



**ESPE**

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

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

**TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA  
TERMOFORMADORA DE PLÁSTICO CON CONTROL  
AUTOMÁTICO PARA LA EMPRESA MIVILTECH SOLUCIONES  
INDUSTRIALES S.A.**

**AUTORES: LUIS ENRIQUE MARTÍNEZ CHILE  
FABIÁN ALBERTO MOYA PAREDES**

**DIRECTOR: ING. JUAN CORREA J.  
CODIRECTOR: ING. FREDDY SALAZAR P.**

**LATACUNGA**

**2015**



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo titulación, “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA TERMOFORMADORA DE PLÁSTICO CON CONTROL AUTOMÁTICO PARA LA EMPRESA MIVILTECH SOLUCIONES INDUSTRIALES S.A.”, realizado por los señores **LUIS ENRIQUE MARTÍNEZ CHILE** y **FABIÁN ALBERTO MOYA PAREDES** ha revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores **LUIS ENRIQUE MARTÍNEZ CHILE** y **FABIÁN ALBERTO MOYA PAREDES** para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 12 de Noviembre del 2015.

Ing. Juan Correa J.

C.C.: 180194371-1

**DIRECTOR**

Ing. Freddy Salazar P.

C.C.: 050167200-0

**CODIRECTOR**



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**


**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Nosotros, **LUIS ENRIQUE MARTÍNEZ CHILE**, con cédula de identidad N° 050343986-1 y **FABIÁN ALBERTO MOYA PAREDES**, con cédula de identidad N° 131336951-2, declaramos que este trabajo de titulación “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA TERMOFORMADORA DE PLÁSTICO CON CONTROL AUTOMÁTICO PARA LA EMPRESA MIVILTECH SOLUCIONES INDUSTRIALES S.A.**”, ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de tercero considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaramos que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, 12 de Noviembre del 2015.

  
Luis Enrique Martínez Chile  
C.C.: 050343986-1

  
Fabián Alberto Moya Paredes  
C.C.: 131336951-2



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **LUIS ENRIQUE MARTÍNEZ CHILE** y **FABIÁN ALBERTO MOYA PAREDES**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA TERMOFORMADORA DE PLÁSTICO CON CONTROL AUTOMÁTICO PARA LA EMPRESA MIVILTECH SOLUCIONES INDUSTRIALES S.A.**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Latacunga, 12 de Noviembre del 2015.

Luis Enrique Martínez Chile

C.C.: 050343986-1

Fabián Alberto Moya Paredes

C.C.: 131336951-2

## DEDICATORIA

*Este trabajo lo dedico a Dios por haberme dado la vida y permitirme haber llegado hasta este momento tan especial de mi vida.*

*A mis padres que con sus consejos me ayudaron a seguir el camino justo para cumplir mis metas y desafíos planteados en mi vida y que estoy seguro que lo seguirán haciendo.*

*A toda la familia por creer en mí, apoyarme y compartir en los momentos felices de la vida y en los tristes aún más.*

*A todas las personas que aparecieron en mi vida y me hicieron alguien mejor.*

***Luis***

*El presente proyecto va dedicado a mis padres quienes me apoyaron desde el principio para obtener mi carrera universitaria. Para aquellas personas que alguna vez me dijeron; cambia de tema está muy difícil y no te va a salir. Ese fue un motivo muy importante para tomar más fuerzas para desarrollar el proyecto y demostrarles que si es posible.*

***Fabián***

## AGRADECIMIENTO

*Agradezco a Primero agradecerle a Dios por los días que me mantuvo con fuerzas para seguir cumpliendo con mi objetivo.*

*A mi ma por darme el ejemplo de sacrificio y constancia, por todo los momentos que dedico de su vida para vernos bien, a mi pa que nunca dejo de apoyarme*

*A mi hermana por ser el motivo para cumplir mis objetivos de vida.*

*A mis abuelitos por estar siempre pendiente de su nieto querido y nunca faltarme con sus palabras de aliento.*

*A mis tías que con su cariño incondicional me hicieron sentir seguro de mí mismo, a mis primas y primo que con sus locuras me animaban y mataban de iras*

*A mis amigos de cerca y de lejos que siempre estuvieron pendientes de cómo te trata la vida, y que no planeaba encontrarlos así.*

*A la música por hacerme calmarme en momentos de ofuscación.*

*A mis maestros que han sabido guiarme, apoyarme e impartirme sus conocimientos, gracias por su tiempo dedicado.*

***Luis***

*Agradezco a Dios por brindarme salud y la energía para poder realizar todos mis objetivos que me platee.*

*Un agradecimiento muy especial para mis padres por apoyarme siempre en todo para ser una excelente persona brindándome su apoyo incondicional, por educarme moralmente para ser una persona de bien, por tener la fe y confianza en mí de poder culminar una meta más en vida.*

*A mi tía quien me apoyo durante el tiempo invertido en realizar este proyecto.*

*A aquellas personas quienes con sus ánimos y consejos fueron partícipes de las jornadas de elaboración del proyecto, a todos los amigos y compañeros de la universidad que de alguna forma u otra apoyaron con ánimos y acólites para seguir avanzando en la culminación del proyecto.*

*Muchas gracias a todos*

***Fabián***

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>CARÁTULA</b> .....	i
<b>CERTIFICADO</b> .....	ii
<b>DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD</b> .....	iii
<b>AUTORIZACIÓN</b> .....	iv
<b>DEDICATORIA</b> .....	v
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	vi
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO</b> .....	viii
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	xiii
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	xv
<b>RESUMEN</b> .....	xix
<b>ABSTRACT</b> .....	xx

## CAPÍTULO I

<b>1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS</b> .....	1
1.1 Introducción .....	1
1.2 Problema.....	1
1.3 Justificación.....	1
1.4 Objetivos .....	2
1.4.1 Objetivo general .....	2
1.4.2 Objetivos específicos.....	2
1.5 Polímeros.....	3
1.5.1 Introducción .....	3
1.5.2 Propiedades de los termoplásticos.....	3
1.5.3 Clasificación polímeros.....	6



1.6	Termoplásticos .....	6
1.7	Termoformado.....	8
1.7.1	Productos fabricados por termoformado .....	9
1.7.2	Ventajas .....	10
1.7.3	Desventajas.....	11
1.7.4	Métodos de termoformado .....	11
1.7.5	Variables del termoformado .....	15
1.7.6	Equipos de termoformado .....	19
1.8	Partes de la máquina.....	22
1.8.1	Elementos mecánicos .....	23
1.8.2	Elementos eléctricos y electrónicos .....	24
1.8.3	Elementos neumáticos.....	36
1.9	Desarrollo de la función de calidad (QFD) .....	42
1.9.1	Las cuatro fases .....	43
1.9.2	La casa de la calidad.....	43
1.9.3	Importancia del QFD.....	48
1.10	Módulos e interfaces .....	48

## **CAPÍTULO II**

<b>2</b>	<b>DISEÑO Y SELECCIÓN .....</b>	<b>52</b>
2.1	Introducción .....	52
2.2	Casa de la calidad .....	52
2.3	Especificaciones técnicas .....	53
2.4	Análisis funcional.....	54
2.4.1	Desarrollo de los diagramas funcionales.....	55

2.4.2	Análisis de los diagramas funcionales .....	55
2.5	Definición y generación de módulos.....	55
2.6	Generación de soluciones para cada módulo .....	57
2.6.1	Módulo 1 .....	57
2.6.2	Módulo 2 .....	60
2.7	Selección de la mejor alternativa .....	63
2.7.1	Evaluación del Módulo 1 .....	63
2.7.2	Evaluación del Módulo 2 .....	64
2.8	Diseño mecánico de la termoformadora.....	67
2.8.1	Estructura de la máquina .....	67
2.8.2	Portador de plástico .....	75
2.8.3	Sistema de vacío.....	77
2.8.4	Selección de la banda .....	83
2.9	Elementos para automatización y control .....	88
2.9.1	Selección del controlador .....	88
2.9.2	Selección de sensores .....	90
2.9.3	Selección de relés .....	90
2.9.4	Selección de protecciones eléctricas .....	92
2.9.5	Selección de cables para las conexiones eléctricas .....	96
2.10	Sistema neumático.....	96
2.10.1	Selección de cilindros neumáticos para la sujeción del plástico.....	98
2.10.2	Selección de cilindros neumáticos para desplazar el sujetador de plástico.....	99
2.11	Diseño térmico .....	100
2.11.1	Selección de la potencia de los calefactores.....	100

### CAPÍTULO III

<b>3</b>	<b>CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN</b> .....	109
3.1	Introducción .....	109
3.2	Construcción mecánica .....	109
3.2.1	Diagramas de proceso de los elementos mecánicos.....	110
3.3	Montaje mecánico de la máquina.....	133
3.3.1	Montaje del sistema de sujeción de la lámina .....	133
3.3.2	Montaje del sistema de sujeción de los cilindros .....	135
3.3.3	Montaje del sistema de sujeción de resistencias .....	137
3.3.4	Montaje del sistema de vacío .....	137
3.4	Automatización .....	138
3.4.1	Circuito de control.....	138
3.4.2	Circuito de fuerza .....	140
3.4.3	Programación de LOGO! 24 RC .....	143

### CAPÍTULO IV

<b>4</b>	<b>PRUEBAS Y RESULTADOS</b> .....	147
4.1	Introducción .....	147
4.2	Primera prueba .....	147
4.3	Segunda prueba .....	148
4.4	Tercera prueba.....	149
4.5	Evaluación por parte de la empresa.....	150
4.6	Análisis financiero de la termoformadora .....	151
4.7	Análisis de producción .....	152
4.8	Porcentaje de ganancia .....	153

4.9	Análisis de ventas .....	154
4.10	Recuperación de la inversión .....	154
4.11	Flujo de caja .....	154
4.12	Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR) .....	155
4.13	Validación de la hipótesis .....	156

## **CAPÍTULO V**

<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>158</b>
5.1	Conclusiones .....	158
5.2	Recomendaciones .....	160

<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>161</b>
---------------------------	------------

<b>LINKOGRAFÍA</b> .....	<b>162</b>
--------------------------	------------

<b>ANEXOS</b> .....	<b>164</b>
---------------------	------------

ANEXO A: DATOS TÉCNICOS

ANEXO B: PLANOS GENERALES DE LA TERMOFORMADORA

ANEXO C: PROGRAMACIÓN DE LOGO! 24 RC

ANEXO D: MANUAL DE USUARIO

ANEXO E: ARTÍCULO CIENTÍFICO

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	Clasificación de los termoplásticos.....	7
<b>Tabla 2</b>	Cuadro de materiales usados en termoformado .....	16
<b>Tabla 3</b>	Tipos de termopares .....	34
<b>Tabla 4</b>	Especificaciones técnicas de la máquina.....	53
<b>Tabla 5</b>	Alternativas del Módulo 1.....	59
<b>Tabla 6</b>	Alternativas del Módulo 2.....	61
<b>Tabla 7</b>	Alternativas de solución al Módulo 2 .....	63
<b>Tabla 8</b>	Evaluación para cada criterio .....	64
<b>Tabla 9</b>	Evaluación de soluciones respecto a bajo peso.....	64
<b>Tabla 10</b>	Evaluación de soluciones respecto a segura.....	65
<b>Tabla 11</b>	Evaluación de soluciones respecto a fácil uso .....	65
<b>Tabla 12</b>	Evaluación de soluciones respecto a precio moderado .....	65
<b>Tabla 13</b>	Evaluación de soluciones respecto a precio rentable .....	66
<b>Tabla 14</b>	Conclusiones del módulo 2 .....	66
<b>Tabla 15</b>	Factores de servicio.....	84
<b>Tabla 16</b>	Selección para bandas de Alta Competencia y Bandas Convencionales .....	85
<b>Tabla 17</b>	Diámetro mínimo para polea de motor eléctrico.....	85
<b>Tabla 18</b>	Poleas existente para bandas 3V .....	86
<b>Tabla 19</b>	Controladores para automatización.....	89
<b>Tabla 20</b>	Características de las resistencias eléctricas .....	91
<b>Tabla 21</b>	Características del motor Allen Bradley .....	94
<b>Tabla 22</b>	Selección de cable AWG .....	96
<b>Tabla 23</b>	Propiedades térmicas de termoplásticos usados comúnmente .....	101
<b>Tabla 24</b>	Propiedades del acero galvanizado .....	105
<b>Tabla 25</b>	Propiedades del aislante térmico .....	106
<b>Tabla 26</b>	Escala de Beaufort.....	106
<b>Tabla 27</b>	Máquinas y herramientas empleadas .....	109
<b>Tabla 28</b>	Elementos constitutivos del sistema de sujeción de la lámina.....	110
<b>Tabla 29</b>	Elementos constitutivos de la sujeción de los cilindros MCQI-11-40-500 ...	122

<b>Tabla 30</b> Elementos constitutivos del sistema de sujeción de las resistencias eléctricas .....	124
<b>Tabla 31</b> Elementos constitutivos del sistema de vacío .....	125
<b>Tabla 32</b> Parámetros de calibración primera prueba .....	147
<b>Tabla 33</b> Parámetros de calibración segunda prueba .....	148
<b>Tabla 34</b> Parámetros de calibración tercera prueba .....	149
<b>Tabla 35</b> Costo de construcción de la máquina termoformadora.....	152
<b>Tabla 36</b> Costo de termoformado por lámina.....	152
<b>Tabla 37</b> Costos de producción de basurero y parante.....	153
<b>Tabla 38</b> Precio de venta de artículos termoformados .....	153
<b>Tabla 39</b> Ingreso mensual por ventas de productos termoformados .....	154
<b>Tabla 40</b> Costo total de inversión de un año de la máquina.....	155
<b>Tabla 41</b> Flujo de Caja .....	155
<b>Tabla 42</b> Resultados VAN, TIR y B/C.....	156

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Representación de la formación de un polímero .....	3
<b>Figura 2</b>	Curvas esfuerzo-deformación de materiales polímeros a diferentes temperaturas .....	4
<b>Figura 3</b>	Representación gráfica del Calor vs Temperatura.....	5
<b>Figura 4</b>	Termoformado a presión .....	12
<b>Figura 5</b>	Molde negativo en termoformado .....	13
<b>Figura 6</b>	Molde positivo en termoformado .....	13
<b>Figura 7</b>	Termoformado al vacío .....	14
<b>Figura 8</b>	Termoformado mecánico.....	15
<b>Figura 9</b>	Curva esfuerzo-deformación de los plásticos .....	16
<b>Figura 10</b>	Horno con circulación forzada de aire.....	21
<b>Figura 11</b>	Horno con calentamiento infrarrojo .....	21
<b>Figura 12</b>	Resistencias eléctricas para calentamiento .....	22
<b>Figura 13</b>	Partes de máquina termoformadora.....	23
<b>Figura 14</b>	Controlador Lógico Programable .....	26
<b>Figura 15</b>	Estructura física del LOGO! y de módulo de ampliación .....	28
<b>Figura 16</b>	Estructura de módulo analógico AM 2 y AM 2 PT100.....	29
<b>Figura 17</b>	Elementos de un SSR .....	31
<b>Figura 18</b>	Detección de cruce por cero .....	32
<b>Figura 19</b>	Esquema de una termocupla.....	33
<b>Figura 20</b>	Curva Resistencia vs Temperatura de PT100 y PT100 .....	35
<b>Figura 21</b>	Esquema de Electroválvula Normalmente Cerrada.....	36
<b>Figura 22</b>	Esquema de un cilindro de Doble Efecto .....	37
<b>Figura 23</b>	Unidad de mantenimiento.....	38
<b>Figura 24</b>	Filtro .....	39
<b>Figura 25</b>	Regulador.....	39
<b>Figura 26</b>	Lubricador .....	40
<b>Figura 27</b>	Principio Venturi .....	42
<b>Figura 28</b>	Esquema general del desarrollo de la función de calidad (QFD).....	44

