	0.0252
600	11.10	94.32	9.805	338.0	1.156	1.771×10^{-5}	0.0251
800	9.80	92.08	9.804	337.2	1.134	1.764×10^{-5}	0.0250
1 000	8.50	89.88	9.804	336.4	1.112	1.758×10^{-5}	0.0249
1 200	7.20	87.72	9.803	335.7	1.090	1.752×10^{-5}	0.0248
1 400	5.90	85.60	9.802	334.9	1.069	1.745×10^{-5}	0.0247
1 600	4.60	83.53	9.802	334.1	1.048	1.739×10^{-5}	0.0245
1 800	3.30	81.49	9.801	333.3	1.027	1.732×10^{-5}	0.0244
2 000	2.00	79.50	9.800	332.5	1.007	1.726×10^{-5}	0.0243
2 200	0.70	77.55	9.800	331.7	0.987	1.720×10^{-5}	0.0242
2 400	-0.59	75.63	9.799	331.0	0.967	1.713×10^{-5}	0.0241
2 600	-1.89	73.76	9.799	330.2	0.947	1.707×10^{-5}	0.0240
2 800	-3.19	71.92	9.798	329.4	0.928	1.700×10^{-5}	0.0239
3 000	-4.49	70.12	9.797	328.6	0.909	1.694×10^{-5}	0.0238
3 200	-5.79	68.36	9.797	327.8	0.891	1.687×10^{-5}	0.0237
3 400	-7.09	66.63	9.796	327.0	0.872	1.681×10^{-5}	0.0236
3 600	-8.39	64.94	9.796	326.2	0.854	1.674×10^{-5}	0.0235
3 800	-9.69	63.28	9.795	325.4	0.837	1.668×10^{-5}	0.0234
4 000	-10.98	61.66	9.794	324.6	0.819	1.661×10^{-5}	0.0233
4 200	-12.3	60.07	9.794	323.8	0.802	1.655×10^{-5}	0.0232
4 400	-13.6	58.52	9.793	323.0	0.785	1.648×10^{-5}	0.0231
4 600	-14.9	57.00	9.793	322.2	0.769	1.642×10^{-5}	0.0230
4 800	-16.2	55.51	9.792	321.4	0.752	1.635×10^{-5}	0.0229
5 000	-17.5	54.05	9.791	320.5	0.736	1.628×10^{-5}	0.0228
5 200	-18.8	52.62	9.791	319.7	0.721	1.622×10^{-5}	0.0227
5 400	-20.1	51.23	9.790	318.9	0.705	1.615×10^{-5}	0.0226
5 600	-21.4	49.86	9.789	318.1	0.690	1.608×10^{-5}	0.0224
5 800	-22.7	48.52	9.785	317.3	0.675	1.602×10^{-5}	0.0223
6 000	-24.0	47.22	9.788	316.5	0.660	1.595×10^{-5}	0.0222
6 200	-25.3	45.94	9.788	315.6	0.646	1.588×10^{-5}	0.0221
6 400	-26.6	44.69	9.787	314.8	0.631	1.582×10^{-5}	0.0220
6 600	-27.9	43.47	9.786	314.0	0.617	1.575×10^{-5}	0.0219
6 800	-29.2	42.27	9.785	313.1	0.604	1.568×10^{-5}	0.0218
7 000	-30.5	41.11	9.785	312.3	0.590	1.561×10^{-5}	0.0217
8 000	-36.9	35.65	9.782	308.1	0.526	1.527×10^{-5}	0.0212
9 000	-43.4	30.80	9.779	303.8	0.467	1.493×10^{-5}	0.0206
10 000	-49.9	26.50	9.776	299.5	0.414	1.458×10^{-5}	0.0201
12 000	-56.5	19.40	9.770	295.1	0.312	1.422×10^{-5}	0.0195
14 000	-56.5	14.17	9.764	295.1	0.228	1.422×10^{-5}	0.0195
16 000	-56.5	10.53	9.758	295.1	0.166	1.422×10^{-5}	0.0195
18 000	-56.5	7.57	9.751	295.1	0.122	1.422×10^{-5}	0.0195

Fuente: U. S. Standard Atmosphere Supplements, U. S. Government Printing Office, 1966. Basadas en las condiciones medias redondeadas al año a 45° de latitud y varían con el momento del año y los patrones meteorológicos. Las condiciones al nivel del mar (z = 0) se toman como P = 101.325 kPa, T = 15°C, $\rho = 1.2250$ kg/m³, g = 9.80665 m/s².

Nota: Tomado de [16]. Apéndice 1. Tabla A-17. Pág. 887

Anexo 5. Masa molar, constante de gas y calores específicos de ciertas sustancias.

Sustancia	Masa molar M , kg/kmol	Constante de gas R , kJ/kg · K*	Calores específicos a 25°C		
			c_p , kJ/kg · K	c_v , kJ/kg · K	$k = c_p/c_v$
Aire	28.97	0.2870	1.005	0.7180	1.400
Amoniaco, NH ₃	17.03	0.4882	2.093	1.605	1.304
Argón, Ar	39.95	0.2081	0.5203	0.3122	1.667
Bromo, Br ₂	159.81	0.05202	0.2253	0.1732	1.300
Isobutano, C ₄ H ₁₀	58.12	0.1430	1.663	1.520	1.094
<i>n</i> -Butano, C ₄ H ₁₀	58.12	0.1430	1.694	1.551	1.092
Carbono, bióxido de, CO ₂	44.01	0.1889	0.8439	0.6550	1.288
Carbono, monóxido de, CO	28.01	0.2968	1.039	0.7417	1.400
Cloro, Cl ₂	70.905	0.1173	0.4781	0.3608	1.325
Clorodifluorometano (R-22), CHClF ₂	86.47	0.09615	0.6496	0.5535	1.174
Etano, C ₂ H ₆	30.070	0.2765	1.744	1.468	1.188
Etileno, C ₂ H ₄	28.054	0.2964	1.527	1.231	1.241
Fluoruro, F ₂	38.00	0.2187	0.8237	0.6050	1.362
Helio, He	4.003	2.077	5.193	3.116	1.667
<i>n</i> -Heptano, C ₇ H ₁₆	100.20	0.08297	1.649	1.566	1.053
<i>n</i> -Hexano, C ₆ H ₁₄	86.18	0.09647	1.654	1.558	1.062
Hidrógeno, H ₂	2.016	4.124	14.30	10.18	1.405
Kriptón, Kr	83.80	0.09921	0.2480	0.1488	1.667
Metano, CH ₄	16.04	0.5182	2.226	1.708	1.303
Neón, Ne	20.183	0.4119	1.030	0.6180	1.667
Nitrógeno, N ₂	28.01	0.2968	1.040	0.7429	1.400
Óxido nítrico, NO	30.006	0.2771	0.9992	0.7221	1.384
Nitrógeno, bióxido de, NO ₂	46.006	0.1889	0.8060	0.6171	1.306
Oxígeno, O ₂	32.00	0.2598	0.9180	0.6582	1.395
<i>n</i> -Pentano, C ₅ H ₁₂	72.15	0.1152	1.664	1.549	1.074
Propano, C ₃ H ₈	44.097	0.1885	1.669	1.480	1.127
Propileno, C ₃ H ₆	42.08	0.1976	1.531	1.333	1.148
Agua, H ₂ O	18.015	0.4615	1.865	1.403	1.329
Sulfuro, bióxido de, SO ₂	64.06	0.1298	0.6228	0.4930	1.263
Tetraclorometano, CCl ₄	153.82	0.05405	0.5415	0.4875	1.111
Tetrafluoroetano (R-134a), C ₂ H ₂ F ₄	102.03	0.08149	0.8334	0.7519	1.108
Trifluoroetano (R-143a), C ₂ H ₃ F ₃	84.04	0.09893	0.9291	0.8302	1.119
Xenón, Xe	131.30	0.06332	0.1583	0.09499	1.667

*La unidad kJ/kg · K es equivalente a kPa · m³/kg · K. La constante de gas se calcula de $R = R_u/M$, donde $R_u = 8.31447$ kJ/kmol · K es la constante de gas universal y M la masa molar.

Fuente: Valores de calores específicos se obtuvieron principalmente de rutinas de propiedad preparadas por The National Institute of Standards and Technology (NIST), Gaithersburg, MD.

Nota: Tomado de [16]. Apéndice 1. Tabla A-1. Pág. 867

Anexo 6. Propiedades del aire a presión de 1 atm.

Temp., T , °C	Densidad, ρ , kg/m ³	Calor específico, c_p , J/kg · K	Conductividad térmica, k , W/m · K	Difusividad térmica, α , m ² /s ²	Viscosidad dinámica, μ , kg/m · s	Viscosidad cinemática, ν , m ² /s	Número de Prandtl, Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-6}	5.837×10^{-6}	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
-40	1.514	1 002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
-30	1.451	1 004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
-20	1.394	1 005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
-10	1.341	1 006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1 006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1 006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1 006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1 007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1 007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1 007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1 007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1 007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268
40	1.127	1 007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.918×10^{-5}	1.702×10^{-5}	0.7255
45	1.109	1 007	0.02699	2.416×10^{-5}	1.941×10^{-5}	1.750×10^{-5}	0.7241
50	1.092	1 007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.963×10^{-5}	1.798×10^{-5}	0.7228
60	1.059	1 007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202
70	1.028	1 007	0.02881	2.780×10^{-5}	2.052×10^{-5}	1.995×10^{-5}	0.7177
80	0.9994	1 008	0.02953	2.931×10^{-5}	2.096×10^{-5}	2.097×10^{-5}	0.7154
90	0.9718	1 008	0.03024	3.086×10^{-5}	2.139×10^{-5}	2.201×10^{-5}	0.7132
100	0.9458	1 009	0.03095	3.243×10^{-5}	2.181×10^{-5}	2.306×10^{-5}	0.7111
120	0.8977	1 011	0.03235	3.565×10^{-5}	2.264×10^{-5}	2.522×10^{-5}	0.7073
140	0.8542	1 013	0.03374	3.898×10^{-5}	2.345×10^{-5}	2.745×10^{-5}	0.7041
160	0.8148	1 016	0.03511	4.241×10^{-5}	2.420×10^{-5}	2.975×10^{-5}	0.7014
180	0.7788	1 019	0.03646	4.593×10^{-5}	2.504×10^{-5}	3.212×10^{-5}	0.6992
200	0.7459	1 023	0.03779	4.954×10^{-5}	2.577×10^{-5}	3.455×10^{-5}	0.6974
250	0.6746	1 033	0.04104	5.890×10^{-5}	2.760×10^{-5}	4.091×10^{-5}	0.6946
300	0.6158	1 044	0.04418	6.871×10^{-5}	2.934×10^{-5}	4.765×10^{-5}	0.6935
350	0.5664	1 056	0.04721	7.892×10^{-5}	3.101×10^{-5}	5.475×10^{-5}	0.6937
400	0.5243	1 069	0.05015	8.951×10^{-5}	3.261×10^{-5}	6.219×10^{-5}	0.6948
450	0.4880	1 081	0.05298	1.004×10^{-4}	3.415×10^{-5}	6.997×10^{-5}	0.6965
500	0.4565	1 093	0.05572	1.117×10^{-4}	3.563×10^{-5}	7.806×10^{-5}	0.6986
600	0.4042	1 115	0.06093	1.352×10^{-4}	3.846×10^{-5}	9.515×10^{-5}	0.7037
700	0.3627	1 135	0.06581	1.598×10^{-4}	4.111×10^{-5}	1.133×10^{-4}	0.7092
800	0.3289	1 153	0.07037	1.855×10^{-4}	4.362×10^{-5}	1.326×10^{-4}	0.7149
900	0.3008	1 169	0.07465	2.122×10^{-4}	4.600×10^{-5}	1.529×10^{-4}	0.7206
1 000	0.2772	1 184	0.07868	2.398×10^{-4}	4.826×10^{-5}	1.741×10^{-4}	0.7260
1 500	0.1990	1 234	0.09599	3.908×10^{-4}	5.817×10^{-5}	2.922×10^{-4}	0.7478
2 000	0.1553	1 264	0.11113	5.664×10^{-4}	6.630×10^{-5}	4.270×10^{-4}	0.7539

Nota: Para los gases ideales, las propiedades c_p , k , μ y Pr son independientes de la presión. Las propiedades ρ , ν y α a una presión P (en atm) diferente de 1 atm se determinan al multiplicar los valores de ρ , a la temperatura dada, por P y al dividir ν y α entre P .

Fuente: Datos generados basándose en el software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Fuentes originales: Keenan, Chao, Keyes, Gas Tables, Wiley, 1984, y Thermophysical Properties of Matter, Vol. 3: Thermal Conductivity, Y. S. Touloukian, P. E. Liley, S. C. Saxena, Vol. 11: Viscosity, Y. S. Touloukian, S. C. Saxena y P. Hestermans, IFWPlenum, NY, 1970, ISBN 0-306067020-8.

Nota: Tomado de [16]. Apéndice 1. Tabla A-15. Pág. 884

Anexo 7. Fuerzas teóricas en cilindros de doble efecto

D mm	d mm	Sección cm ²		Esfuerzos en daN para presión en bar							
				2		4		6		8	
		Sa	Sr	Fa	Fr	Fa	Fr	Fa	Fr	Fa	Fr
10	4	0,8	0,6	1,6	1,2	3,2	2,4	4,8	3,6	6,4	4,8
12	6	1,1	0,8	2,2	1,6	4,4	3,2	6,6	4,8	8,8	6,4
16	6	2,0	1,7	4,0	3,4	8,0	6,8	12,0	10,2	16,0	13,6
20	10	3,1	2,3	6,2	4,3	12,4	8,6	18,6	13,8	24,8	17,2
25	12	4,9	3,8	9,8	7,6	19,6	15,2	29,4	22,8	39,2	30,4
32	12	8,0	6,9	16,0	13,8	32,0	17,6	48,0	41,4	64,0	55,2
40	18	12,6	10,0	25,2	20,0	50,4	40,0	75,6	60,0	100,8	80,0
50	18	19,6	17,0	39,2	34,0	78,4	68,0	117,6	102,0	156,8	136,0
63	22	31,2	27,4	62,4	54,8	124,8	109,6	187,2	164,4	249,6	219,2
80	22	50,3	46,5	100,6	93,0	201,2	186,0	301,8	279,0	402,4	372,0
100	30	78,5	71,5	157,0	143,0	314,0	286,0	471,0	429,0	628,0	572,0
125	30	123,	115,7	246,0	213,4	492,0	462,8	738,0	694,2	984,0	925,6
160	40	201,0	188,0	402,0	376,0	804,0	752,0	1206,0	1128,0	1608,0	1504,0
200	40	314,0	301,0	628,0	602,0	1256,0	1204,0	1884,0	1806,0	2512,0	2408,0
250	50	491,0	471,0	982,0	942,0	1964,0	1884,0	2946,0	2826,0	3928,0	3768,0

Nota. Fuerzas de avance y retroceso teórico. Adaptado de [13].pag.95 fig.4.4

Anexo 8. Características técnicas de aspiradora Rainbow E2

Especificaciones técnicas	
Fabricante/ país de origen	Rexair LLC / Cadillac, Michigan U.S.A.
Tensión nominal	100-127 VAC; 220-240 VAC; 50/60 Hz
Consumo de energía	30 W (Velocidad baja); 925 W (Alta velocidad); 1030 W (con boquilla de alimentación)
Tipo de motor	Reluctante del interruptor sin boquillas- de dos fases (Patente US6777844 B2)
Estilo de motor	Derivación: doble aislamiento con eje de acero inoxidable
Velocidad del motor	2-velocidades
Alto	19,000-24,000 RPM
bajo	3,000 RPM
Protección contra sobrecarga del motor	Si-electrónico
Reajustable	Si-electrónico
Vacio a la entrada de la manguera- sellado – pulgadas- H02	19.9 kPa / 80 pulgadas de elevación
Volumen de aire movido	70 CFM (alta velocidad) / 13 CFM (baja velocidad)
Presión del sonido	73 db(A)
Agencia / marcas de seguridad	ETL / NEMKO / doble aislamiento
Filtración de agua	Si
Método de filtración	Baño de agua + Separador + HEPA
HEPA clase de filtro	HEPA (Per IEST 1.5)
Modo de ventilador	17 kPa / 2.5 PSI
Dimensiones de la máquina (Longitud / anchura y altura)	40.6 x 30.5 x 40.6 cm / 16 x 12 x 16 in
Color	negro
Peso (Cuenca Vacía)	8.04 kg / 17.7 lbs
Material de la carcasa	ABS
Longitud del cable	7.3 m / 24 ft
Dolly o ruedas	Dolly separada- 5 ruedas
Capacidad del depósito de agua	2.4 litros / 2.5 cuartos de galón
Manguera	Vinilo electrificado; alambre reforzado
Longitud de la manguera	2.1 m / 7 pies
Interruptor del gatillo de la manguera	Barra de presión - bloqueo de encendido- apagado
Ventilación de control de flujo de aire	Si
Tubos	Dos de acero inoxidable, auto acoplamiento
Certificaciones	AAFA Amigable con Alergias y Asma
	AHAM Certificación como purificador de aire
	CRI Normas de la industria de alfombras
	ARB Certifico las emisiones de ozono

Nota: Tomado de [33], de Servicios Técnicos.