<b>Figura 29</b> Casa de la calidad aplicada al caso de definición de las características de un fogón de camping.....	49
<b>Figura 30</b> Ejemplo simbología Módulos funcionales .....	51
<b>Figura 31</b> Casa de la calidad de máquina termoformadora.....	53
<b>Figura 32</b> Diagramas funcionales de la termoformadora.....	56
<b>Figura 33</b> Módulos para el análisis funcional de la termoformadora .....	57
<b>Figura 34</b> Vista isométrica de la máquina termoformadora.....	67
<b>Figura 35</b> Diagrama de la estructura .....	68
<b>Figura 36</b> Dimensiones de la estructura.....	69
<b>Figura 37</b> Diagrama de cuerpo libre de la viga.....	71
<b>Figura 38</b> Diagrama de fuerzas cortantes de la viga .....	72
<b>Figura 39</b> Diagrama de momentos de la viga .....	73
<b>Figura 40</b> Configuración del acero ASTM A-36 .....	74
<b>Figura 41</b> Factor de seguridad de la estructura .....	75
<b>Figura 42</b> Marco superior del portador de plástico .....	76
<b>Figura 43</b> Marco inferior del portador de plástico .....	76
<b>Figura 44</b> Factor de seguridad del portador de plástico .....	77
<b>Figura 45</b> Sistema de vacío .....	77
<b>Figura 46</b> Ensamble de moldes y mesa de vacío .....	79
<b>Figura 47</b> Volumen de moldes calculado.....	80
<b>Figura 48</b> Caudal-Velocidad para bomba de vacío 24 U-RAI.....	82
<b>Figura 49</b> Torque-Velocidad para bomba de vacío 24 U-RAI.....	82
<b>Figura 50</b> Conexión trifásica en triángulo.....	91
<b>Figura 51</b> Transferencia de calor del horno de pared compuesta .....	103
<b>Figura 52</b> Diagrama y figura del proceso del marco inferior interno .....	112
<b>Figura 53</b> Diagrama y figura del proceso del marco inferior interno .....	113
<b>Figura 54</b> Diagrama y figura del proceso del marco superior.....	114
<b>Figura 55</b> Diagrama y figura del proceso de la sujeción superior .....	115
<b>Figura 56</b> Diagrama y figura del proceso de la sujeción inferior externa.....	116
<b>Figura 57</b> Diagrama y figura del proceso de la platina guía .....	117
<b>Figura 58</b> Diagrama y figura del proceso de la platina de sujeción.....	117



<b>Figura 59</b>	Diagrama y figura del proceso del ángulo soporte estabilizador ranurado ..	118
<b>Figura 60</b>	Diagrama y figura del proceso del ángulo soporte estabilizador.....	119
<b>Figura 61</b>	Diagrama y figura del proceso del tubo guía.....	120
<b>Figura 62</b>	Diagrama y figura del proceso del tubo riel .....	121
<b>Figura 63</b>	Diagrama y figura del proceso de la sujeción inferior de cilindro .....	122
<b>Figura 64</b>	Diagrama y figura del proceso de la sujeción superior de cilindro .....	123
<b>Figura 65</b>	Diagrama y figura del proceso de la platina para resistencias.....	124
<b>Figura 66</b>	Diagrama y figura del proceso del soporte de la platina para resistencias ...	125
<b>Figura 67</b>	Diagrama y figura del proceso de la pieza vacío fondo .....	126
<b>Figura 68</b>	Diagrama y figura del proceso de la pieza vacío lateral corto.....	127
<b>Figura 69</b>	Diagrama y figura del proceso de la pieza vacío lateral largo.....	128
<b>Figura 70</b>	Diagrama y figura del proceso de la pieza vacío tapa .....	129
<b>Figura 71</b>	Diagrama y figura del proceso de la estructura de la máquina (parte I).....	131
<b>Figura 72</b>	Diagrama y figura del proceso de la estructura de la máquina (parte II) .....	133
<b>Figura 73</b>	Ubicación de platinas guías .....	134
<b>Figura 74</b>	Sistema móvil de las platinas de sujeción .....	134
<b>Figura 75</b>	Ubicación de los cilindros neumáticos pequeños .....	135
<b>Figura 76</b>	Ubicación de los tubos guía y los tubos riel .....	135
<b>Figura 77</b>	Sujeción del cilindro neumático a la estructura.....	136
<b>Figura 78</b>	Unión del vástago con el portador de láminas.....	136
<b>Figura 79</b>	Ubicación de las resistencias .....	137
<b>Figura 80</b>	Ensamble de la caja de vacío.....	137
<b>Figura 81</b>	Caja de vacío unida a la manguera flexible.....	138
<b>Figura 82</b>	Panel frontal.....	139
<b>Figura 83</b>	Panel interno .....	140
<b>Figura 84</b>	Circuito de potencia.....	141
<b>Figura 85</b>	Fusibles y breaker de protección .....	141
<b>Figura 86</b>	Diagrama de flujo del programa de control de la termoformadora .....	145
<b>Figura 87</b>	Producto final de la primera prueba .....	147
<b>Figura 88</b>	Producto final de la segunda prueba.....	149
<b>Figura 89</b>	Producto final de la tercera prueba .....	150

**Figura 90** Formato del protocolo de pruebas ..... 151

## **RESUMEN**

MIVILTECH SOLUCIONES INDUSTRIALES S.A. es una empresa dedicada a la elaboración de autopartes para compañías carroceras ubicándose en un sector estratégico de la matriz productiva nacional; por lo que requiere avances tecnológicos que le permitan generar una producción competitiva y eficiente, además debido a la toxicidad que presenta el proceso de fabricación de productos en fibra de vidrio, se necesita en lo posible sustituirlos por un material de similares características que conlleve un proceso con un alto grado de bienestar físico para el personal obrero, teniendo como alternativa el proceso de termoformado. Con este objetivo se desarrolla el proyecto de: “diseño y construcción de una máquina termoformadora de plástico con control automático”, la cual permite automatizar el proceso de fabricación de productos moldeados optimizando tiempos de producción. En el capítulo 1 se habla del por qué se presentó el proyecto, además del concepto que implica una máquina termoformadora, como sus partes describiendo brevemente el método que se usó para realizar su diseño. El capítulo 2 describe el proceso de selección de alternativas así como el diseño y dimensionamiento de los elementos mecánicos, neumáticos, de control y de potencia que conforman la máquina. El capítulo 3 nos presenta detalladamente el proceso de construcción de la máquina, así como el ensamble e implementación de los diferentes componentes que la conforman, indicando los procedimientos y herramientas que se usaron. Por ultimo en capítulo 4 encontramos las pruebas y calibraciones que se realizaron para tener un producto final que satisfaga las exigencias de la empresa, además un análisis financiero que nos muestra que tan factible es el proyecto realizado.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **EMPRESA MIVILTECH SOLUCIONES INDUSTRIALES S.A.**
- **INDUSTRIA AUTOMOTRIZ**
- **PROCESO DE TERMOFORMADO**
- **INDUSTRIA DEL PLÁSTICO**
- **SISTEMA DE VACÍO**

## **ABSTRACT**

MIVILTECH SOLUCIONES INDUSTRIALES S.A. is a company dedicated to the development of auto parts for bodywork companies being located in a strategic sector of the national productive matrix; so it requires technological advances that allow them to build competitive and efficient, due to the toxicity that presents the process of manufacturing fiberglass, it is needed if possible replace a material with similar characteristics but not harmful to the health of workers, so to be with thermoformable polymer manufacture. With this objective, develops the project: "Design and construction of a plastic thermoforming machine with automatic control", which automates the process of manufacture of molded products optimizing production times. The mechanical design system allows accommodate the various components that make up the machine. The pneumatic system is responsible for securing and transporting the plastic through the different stages of production. In Chapter 1 we speak of why the project was presented, besides the concept that involves a thermoforming machine, as parts briefly describing the method used for its design. Chapter 2 describes the selection of alternatives and the design and dimensioning of mechanical components, pneumatic control and power up the machine. Chapter 3 presents in detail the process of building the machine as well as assembly and implementation of the different components that form, indicating the procedures and tools used. In chapter 4 we find the tests and calibrations are performed to have a final product that meets the requirements of the company, and a financial analysis that shows how feasible is the project done.

### **KEYWORDS:**

- **MIVILTECH SOLUCIONES INDUSTRIALES S.A. COMPANY**
- **AUTOMOTIVE INDUSTRIE**
- **THERMOFORMING PROCESS**
- **INDUSTRY OF PLASTIC**
- **VACUUM SYSTEM**

## **CAPÍTULO I**

### **1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

#### **1.1 Introducción**

En el presente capítulo se tratará temas relacionados directamente con el concepto de lo que implica una máquina termoformadora, como es el motivo del por qué se presentó el proyecto y su debida justificación, al igual que lo que implica el proceso de termoformado, como los materiales usados para este fin, además se incluye una breve descripción del método que se usó para realizar el diseño de la máquina.

#### **1.2 Problema**

La empresa MIVILTECH Soluciones Industriales en el área de fibra de vidrio posee seis operarios quienes se encargan de preparar los moldes con grasa para evitar que se adhiera el producto fibrado, colocan una capa de resina y en seguida una capa de fibra de vidrio. Dicho proceso lo repiten varias veces hasta lograr un espesor aproximado de 2 a 3 milímetros. Después de que el material este seco le agregan una capa de gel coat (pintura para resina). El proceso de secado dura varios días dependiendo de la temperatura ambiente y del tamaño del molde. En ocasiones para acelerar el secado de la resina se usan pistolas de calor. Cabe recalcar que todo este proceso se realiza totalmente de forma manual, lo que representa un gran costo de fabricación, volumen de producción bajo y un elevado tiempo de elaboración.

Al usar la técnica de termoformado se espera obtener piezas con características similares a las elaboradas manualmente en menor tiempo.

#### **1.3 Justificación**

Las industrias carroceras de buses pretenden ser más competitivas con mejores productos y reduciendo el tiempo de entrega a sus clientes. El proceso de producción en fibra de vidrio es un método costoso con un elevado tiempo de producción.

La empresa MIVILTECH se ha planteado objetivos que le posicionen como ser líder en la entrega de partes en el menor tiempo posible y a menor costo a las diferentes empresas carroceras del medio, por tanto se desea invertir en proyectos vinculados con la eficiencia y optimización de tiempos operativos, además busca conseguir que la producción de partes obtenga los mismos o mejores beneficios que les ofrece la fibra de vidrio.

La máquina termoformadora de plástico, aportará a la empresa una mejora en los tiempos de producción al igual que en los costos, además se pretende aumentar la producción y minimizar el costo de mano de obra.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

Diseñar y construir una máquina termoformadora de plásticos para la empresa MIVILTECH Soluciones Industriales S.A.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

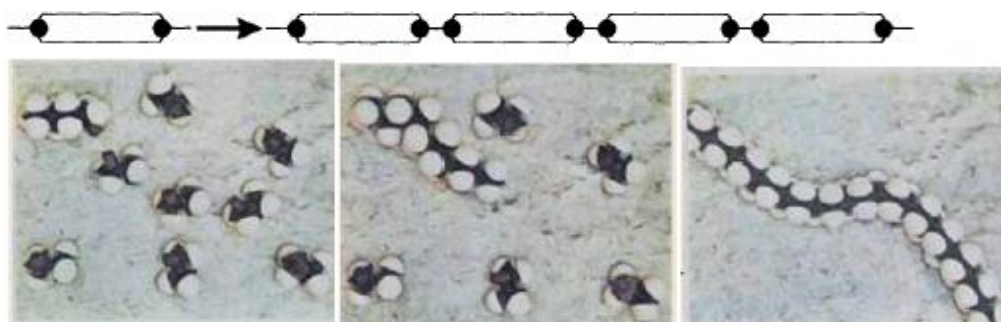
- Investigar acerca de las características mecánicas de plásticos a ser utilizados y sus temperaturas de termoformado al igual que una comparativa entre máquinas termoformadoras existentes en el mercado.
- Diseñar y seleccionar las partes mecánicas, eléctricas, hidráulicas o neumáticas de la máquina termoformadora.
- Diseñar, seleccionar e implementar el sistema de control para la automatización de la máquina.
- Construir la máquina termoformadora de plástico.
- Diseñar, seleccionar e implementar un sistema de comunicación hombre-máquina.

## 1.5 Polímeros

### 1.5.1 Introducción

Un polímero es una macromolécula formada por la unión repetida de monómeros (compuestos orgánicos) por medio de enlaces covalentes, que forman cadenas largas y flexibles cuyo soporte es una hilera de átomos de carbono, la misma que se representa en la **Figura 1**.

MONOMERO  $\Rightarrow$  MONOMERO-MONOMERO-MONOMERO-MONOMERO  
(POLÍMERO)



**Figura 1 Representación de la formación de un polímero**

**Fuente:** (IntroduccionPolimeros)

Cuando a un polímero se le añade aditivos para mejorar sus características físicas y técnicas este procede a convertirse en plástico.

### 1.5.2 Propiedades de los termoplásticos

El conocimiento de las propiedades de los materiales es un requisito previo indispensable para su correcta utilización.

Las propiedades de los materiales poliméricos, comúnmente llamados plásticos, son las responsables de su utilización en lugar de otros materiales y en algunos casos presentan propiedades únicas que los hacen insustituibles para ciertas aplicaciones.

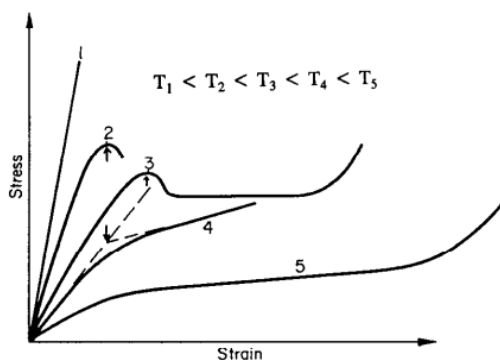
## a Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas de los polímeros se ven muy afectadas, sobre todo por el tiempo, temperatura de la probeta, velocidad de aplicación del esfuerzo y otras condiciones del medio ambiente, (Cerrada, 1995).

Los polímeros son hasta cierto punto flexibles. Sus módulos de elasticidad, así como sus resistencias, se encuentran distribuidas en un amplio intervalo, pero en general están considerablemente por debajo de las propiedades equivalentes de los metales. En numerosas ocasiones, la flexibilidad es una ventaja para la fabricación y la aplicación.

En la **Figura 2** se muestra el comportamiento de algunos polímeros cuando son sometidos a un esfuerzo, indicando las diferentes curvas que se presentan.

- Curva 1: Comportamiento frágil.
- Curvas 2 y 3: Dúctil.
- Curva 4: Método de las tangentes.
- Curva 5: Elastómeros.
- Flechas en las curvas 2,3 y 4: Definiciones del punto de fluencia: esfuerzo máximo.



**Figura 2 Curvas esfuerzo-deformación de materiales polímeros a diferentes temperaturas**

**Fuente:** (Cerrada, 1995)

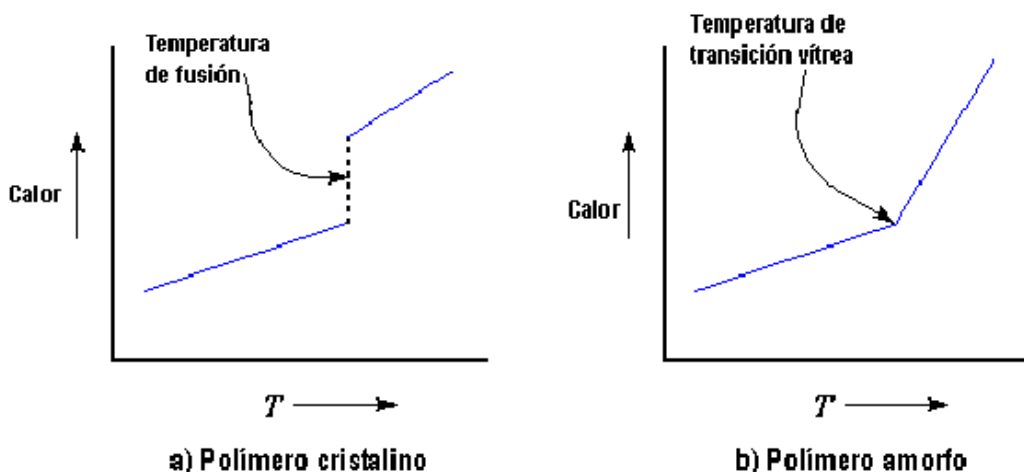
## b Propiedad térmica

Por propiedad térmica se entiende a la respuesta de un material al ser calentado. Existen tres temperaturas importantes en los materiales poliméricos:



- **Temperatura de Transición Vítrea ( $T_g$ ):** Temperatura o pequeño intervalo de temperaturas por debajo del cual un polímero se encuentra en un estado vítreo y encima de él, este presenta la consistencia de un hule. Esta temperatura es de extrema importancia para el procesador, ya que permite determinar la factibilidad de emplear un polímero para ciertas aplicaciones. Por ejemplo, si un polímero posee una  $T_g$  de  $100^\circ\text{C}$  y otro con una  $T_g$  de  $-20^\circ\text{C}$ , el primero será un material rígido a temperatura ambiente, mientras que el segundo será flexible, (Brindis, 2002).
- **Temperatura de Fusión ( $T_m$ ):** Temperatura o pequeño intervalo de temperaturas en las cuales los cristales desaparecen en un polímero semicristalino y éste pasa rápidamente de sólido semicristalino a un líquido muy viscoso, (Brindis, 2002).
- **Temperatura de Descomposición ( $T_z$ ):** Temperatura a la cual se rompen los enlaces covalentes de las cadenas. El efecto resultante es disminuir drásticamente el peso molecular del material haciéndolo débil, (Brindis, 2002).

Los Polímeros pueden solidificarse formando un sólido amorfo o uno cristalino, representados en la **Figura 3**. Como se sabe los polímeros con fuertes irregularidades en su estructura tienden a formar sólidos amorfos y los polímeros con cadenas muy simétricas tienden a cristalizar, por lo menos parcialmente.



**Figura 3 Representación gráfica del Calor vs Temperatura**

Fuente: (Brindis, 2002)

### 1.5.3 Clasificación polímeros

Existen diferentes formas de clasificar los polímeros, pero la más conveniente y utilizada es la relacionada con el comportamiento frente a la temperatura, lo que condiciona las propiedades físicas y químicas, diferenciándolos en los siguientes grupos:

- **Termoplásticos:** Sus macromoléculas están dispuestas libremente sin entrelazarse, es por esto que se reblandecen con el calor adquiriendo la forma deseada conservándose al enfriarse.
- **Elastómeros:** Sus macromoléculas se ordenan en forma de red de malla con pocos enlaces. Permitiendo obtener plásticos de gran elasticidad que recuperan su forma y dimensiones cuando deja de actuar una fuerza sobre ellos.
- **Termoestables:** Sus macromoléculas se entrecruzan formando una red de malla cerrada, así no se permiten nuevos cambios de forma mediante calor o presión; solo se puede deformar una vez.

### 1.6 Termoplásticos

Los materiales termoplásticos son básicamente polímeros lineales no entrecruzados, pudiendo hacerse fluidos por calentamiento y tomar una forma determinada, forma que mantienen una vez fríos. Este proceso de calentamiento, toma de forma y enfriamiento puede repetirse, en principio, indefinidamente (considerando, naturalmente, que no tienen lugar procesos de descomposición térmica). Son, por tanto, reciclables, sin embargo, tienen el inconveniente de su poca resistencia mecánica que ofrecen cuando aumenta la temperatura, por ello se suelen emplear, de forma preferente, en aquellas aplicaciones en las que la temperatura de trabajo sea la ambiente.

Variaciones en los esfuerzos mecánicos o condiciones ambientales pueden reducir los márgenes de resistencia del material. Otra característica de estos materiales es su tendencia a absorber agua, ya sea del ambiente o por inmersión.

En general, los termoplásticos se pueden clasificar con referencia a su arreglo molecular, lo cual influye en su proceso de fusión, solidificación, y puede determinar las propiedades físicas y mecánicas, dicha clasificación se indica en la **Tabla 1**.

**Tabla 1**

**Clasificación de los termoplásticos**

Estructura	Formación	Características	Ejemplo
<b>Amorfa</b>	Las moléculas no presentan ningún tipo de orden: están dispuestas aleatoriamente.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Son normalmente transparentes.</li> <li>- La fusión se realiza en un intervalo de temperatura, no existe un punto de fusión preciso.</li> <li>- A medida que la temperatura aumenta el material pasa de un estado sólido a uno pastoso, hasta convertirse finalmente en un fluido muy viscoso.</li> <li>- En el intervalo de fusión pueden ser manufacturados por inyección, extrusión, soplado, etc.</li> <li>- Sin carga tienen una contracción en el moldeo de 0.3% a 0.9%, con carga este valor es menor.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- PVC</li> <li>- PS</li> <li>- SAN</li> <li>- ABS</li> <li>- PMMA</li> <li>- PC</li> </ul>
<b>Cristalina</b>	Al enfriarse, sus cadenas tienden a enlazarse muy ordenadamente por lo que se produce un empaquetamiento muy ordenado, que se denomina cristalización.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Son opacos.</li> <li>- Poseen un punto característico de fusión.</li> <li>- El intervalo útil de transformación está limitado a pocos grados centígrados: un poco abajo del punto de fusión, está todavía sólido y no se</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- PE</li> <li>- PP</li> <li>- POM</li> <li>- PA</li> <li>- PET</li> </ul>

CONTINÚA →

- puede moldear; y no es prudente superar mucho la temperatura de fusión porque puede intervenir el fenómeno de degradación térmica.
- Tienen contracción elevada en el moldeo. La contracción para un polímero no reforzado varía de 1 al 5%

## 1.7 Termoformado

El termoformado es un proceso que consiste en dar forma a una lámina plana de material termoplástico sobre un molde o matriz, aplicando calor y presión para darle la forma deseada. Al ser una operación de estirado, el material debe tener un alargamiento grande y uniforme, de lo contrario se estrangulará y fallará.

No se pueden formar piezas con aberturas u orificios, porque así no se puede mantener la diferencia de presiones durante el formado.

El proceso de termoformado consta de dos pasos fundamentales: el calentamiento y el formado.

- **Calentamiento:** se realiza por lo general con radiadores eléctricos, ubicados en uno o ambos lados de la lámina plástica. La duración de éste ciclo debe ser el suficiente para que la lámina alcance su punto de elasticidad; esto depende del tipo de material, espesor y del color.
- **Formado:** en esta parte del proceso se da la forma del molde a la lámina plástica. Este proceso se clasifica en tres categorías básicas: termoformado a presión o soplado, termoformado por vacío y termoformado mecánico. Éstos se los explica en la sección **1.7.4.**

### 1.7.1 Productos fabricados por termoformado, (PLASTIGLAS DE MÉXICO S.A.)

El proceso de termoformado es muy utilizado en diferentes industrias. A continuación se enlista las diferentes industrias que elaboran sus productos basándose en termoformado.

- **Industria del empaque:** Ha sido la más beneficiada debido a la alta productividad y los beneficios que ofrece por costo-beneficio. Estos se los conoce como empaques tipo blíster. Sirven para el empaqueo de cosméticos, carnes frías, refrescos, dulces, artículos de papelería, etc.
- **Industria de la comida para llevar:** Existe una gran variedad de productos termoformados, como los contenedores de comida completa (contenedores con divisiones), charolas, vasos, contenedores de sándwiches, refrescos, etc.
- **Industria del empaque para alimentos:** Los materiales utilizados son de bajo costo. Estos contenedores están diseñados para ser apilados o acomodados de diversas formas, como por ejemplo los contenedores para carne, frutas, verduras.
- **Transporte:** Las partes de plásticos termoformados son usados para el acabado de interiores o partes externas que no sean estructurales. Es usado en asientos respaldos, descansabrazos, parabrisas, consola central, spoilers, etc.
- **Señalización y anuncios:** Son fabricados generalmente en acrílico y pueden ser una sola pieza y de grandes dimensiones. Son muy resistentes a la intemperie y prácticamente libre de mantenimiento, además que pueden soportar condiciones extremas de frío o calor. Por ejemplo anuncios luminosos exteriores, interiores, señalización en lugares públicos, oficinas, etc.
- **Artículos para el hogar:** Existen una gran variedad de artículos termoformados que se producen en grandes volúmenes, por ejemplo: lavadoras, lavaplatos, secadoras de ropa, refrigeradoras, ventanillas de aire acondicionado, etc.
- **Industria alimenticia:** Es uno de los mayores consumidores de productos termoformados, ejemplo: charolas, vasos y platos.

- **Industria médica:** Las especificaciones para los productos utilizados son muy estrictas, y el uso de material reciclado es inaceptable. Ejemplos: equipo quirúrgico, jeringas, mesas quirúrgicas, gabinetes, incubadoras, sillones dentales y plataformas de ejercicio, etc.
- **Agricultura y horticultura:** Se fabrican macetas y contenedores de múltiples cavidades para plantas ornamentales, para exposición y ventas en supermercados. Se utiliza plástico reciclado y de bajo costo.
- **Construcción y vivienda:** Son muchas las piezas termoformadas, que facilitan mucho en la construcción. El acrílico es muy utilizado por sus propiedades resistentes al medio ambiente y su termoformabilidad.  
Ejemplo: tinas de hidromasaje, módulos de baño, lavabos, mesas, sillas, artículos de cocina, relojes, fachadas, escaleras, acuarios, etc.
- **Equipaje:** Está reemplazando las partes hechas por inyección, ya que el moldeo es libre de esfuerzos y reduce las posibilidades de fracturas en los productos termoformados. Ejemplo: maletas de todo tipo, portafolios, etc.
- **Equipo fotográfico:** Para la elaboración del cubo para el flash y el magazine para cámaras de piso, aun cuando su producción requiere una técnica de termoformado de precisión.

### 1.7.2 Ventajas

Algunos productos únicamente pueden elaborarse solo por un método específico de fabricación, pero en la industria del polímero existen muchos productos que se los pueden elaborar por diferentes tipos de fabricación. El proceso de termoformado tiene muchas ventajas competitivas en comparación de otros tipos de procesos de elaboración de productos a base de polímeros, tales como:

- El costo de las herramientas y equipos es mucho más bajo en comparación con otros procesos.

- Los moldes utilizados son relativamente simples, por lo tanto, no son excesivamente costosos.
- Con el termoformado se puede manipular múltiples capas de materiales, espumas, impresos, y materiales revestidos; reduciendo el tiempo en el proceso de post-formado.
- Permite la producción de piezas mucho más grandes en comparación con otros procesos.
- Requiere de presiones bajas para el termoformado, lo que significa un ahorro económico.
- Al no necesitar grandes presiones, los moldes se los puede fabricar de materiales más baratos y de rápida elaboración.
- Para la producción de piezas pequeñas, el tiempo de procesado es corto, disminuyendo los costos en la fabricación de cantidades grandes en serie.

### **1.7.3 Desventajas**

El proceso de termoformado también presenta algunas desventajas, como son:

- No se puede termoformar piezas muy complejas.
- Es un proceso que genera muchos desperdicios, lo que ocasiona un mayor costo de los materiales. Afortunadamente algunos de los residuos pueden ser reprocesados.
- Solo determinados materiales pueden ser utilizados en el proceso de termoformado.

### **1.7.4 Métodos de termoformado**

Los métodos de formado se pueden clasificar en tres grandes categorías: termoformado a presión, termoformado al vacío y termoformado mecánico.

### a Termoformado a presión o soplado

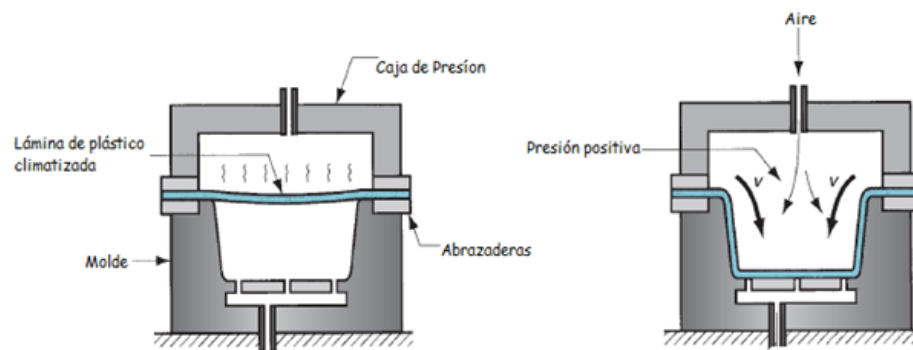
Es el proceso en el cual una lámina termoplástica precalentada se sopla contra un molde hembra mostrado en la **Figura 4**, (Gavilanez, 2013).

Este proceso utiliza altas presiones, por lo general de tres a cuatro atmósferas.

El procedimiento básico es el siguiente:

- Se fija la lámina como tapa del molde hueco.
- Se calienta hasta que la lámina se torne flexible.
- Se aplica aire precalentado y comprimido hasta 150 psi, forzando que la lámina se adhiera a la cavidad del molde, tomando la forma de éste. El molde debe tener orificios de escape para el aire atrapado entre el molde y la lámina.

Este proceso puede ser combinado con métodos de moldeo mecánico o al vacío.



**Figura 4 Termoformado a presión**

**Fuente:** (Gavilanez, 2013)

Este proceso se utiliza para conformar lámina de pequeña galga de materiales como el polipropileno, que se suministra en rollos, o para transformar lámina de gran espesor en piezas con detalle superficial fino.

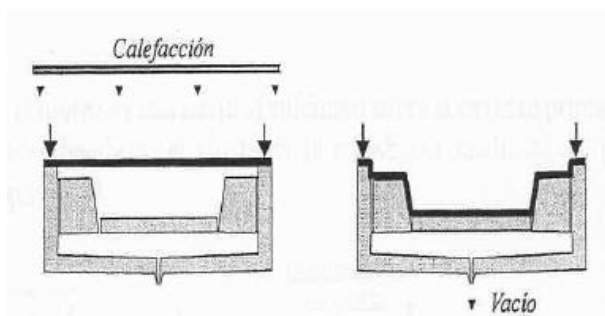
Las ventajas de este método son: mejoras en las tolerancia dimensionales, la velocidad de formado se puede incrementar considerablemente, así como una mejor definición de los detalles finos.



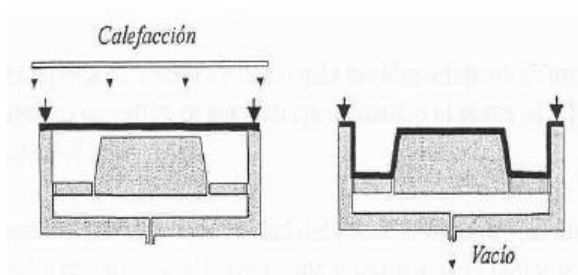
### a.1 Teoría de moldes positivos y moldes negativos

Es muy importante distinguir entre moldes negativos y positivos. El molde que se muestra en la **Figura 5** es un molde negativo porque tiene cavidad cóncava, (Mater.upm.es).