RAL/RA Series Mini Cylinder



Series No	Cushion Type	Type No	Bore	X Stroke	Adjustable stroke	Magnet No	Tail type	Mounting type	Thread type
RAL	C: Air cushion	16	25	10	Blank; No Magnet	Blank; G		Blank; No	
RA	Blank; Rubber cushion	20	50	20	S: With Magnet	LB		FA	P: PT
		25	75	30		FA		U	T: NPT
		32	...	40		Blank; Swiveling tail		SDB	
		40		50		U: Flat tail		YJ	
				75		CM ₁ Round tail		BJ	
				100				...	

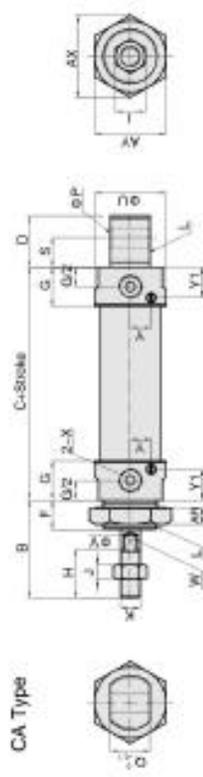
How to Order?

Order Example:

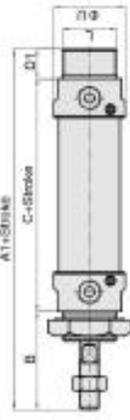
- 1. RAL series, Double shaft and adjustable stroke type, air cushion, Bore 32mm, stroke 25mm, Adjustable stroke 20, with magnet, NO Mounting type, Round tail, PT thread.
- 2. RA series always with magnet.
- 3. Single acting type without air cushion.

Specifications

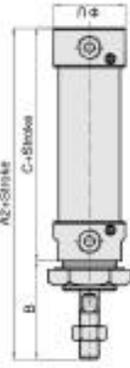
Box dimension	16	20	25	32	40
Acting type	Double Acting/Single Acting				
Working medium	Clean Air (25 μ filtration)				
Mounting type	RFA RSDB RLB				
Working pressure (MPa)	0.1~1.0				
Guaranteed pressure (MPa)	1.5				
Working temperature (°C)	-20~80(Dry air)				
Speed range (mm/s)	50~800				
Cushion type	Standard type Anti-bump cushion Adjustable cushion				
Port Size	M5 x 0.8 G1/8				



CA Type



CM Type

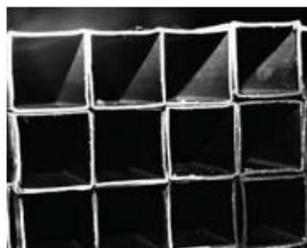


U Type

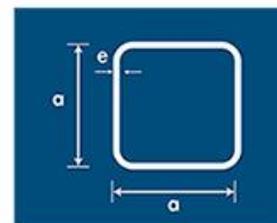
Nota: Disponible en: Catálogo de productos. Tomado de: [20].

Anexo 10. Perfil de tubería mecánica tipo cuadrado y rectangular

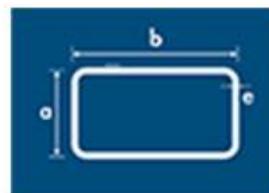
TUBOS CUADRADOS



Denominación	Dimensión	Espesor	Peso	
	a	e	kg/m	kg/6m
Pulgadas	mm	mm		
1/2	12	0.75	0.29	1.71
		0.90	0.34	2.06
3/4	20	0.75	0.46	2.75
		0.90	0.54	3.24
		1.10	0.65	3.88
1	25	0.75	0.58	3.48
		0.90	0.69	4.15
		1.10	0.84	5.05
1 1/4	30	0.90	0.83	5.00
		1.10	1.02	6.09
1 1/2	40	0.90	1.05	6.27
		1.10	1.27	7.61



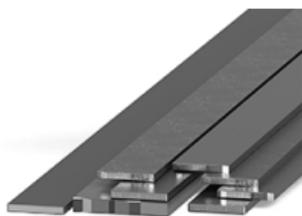
TUBOS RECTANGULARES



Denominación	Dimensiones		Espesor	Peso	
	a	b	e	kg/m	kg/6m
Pulgadas	mm	mm	mm		
3/4 x 1 1/2	20	40	0.75	0.70	4.19
			0.90	0.83	5.00
			1.10	1.02	6.09
1 x 2	25	50	0.90	1.05	6.27
			1.10	1.27	7.64

Nota: Disponible en: Catalogo de produtos-tuberia mecanica-tubo. Tomado de: [34].

Anexo 11. Pletinas



Normas: NTE INEN 2 215 / NTE INEN 2 222 / NTE INEN 2 224 / NTE INEN 2 234

Limite de fluencia (Mínimo) $f_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$

Longitud de entrega: 6 metros, otras longitudes bajo pedido.

Tolerancia: Longitud : $+75\text{mm}-0 \text{ mm}$

En dimensión exterior: $\pm 1\text{mm}$ para valores entre 0 y 50 mm (inc).

$\pm 1.5\text{mm}$ para valores entre 50 (exc) y 75mm (inc).

$\pm 2.0\text{mm}$ para valores entre 75 (exc) y 100mm (inc).

En espesor : $\pm 0.5 \text{ mm}$ para anchos entre 0 y 20 mm (inc).

1.0 mm para anchos entre 20 y (exc) y 40 mm (inc).

1.5 mm para anchos mayores a 40 mm.



Denominación	Dimensiones		Peso		Área cm ²
	a mm	e mm	kg/m	kg/6 m	
PL 12 X 3	12	3	0,28	1,7	0,36
PL 12 X 4	12	4	0,38	2,26	0,48
PL 12 X 6	12	6	0,57	3,39	0,72
PL 19 X 3	19	3	0,45	2,68	0,57
PL 19 X 4	19	4	0,6	3,58	0,76
PL 19 X 6	19	6	0,89	5,37	1,15
PL 25 X 3	25	3	0,59	3,53	0,75
PL 25 X 4	25	4	0,79	4,71	1
PL 25 X 6	25	6	1,18	7,07	1,5
PL 25 X 9	25	9	1,77	10,6	2,25
PL 25 X 12	25	12	2,36	14,1	3
PL 30 X 3	30	3	0,71	4,24	0,9
PL 30 X 4	30	4	0,94	5,65	1,2
PL 30 X 6	30	6	1,41	8,47	1,8
PL 30 X 9	30	9	2,12	12,7	2,7
PL 30 X 12	30	12	2,83	17	3,6
PL 38 X 3	38	3	0,89	5,37	1,15
PL 38 X 4	38	4	1,19	7,16	1,52
PL 38 X 6	38	6	1,79	10,7	2,28
PL 38 X 9	38	9	2,69	16,1	3,42
PL 38 X 12	38	12	3,58	21,5	4,56
PL 50 X 3	50	3	1,18	7,07	1,5
PL 50 X 4	50	4	1,58	9,5	2
PL 50 X 6	50	6	2,26	14,1	3
PL 50 X 9	50	9	3,53	21,2	4,5
PL 50 X 12	50	12	4,71	28,3	6
PL 65 X 6	65	6	3,06	18,4	3,9
PL 65 X 9	65	9	4,59	27,6	5,85
PL 65 X 12	65	12	6,12	36,7	7,8
PL 75 X 6	75	6	3,53	21,2	4,5
PL 75 X 9	75	9	5,3	31,8	6,75
PL 75 X 12	75	12	1,07	42,4	9
PL 100 X 6	100	6	4,71	28,3	6
PL 100 X 9	100	9	7,07	42,4	9
PL 100 X 12	100	12	9,42	56,5	12

Nota: Nota: Disponible en: Catalogo de produtos-tuberia mecanica-tubo. Tomado de: [34].

Anexo 12. Equivalencia de calibre de cables en milímetros.

FOTO	CALIBRE / AWG	DIAMETRO EN MM	CONSUMO DE CORRIENTE	EJEMPLOS
	4	16mm	Muy alto	Aires acondicionados centrales, equipos industriales (se requiere instalación especial de 240 volts).
	6	10mm	Alto	Aires acondicionados, estufas eléctricas y acometidas de energía eléctrica.
	8	6mm	Medio - alto	Secadoras de ropa, refrigeradores, aires acondicionados de ventana.
	10	4mm	Medio	Hornos de microondas, licuadoras, contactos de casas y oficinas, extensiones de uso rudo.
	12	2.5mm	Medio - bajo	Cableado de iluminación, contactos de casas, extensiones reforzadas.
	14	1.5mm	Bajo	Extensiones de bajo consumo, lámparas.
	16	1mm	Muy bajo	Productos electrónicos como termostatos, timbres o sistemas de seguridad.

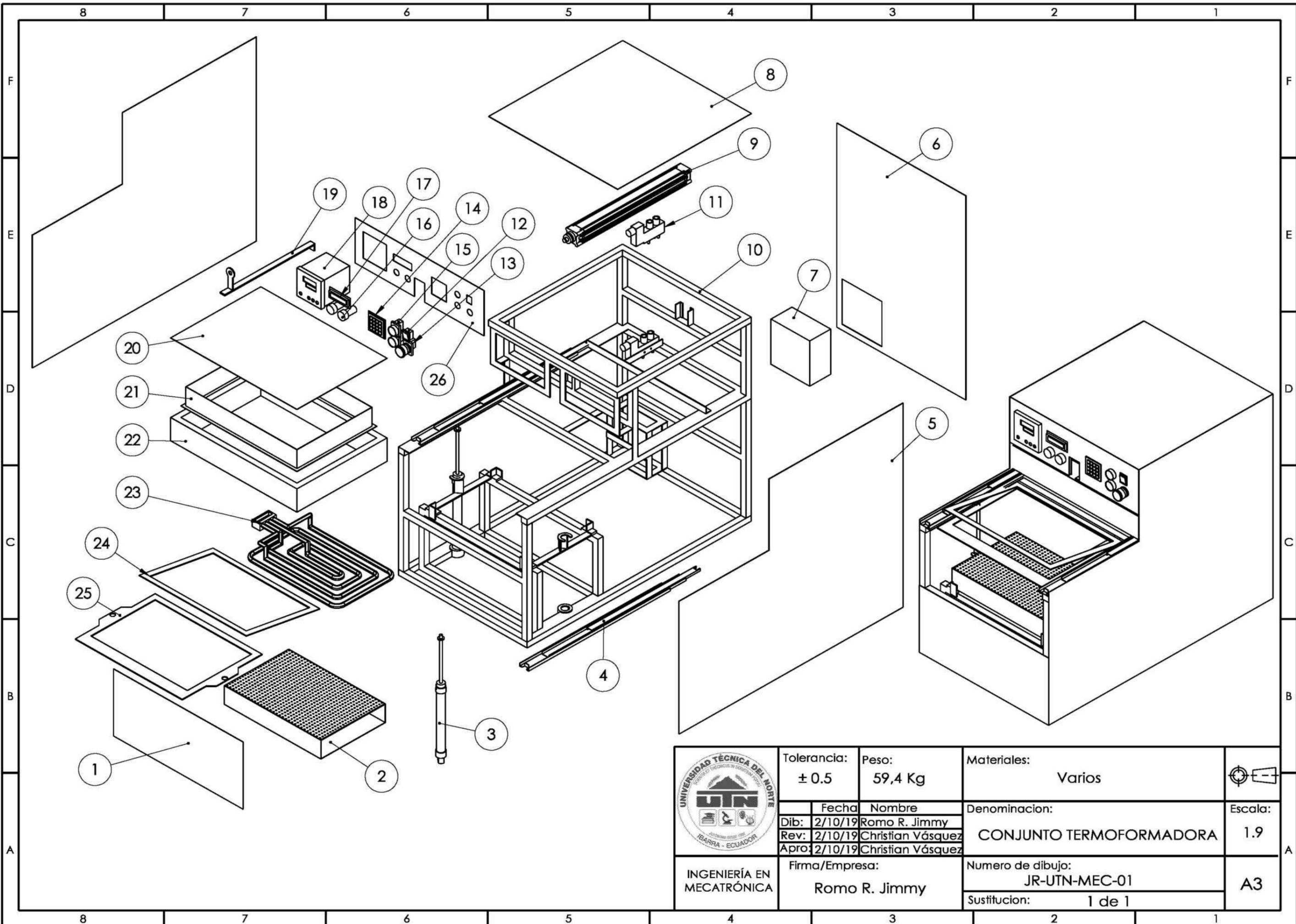
Nota: Disponible en: Tipos de Cables Eléctricos: Uso, Medidas, Colores y Aislamientos.
Tomado de: [35]

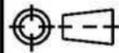
Anexo 13. Amperaje que soporta los cables de cobre

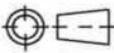
Nivel de temperatura:	60°C	75°C	90°C	60°C	
Tipo de aislante:	TW	RHW, THW, THWN	THHN, XHHW-2, THWN-2	SPT	
Medida / calibre del cable	Amperaje soportado			Medida / calibre del cable	Amperaje soportado
14 AWG	15 A	15 A	15 A	20 AWG	2 A
12 AWG	20 A	20 A	20 A		
10 AWG	30 A	30 A	30 A	18 AWG	10 A
8 AWG	40 A	50 A	55 A		
6 AWG	55 A	65 A	75 A	16 AWG	13 A
4 AWG	70 A	85 A	95 A		
3 AWG	85 A	100 A	115 A	14 AWG	18 A
2 AWG	95 A	115 A	130 A		
1 AWG	110 A	130 A	145 A	12 AWG	25 A
1/0 AWG	125 A	150 A	170 A		
2/0 AWG	145 A	175 A	195 A		
3/0 AWG	165 A	200 A	225 A		
4/0 AWG	195 A	230 A	260 A		

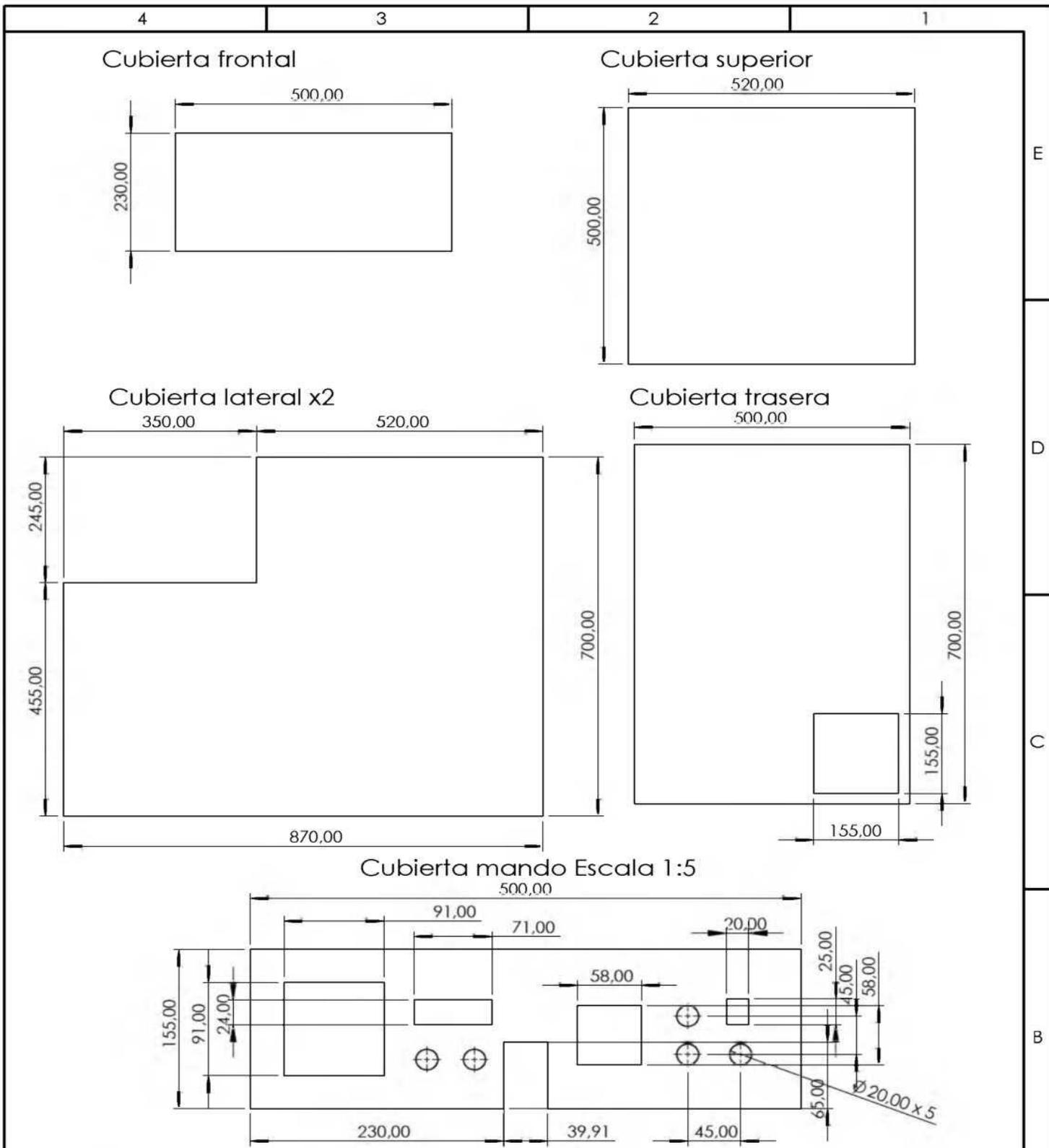
Nota: Disponible en: Tipos de Cables Eléctricos: Uso, Medidas, Colores y Aislamientos.
Tomado de: [35]

Anexo 14. Planos mecanicos.



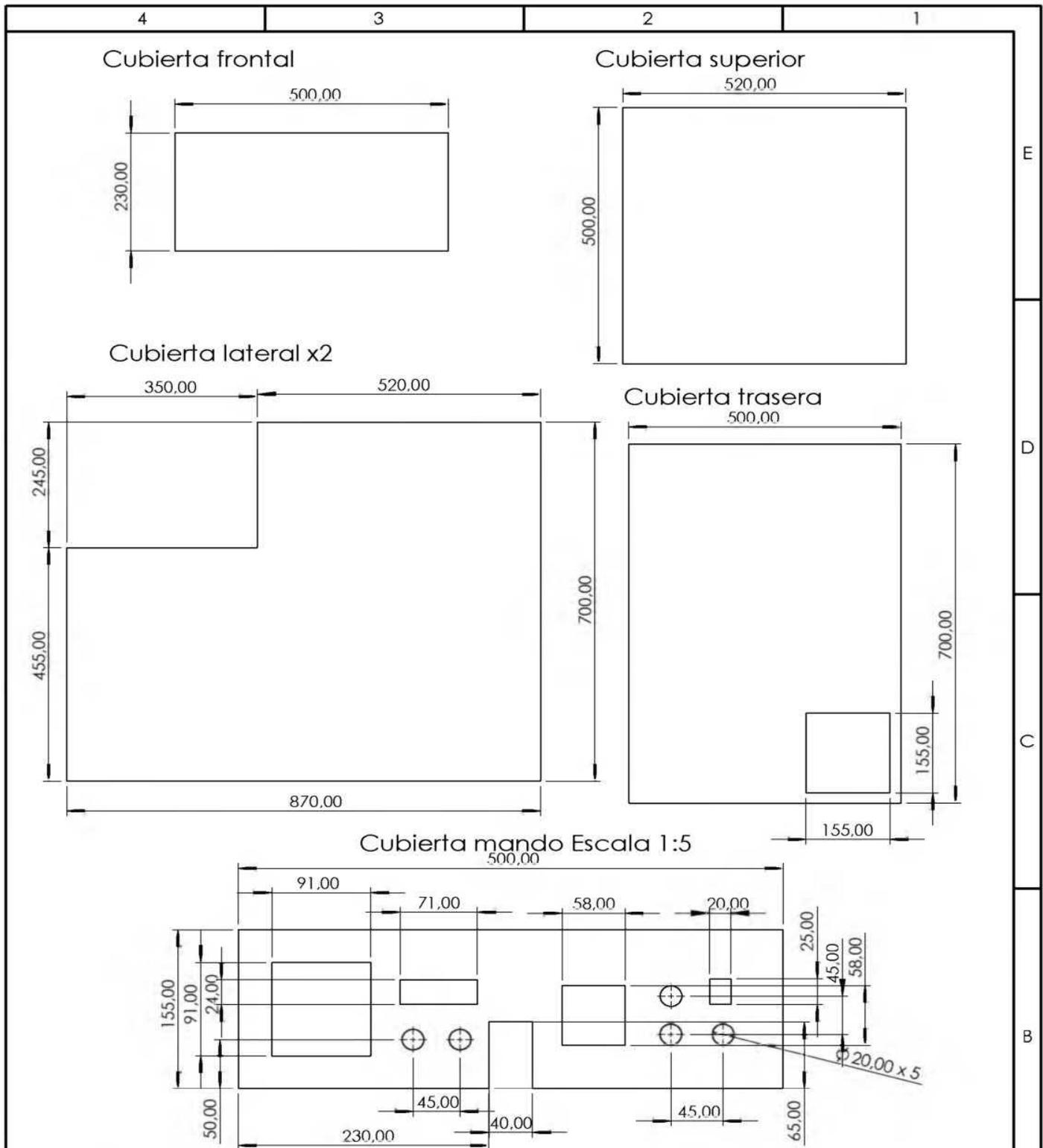
	Tolerancia:	Peso:	Materiales:	
	± 0.5	59,4 Kg	Varios	
	Fecha:	Nombre:	Denominación:	Escala:
	Dib: 2/10/19	Romo R. Jimmy	CONJUNTO TERMOFORMADORA	1.9
Rev: 2/10/19	Christian Vásquez			
Apro: 2/10/19	Christian Vásquez			
INGENIERÍA EN MECATRÓNICA	Firma/Empresa:	Numero de dibujo:	Sustitución:	A3
	Romo R. Jimmy	JR-UTN-MEC-01	1 de 1	

4	3	2	1		
1	2	3	4	5	
N° Orden	N° de piezas	Denominación	Número de norma o dibujo	Observaciones	
1	1	Cubierta frontal	JR-UTN-MEC-03		
2	1	Caja de succión	JR-UTN-MEC-04		
3	2	Ral 20x150-s	ISO-6432		
4	2	Riel de extensión 55	UNE-36010		
5	2	Cubierta lateral	JR-UTN-MEC-03		
6	1	Cubierta trasera	JR-UTN-MEC-03		
7	1	Cubierta-caja	JR-UTN-MEC-05		
8	1	Cubierta superior	JR-UTN-MEC-03		
9	1	Fvbc 32x350-s	ISO-6431		
10	1	Estructura	JR-UTN-MEC-06		
11	2	V5221-E408	ISO 5599-1		
12	1	Botón de encendido	KCD1-101		
13	1	Botón de pare	XB2-ES542		
14	1	Teclado matricial	DIN 53457		
15	2	Botón	LAY6-BA31		
16	2	Luz piloto	IP-65		
17	1	LCD	HD44780		
18	1	Control de temperatura	REX-C900		
19	1	Guía de movimiento	JR-UTN-MEC-07		
20	1	Tapa del calefactor	JR-UTN-MEC-08		
21	1	Calefactor-canaleta	JR-UTN-MEC-08		
22	1	Calefactor-exterior	JR-UTN-MEC-09		
23	1	Resistencia	Incoloy 800		
24	1	Bastidor superior	JR-UTN-MEC-10		
25	1	Bastidor inferior	JR-UTN-MEC-10		
26	1	Cubierta mando	JR-UTN-MEC-03		
	Tolerancia:	Peso:	Materiales:		
	N/A	N/A	Varios		
	Fecha:	Nombre:	Denominación:		 Escala: 1.1
	Dib: 2/10/19	Romo Jimmy	Elementos Termoformadora		
Rev: 2/10/19	Christian Vásquez				
Apro: 2/10/19	Christian Vásquez				
INGENIERÍA EN MECATRÓNICA	Firma/Empresa Romo R. Jimmy		Numero de dibujo: JR-UTN-MEC-02		A4
		Sustitucion: 1 de 1			
4	3	2	1		



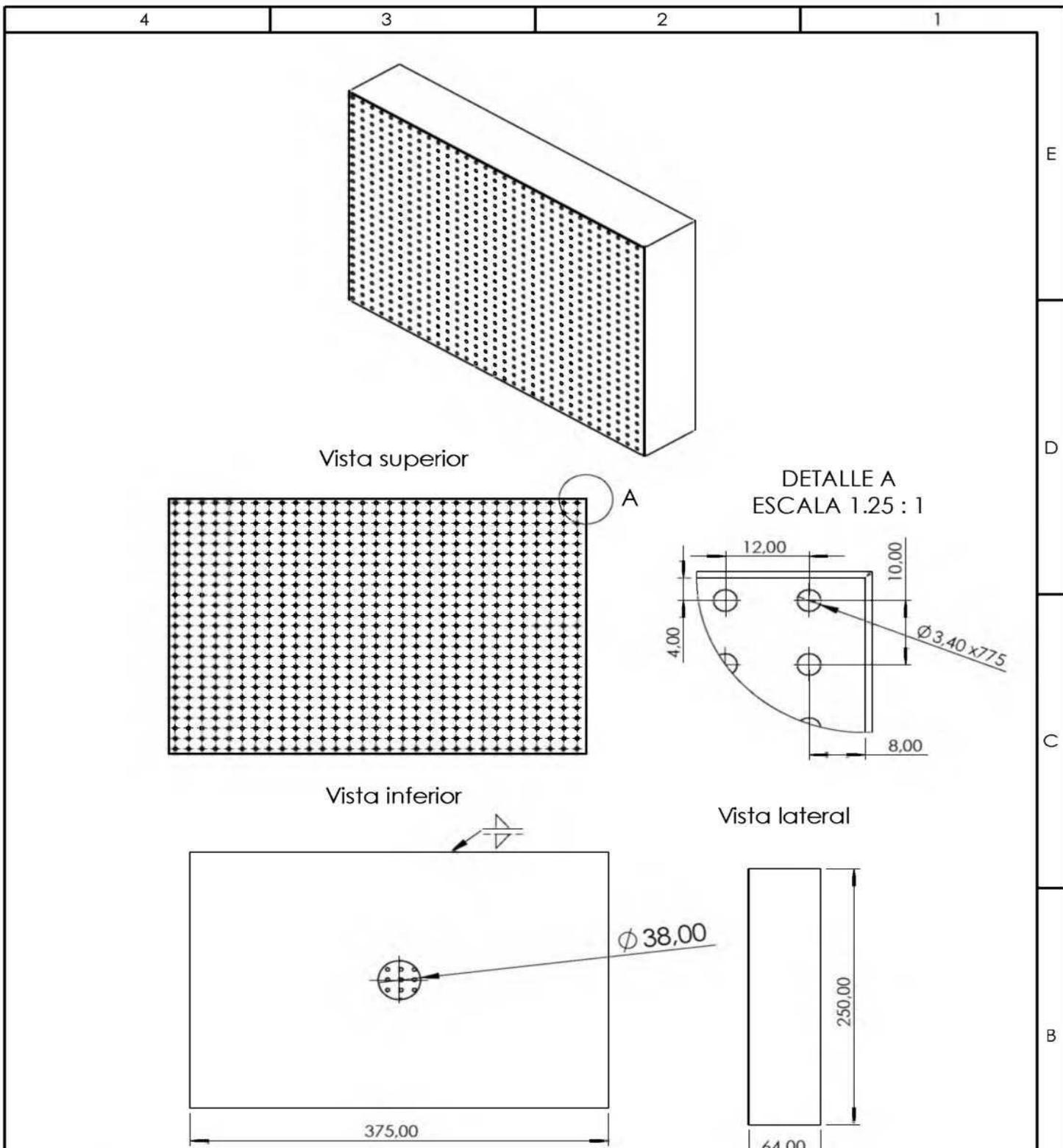
Nota: Plancha de acero de espesor 1 mm.

	Tolerancia:	Peso:	Materiales:		
	± 0.5	10,31 Kg			Acero ASTM A-588
	Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:	
	Dib: 2/10/19	Romo Jimmy			Subconjunto cubierta
Rev: 2/10/19	Christian Vásquez				
Apro: 2/10/19	Christian Vásquez	Numero de dibujo:	A4		
Firma/Empresa	Romo R. Jimmy	JR-UTN-MEC-03			
		Sustitucion:	1 de 1		

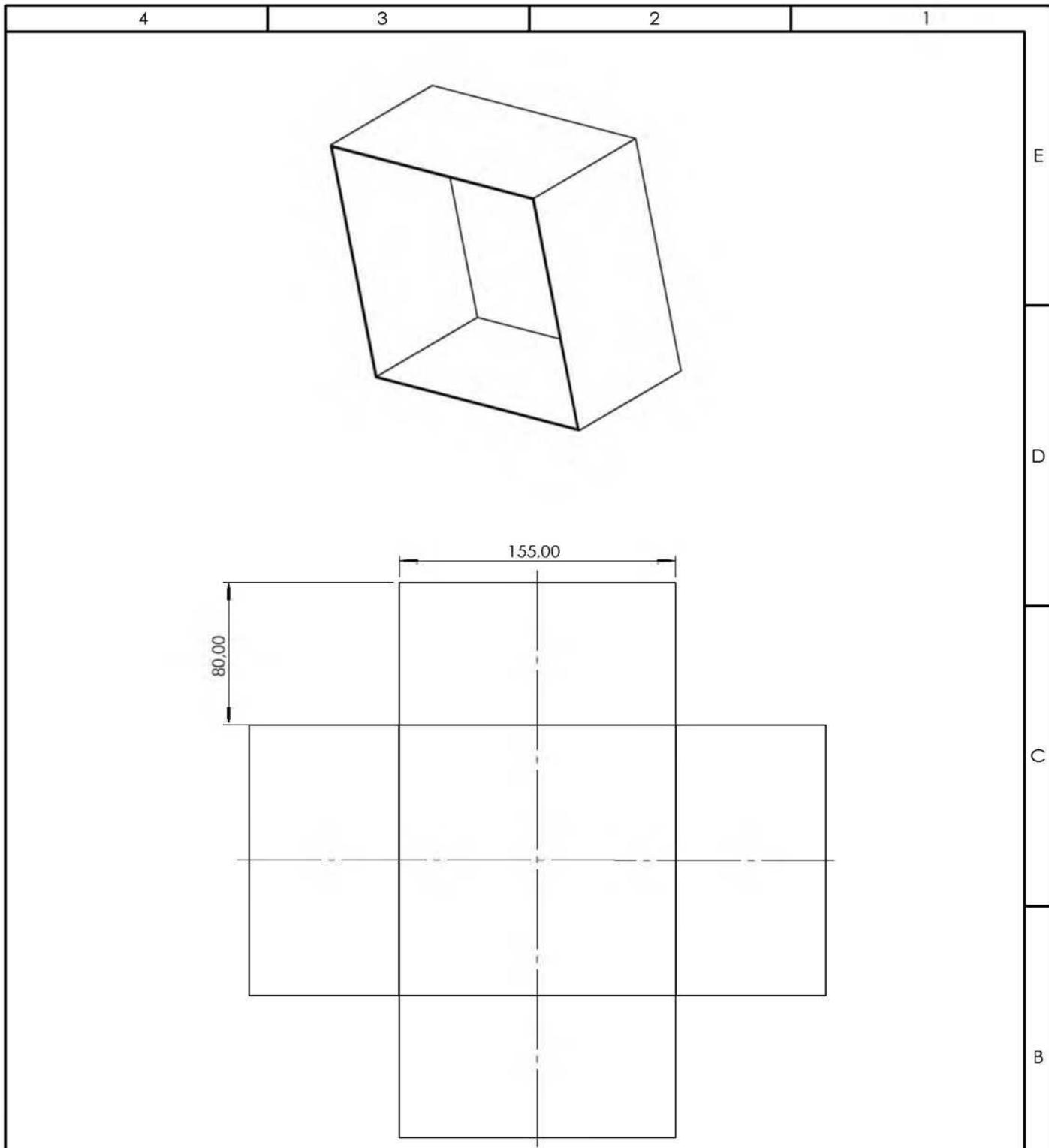


Nota: Plancha de acero inoxidable de espesor 1 mm.