Un molde positivo tiene una forma convexa. Ambos tipos se usan en termoformado. En el caso del molde positivo de la **Figura 6**, la lámina caliente recubre la forma convexa, y se usa presión negativa o positiva para forzar al plástico contra la superficie del molde.



**Figura 5 Molde negativo en termoformado**



**Figura 6 Molde positivo en termoformado**

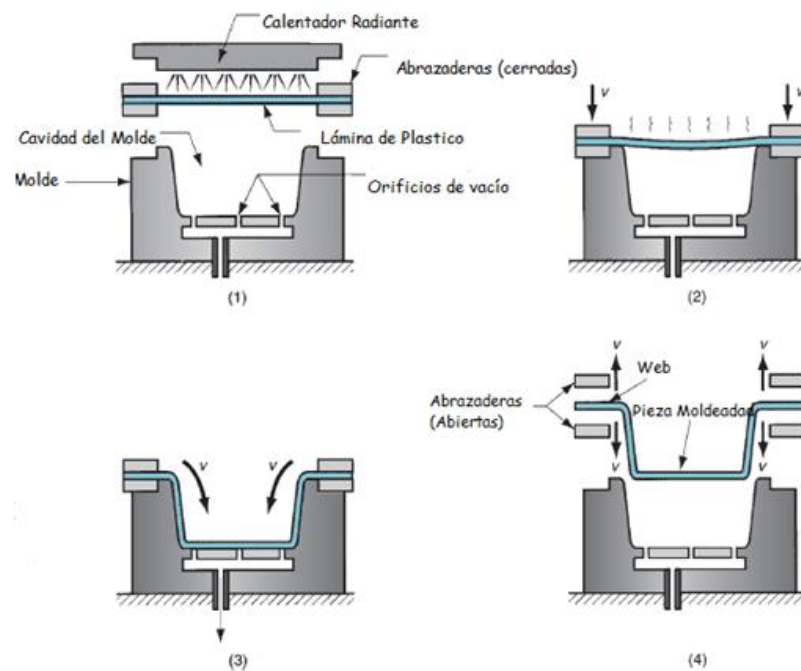
**Fuente:** (Mater.upm.es)

### b Termoformado al vacío

El método más antiguo de formado en polímeros es el termoformado al vacío, el cual usa presión negativa de aire para adherir la lámina precalentada dentro de la cavidad del molde, (Gavilanez, 2013).

El método básico de termoformado al vacío mostrado en la **Figura 7** tiene la siguiente secuencia:

- Se fija la lámina de plástico sobre el molde.
- Se colocan calentadores radiantes de calor sobre la lámina de plástico, hasta que la lámina esté blanda y flexible, **Figura 7 (1)**.
- Se desplaza la lámina caliente hacia el molde, **Figura 7 (2)**.
- Se hace el vacío en la cavidad cerrada del molde, la lámina plástica flexible es empujada por la presión atmosférica contra los contornos del molde, adquiriendo la forma de éste, **Figura 7 (3)**.
- Después de un corto tiempo de enfriamiento la lámina tiene la forma deseada y puede ser retirada del molde, **Figura 7 (4)**.



**Figura 7 Termoformado al vacío**

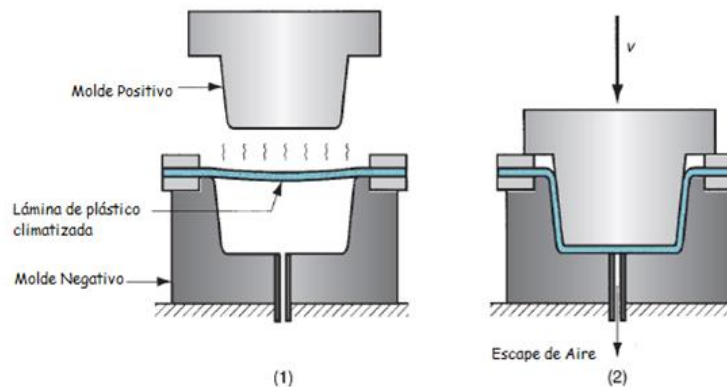
**Fuente:** (Gavilanez, 2013)

### c Termoformado mecánico

Éste método usa un par de moldes (positivo y negativo) que se aplican contra una lámina de plástico caliente, forzándola a asumir su forma. En el método de formado mecánico puro no se usa vacío ni presión de aire, (Gavilanez, 2013).

El proceso se explica a continuación:

- La lámina de plástico se calienta hasta llegar a su temperatura de moldeo sobre el molde negativo, **Figura 8 (1)**.
- Se cierra con el molde positivo para conformar la lámina caliente, como se muestra en la **Figura 8 (2)**.



**Figura 8 Termoformado mecánico**

**Fuente:** (Gavilanez, 2013)

### 1.7.5 Variables del termoformado

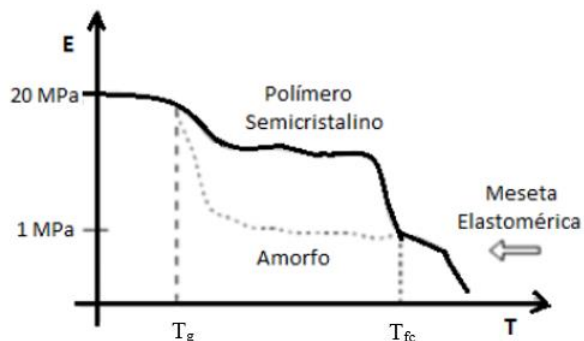
Existen variables en el proceso de termoformado que determinan la apariencia, calidad, dimensiones y distribución del material en el proceso de termoformado de una pieza. El conocimiento de estas variables puede muchas veces resolver problemas difíciles de producción en el proceso de termoformado, (PLASTIGLAS DE MÉXICO S.A.).

A continuación se presenta las variables más comunes que se presentan en el proceso de termoformado:

#### a Material de partida

El material de partida que se encuentra en el **Tabla 2** debe ser necesariamente un material deformable pero no excesivamente: trabajar dentro de la meseta elastomérica (zona en donde el material es deformable), esto mismo ocurre en extrusión y soplado de filmes y en moldeo por soplado.

En el caso de materiales semicristalinos; deben presentar resistencia del fundido, esto es, una meseta elastomérica por encima de la temperatura de fusión cristalina  $T_{fc}$ . Lo descrito anteriormente se muestra en la **Figura 9**.



**Figura 9** Curva esfuerzo-deformación de los plásticos

**Fuente:** (Guilcamaigua Maisincho & Vaca Navas, 2013)

La temperatura de trabajo para el horno es una variable muy importante debido a que ésta es la mayor condicionante del proceso de termoformado.

**Tabla 2**

**Cuadro de materiales usados en termoformado**

PROCESABILIDAD MEDIANTE TERMOFORMADO			
Polímero	Resistencia del fundido	Estabilidad Térmica	Temperatura de operación °C
ABS	Excelente	Excelente	160 - 200
ABS/PVC	Buena	Buena	160 - 200
Acrílicas	Buena	Buena	150 - 195
ASA	Buena	Regular/Buena	165 - 195
PC	Regular	Buena	195 - 235
PC/ABS	Buena	Buena	180 - 220
PET	Regular	Buena	145 - 175
LDPE	Mala/Regular	Excelente	160 - 180
HMW-HDPE	Regular/Buena	Excelente	160 - 205
HIPS	Excelente	Excelente	165 - 200
PPO/PS	Excelente	Buena	170 - 205
UPVC	Regular	Regular	145 - 180
PVC Acrílicas	Regular/Buena	Regular/Buena	165 - 195

CONTINÚA →

<b>PP homoplomo</b>	Mala	Buena	170 - 185
<b>PP copolín</b>	Regular	Buena	165 - 190
<b>PS</b>	Buena	Buena	145 - 180
<b>PSU</b>	Regular	Excelente	205 - 250
<b>PES</b>	Regular	Excelente	275 - 370
<b>PEI</b>	Regular	Excelente	450 - 500
<b>TPU</b>	Buena	Buena	160 - 185

Fuente: (Mater.upm.es)

### **b Espesor de hoja**

Cuando se utiliza un calentamiento a base de resistencias eléctricas o radiación infrarroja, la no calibración en el espesor del material puede provocar un calentamiento desigual y como resultado se tienen variaciones en la parte formada. En un pre-estirado o formado profundo, son necesarias tolerancias dimensionales cerradas para prevenir que en las zonas muy delgadas se rompa el material por el vacío o presión de aire ejercido. En piezas muy profundas existirá una variación en el espesor del material, esto dependerá del espesor que se utilice, del área y la profundidad máxima de la pieza. Si la temperatura de la hoja es homogénea, aún con zonas delgadas es muy probable lograr una pieza satisfactoria, (PLASTIGLAS DE MÉXICO S.A.).

### **c Pigmentación de la hoja**

En el caso de calentamiento por radiación (resistencias eléctricas), los diferentes colores de un mismo material pueden hacer variar la temperatura y los ciclos de calentamiento. En un horno por convección (recirculación de aire caliente) no aplica esta variable.

### **d Temperatura de la lámina**

Existen varias consideraciones fundamentales que deben tomarse en cuenta:

- El calentamiento se produce generalmente mediante radiación IR.
- Para reducir anisotropía inicial del material, si ha sido estirado unidireccionalmente: calentamiento a temperatura suficientemente alta.

- La temperatura no debe ser excesiva para no superar la meseta elastómera y para que no se degrade el polímero, (PLASTIGLAS DE MÉXICO S.A.).

#### **e Uniformidad en la temperatura de la hoja**

Cuando la temperatura de cualquier material es incrementada, la fuerza de tensión se reduce y por lo tanto la hoja se vuelve más maleable. Los mejores resultados en el termoformado son obtenidos con formados simples o profundos realizados al rango inferior de la temperatura de revenido.

Para piezas de alta calidad, es importante que la hoja esté calentada uniformemente al punto de revenido a lo largo y ancho del material. Las hojas que no tienen un calentamiento uniforme, tendrán un formado deficiente: el estiramiento en zonas de temperatura normal resultará mayor que en las que no se logró el reblandecimiento. La temperatura de trabajo del horno es una variable muy importante debido a que esta es la mayor condicionante del proceso de termoformado, (PLASTIGLAS DE MÉXICO S.A.).

#### **f Velocidad del proceso**

Es muy determinante en la deformación rápida de la lámina antes que ésta toque las paredes del molde, obteniendo una mayor homogeneidad del espesor y por tanto de la productividad, (PLASTIGLAS DE MÉXICO S.A.).

#### **g Superficie del molde**

La lámina de material termoplástico al ser formada tenderá a adquirir la apariencia de la superficie del molde; si tiene un acabado mate el molde, dará un acabado opaco en la lámina; y un acabado muy pulido dará como resultado una pieza brillante.

#### **h Temperatura del molde**

La temperatura en la superficie del molde influye directamente en una mejor apariencia de la pieza formada, en la duración de los ciclos de formado y el tamaño de la pieza.

Los aspectos relacionados con la temperatura del molde son:

- En el caso general interesan moldes fríos y que el material se deforme antes de entrar en contacto. De este modo el enfriamiento es más rápido y mayor la productividad (puede no ser posible si hay cavidades profundas, para no producir excesiva orientación molecular con partes enfriadas demasiado rápido).
- Problema de post-cristalización: el enfriamiento de materiales semicristalinos debe ser suficientemente lento para que se alcance cristalinidad de equilibrio. Si no se ha alcanzado, un calentamiento posterior suficiente, se produce post-cristalización y contracción.
- Problema de envejecimiento físico: material enfriado muy rápidamente, da como resultado: poco envejecimiento, más deformable y mayor contracción posterior (diferida), (PLASTIGLAS DE MÉXICO S.A.).

#### **1.7.6 Equipos de termoformado**

Originalmente, los hornos de convección fueron los primeros equipos para el calentamiento de hojas plásticas para termoformado y hasta el momento se mantiene esta preferencia para el calentamiento de láminas de diferentes espesores y para una distribución uniforme de la temperatura, (PLASTIGLAS DE MÉXICO S.A.).

El calentamiento puede ser suministrado por medio de gas o por unidades de resistencias eléctricas. La recirculación forzada de aire y deflectores para lograr que el aire caliente circule y así obtener una temperatura homogénea. La temperatura del horno debe ajustarse a la temperatura de formado del plástico.

El calentamiento por radiación infrarroja, en comparación con la de inmersión en aceite o calentamiento por contacto (las dos últimas muy limitadas en la práctica), es extremadamente rápida. Por ejemplo, el tiempo de calentamiento por radiación infrarroja en una lámina de 3.0 mm. se puede lograr en un minuto a 10 watts/pulg<sup>2</sup>, aproximadamente.

Debido a que en el calentamiento por radiación infrarroja el tiempo es extremadamente corto, la energía calorífica que absorbe la lámina puede provocar un sobrecalentamiento que inclusive, repercutirá en la degradación del material (burbujas o quemaduras) si no se controla. Es importante considerar que en corridas largas, es necesario disminuir gradualmente la temperatura del horno.

Los elementos de radiación infrarroja se pueden obtener en una gama muy amplia de diseños, en orden de importancia son:

1. Filamentos de tungsteno en tubos de cuarzo o lámparas (2,200° C de temperatura).
2. Resistencia tipo resorte de nicromio en bases de cerámica refractaria.
3. Resistencias de nicromio protegidas por tubular de lámina o acero inoxidable.

A continuación se describen los diferentes tipos de hornos para calentar el material termoplástico:

#### **a Horno de gas con circulación forzada de aire**

Proporciona calor uniforme y temperatura constante con el mínimo riesgo de sobrecalentar la lámina acrílica. Se deben utilizar ventiladores eléctricos para forzar al aire caliente a circular por la lámina acrílica y dispositivos para distribuir el aire hacia todas las zonas del horno.

Los hornos de gas como el mostrado en la **Figura 10**, requieren de intercambiadores de calor para prevenir la acumulación de tizne provocado por el flujo de gas, así como controles para interrumpir el paso de gas en caso de ser necesario. Además se deben utilizar dispositivos automáticos para el control estricto de temperatura entre 0° C y 250° C, (PLASTIGLAS DE MÉXICO S.A.).

El espesor de aislamiento debe ser de mínimo de 2" y las puertas del horno deben ser lo más angostas posibles, para reducir al máximo la pérdida de temperatura.





**Figura 10 Horno con circulación forzada de aire**

**Fuente:** (Pallomaro, s.f.)

### **b Horno de calentamiento infrarrojo**

Es comúnmente utilizado en máquinas termoformadoras automáticas, calentando la lámina plástica por medio de radiación a una velocidad de 3 a 10 veces más rápido que en un horno con circulación forzada de aire, proporcionando así, ciclos de calentamiento muy reducidos, es importante mencionar que la relación temperatura-tiempo se vuelve crítica y es más difícil obtener un calentamiento uniforme del material.

La energía infrarroja es absorbida por la superficie expuesta del acrílico, alcanzando rápidamente temperaturas sobre 180° C para después ser transmitida al centro del material por la conducción de temperatura, (PLASTIGLAS DE MÉXICO S.A.).

El calentamiento por radiación infrarroja se puede obtener usando elementos tubulares de metal, resistencias eléctricas de espiral (tipo resorte), o agrupando lámparas de luz infrarroja.

Una de las aplicaciones más comunes es la pintura al horno utilizada en la industria automotriz como se muestra en la **Figura 11**.