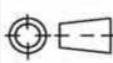
	Tolerancia: ± 0.5	Peso: 10,31 Kg	Materiales: Acero ASTM A-588	
	Fecha Dib: 2/10/19	Nombre Romo Jimmy	Denominación: Subconjunto cubierta	
	Rev: 2/10/19	Christian Vásquez	Numero de dibujo: JR-UTN-MEC-03 Sustitucion: 1 de 1	A4
	Apro: 2/10/19	Christian Vásquez		
INGENIERÍA EN MECATRÓNICA	Firma/Empresa Romo R. Jimmy			

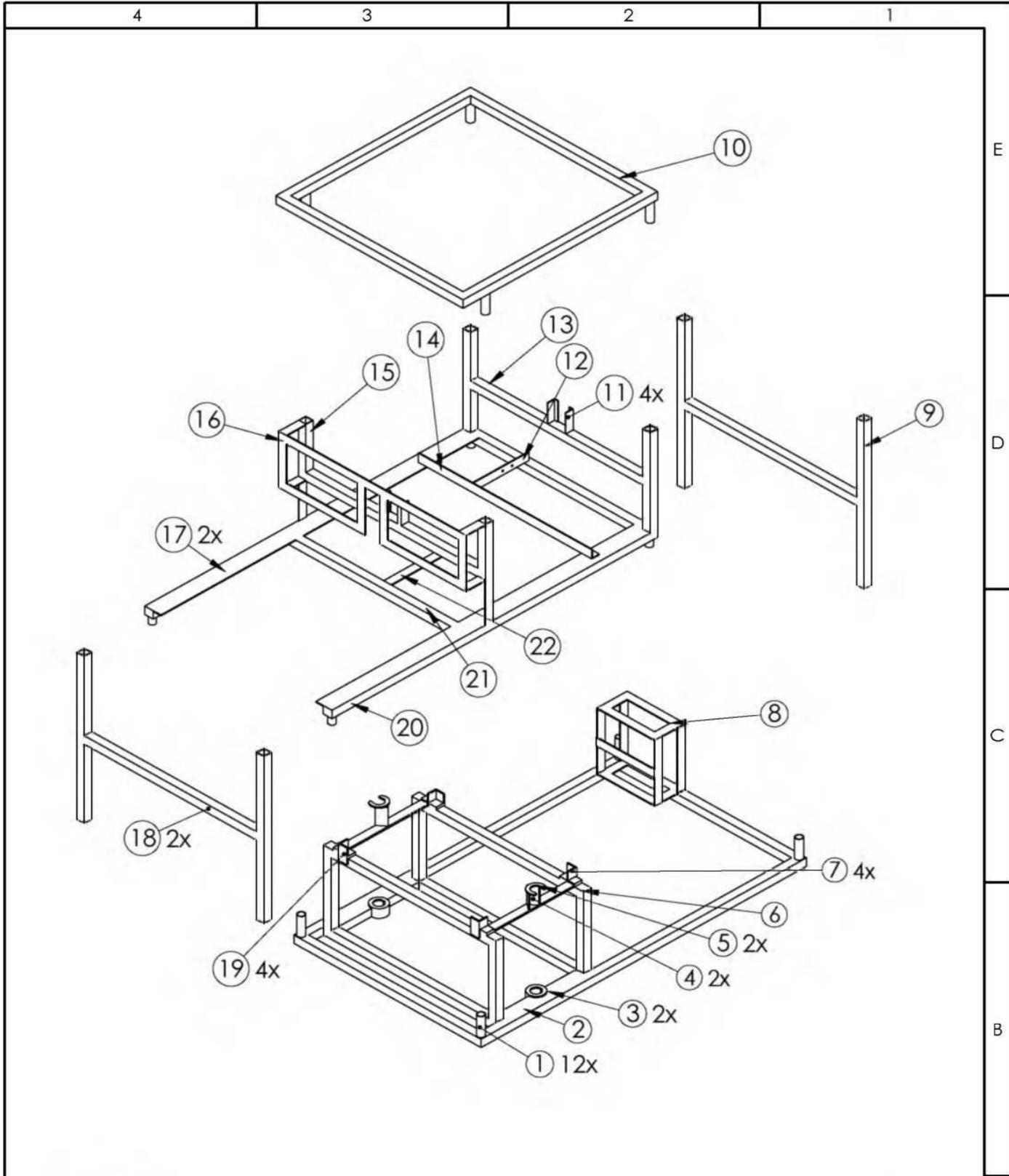


	Tolerancia:	Peso:	Materiales:		
	± 0.5	2,80 Kg			Acero AISI-304
	Fecha:	Nombre:	Denominación:	Escala:	
	Dib: 2/10/19	Romo Jimmy			Caja de succión
Rev: 2/10/19	Christian Vásquez				
Apro: 2/10/19	Christian Vásquez	Numero de dibujo:	A4		
Firma/Empresa:		JR-UTN-MEC-04			
Romo R. Jimmy		Sustitucion:	1 de 1		

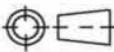


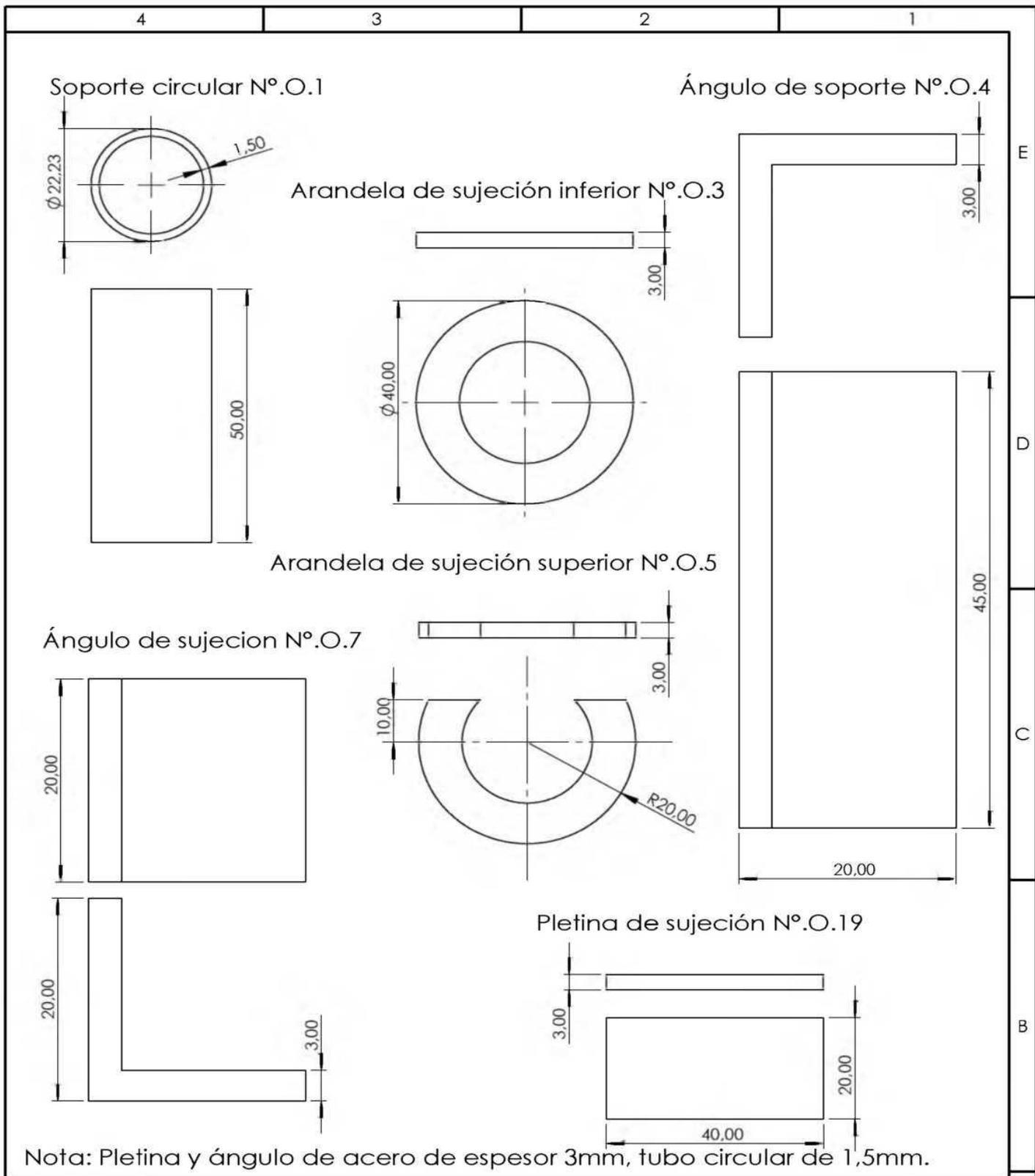
Nota: Plancha de acero inoxidable de espesor 1mm.

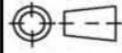
	Tolerancia:	Peso:	Materiales:		
	± 0.5	0,58 Kg	Acero ASTM A-588		
		Fecha	Nombre	Denominación: Cubierta-Caja	Escala: 1.3
	Dib:	2/10/19	Romo Jimmy		
Rev:	2/10/19	Christian Vásquez			
	Apro:	2/10/19	Christian Vásquez		
INGENIERÍA EN MECATRÓNICA	Firma/Empresa Romo R. Jimmy		Numero de dibujo: JR-UTN-MEC-05	A4	
			Sustitucion: 1 de 1		
4	3	2	1		

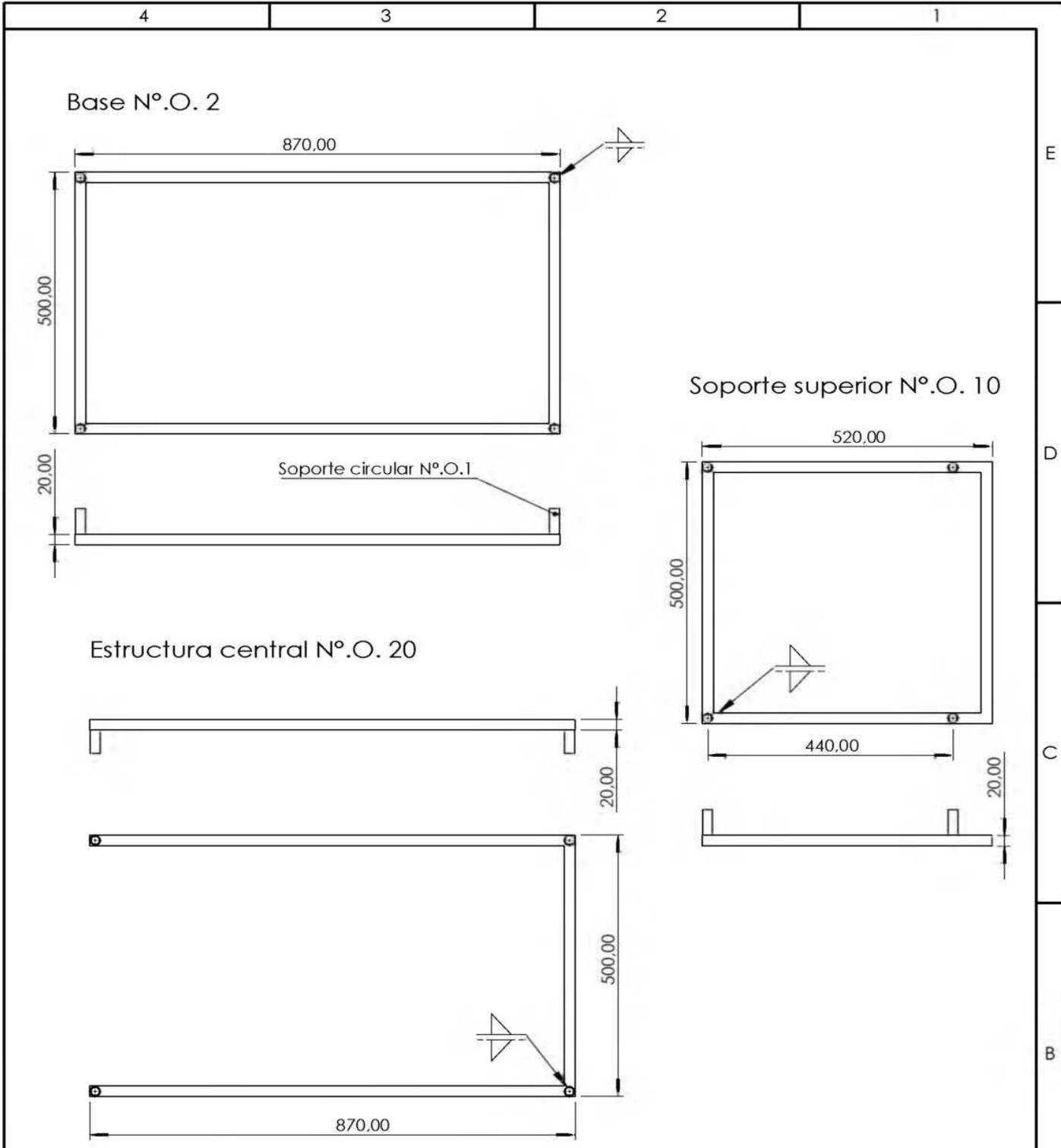


	Tolerancia:	Peso:	Materiales:	
	± 0.5	41,18 Kg	ACERO INEN NTE 2415/2222	
	Fecha	Nombre	Denominación:	
Dib:	2/10/19	Romo Jimmy	Subconjunto Estructura	1.10
Rev:	2/10/19	Christian Vásquez		
Apro:	2/10/19	Christian Vásquez	Numero de dibujo:	A4
INGENIERÍA EN MECATRÓNICA	Firma/Empresa	Romo R. Jimmy	JR-UTN-MEC-06	
			Sustitucion:	1 de 1
4	3	2	1	

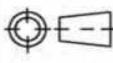
4		3		2		1			
								E	
								D	
1	2	3		4		5			
N° Orden	N° de piezas	Denominación		Número de norma o dibujo		Observaciones			
1	12	Soporte Circular		JR-UTN-MEC-06.2					
2	1	Base		JR-UTN-MEC-06.3					
3	2	Arandela de sujeción inferior		JR-UTN-MEC-06.2					
4	2	Angulo de soporte		JR-UTN-MEC-06.2					
5	2	Arandela de sujeción superior		JR-UTN-MEC-06.2				C	
6	1	Soporte de succión		JR-UTN-MEC-06.4					
7	4	Angulo de sujeción		JR-UTN-MEC-06.2					
8	1	Caja de base		JR-UTN-MEC-06.5					
9	1	Soporte trasero		JR-UTN-MEC-06.4					
10	1	Soporte superior		JR-UTN-MEC-06.3					
11	4	Angulo de soporte		JR-UTN-MEC-06.6					
12	1	Soporte para válvulas		JR-UTN-MEC-06.6					
13	1	Soporte superior trasero		JR-UTN-MEC-06.7					
14	1	Angulo soporte transversal		JR-UTN-MEC-06.7					
15	1	Soporte superior frontal		JR-UTN-MEC-06.7					
16	1	Soporte del mando		JR-UTN-MEC-06.8					
17	2	Angulo soporte lateral		JR-UTN-MEC-06.9				B	
18	1	Soporte frontal		JR-UTN-MEC-06.4					
19	4	Pletina sujeción		JR-UTN-MEC-06.2					
20	1	Estructura central		JR-UTN-MEC-06.3					
21	1	Tubo soporte transversal		JR-UTN-MEC-06.9					
22	1	Soporte sensor		JR-UTN-MEC-06.6					
		Tolerancia:		Peso:		Materiales:			
		N/A		N/A		Varios			
		Fecha		Nombre		Denominación:			Escala:
		Dib:	2/10/19	Romo Jimmy	Subconjunto Estructura		1.1		
Rev:	2/10/19	Christian Vásquez							
Apro:	2/10/19	Christian Vásquez							
INGENIERÍA EN MECATRÓNICA		Firma/Empresa		Número de dibujo:		A4			
		Romo R. Jimmy		JR-UTN-MEC-06.1					
				Sustitución:					
				1 de 1					
4		3		2		1		A	