**Figura 11 Horno con calentamiento infrarrojo**

**Fuente:** (I Trade, s.f.)

### c Resistencias eléctricas de calentamiento

Una resistencia eléctrica como las que se muestra en la **Figura 12**, pueden usarse únicamente para formar dobleces en línea recta; para esto, es necesario contar con una resistencia eléctrica de tipo resorte, (PLASTIGLAS DE MÉXICO S.A.).

Las resistencias lineales son de alambre, encerradas en tubos de cerámica Pyrex. El material no deberá entrar en contacto con el tubo para evitar marcas en la superficie.



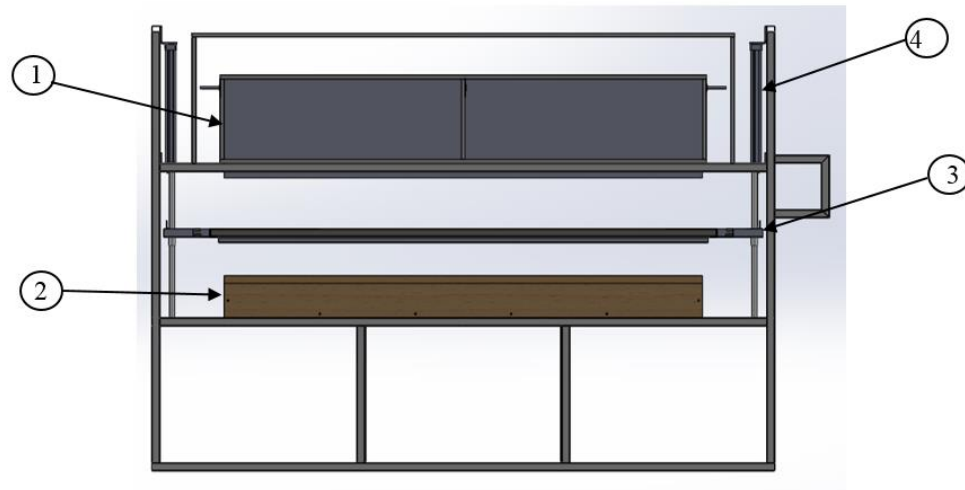
**Figura 12 Resistencias eléctricas para calentamiento**

**Fuente:** (Rezistans, s.f.)

### 1.8 Partes de la máquina

La máquina para su óptima operación se la ha dividido en varios sistemas los cuales están formados por distintos elementos como son mecánicos, eléctricos, neumáticos y el sistema de vacío; que se describen a continuación.

1. Horno.
2. Cámara de vacío y base para moldes.
3. Portador de láminas de plástico.
4. Sistema neumático.



**Figura 13 Partes de máquina termoformadora**

### 1.8.1 Elementos mecánicos

Los elementos mecánicos usados para la máquina termoformadora son distintos tipos de aceros para la construcción de la estructura de la máquina y de las distintas partes del horno donde van a estar sometidas a altas temperaturas.

#### a Características técnicas de los materiales

A continuación se explican las características de los materiales que se usaron para la construcción de la estructura de la máquina, se los puede encontrar de forma más detallada en el **Apéndice A**.

##### a.1 Acero ASTM A-500

Descripción: es un acero al carbono conformado en frío, muy utilizados para la construcción electro-soldada, remachada o atornillada puentes y edificios. El uso general de éste acero es para la construcción de estructuras.

Propiedades mecánicas:

- Esfuerzo de fluencia: 315 MPa.
- Resistencia a la tracción: 400 MPa.

- Elongación: 23%.

Propiedades: físicas:

- Densidad: 7.85 g/cm<sup>3</sup>.

Usos: se utiliza mayormente en la construcción de estructuras metálicas, ya sean electro-soldadas, remachadas o atornilladas.

## **a.2 Acero ASTM A-36**

Descripción: hasta hace poco tiempo, el material estructural básico usado en las construcciones de edificaciones y de puentes.

Propiedades mecánicas:

- Esfuerzo de fluencia: 250 MPa (36 psi).
- Resistencia a la tracción: 58 – 80 Kpsi.
- Elongación en 2 plg: 23% (en 50 mm).

Propiedades físicas:

- Densidad: 7.87 g/cm<sup>3</sup> (0.284 lb/plg<sup>3</sup>).

Usos: se utiliza en vigas, construcciones de puentes, estructuras metálicas, tanques de almacenamiento, torres de alta tensión, autopartes, etc.

## **1.8.2 Elementos eléctricos y electrónicos**

### **a Panel de comunicación hombre-máquina**

En la industria es necesario disponer con interfaces de comunicación entre el hombre y la máquina (HMI).

Los elementos que se utilizan comúnmente son llamados paneles de operador, éste contiene una pantalla de media resolución en gráficos y teclas numéricas, como son las

pantallas táctiles. La pantalla puede ser a color o monocromática, la cual muestra el estado de los distintos valores del proceso, ya sea con gráficas complejas o muy sencillas, a la vez que es posible introducir valores para ajustar parámetros en la regulación del proceso.

Se las programan con un software propio, y se la comunica al PLC a través de un puerto de comunicación, que puede variar según el protocolo establecido por el fabricante, el más común es el protocolo de comunicación RS-232.

Los paneles de operador pueden desempeñar varias funciones, a continuación se detalla algunas de ellas:

- Visualizar y parametrizar datos del proceso, como es el caso de lectura y escritura de variables.
- Gestionar alarmas del proceso, mostrando mensajes de ayuda para facilitar al operario la solución de las mismas.
- Recopilación de las alarmas en el tiempo, (histórico de alarmas).
- Impresión de citas alarmas.

## **b Controlador Lógico Programable (PLC)**

Un PLC es un dispositivo electrónico operado digitalmente, basado en un microprocesador, que utiliza una memoria programable para el almacenamiento de interno de instrucciones de programa para implementar funciones específicas; como lógica, secuenciación, registro y control de tiempos, conteo y operaciones aritméticas; para controlar por medio de módulos de entrada/salida digitales (ON/OFF) o analógicos (1 – 10VDC, 4 – 20 mA), varios tipos de procesos o máquinas.

Los PLC's operan de forma secuencial y cíclica, o sea que, una vez que termina el recorrido completo de la programación que contenga en su memoria, empieza a ejecutar el programa desde la primera instrucción.

Pueden tener una interface hombre-máquina (HMI) para su programación, o también se la puede realizar mediante una terminal de programación independiente o utilizando una unidad de programación.



**Figura 14 Controlador Lógico Programable**

### **b.1 SIEMENS LOGO! 24RC**

El LOGO! Es un módulo lógico universal de Siemens que tiene integrado las siguientes características, (SIEMENS):

- Control
- Unidad de mando y visualización con retroiluminación.
- Fuente de alimentación.
- Interfaz para módulos de ampliación.
- Interfaz para módulo de programación (Card) y cable para PC.
- Funciones básicas habituales preprogramadas; por ejemplo: para conexión retardada, desconexión retardada, relés de corriente, e interruptor de software.
- Temporizador
- Marcas digitales y analógicas.
- Entradas y salidas en función del modelo.

#### **b.1.1 Módulos de ampliación**

Al PLC LOGO! se le puede conectar diferentes tipos de módulos que dependerían de la aplicación. Los módulos existentes son de tres tipos, que se explican a continuación:

- Módulos digitales: existen para 12 V DC, 24 V AC/DC y 115...20 V AC/DC con 4 entradas y 4 salidas.

- Módulos analógicos: para 12 V DC 24V DC con 2 entradas analógicas o con 2 entradas Pt100.
- Módulos de comunicación (CM): por ejemplo el módulo de comunicación AS-Interface, que es usado para la conexión de sensores y actuadores a un dispositivo de control maestro.

Los módulos digitales y analógicos disponen de 2 interfaces de ampliación, lo que nos permite conectar otro módulo a cada uno de ellos en caso de ser necesario.

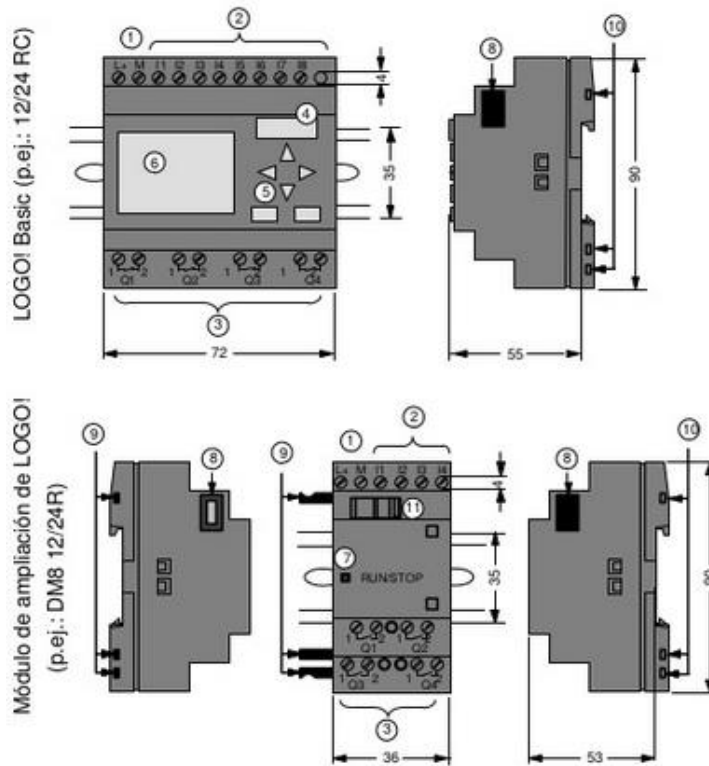
Cada LOGO! Basic se puede ampliar con módulos de ampliación con la misma clase de tensión. Mediante una codificación que se encuentra en la carcasa impide la conexión de dispositivos de diferentes clases de tensión. Exceptuando la interfaz izquierda de los módulos analógicos y de los módulos de comunicación, pudiendo conectar módulos de ampliación de diferente clase de tensión.

Todos los módulos de LOGO! Basic disponen de las siguientes conexiones para la creación de programas, independientemente de la cantidad de módulos que se conecten:

- Entradas digitales I1 hasta I24.
- Entradas analógicas AI1 hasta AI8.
- Salidas digitales Q1 hasta Q16.
- Salidas analógicas AQ1 y AQ2.
- Marcas digitales M1 hasta M24, M8: marcas de arranque.
- Marcas analógicas AM1 hasta AM6
- Bits de registro de desplazamiento S1 hasta S8.
- 4 teclas de cursor.
- 16 salidas no conectadas X1 hasta X16.

### b.1.2 Estructura del LOGO!

En la **Figura 15** se puede apreciar la estructura física de la que está conformada el LOGO!, además de los módulos de ampliación como son los digitales y analógicos en la **Figura 16**.



**Figura 15 Estructura física del LOGO! y de módulo de ampliación**

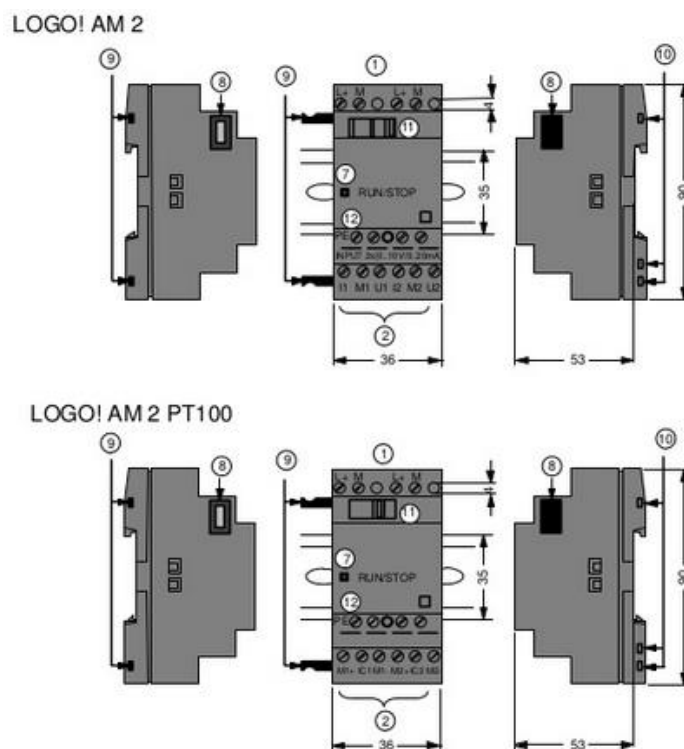
**Fuente: (SIEMENS)**

1. Alimentación de tensión.
2. Entradas.
3. Salidas.
4. Receptáculo de módulo con revestimiento.
5. Panel de manejo (no existe en RCo).
6. Pantalla LCD (no existe en RCo).
7. Indicación del estado RUN/STOP.
8. Interfaz de ampliación.
9. Codificación mecánica – pernos.



10. Codificación mecánica – conectores.

11. Guía deslizante.



**Figura 16 Estructura de módulo analógico AM 2 y AM 2 PT100**

**Fuente: (SIEMENS)**

1. Alimentación de tensión.
2. Entradas.
7. Indicador del estado RUN/STOP.
8. Interfaz de ampliación.
9. Codificación mecánica – clavijas.
10. Codificación mecánica – hembrillas.
11. Guía deslizante.
12. Borne PE para la conexión de tierra y pantalla del cable de medición analógico.

La diferencia entre los módulos analógicos es la simbología de conexión en la simbología número 2 y 12, éstas varían según el sensor analógico, excepto del módulo AM2 PT100 que es específico para sensores de temperatura.

### **b.1.3 Aplicaciones para LOGO!**

LOGO! puede ser usado en diversas aplicaciones que van desde una pequeña instalación doméstica, tareas de automatización y hasta funciones muy complejas con combinación con sistemas de comunicación (AS-Interface).

### **c Relé**

El relé es un dispositivo electromecánico que funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico, que consta de una bobina y un electroimán, haciendo que se accione uno o varios contactos los cuales permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes.

Debido a que el relé es capaz de controlar un circuito de salida de mayor potencia que el de la entrada, se lo puede considerar como un amplificador eléctrico.

#### **c.1 Características generales**

Las características generales de los relés son:

- Aislamiento entre los terminales de entrada y salida.
- Adaptación sencilla a la fuente de control.
- Resiste sobrecargas, ya sea en circuito de entrada o en el de salida.

Las dos posiciones de trabajo en los bornes de salida del relé se caracterizan por:

- Estado abierto: impedancia alta.
- Estado cerrado: impedancia baja.

Para los relés de estado sólido se agregan las siguientes características:

- Gran número de conmutaciones y larga vida útil.
- Conexión en el paso de tensión por cero, y desconexión en el paso de intensidad por cero.

- Ausencia de ruido mecánico a momento de la conmutación.
- Escasa potencia de mando, es compatible con TTL y MOS.
- Insensibilidad a los golpes o movimientos bruscos.
- Al tener recubrimiento de plástico no es susceptible a cualquier influencia del medio.

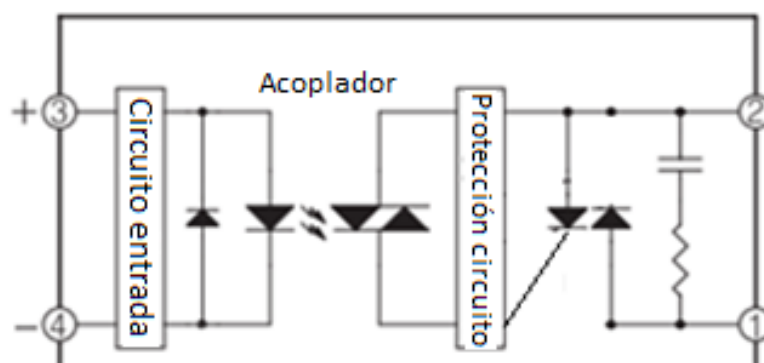
### c.2 Relés electromecánicos

Están formados por una bobina y unos contactos los cuales pueden contener corriente continua o alterna, (Guilcamaigua Maisincho & Vaca Navas, 2013).

### c.3 Relé de estado sólido

Un relé de estado sólido SSR (Solid-State Relay), es un dispositivo electrónico que en su interior contiene un circuito disparado por nivel, haciendo uso de componentes como transistores, tiristores o triacs, son ampliamente utilizados en la conmutación de cargas resistivas con señales de control en DC o AC.

En la **Figura 17** se puede observar los elementos que conforman un SSR.



**Figura 17 Elementos de un SSR**

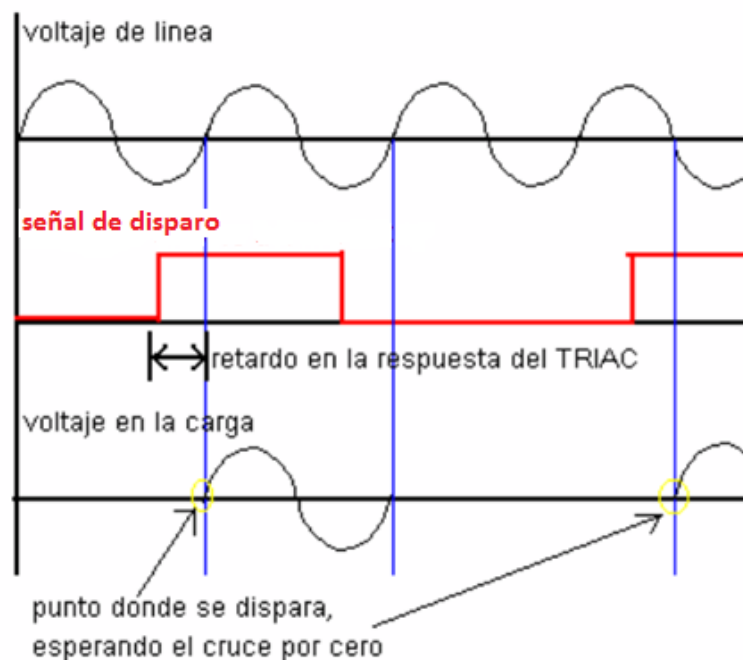
**Fuente:** (Guilcamaigua Maisincho & Vaca Navas, 2013)

La estructura del SSR se indica a continuación:

- Circuito de Entrada o de Control: Suele ser un LED (Fotodiodo), solo o con una resistencia en serie, también podemos encontrarlo con un diodo en antiparalelo para

evitar la inversión de la polaridad por accidente. Los niveles de entrada son compatibles con TTL, CMOS, y otros valores normalizados (12V, 24V, etc.).

- Acoplador: El acoplamiento con el circuito se realiza generalmente por medio de un opto acoplador o por medio de un transformador que se encuentra acoplado de forma magnética con el circuito de disparo del Opto Triac.
- Detector de cruce por cero: Un relé de estado sólido con función de paso por cero opera cuando la tensión de la carga (tensión alterna) se acerca o alcanza el punto cero como se detalla en la **Figura 18**. Los relés con esta función tienen una buena inmunidad a los parásitos de entrada y producen unas bajas radiaciones parásitas al conmutar tensiones bajas.



**Figura 18 Detección de cruce por cero**

**Fuente:** (Omron Electronics S.A.)

- Circuito de Conmutación o de salida: Salida AC con tiristores antiparalelos o triacs, Salida CC con transistor bipolar o MOSFET, salida AC-CC con transistor MOSFET.

## d Sensores

Son dispositivos de medición que transforman parámetros físicos en parámetros eléctricos. El uso de los sensores depende de la variable física que se desea tratar pero entre los más comunes tenemos los de temperatura, posición, nivel, presión, entre otros.

### d.1 Sensores de Temperatura

La temperatura es la cuantificación de la actividad de las moléculas en la materia, se relaciona con la energía cinética, que es la energía asociada al movimiento de las partículas del sistema, expresada en unidades de grados en una escala estándar. La medición es una de las más comunes e importantes en los procesos industriales. Se la puede medir de diferentes maneras que varían de acuerdo al costo del equipo y la precisión. Los tipos de sensores más comunes son los termopares, RTD's y termistores.

#### d.1.1 Termopares

También llamado termocupla es un instrumento de medida cuyo principio de funcionamiento es el efecto termoeléctrico, que permite transformar directamente el calor en electricidad. Se basan en el efecto descubierto por Sir Thomas Seebeck: en un circuito formado por dos metales distintos, A y B, con dos uniones a diferente temperatura (**Figura 19**), aparece una corriente eléctrica.



**Figura 19** Esquema de una termocupla

**Fuente:** (Marquéz Zurita, 2012)

En la industria el termopar es por mucho el sensor de temperatura más usado por diferentes razones, como las más importantes se puede mencionar su bajo costo, el amplio intervalo de temperatura de uso, su robustez, la relativa buena exactitud, rápida respuesta

a cambios de temperatura. A continuación en el **Tabla 3** se muestran los diferentes tipos de termopares:

**Tabla 3**  
**Tipos de termopares**

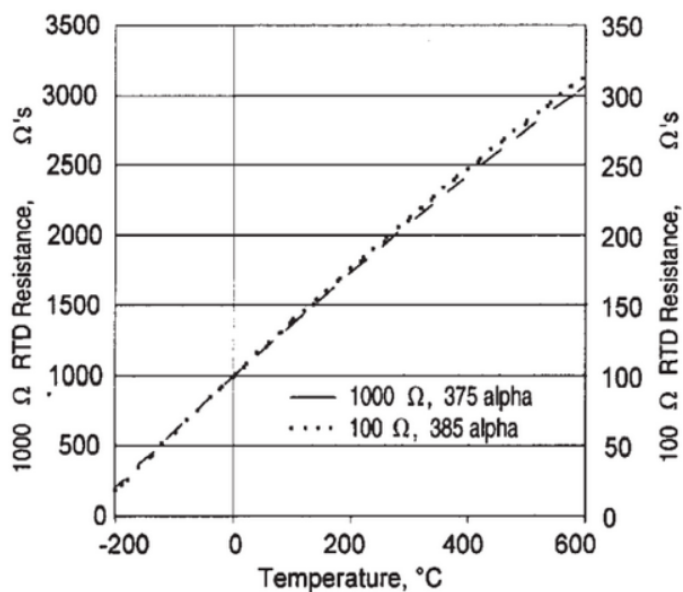
Termocupla	Rango de Uso	Conductor Positivo	Conductor Negativo
<b>Tipo J, (Fe – CuNi)</b>	-40 a +750 °C	Negro	Blanco
<b>Tipo T, (Cu – CuNi)</b>	-40 a +350 °C	Marrón	Blanco
<b>Tipo K, (NiCr –Ni)</b>	-40 a +1200 °C	Verde	Blanco
<b>Tipo E, (NiCr – CuNi)</b>	-40 a +900 °C	Violeta	Blanco
<b>Tipo N, (NiCrSi – NiSi)</b>	-40 a +1200 °C	Purpura	Blanco
<b>Tipo S, (Pt 10% Rh – Pt)</b>	-40 a +1600 °C	Naranja	Blanco
<b>Tipo S, (Pt 13% Rh – Pt)</b>	0 a +1600 °C	Naranja	Blanco
<b>Tipo B, (Pt 30% Rh – Pt 6% Rh)</b>	+600 a 1700 °C	-	-

Fuente: (Arian Control & Instrumentación)

#### **d.1.2 PT100 Y PT1000**

Son sensores que consisten en un alambre de platino que al variar la temperatura también cambia el valor de su resistencia. La PT100 su valor de resistencia a 0 °C es de 100 Ohms, mientras que el valor de la PT1000 es de 1000 Ohms. Estos son un tipo particular de RTD (Dispositivo Termo Resistivo).

La PT100 varía 38,5 Ohm cada 100 °C y la PT1000 varía 385 Ohm cada 100 °C haciendo que ésta sea más exacta. La sensibilidad de la RTD es muy constante en todo el rango de temperaturas que son capaces de medir, teniendo así una gran linealidad en comparación a otros sensores. Otras ventajas que presentan en su rapidez de medición y mayor rango de temperatura (-200 °C, 800 °C). A continuación en la **Figura 20** podemos observar la curva temperatura-resistencia de una PT100, (MedirTemperatura.com, s.f.).



**Figura 20 Curva Resistencia vs Temperatura de PT100 y PT100**

**Fuente:** (MedirTemperatura.com, s.f.)

## d.2 Sensores de Posición

Los sensores de posición pueden dar según su construcción o montaje, una posición lineal o angular. Estos pueden ser de varios tipos:

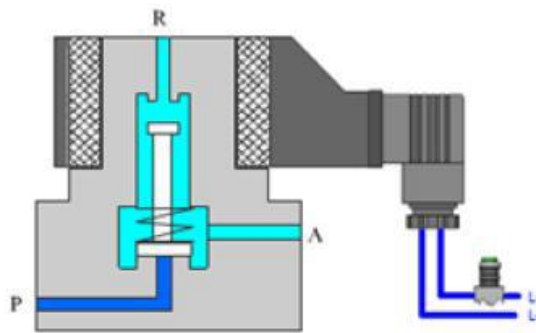
- **Electromecánicos:** Lo forman los Finales de Carrera o Micro interruptores. Se sitúan en puntos estratégicos a detectar, en sistemas industriales y máquinas en general. Conmutan directamente cualquier señal eléctrica. Tienen una vida limitada. Solo pueden detectar posiciones determinadas, debido a su tamaño.
- **Magnéticos:** Lo forman los Detectores de Proximidad Magnéticos, que pueden ser los de Efecto Hall y los Resistivos, típicos en aplicaciones industriales.
- **Inductivos:** Lo forman los detectores de proximidad inductivos, los sincros y resolvers, los RVDT (Rotary Variable Differential Transformer) y LVDT (Lineal Variable Differential Transformer).
- **Potenciométricos:** Lo forman los Potenciómetros lineales o circulares.
- **Ópticos:** Lo forman las Células fotoeléctricas y los Encoders.

## e Electroválvula

La electroválvula consta de dos partes; un solenoide y la válvula. El solenoide transforma la energía eléctrica en energía mecánica para activar la válvula.

La válvula contiene orificios por donde circula el fluido (vías) y un conjunto de elementos móviles que sirven para cambiar su posición como se observa en la **Figura 21**, y que permite actuar sobre el arranque, parada, sentido y dirección del fluido.

Es común que la válvula esté cerrada por un resorte y que el solenoide la abra venciendo la fuerza del mismo, es decir, que el solenoide debe ser activado y consume energía para mantener abierta la válvula. Existen electroválvulas biestables que usan dos solenoides, uno para abrir la válvula y otro para cerrarla; o también con un solo solenoide que con un impulso abre la válvula y con el siguiente la cierra.



**Figura 21 Esquema de Electroválvula Normalmente Cerrada**

**Fuente:** (Guilcamaigua Maisincho & Vaca Navas, 2013)

### 1.8.3 Elementos neumáticos

#### a Cilindros neumáticos

Los cilindros se utilizan para realizar un movimiento rectilíneo alternativo. Tienen muchos usos por lo general se los utiliza para desplazar objetos, mover brazos de robots, etc.

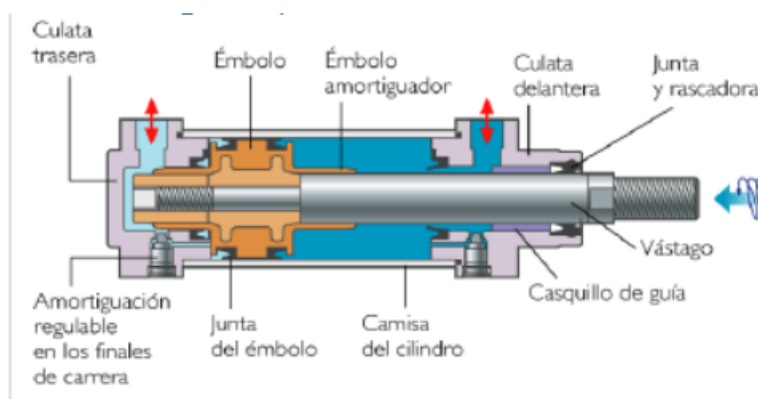
Los cilindros constan en su parte externa de un cilindro o también conocido como camisa, sellado herméticamente por las tapaderas delantera y trasera, que tienen uno o



varios agujeros para la entrada y/o salida del fluido, ya sea aire o aceite a presión, en este caso el aire. En su interior hay un émbolo, el cual el fluido ejerce provocando su movimiento, y el vástago al que está unido. El movimiento lineal del vástago se transmite al elemento que actúa el cilindro.

Los cilindros se clasifican en dos grandes grupos:

- **Cilindro de simple efecto:** Uno de sus movimientos está dado por el aire comprimido mientras que en otro está dado por algún dispositivo de retorno, que por lo general suele ser un resorte que se encuentra en el interior del cilindro. El resorte se lo puede colocar entre el pistón y la delantera o la trasera, denominándose así con resorte delantero o con resorte trasero respectivamente. La fuerza ejercida por el resorte hace que el resultado de la expresión  $F = P \times A$  sea algo menor, debido a su fuerza opuesta.
- **Cilindro de doble efecto:** dispone de dos orificios de entrada/salida, logrando así realizar el trabajo en los dos sentidos; es decir, durante el avance y durante el retroceso. El fluido ingresa en una de las cámaras, desplazando el pistón a medida que evacúa el fluido contenido en la otra cámara. En el retroceso se invierte el proceso como se muestra en la **Figura 22**. Se los emplea en casos en que el émbolo tiene que realizar algún propósito al retornar a su posición inicial. En el proceso del retroceso, la superficie del émbolo es menor a la del avance debido al área que ocupa la sección transversal del vástago, por lo tanto, la fuerza de retroceso es menor que la del avance.



**Figura 22 Esquema de un cilindro de Doble Efecto**

**Fuente:** (Guilcamaigua Maisincho & Vaca Navas, 2013)

## b Unidad de Mantenimiento o Filtro Regulador Lubricador (FRL)

Los elementos neumáticos usados en distintos puntos de operación en la máquina necesitan recibir aire con una presión constante y libre de impurezas. Además de que algunos de los dispositivos poseen elementos móviles que deben ser lubricados, (Neumática Seritium, 2013).

La preparación del aire para los elementos neumáticos, cumpliendo así los requerimientos anteriores, son las unidades de mantenimiento. Estas unidades están formadas por tres elementos que son: filtro, regulador y lubricador. Esto se aprecia en la **Figura 23**.

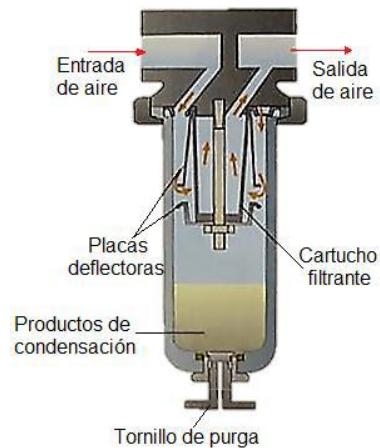


**Figura 23** Unidad de mantenimiento

**Fuente:** (Neumática Seritium, 2013)

### b.1 Filtro

El filtro como se muestra en la **Figura 24** tiene como propósito impedir que pasen impurezas que van acompañando al aire comprimido como el polvo, polen, restos de pequeñas oxidaciones, etc. El aire pasa a través del filtro donde una placa deflectora le realiza un movimiento de rotación. Las partículas más pesadas y las gotas de vapor caen al fondo del recipiente donde serán evacuados al exterior, (Neumática Seritium, 2013).