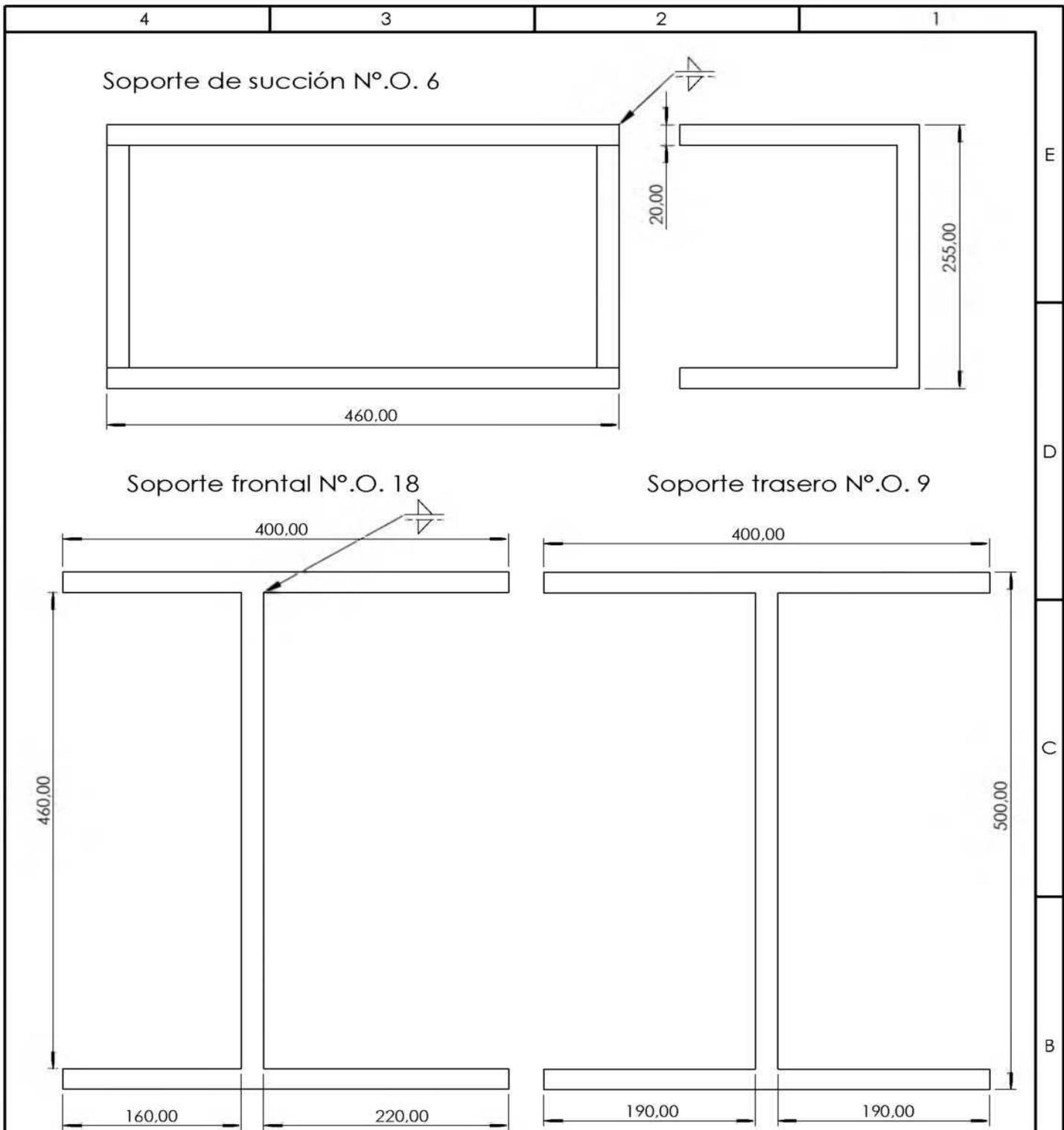


	Tolerancia:	Peso:	Materiales:	
	± 0.5	0,16 Kg	ACERO INEN NTE 2415/2222/ ASTM A36	
	Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
	Dib: 2/10/19 Rev: 2/10/19 Apro: 2/10/19	Romo Jimmy Christian Vásquez Christian Vásquez	Subconjunto Estructura	1.1
INGENIERÍA EN MECATRÓNICA	Firma/Empresa Romo R. Jimmy	Numero de dibujo: JR-UTN-MEC-06.2	A4	A
		Sustitucion: 1 de 1		

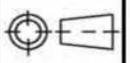


Nota: Tubo cuadrado de espesor 1mm.

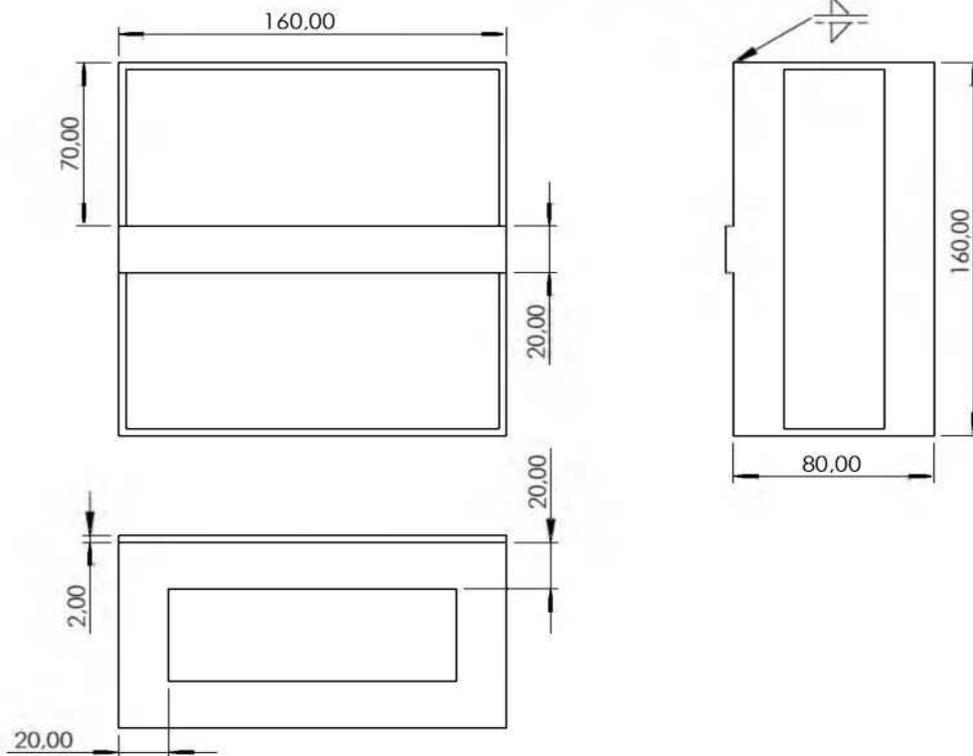
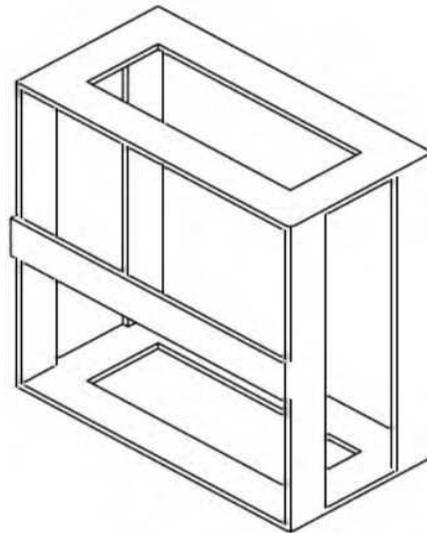
	Tolerancia:	Peso:	Materiales:			
	± 0.5	21,67 Kg			ACERO INEN NTE 2415	
		Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:	
	Dib:	2/10/19	Romo Jimmy			Subconjunto Estructura
Rev:	2/10/19	Christian Vásquez				
Apro:	2/10/19	Christian Vásquez				
INGENIERÍA EN MECATRÓNICA	Firma/Empresa		Numero de dibujo:	A4		
	Romo R. Jimmy		JR-UTN-MEC-06.3			
			Sustitucion:			
			1 de 1			



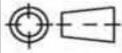
Nota: Tubo cuadrado de espesor 1mm.

	Tolerancia: ± 0.5		Peso: 13,35 Kg		Materiales: Acero INEN NTE2415		
	Fecha		Nombre		Denominación:		
	Dib: 2/10/19		Romo Jimmy		Subconjunto Estructura		
	Rev: 2/10/19		Christian Vásquez				
Apro: 2/10/19		Christian Vásquez		Numero de dibujo: JR-UTN-MEC-06.4		A4	
Firma/Empresa		Romo R. Jimmy		Sustitucion: 1 de 1			
4	3	2	1				

Caja de base N°.O. 8



Nota: Pletina de acero de espesor 2mm.

	Tolerancia:	Peso:	Materiales:		
	± 0.5	0,74 Kg	Acero INEN NTE 2222		
		Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
	Dib: 2/10/19	2/10/19	Romo Jimmy	Subconjunto Estructura	1.3
	Rev: 2/10/19	Christian Vásquez			
	Apro: 2/10/19	Christian Vásquez			
INGENIERÍA EN MECATRÓNICA	Firma/Empresa	Numero de dibujo:	A4		
	Romo R. Jimmy	JR-UTN-MEC-06.5			
		Sustitucion:	1 de 1		
4	3	2	1		

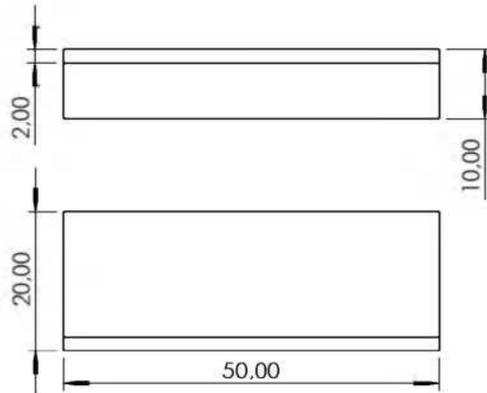
4

3

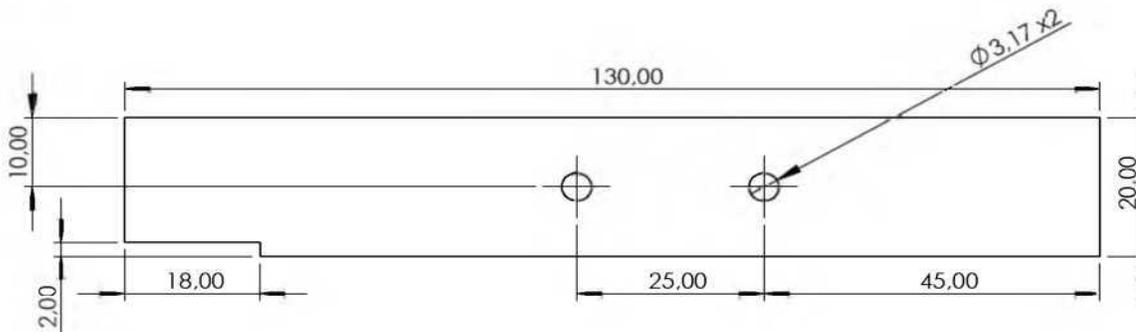
2

1

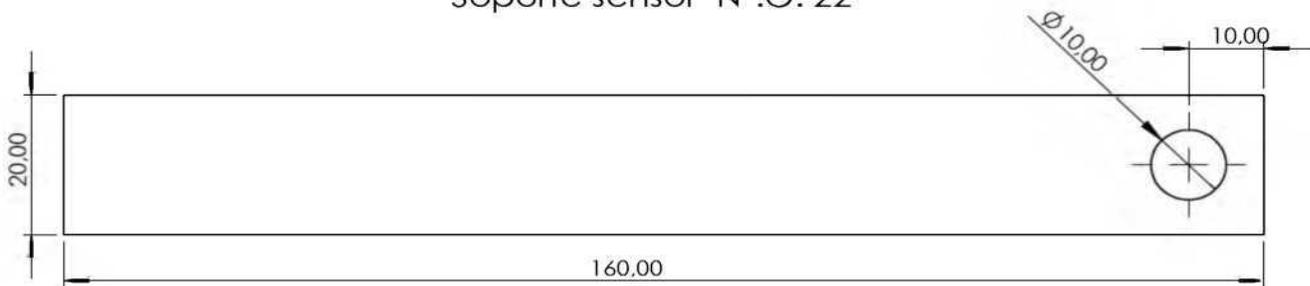
Ángulo de soporte N°.O. 11



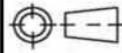
Soporte para válvulas N°.O. 12



Soporte sensor N°.O. 22



Nota: Pletina y ángulo de espesor 2mm.

	Tolerancia:	Peso:	Materiales:		
	± 0.5	0,11 Kg	Acero INEN NTE 2415/2222		
		Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
	Dib:	2/10/19	Romo Jimmy	Subconjunto Estructura	1.1
Rev:	2/10/19	Christian Vásquez			
Apro:	2/10/19	Christian Vásquez			
INGENIERÍA EN MECATRÓNICA	Firma/Empresa		Numero de dibujo:	A4	
	Romo R. Jimmy		JR-UTN-MEC-06.6		
			Sustitucion:		
			1 de 1		

4

3

2

1

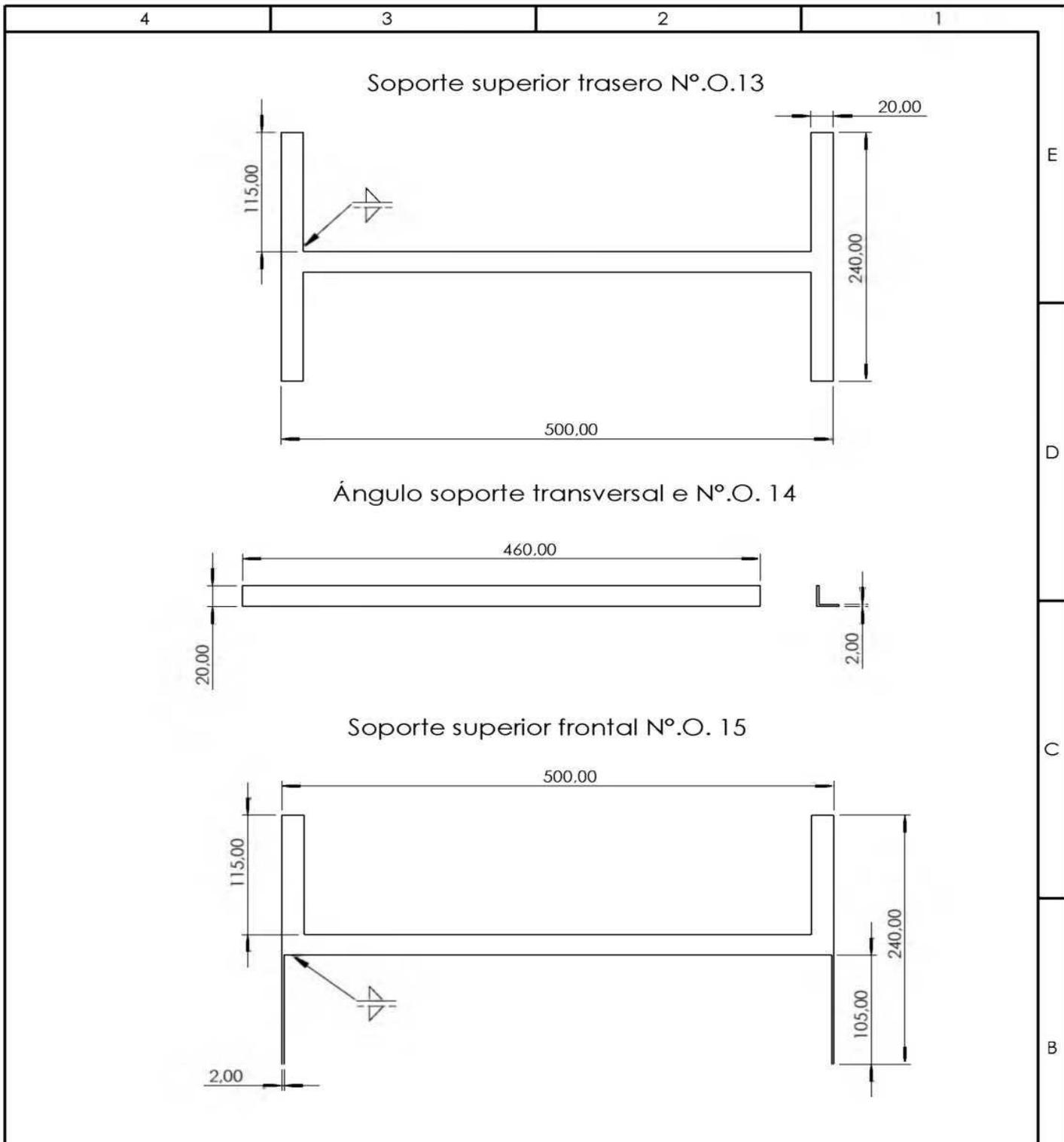
A

B

C

D

E



Nota: Pletina y ángulo de espesor 2mm, tubo cuadrado de espesor 1,5mm.