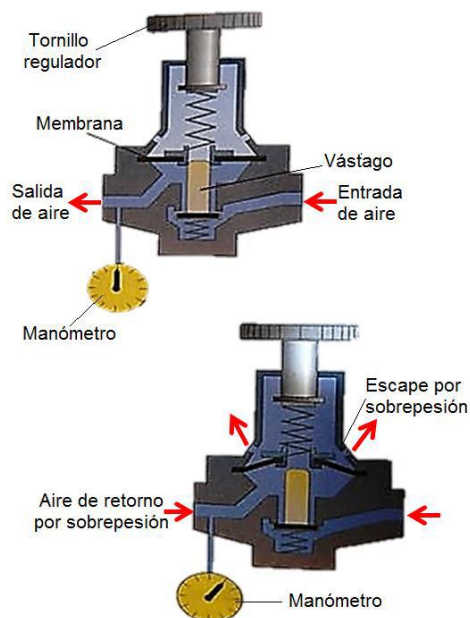


**Figura 24 Filtro**

**Fuente:** (Neumática Seritium, 2013)

## b.2 Regulador

El regulador de presión, mostrado en la **Figura 25** tiene como propósito mantener el aire que usan los componentes neumáticos a una presión constante, independiente de las variaciones de presión que se produzcan desde la alimentación de aire comprimido. La entrada se regula mediante un tornillo que se encuentra en la parte superior del mismo, haciendo que circule una cantidad constante de aire comprimido hacia el filtro, (Neumática Seritium, 2013).

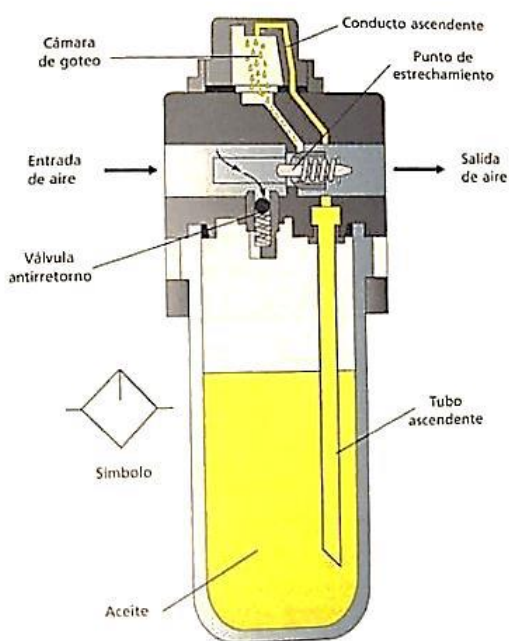


**Figura 25 Regulador**

**Fuente:** (Neumática Seritium, 2013)

### b.3 Lubricador

El propósito de este componente es incorporar al aire tratado por los componentes anteriores, una cantidad determinada de aceite. La lubricación de determinados elementos neumáticos reduce su desgaste prematuro y la vez permite aumentar su velocidad de funcionamiento. Sin embargo, una lubricación excesiva podría ocasionar obstrucciones de los accionamientos, actuadores, filtros, silenciadores u otro cualquier componente neumático por lo que necesariamente se debe observar los rangos recomendados que indique el fabricante, (Neumática Seritium, 2013). Las partes de un lubricador se muestran en la **Figura 26**.



**Figura 26 Lubricador**

**Fuente:** (Neumática Seritium, 2013)

### c Sistema de vacío

El vacío consiste en la extracción de aire que se encuentra dentro de un volumen. Es usado para el empacado de productos líquidos, y en otro tipo de procesos de moldeo como es el caso del termoformado por vacío. En las técnicas de moldeo se usa el vacío para la extracción de aire que se encuentra entre el molde y el material que se esté moldeando.

Existen dos tecnologías que se puede utilizar para realizar el vacío, ya sea usando bomba de vacío o un generador de vacío.

### **c.1 Bomba de vacío**

El objetivo de las bombas de vacío es extraer el gas contenido en un volumen sellado para generar un vacío parcial. Las bombas de vacío se caracterizan por tres aspectos fundamentales.

- La presión límite o presión mínima de entrada.
- La cantidad de gas evacuado por unidad de tiempo (caudal).
- El tiempo necesario para alcanzar la presión de vacío.

Los factores mencionados dependen no sólo de la bomba que se usa, sino del recipiente a evacuar (presión de vapor de sus partes constitutivas, fugas, etc.).

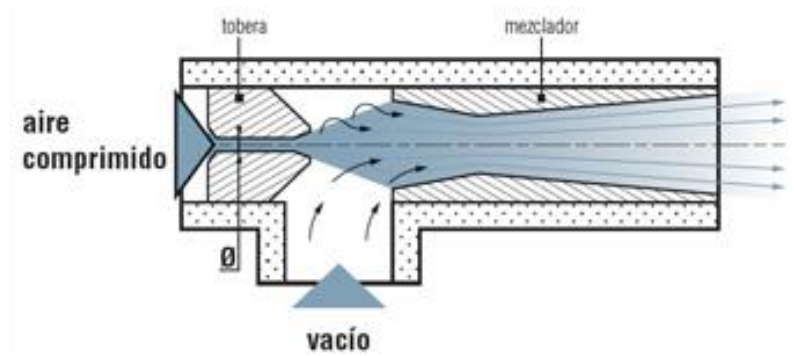
El tiempo de evacuación depende de la velocidad de extracción de la bomba, es decir del caudal medio a la presión de funcionamiento. La bomba de vacío debe estar protegida de la humedad ya que esta puede afectar al equipo de vacío reduciendo su eficiencia.

### **c.2 Generador de vacío**

Es un elemento estático que extrae aire, mediante el efecto de absorción de un flujo de aire que pasa a través de un tubo Venturi sin ningún elemento móvil. El vacío se genera de forma neumática. La principal ventaja es que el consumo de energía es únicamente en el momento de su utilización.

#### **c.2.1 Principio Venturi de las bombas de vacío**

Como se puede apreciar en la **Figura 27**, una tobera de diámetro  $\emptyset$  se alimenta con aire comprimido. La corriente de aire arrastra en sus turbulencias el aire del ambiente que pasa hacia el mezclador para luego ser expulsado. Esta acción produce la depresión generando el vacío que se desea.



**Figura 27 Principio Venturi**

El diámetro  $\emptyset$  define la potencia que se obtiene, por lo tanto, la capacidad de aspiración, mientras sea mayor aumenta la capacidad de aspiración. El perfil mezclador define el nivel de vacío máximo que alcanza el Venturi.

### **1.9 Desarrollo de la función de calidad (QFD), (Riba, 2004)**

El desarrollo de la función de calidad es un método globalizador cuyo objetivo principal es asegurar que en la definición de un producto o servicio se han considerado las necesidades y requerimientos de los usuarios (o, la voz del usuario), a la vez que también constituye una herramienta para la planificación de la calidad durante el ciclo de vida. Consiste en un proceso estructurado que permite traducir los requerimientos y deseos de los usuarios en requerimientos técnicos de ingeniería en cada fase del diseño y de la fabricación.

Fue introducido por primera vez en Japón en el año 1972, e inmediatamente tuvo una gran aceptación en este país; más tarde, en 1983 fue introducido en EE.UU. de la mano de Yoji Akao, y hoy día se utiliza en numerosas empresas de los países desarrollados y en vías de desarrollo.

Es un método que presupone el establecimiento de un equipo pluridisciplinario orientado al consenso, basado en aproximaciones creativas y que permite la síntesis de nuevas ideas de una manera estructurada.

### 1.9.1 Las cuatro fases

Yoji Akao definió una serie de matrices para guiar el proceso del desarrollo de la función de calidad. Cada fase del desarrollo de un producto (planificación del producto, despliegue de componentes, planificación del proceso y planificación de la producción), se representa por una matriz cuyas características de diseño aportan las especificaciones de entrada a la matriz siguiente: en una secuencia en forma de una cascada de cuatro saltos (**Figura 28**).

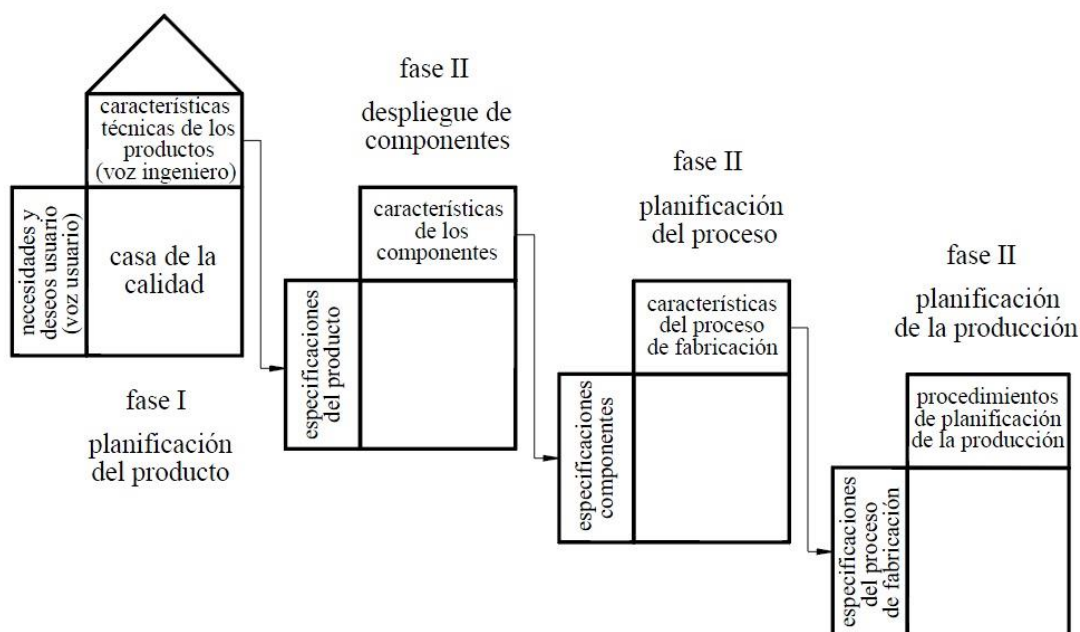
- **Planificación del producto:** Traduce las demandas de los clientes en características técnicas del producto.
- **Despliegue de componentes:** Traduce las especificaciones del producto en características de los componentes.
- **Planificación del proceso:** Traduce las especificaciones de los componentes (o características de los componentes de la matriz anterior) en características del proceso de fabricación.
- **Planificación de la producción:** Traduce las especificaciones del proceso (o características del proceso de fabricación de la matriz anterior) en procedimientos de planificación de la producción.

### 1.9.2 La casa de la calidad

La primera de estas matrices (o casa de la calidad; ver **Figura 28** y **Figura 29**), traduce las demandas de los usuarios (o voz del cliente) en requerimientos técnicos del producto. Es la de aplicación más frecuente y en ella se distinguen 6 pasos:

- **Voz del usuario:** Describe las demandas (requerimientos y deseos) de los usuarios.
- **Análisis de competitividad:** Describe, según el usuario, el grado de satisfacción que proporcionan los productos o servicios de la empresa respecto a los de la competencia.

- **Voz del ingeniero:** Describe los requerimientos técnicos que deberán articularse para satisfacer las necesidades de los usuarios
- **Correlaciones:** Establece las correlaciones entre la voz de los usuarios y la voz del ingeniero.
- **Comparación técnica:** Compara el producto de la empresa con los de la competencia.
- **Compromisos técnicos:** Establece los compromisos potenciales entre las diferentes características técnicas del producto.



**Figura 28 Esquema general del desarrollo de la función de calidad (QFD)**

En el desarrollo de la función de calidad, las demandas de los clientes (requerimientos y deseos) constituyen el elemento conductor de todo el proceso de diseño de un nuevo producto o servicio. El primer paso consiste, pues, en pedir a un grupo representativo de usuarios (en su sentido más amplio: distribuidores, vendedores, usuarios finales) cuáles son sus requerimientos y deseos. Una de las formas más frecuentes de hacerlo es a través del diagrama de afinidad. Se procede de la siguiente forma:



Se realiza un brainstorming (o lluvia de ideas) entre un grupo de clientes en relación a todos sus requerimientos y deseos sobre el nuevo producto, aunque sean expresados de forma vaga, incompleta y con redundancias. Por medio de un experto en el método QFD los requerimientos y deseos de los usuarios son formulados de forma precisa y útil como entradas al sistema.

Todas las demandas deben tener un mismo nivel de detalle; si la lista resulta demasiado larga (lo que sucede con frecuencia), deben agruparse las demandas bajo títulos más generales hasta identificar un máximo entre 20 y 30 categorías.

#### **a Voz del usuario**

Según la percepción que el usuario tiene de ellas, estas demandas se clasifican en:

- **Demandas básicas:** A menudo no son formuladas por los usuarios ya que se consideran obvias; sin embargo cuando no se cumplen, el usuario manifiesta insatisfacción.
- **Demandas unidimensionales:** Con su mejora aumenta proporcionalmente la satisfacción de los usuarios.
- **Demandas estimulantes:** Estas características complacen al usuario y diferencian un producto de otro. En caso de no darse, no producen insatisfacción en el usuario con el tiempo, las demandas estimulantes se convierten en unidireccionales y éstas últimas en básicas.

#### **b Análisis de la competencia**

A continuación, hay que plantear al grupo de usuarios las tres preguntas siguientes sobre el análisis de la competencia en relación con cada demanda: ¿Qué importancia tiene para usted su cumplimiento?, ¿En qué grado los productos de la empresa la cumplen? y ¿En qué grado los productos de la competencia la cumplen?

Una vez obtenidas estas respuestas (evaluadas generalmente de 1 a 5), los datos se compilan y los resultados se introducen en la casa de la calidad:

- **Columna A:** evaluación del cumplimiento del producto de la empresa.
- **Columnas B y C:** evaluación del cumplimiento de los productos de la competencia.
- **Columna D:** Objetivos (fijación del nivel deseado, de 1 a 5).
- **Columna E:** Índice de mejora ( $E = D/A \geq 1$ ).
- **Columna F:** Factor de venta (evaluación en niveles de 1/1,2/1,5).
- **Columna G:** Importancia (a partir de respuestas de los usuarios, de 1 a 5).
- **Columna H:** Ponderación ( $H=E \cdot F \cdot G$ ).
- **Columna I:** Ponderación porcentual (en % sobre el total de las demandas).

### c **La voz del ingeniero**

El reto más importante en la construcción de la casa de la calidad es la traducción de las demandas subjetivas de los clientes en características técnicas objetivas del producto, lo que constituye la voz del ingeniero.

Para realizar este paso el equipo de diseño debe crear una lista de características técnicas (medibles, al alcance de la empresa) que puedan dar cumplimiento a las demandas. Como mínimo para cada demanda se debe identificar una característica técnica. De forma análoga a las demandas de los clientes, su número máximo debe situarse entre 20 y 30.

### d **Correlaciones**

El cuerpo de la casa de la calidad muestra las capacidades de cada característica técnica para satisfacer al cliente en cada una de las demandas. En este paso hay que formularse la siguiente pregunta: ¿Hasta qué punto se podrá predecir que se van a satisfacer las demandas a partir de las características técnicas elegidas?

El resultado de esta pregunta debe obtenerse por consenso del equipo de diseño y se establece en tres niveles: fuerte, mediano y débil (simbolizados por un círculo con punto, un círculo y un triángulo, respectivamente y, si no existe relación, el espacio se deja en blanco). Este trabajo de evaluación establece un lenguaje común entre los miembros del equipo de diseño y fomenta las comunicaciones entre los departamentos durante todo el proyecto.