	Tolerancia:	Peso:	Materiales:	
	± 0.5	3,75 Kg	Acero NTE 2415/2222/2234	
	Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
	Dib: 2/10/19	Romo Jimmy	Subconjunto Estructura	1.5
Rev: 2/10/19	Christian Vásquez			A
Apro: 2/10/19	Christian Vásquez			
INGENIERÍA EN MECATRÓNICA	Firma/Empresa	Numero de dibujo:		A4
	Romo R. Jimmy	JR-UTN-MEC-06.7		
		Sustitucion:	1 de 1	

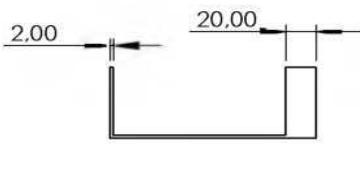
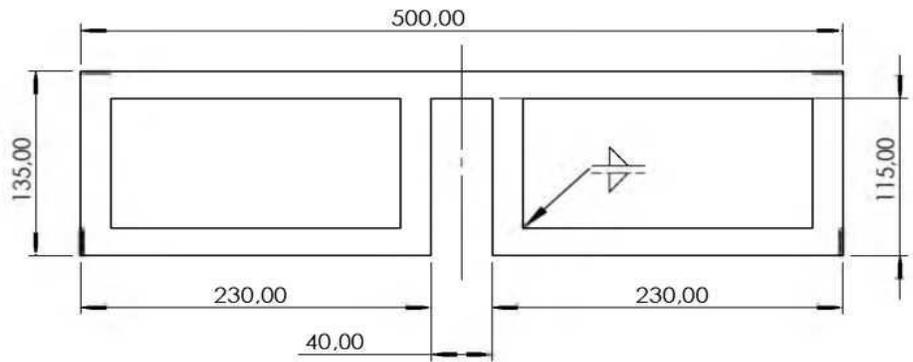
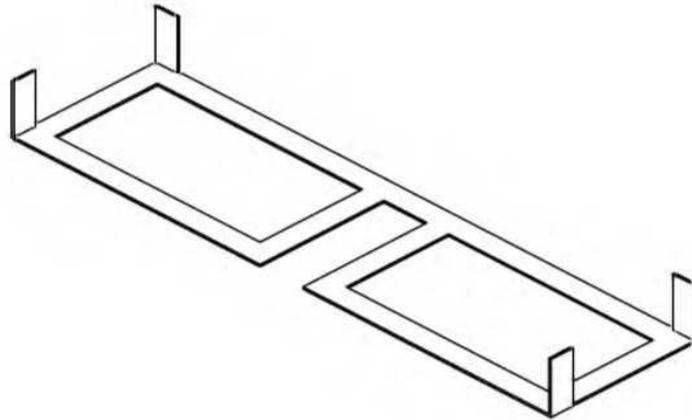
4

3

2

1

Soporete del mando N°.O. 16



E

D

C

B

A

Nota: Pletina de espesor 2mm.



Tolerancia: ± 0.5	Peso: 0,48 Kg	Materiales: Acero INEN NTE 2222		
	Fecha 2/10/19	Nombre Romo Jimmy		Escala: 1.5
	Dib: 2/10/19	Christian Vásquez	Denominación: Subconjunto Estructura	A4
	Rev: 2/10/19	Christian Vásquez		
Apro: 2/10/19	Christian Vásquez	Numero de dibujo: JR-UTN-MEC-06.8	Sustitucion: 1 de 1	

INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

Firma/Empresa
Romo R. Jimmy

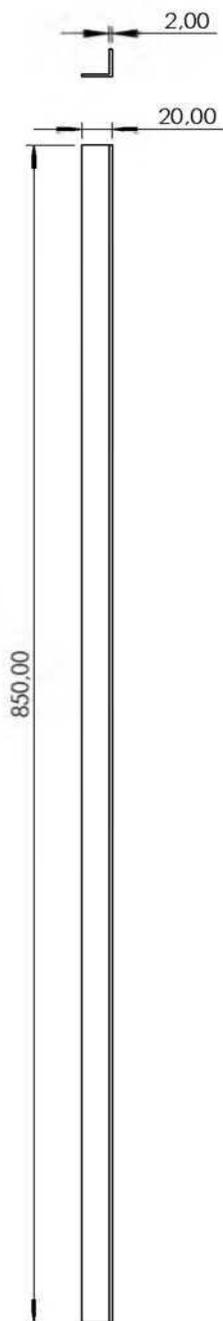
4

3

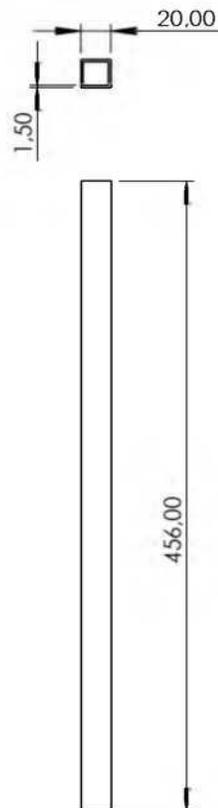
2

1

Ánfulo soporte lateral N°.O. 17



Tubo soporte trasversal N°.O. 21



Nota:Ángulo de espesor 2mm.
Tubo cuadrado de espesor 1,5mm.



Tolerancia:
± 0.5

Peso:
0,92 Kg

Materiales:
INEN NTE 2234
INEN NTE 2415



	Fecha	Nombre
Dib:	2/10/19	Romo Jimmy
Rev:	2/10/19	Christian Vásquez
Apro:	2/10/19	Christian Vásquez

Denominación:
Subconjunto Estructura

Escala:
1.5

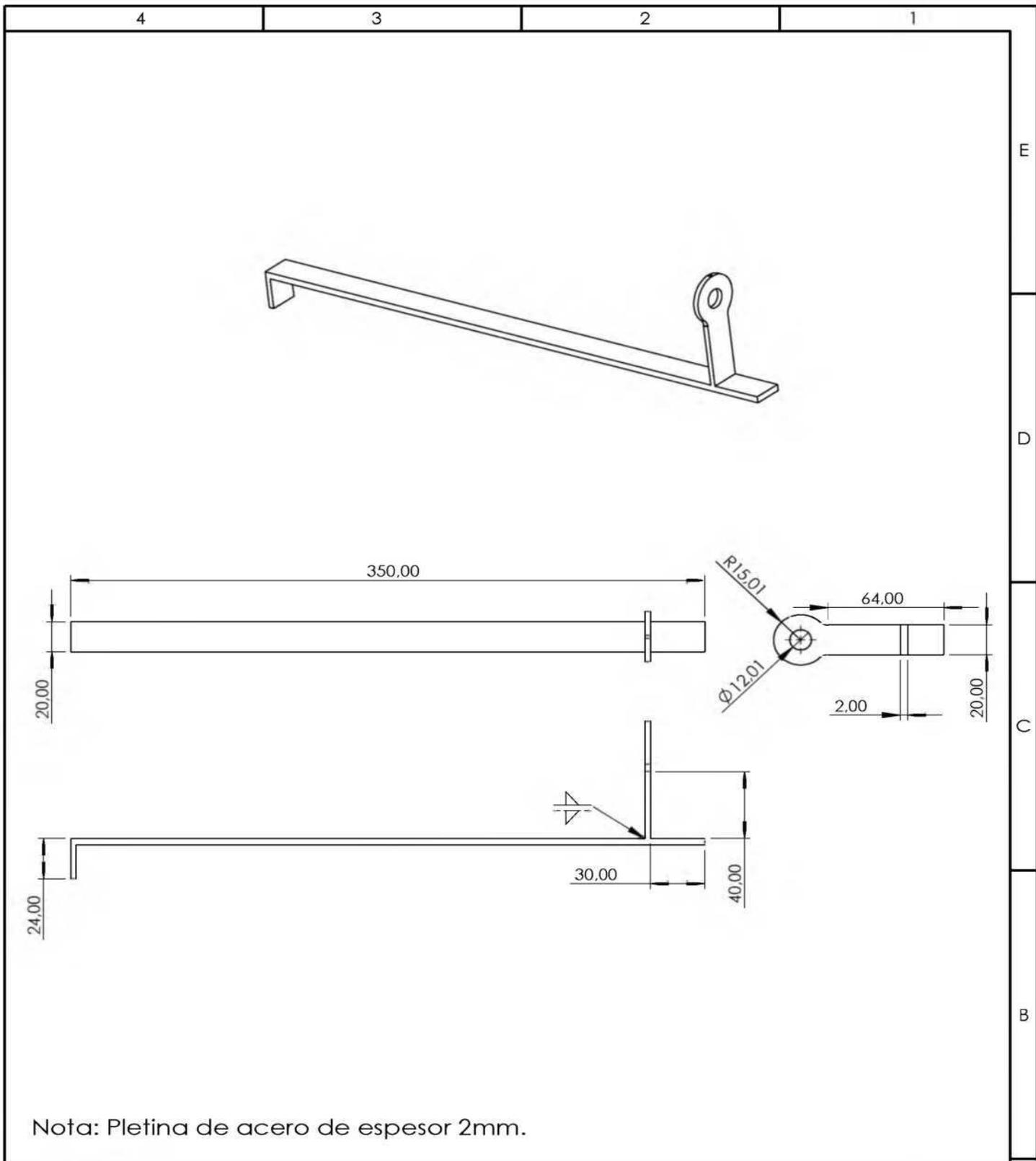
INGENIERÍA EN
MECATRÓNICA

Firma/Empresa
Romo R. Jimmy

Numero de dibujo:
JR-UTN-MEC-06.9

A4

Sustitucion: 1 de 1

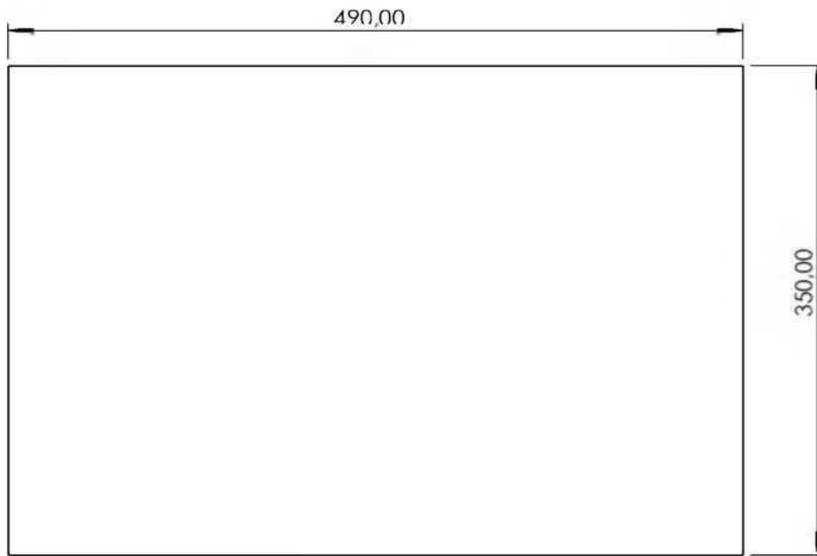


Nota: Pletina de acero de espesor 2mm.

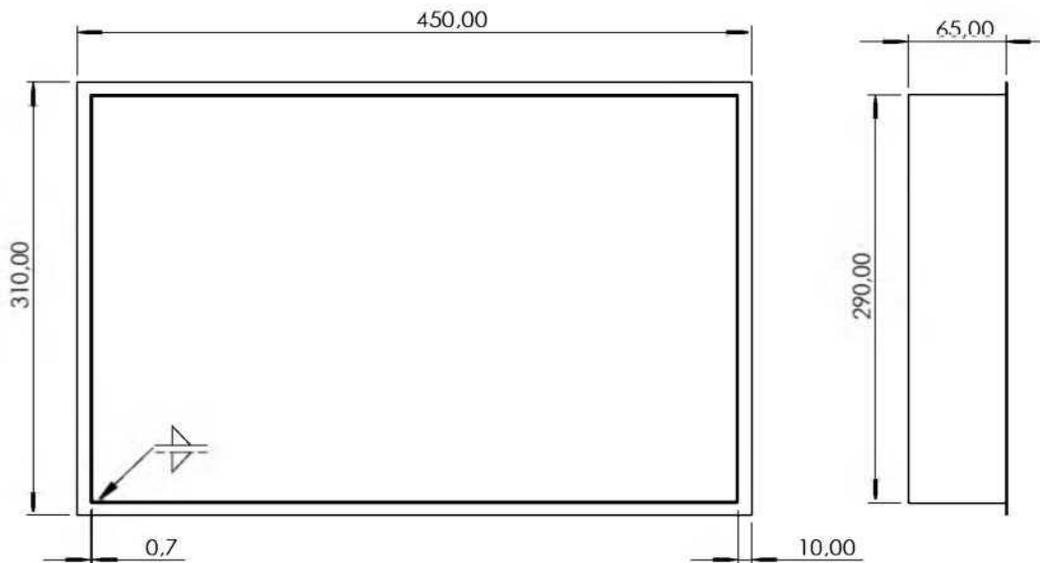
	Tolerancia:	Peso:	Materiales:			
	± 0.5	0,24 Kg			INEN NTE 2222	
		Fecha:	Nombre:	Denominación:	Escala:	
	Dib:	2/10/19	Romo Jimmy			Guía de movimiento
Rev:	2/10/19	Christian Vásquez				
Apro:	2/10/19	Christian Vásquez				
INGENIERÍA EN MECATRÓNICA	Firma/Empresa		Numero de dibujo:	A4		
	Romo R. Jimmy		JR-UTN-MEC-07			
			Sustitucion:			
			1 de 1			

4 3 2 1

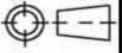
Tapa del calefactor N°.O. 20



Calefactor canaleta N°.O. 21



Nota: Plancha de acero de espesor 0,7 mm.

	Tolerancia:	Peso:	Materiales:		
	± 0.5	2,21 Kg	Acero ASTM A653		
		Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
	Dib: 2/10/19	Romo Jimmy	Christian Vásquez	Subconjunto calefactor	1.5
	Rev: 2/10/19	Christian Vásquez			
	Apro: 2/10/19	Christian Vásquez			
INGENIERÍA EN MECATRÓNICA	Firma/Empresa		Numero de dibujo:	A4	
	Romo R. Jimmy		JR-UTN-MEC-08		
			Sustitucion: 1 de 1		
4	3	2	1		

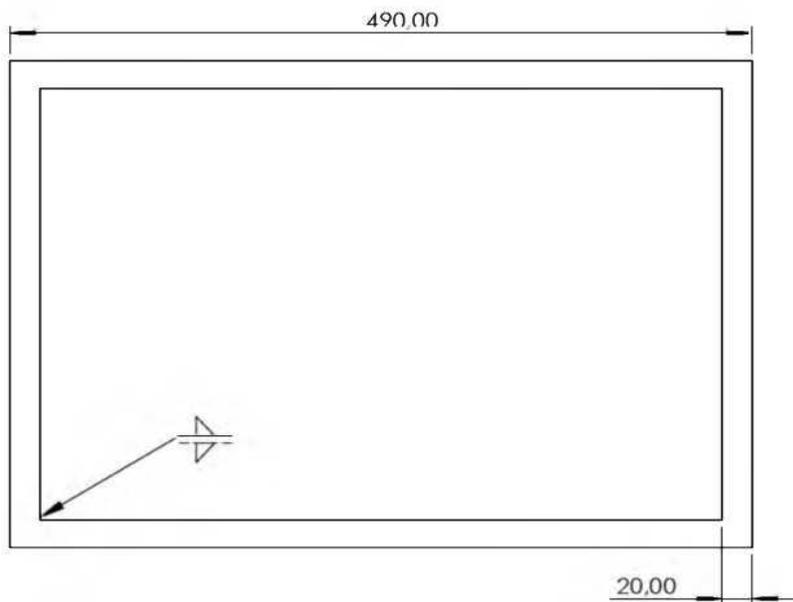
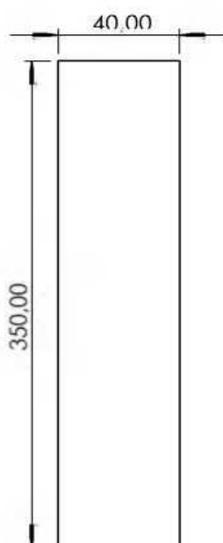
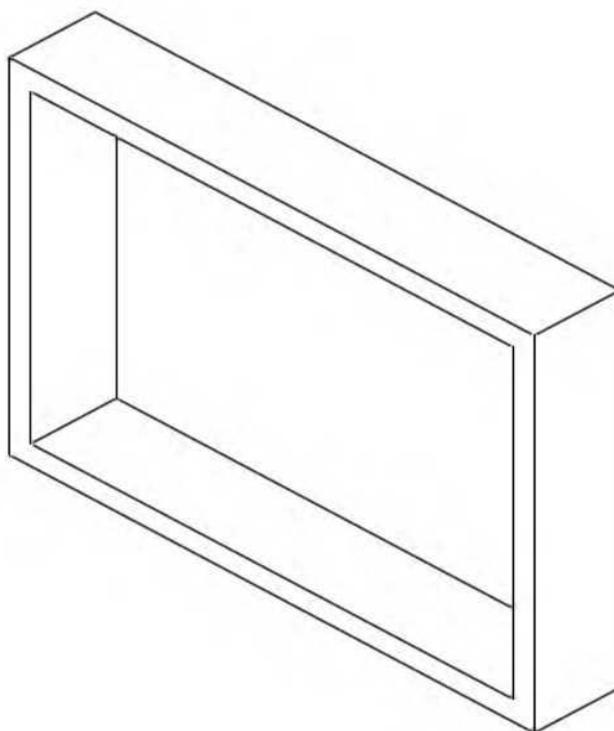
E
D
C
B
A

4

3

2

1



Nota: tubo rectangular de espesor 0,7mm.



Tolerancia:
 ± 0.5

Peso:
0,9 Kg

Materiales:
Acero INEN NTE 2415



	Fecha	Nombre
Dib:	2/10/19	Romo Jimmy
Rev:	2/10/19	Christian Vásquez
Apro:	2/10/19	Christian Vásquez

Denominación:
Calefactor exterior

Escala:
1.5

INGENIERÍA EN
MECATRÓNICA

Firma/Empresa
Romo R. Jimmy

Numero de dibujo:
JR-UTN-MEC-09

A4

Sustitucion: 1 de 1

4

3

2

1

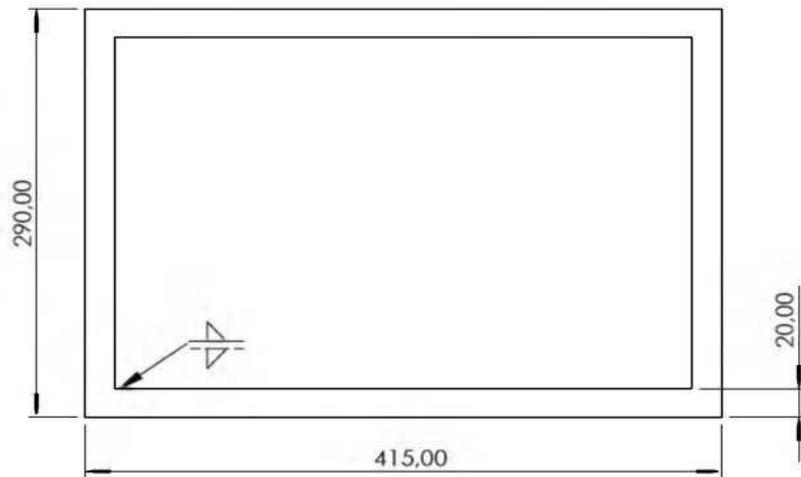
4

3

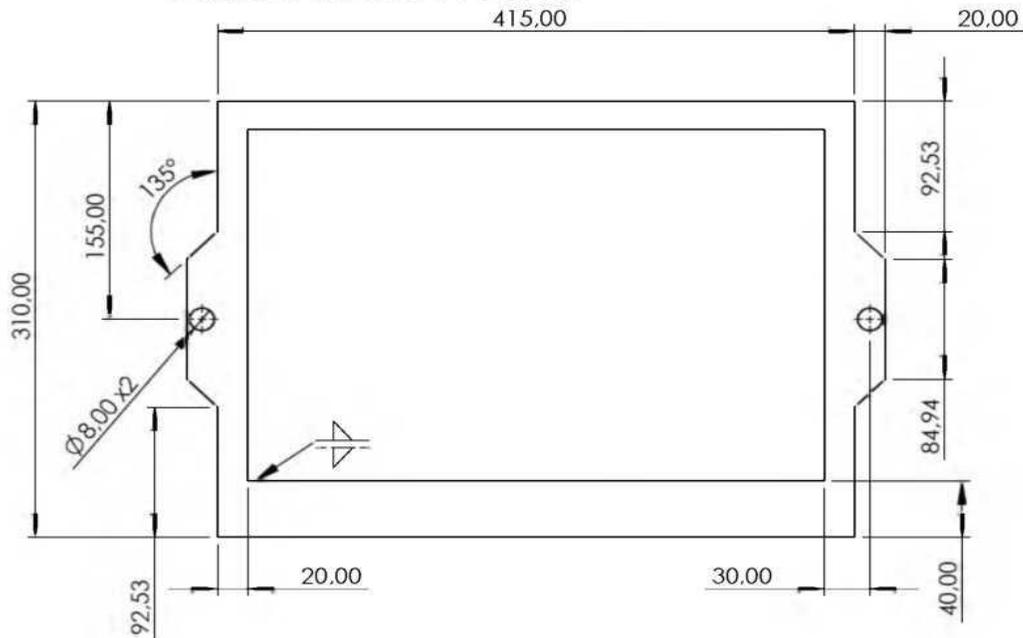
2

1

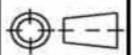
Bastidor superior N°.O. 24



Bastidor inferior N°.O. 25



Nota: Pletina de espesor 2mm.

Tolerancia:
 ± 0.5 Peso:
1,18 KgMateriales:
INEN NTE 2222

Fecha	Nombre
Dib: 2/10/19	Romo Jimmy
Rev: 2/10/19	Christian Vásquez
Apro: 2/10/19	Christian Vásquez

Denominación:
Subconjunto bastidorEscala:
1.5INGENIERÍA EN
MECATRÓNICAFirma/Empresa
Romo R. JimmyNumero de dibujo:
JR-UTN-MEC-10

A4

Sustitucion: 1 de 1

4

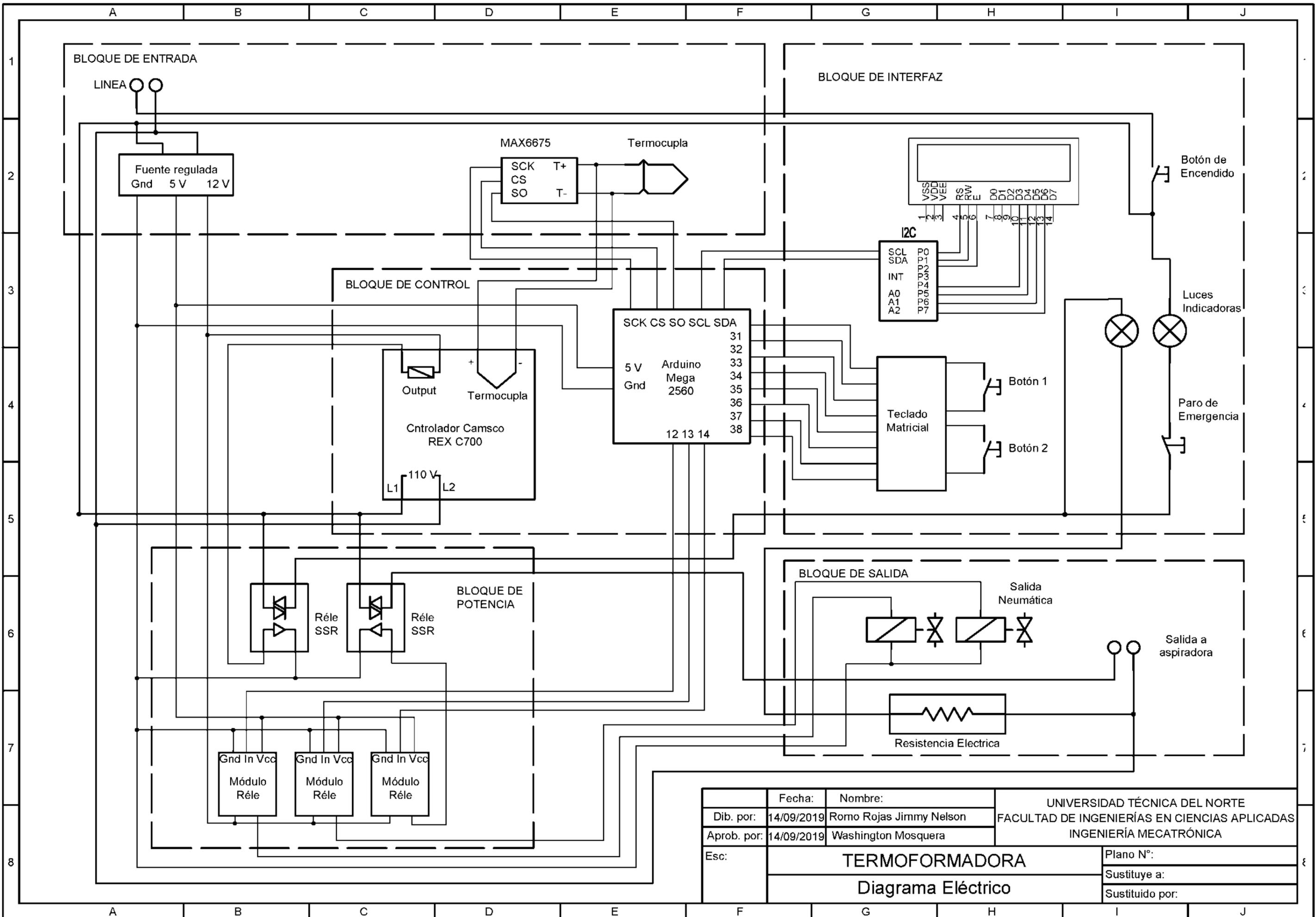
3

2

1

A

Anexo 15. Diagrama eléctrico



	Fecha:	Nombre:	UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE FACULTAD DE INGENIERÍAS EN CIENCIAS APLICADAS INGENIERÍA MECATRÓNICA
Dib. por:	14/09/2019	Romo Rojas Jimmy Nelson	
Aprob. por:	14/09/2019	Washington Mosquera	
Esc:	TERMOFORMADORA		Plano N°:
	Diagrama Eléctrico		Sustituye a:
			Sustituido por:

Anexo 16. Manual de usuario



Instrucciones de instalación, funcionamiento y mantenimiento.

Termoformadora de láminas PVC (policloruro de vinil)

Este manual es una guía para los operarios del producto, se recomienda la lectura del mismo antes de poner en marcha la maquina a la red eléctrica por primera vez.

Contenido

Introducción instalación

Funcionamiento

Mantenimiento

Reparaciones y sustituciones

Análisis de fallos

Diagrama del circuito

Especificaciones

Introducción

El plástico tiene muchos métodos de procesamiento uno de ellos es el termoformado, el cual tiene una gran variedad de influencia en nuestras vidas diarias, ya que es un proceso muy adecuado para fabricar una gran variedad de productos ya sean simples como métodos de embalaje o complejos como los usados en aeronáutica.

La empresa Multipaneles CIA. LTDA. en una de sus áreas de producción realiza chocolates, para ello en la elaboración de estos es necesario tener moldes realizados en láminas de policloruro de vinilo (PVC), las cuales son formadas por medio de termoformado al vacío.

Máquina de termoformado

Interruptores y luces

	<p>Luz de alimentación: Cuando la maquina se conecta a la alimentación eléctrica, se enciende la luz del interruptor.</p>
	<p>Interruptor de calentamiento: este interruptor desconecta la alimentación.</p>
	<p>Luz de calentamiento: la luz se enciende y parpadea para indicar que se está suministrando alimentación al calefactor.</p>

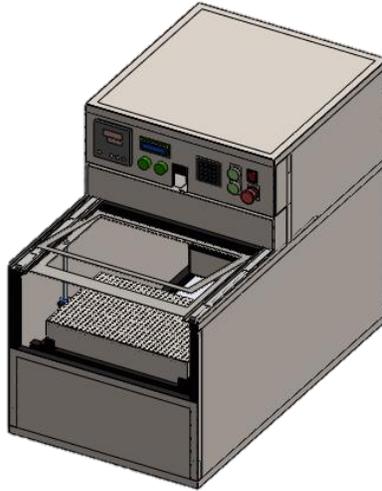
Símbolos de advertencia

	<p>Peligro de descarga eléctrica: lea cualquier advertencia impresa en este símbolo.</p>
	<p>Superficie caliente. Lea cualquier advertencia impresa con este símbolo.</p>
	<p>Peligro: lea cualquier advertencia impresa con este símbolo.</p>

Seguridad del operario

	<p>Uso de guantes de seguridad.</p>
	<p>Por seguridad use mascarilla</p>

Instalación



Para la instalación de la maquina tendrá que tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

Requerimientos del sistema

La máquina está diseñada para trabajar con las siguientes características recomendadas para su funcionamiento:

Corriente de trabajo: 110 V

Aire comprimido: Desplazamiento de 154 L/min (5,43 CFM) y una presión de 8 Bar.

Control de temperatura aprox.: 40 °C.

Aspiración aproximada de 70 CFM.

Medidas de tamaño de hoja de termoformado: 297 x 420 mm

Desembalaje y manipulación

Cando desembale o mueva la máquina, mueva siempre cerca de su base o por ambos extremos del cuerpo principal. No levante la máquina. Emplee a dos personas para que transporten la máquina para mayor seguridad.

Eliminar todo material que se encuentre dentro de la maquina antes de usarla.

Ubicación

Coloque la maquina en una habitación cerrada, y bien ventilada. Lejos de otras fuentes de calor y sobre una superficie resistente a temperatura, no montar la maquina sobre una superficie inflamable.

Configuración

La máquina termoformadora tiene sus partes totalmente acopladas a su entrega por lo cual es recomendable revisar su presentación antes de su uso.

Como configuración inicial se recomienda realizar revisión en todas las fuentes de alimentación disponibles.

Conexiones eléctricas

La máquina cuenta con una alimentación CA monofásica que debe ser fase a neutro (no reversible por seguridad).

La tensión de alimentación será especificada a 110 V a 60hz, de acuerdo al entorno de disposición en nuestro medio.

La alimentación está protegida por n fusible de calibre igual o superior a la intensidad antes mencionada.

El conector debe estar al alcance del operario y debe asegurar que debe poder desenchufarse rápidamente.

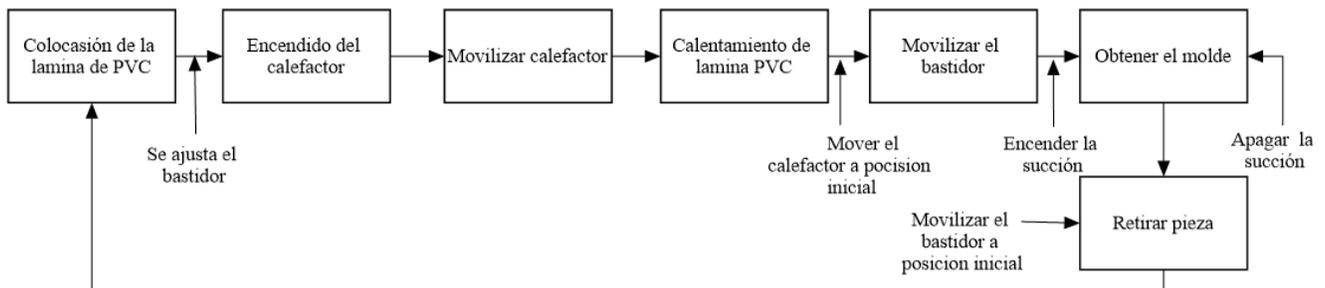
La alimentación debe incorporar una toma de tierra(masa).

			Tipo de alimentación	
Alimentación	Etiqueta del terminal	Color del cable	Fase-neutro	Reversible o fase-fase
monofásico	L	Rojo	A fase	A uno de los conductores de alimentación
	N	Azul	A neutro	Al otro conductor de alimentación
	PE	negro	A tierra(masa)	A tierra(masa)

Funcionamiento

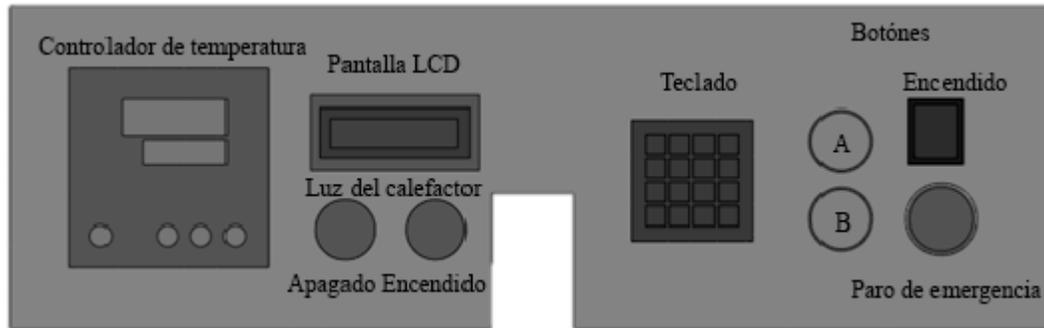
1. Para el proceso de termoformado se inicia en colocar la lámina a termoformar en el bastidor y sujeta para que no haya ninguna alteración posterior.
2. Se enciende el sistema y el calefactor es colocado automáticamente sobre la lámina durante un periodo pre-establecido.
3. El calefactor es retirado y el bastidor es colocado en la etapa de succión para para la transformación de la lámina.
4. Al terminar esto se desmolda la lámina y se realiza otro ciclo.

Este proceso se puede apreciar en la siguiente ilustración donde se muestra el proceso completo de la máquina termoformadora.



Ciclo de funcionamiento

La máquina dispone de una luz de alimentación en el interruptor de encendido. La luz permanece encendida cuando la máquina está conectada a la alimentación. La máquina corta la corriente eléctrica del circuito de control, para desconectar el calentamiento y los elementos de alimentación.



Conecte la máquina a la alimentación eléctrica. La luz de alimentación debería encenderse en el botón de encendido.

Realice la conexión de toma de alimentación para la aspiradora y la toma de aire del compresor, asegurarse que la válvula de la entrada del compresor este abierta.

Presione el botón de encendido para iniciar el proceso de manipulación de la máquina.

Revisar los valores del controlador Rex-C900, valores que a disposición del usuario se relacionan con el tipo de material que se va a trabajar. es aconsejable trabajar a temperaturas inferiores de 450 grados centígrados °C. Si el controlador está funcionando correctamente la luz verde se encenderá y apagará cada vez que se alimente el calefactor.

Una vez configurado esto, coloque la lamina a ser termoformada, esta debe de ser de dimensiones requeridas 297 x 420 mm, y asegure bien el bastidor.

Iniciada la maquina se muestra en pantalla INGRESAR VALORES-PRESIONE A, en este menú de pantalla tenemos las siguientes opciones, con el botón A ingresamos a modo automático

y al menú para dar parámetros de trabajo de la máquina, con el botón B se muestra la temperatura de transferencia de calor al ambiente.

Para modo manual utilice la tecla (↑) que realiza la etapa de calefacción y la tecla (→) para el proceso de succión, y ertorne con el boton B, presione dos veces para regresar al menu principal, y pueda repetir el ciclo.

En modo automático, ingresamos al sub-menú TIEM.CALEFACCION ingrese el valor del tiempo de transferencia de calor (0-255 segundos), presione el botón A. Ingresamos al sub-menú TIEMPO DE SUCCION, ingrese el valor de succión para el vacío (0-255 segundos), presione el botón A. Ingresamos al sub-menú TEMPERATURA, ingrese el valor de la temperatura de transferencia de calor que desea que trabaje la máquina, presione el botón A. Verificamos los valores ingresados en pantalla. Si los valores son los deseados presione el botón A para aceptar los valores y comenzar con el proceso, si desea cambiar los valores presione el botón B y reingrese nuevamente los valore deseados.

Una vez ejecutado el proceso de termoformado presionar el botón B para continuar el proceso con los mismos valores ingresados, y el botón A para regresar al sub-menú y reingresar nuevos valores de trabajo.

Con la tecla M se resetea valores de funcionamiento por lo que es aconsejable realizar este proceso cada vez que se desee cambiar valores, una vez reseteados los valores se muestra en pantalla APAGAR MAQUINA si desea terminar con el trabajo de la maquina O PRESIONAR B para iniciar nuevamente el sistema, presionar dos veces el botón B para volver al menú principal.

Concejos generales para el funcionamiento

La vida útil de un sistema que contiene elementos de calefacción se ve disminuida sii se trabaja a temperaturas cercanas al máximo. No deje la maquina en operación si no es necesario.

Seguridad del operario

Los materiales que se han usado en la construcción de la maquina se vuelven conductivos de fuentes de riesgo eléctrico y conducción térmica.

Apague la maquina cuando no sea de uso y deje reposar para que no tenga inconvenientes de manipular la estructura de la máquina.

En caso de oprimir paro de emergencia asegurar que las acciones de la maquina se apaguen completamente, revisar el proceso de fallo y una vez corregido, puede apagar la maquina o revisar cada detalle, una vez corregido fallas se mostrara en pantalla Paro de Emergencia-continuar B, desconecte el paro de emergencia y presione el botón B dos veces y regresara al menú principal.

Vida útil

No ajuste un nivel elevado de velocidad de calefacción, las resistencias eléctricas pueden sufrir un choque térmico, una norma general será tener una aproximación de calentamiento de $400/\text{diámetro interno} (^{\circ}\text{C}/\text{min})$, para la resistencia significa un calentamiento de 5°C por minuto. El controlador puede configurarse para limitar la velocidad de calefacción.

Ajuste de control

Una vez encendido el control revisar el tipo de sensor y los parámetros que muestra al inicio para verificar en el menú,

Para ingresar a la calibración del controlador de las series REX es necesario mantener presionada la tecla set por alrededor de los 3 segundos, una vez ingresado a este menú los parámetros a verificar son:

Carácter en pantalla	nombre	Especificación	rango	Valor por defecto
ATU	ATU	Para temperatura no efectiva	0: off auto-tuning 1: self-tuning	0
P	P	Control p	0-a limite	30
I	I	Control i	0-3600 seg.	240
D	D	Control d	0-3600 seg.	60
AR	Ar	Valores de referencia	Automático	25
T	T	Periodo de trabajo	0-100 seg.	*3
OH	OH	Ancho de banda	1-100	2
SE	SC	Medición de error	'200-200	0
LCK	LCK	Bloqueo de datos	0000-0111	0000

Mantenimiento

Mantenimiento general

No se precisa un mantenimiento periódico. Las superficies exteriores se pueden limpiar con un paño húmedo. No se permite que ingrese agua en el interior de la carcasa, o el panel de control, no limpiar con disolventes orgánicos.

Calibración

Cuando se realiza un proceso prolongado, es posible que se necesite recalibrar los valores de trabajo y verificar el control en la temperatura en la calefacción. Esto es importante para procesos que requieran de lecturas de temperaturas precisas en especial cuando se trabaja en modo automático.

Cada cierto tiempo una comprobación rápida del termopar independientemente del sistema sería adecuado para determinar si se requiere una calibración completa o sustitución de los elementos.

Kits de repuestos

Un kit de repuesto en el sistema, necesariamente debe contar con un termopar, un relé de estado sólido, placa Arduino, y módulo relé, tomados en cuenta por su vida útil aproximada en un mantenimiento necesario cada 5 años.

Reparaciones y sustituciones

Advertencia de seguridad-desconexión de la alimentación

Asegúrese de que la máquina este desconectada de la alimentación y que haya tenido un reposo previo para un enfriamiento del sistema de calefacción.

Sustitución del controlador de temperatura

Una vez accedido a la carcasa del interior del panel de control, se observa la instalación del controlador, por lo cual puede ser removido y cambiado con facilidad tomando en cuenta las conexiones que este conlleva la de alimentación, la del sensor, y la salida de relé, al sustituir este deberá comprobar que el nuevo modelo sea compatible con estos requerimientos de conexión.

sustitución de relé de estado sólido

Desconectada la fuente alimentación eléctrica de la máquina, retirar la cubierta superior de la carcasa, retirar la caja eléctrica y abrirla tomando las debidas precauciones, tomar en cuenta como está conectado el relé de estado sólido y desconéctelo.

Coloque y conecte el nuevo relé sólido asegurándose de que este asentado en la base de la placa aislante. Como alternativa se recomienda aplicar una capa de silicón conductor entre la placa y el nuevo relé.

Vuelva a colocar el panel retirado.

Sustitución del termopar

Para retirar el termopar se debe retirar la cubierta de las conexiones frontales para tener acceso al módulo del driver Max 6655 en el cual está conectado el termopar, en el caso de la parte del termopar que controla la temperatura se recomienda dejar enfriar el sistema para su cambio.

Nótese las conexiones del termopar identificando su polaridad, el negativo está marcado con azul y el positivo es rojo.

Doble el termopar con cuidado para que se ajuste a la forma adecuada, si la longitud del nuevo termopar difiere de la original, no representa ningún problema siempre que él se encuentre a una distancia significativa del interior del calefactor.

Introducir el termopar en su posición, asegúrese de la polaridad correcta y coloque las cubiertas aislantes debidamente.

Vuelva a montar nuevamente las cubiertas de la máquina.

Sustitución de los elementos calefactores

Desconecte el calefactor de la alimentación eléctrica, desconectar los cables de la bornera de conducción eléctrica del calefactor.

Retirar las protecciones externas, la tapa del calefactor y las mallas de aislamiento con precaución, se recomienda utilización de mascara para la cara, retire el cuerpo del calefactor para acceder a las abrazaderas de sujeción de las resistencias.

Desconecte todos los cables eléctricos del bloque y de terminales de carcasa, tener en cuenta de no romper los terminales de conexión para su remplazo.

Retire el termopar adecuadamente y teniendo cuidado de no averiar este sensor.

Coloque en forma vertical el calefactor y usando presión en la parte interior mueva la tapa de las resistencias para así tener acceso a ellas y poder cambiarlas sin mayor dificultad.

Sustitución de fusible

Si falla un fusible es recomendable realizar una comprobación de los circuitos internos.

Sustituya el fusible cuando haya fallado con el tipo adecuado. Por seguridad no instale un fusible mayor a la capacidad sin consultar antes al proveedor.

El fusible se encuentra en la entrada de la alimentación de corriente en la parte inferior del tomacorriente. Justo por debajo de la conexión del cable de red.

Análisis de fallos

El calefactor no calienta				
La luz de calentamiento está encendida	El calefactor ha fallado	Compruebe si el relé de estado sólido funciona correctamente		
La luz de calentamiento está apagada	El controlador muestra una temperatura muy alta	El termopar se ha roto o presenta fallo en el cableado		
	El controlador muestra una temperatura baja	Los interruptores pueden estar flojos y deben ajustarse. Es posible que el relé no pueda encender debido a un fallo interno, un fallo lógico del controlador, o un fallo en el controlador.		
	No hay luces encendidas en el controlador	La luz de alimentación está encendida	El controlador es posible que este defectuoso o no reciba la alimentación debido a un fallo en el interruptor o un fallo en el cableado.	
		La luz de alimentación está apagada	Compruebe los fusibles de alimentación y cualquier cableado hacia el compartimiento del calefactor	
El calefactor se calienta en exceso				
La luz de calentamiento se apaga con el interruptor de encendido	El controlador muestra una temperatura muy alta	El controlador es defectuoso		
	El controlador muestra una temperatura muy baja	El termopar se puede haber cortocircuitado o se puede haber movido fuera de la cámara de calefacción		
		El termopar debe haberse montado al revés		
El controlador muestra una temperatura muy baja	El controlador pueda que sea defectuoso			
	El relé de estado sólido ha fallado en estado encendido	Compruebe si hay un fallo de cableado accidental que pueda haber sobrecalentado el relé de estado sólido		

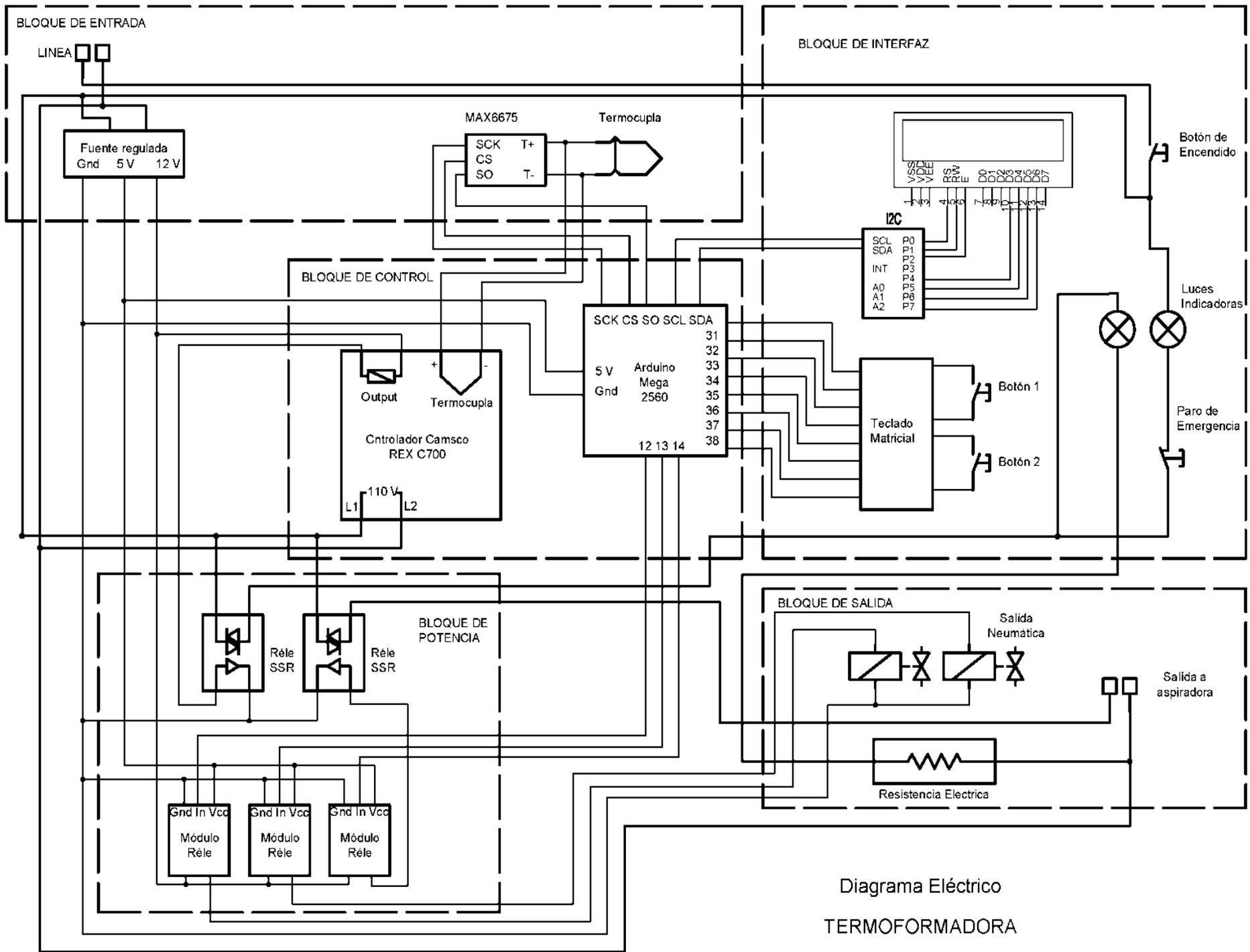


Diagrama Eléctrico
TERMOFORMADORA