#### **e Evaluación técnica**

Este paso se realiza después de haber completado el cuadro de correlaciones del paso anterior y consiste en la evaluación de la incidencia de cada una de las características técnicas en la satisfacción de las demandas del usuario.

Para ello, el equipo de diseño calcula la incidencia de cada característica técnica en base al sumatorio de productos de los factores de incidencia, Id, función de cada correlación (fuerte = 9; mediana = 3; débil = 1) por el correspondiente valor de la ponderación, Sdt, que está en la columna H.

Normalmente, se señalan unas pocas características técnicas para ser mejoradas, en función del valor de la importancia y de la posición en la evaluación técnica.

#### **f Compromisos técnicos**

El techo de la casa de la calidad contiene los distintos compromisos entre las características técnicas del producto que la empresa debe sopesar y decidir para situarse lo mejor posible en el mercado. Se han establecido cuatro niveles de correlación con sus símbolos: muy negativa, negativa, positiva y muy positiva.

Previamente, los miembros del equipo de diseño deben haber establecido un diseño conceptual básico por medio de técnicas de ingeniería concurrente. Pueden darse varios casos de interacción entre características técnica:

- **Correlación positiva:** Al mejorar una característica técnica, también mejora la otra.
- **Correlación negativa:** Al mejorar una característica técnica, empeora la otra.

- **Sin correlación:** Las variaciones de dos características técnicas no tienen influencia.

### 1.9.3 Importancia del QFD

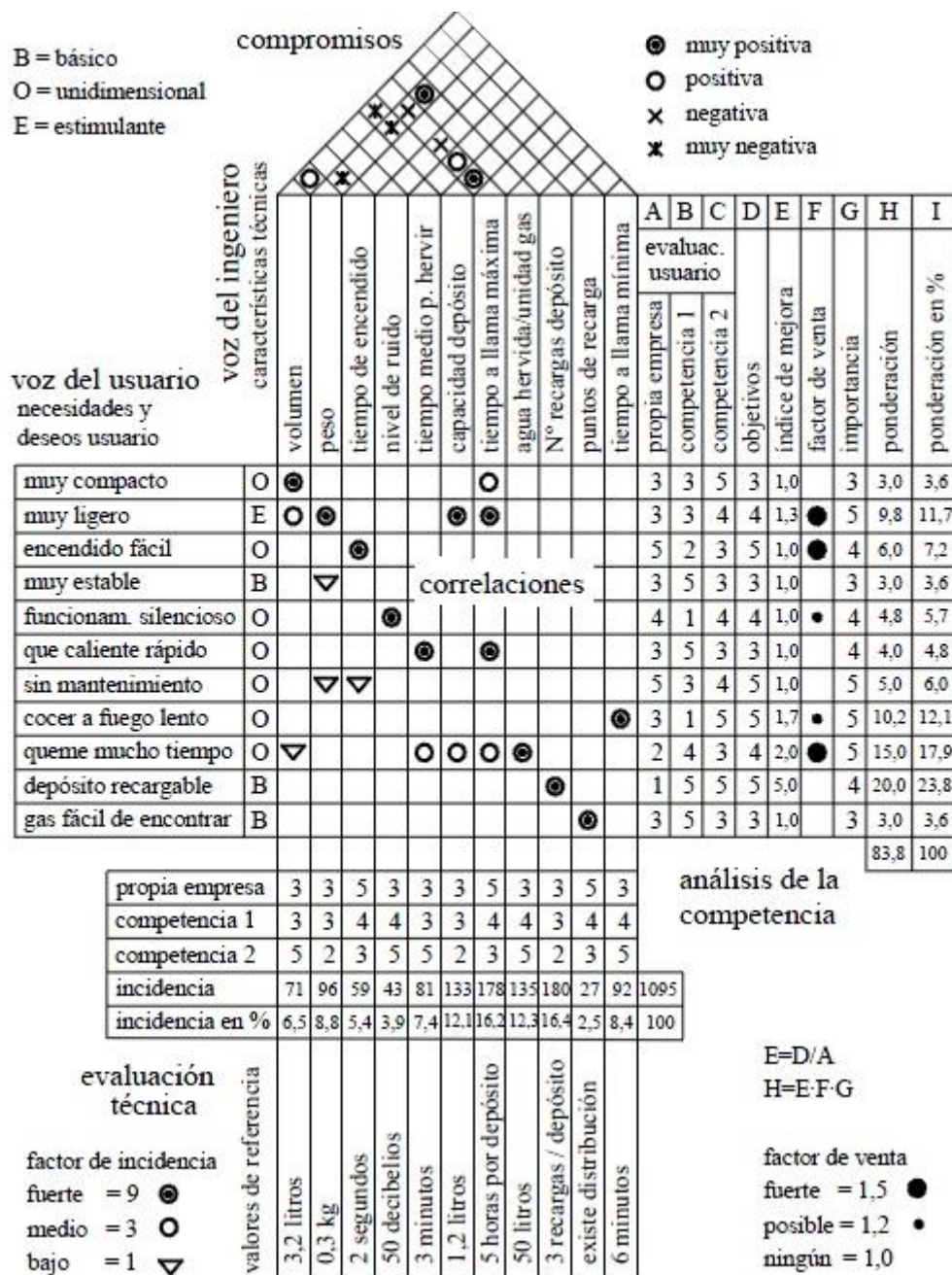
La implantación del desarrollo de la función de calidad no es una tarea simple e involucra una serie de factores tales como la cultura de la empresa y la confianza con la mejora continua. Es una metodología que exige una gestión participativa presidida por el impulso y la confianza de la dirección general. Hay que informar a todo el personal de los objetivos del QFD y convencerlo de que el trabajo adicional de documentación y de recogida de datos que comporta es beneficioso.

En otro orden de cosas, la implantación del desarrollo de la función de calidad suele ser más simple si se aplica inicialmente a la mejora de un producto conocido. Más adelante se estará en condiciones de abordar el diseño de nuevos productos. La implementación de una casa de calidad se ejemplifica en la **Figura 29**, en la página siguiente.

### 1.10 Módulos e interfaces

El análisis funcional de un producto o sistema y la elaboración de la estructura funcional es un primer paso para establecer su estructura modular (la mayor parte de diseñadores realizan estos procesos sin formalizarlos), a partir de combinar las diversas funciones en módulos de forma que se consigan los objetivos prioritarios siguientes:

- **Agrupar las funciones en módulos:** Es conveniente que cada una de las funciones sea realizada por un solo módulo. En caso de no ser posible, hay que delimitar convenientemente la parte de la función que realiza cada módulo y sus interrelaciones. El establecer una estructura modular subdividida en mayor o menor grado es uno de los criterios que hay que analizar cuidadosamente.
- **Establecer interfaces adecuadas entre módulos:** Interfaces es cualquier superficie real o imaginaria entre dos módulos de un sistema, a través de la cual se establece alguna de las siguientes relaciones: unión mecánica, flujo de energía, flujo de materiales o flujo de señales.



**Figura 29 Casa de la calidad aplicada al caso de definición de las características de un fogón de camping**

- **Interfaz mecánica:** Superficie por medio de la cual se establece una unión mecánica entre dos módulos de un producto o sistema. Esta unión puede ser fija, si no permite el movimiento relativo entre las partes, o móvil (también enlace), si lo permite (función de una determinada geometría de contacto).

- **Interfaz de energía:** Superficie a través de la cual se establece un flujo de energía entre módulos de un producto o sistema (en casos límites, también de fuerzas, deformaciones o movimientos). Las interfaces de energía más frecuentes son las de alimentación eléctrica, de aire comprimido y de fluido hidráulico.
- **Interfaz de transferencia de materiales:** Superficie a través de la cual se establece un flujo de material entre módulos de un producto o sistema. Por ejemplo, la alimentación de materia prima y la retirada de piezas acabadas en un torno.
- **Interfaz de señal:** Superficie a través de la cual se establece un flujo de señal entre módulos de un producto o sistema. Por ejemplo, la comunicación de la imagen entre la unidad central y la pantalla de un ordenador.

Lamentablemente, a menudo se parte en los diseños de un análisis limitado a las interfaces mecánicas e insuficiente por lo que respecta a otros flujos. Ello puede acarrear que los "detalles" de última hora (cableados, conducciones, alimentación de materiales), se transformen en problemas de muy difícil solución en una etapa del proyecto en la que las principales decisiones ya han sido tomadas.

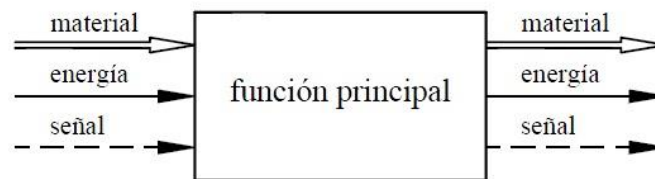
Para facilitar la representación de las funciones y de los flujos en la estructura funcional de un producto o sistema, es conveniente disponer de símbolos adecuados cuya utilización sea lo suficientemente flexible.

Los símbolos que se ejemplifican en la **Figura 30** y están utilizados son los siguientes:

- **Función:** Rectángulo de línea continua.
- **Flujo de material y dirección:** Flecha de doble línea continua.
- **Flujo de energía y dirección:** Flecha de línea continua.
- **Flujo de señal y dirección:** Flecha de línea discontinua.
- **Sistema, subsistema, módulo:** Polígono de línea de punto y raya.

Las descripciones de los diferentes conceptos se realizan de la siguiente manera:

- **Funciones:** Se sitúan dentro del rectángulo y preferentemente se definen con un verbo seguido de un predicado: transferir pieza; mover brazo; controlar posición.
- **Flujos:** Su objeto se indica encima de las flechas correspondientes: de pieza en bruto, acabada; de alimentación eléctrica, de accionamiento del cabezal; de señal de puesta en marcha, de posición.
- **Sistema, subsistemas y módulos.** Se indica encima y a mano izquierda del polígono que los delimita.



**Figura 30 Ejemplo simbología Módulos funcionales**

## CAPÍTULO II

### 2 DISEÑO Y SELECCIÓN

#### 2.1 Introducción

En el presente capítulo se describe el proceso realizado para seleccionar los diferentes componentes que constituyen la máquina. Así como el dimensionamiento de elementos mecánicos, realizando una correcta selección de los elementos neumáticos y de seguridad para protección de los sistemas eléctricos ya sea para los de control y de potencia.

#### 2.2 Casa de la calidad

Se trata de una parte del despliegue de la función de calidad (QFD) y se utiliza una matriz de planificación para relacionar lo que el cliente quiere contra una empresa (que produce los productos) va a cumplir esas necesidades. Se parece a una casa con una “matriz de correlación”, como su techo, los deseos del cliente frente a las características del producto como la parte principal, la evaluación de la competencia como el porche etc. Se basa en “la creencia de que los productos deben ser diseñados para reflejar los deseos de los clientes y sus gustos”.

La estructura básica es una tabla con “qué” como las etiquetas de la izquierda y “cómo” en la parte superior. El techo es una matriz diagonal de “cómos vs cómos” y el cuerpo de la casa es una matriz de “Qué’s vs cómos”.

Ambas de estas matrices están llenos de indicadores de si la interacción del elemento específico es un fuerte positivo, una fuerte negativa, o algo intermedio. Anexos adicionales en la parte derecha e inferior tienen los “porqués” (estudios de mercado, etc) y los “Cuántos”.

Las clasificaciones basadas en los porqués y las correlaciones se pueden utilizar para calcular las prioridades de los cómos.

A continuación en la **Figura 31** se muestra la casa de la calidad establecida para el presente tema de proyecto.



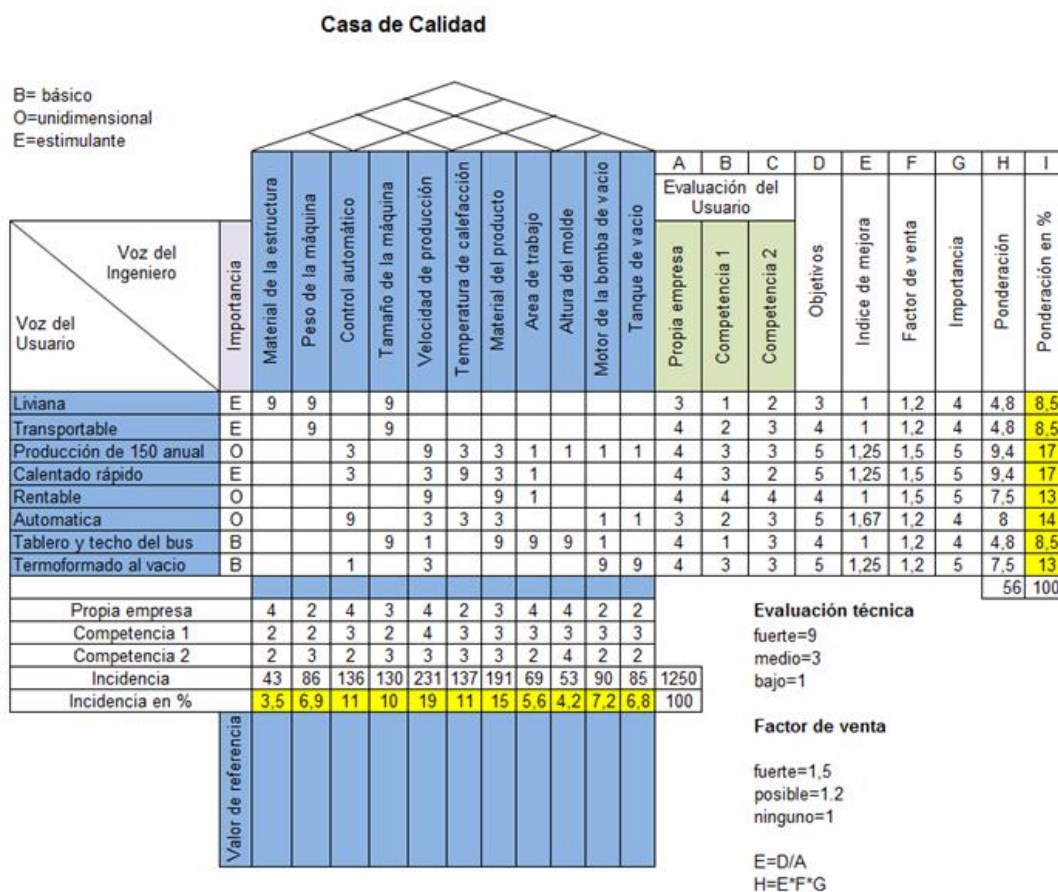


Figura 31 Casa de la calidad de máquina termoformadora

### 2.3 Especificaciones técnicas

A partir de la información obtenida en la casa de la calidad procede a determinar las especificaciones técnicas, las mismas que se muestran a continuación:

Tabla 4

#### Especificaciones técnicas de la máquina

ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO		Producto: MÁQUINA TERMOFORMADORA DE PLÁSTICO	
Concepto	Propone	Tipo	Descripción
Función	I	R	La máquina termoformará diferentes tipos de plásticos.
	I	R	La máquina tendrá sistemas de bloqueos manuales.

CONTINÚA →

	C+I	R	Dispondrá de un control amigable para el operario.
	I	R	El dispositivo poseerá una máxima capacidad en función del volumen del molde.
<b>Dimensiones</b>	C+I	R	La máquina tendrá el tamaño en función del área del molde más grande (techo de bus).
<b>Movimientos</b>	I	R	Movimiento lineal para mover el plástico termoformable.
<b>Materiales</b>	I	R	La máquina se construirá con materiales que puedan soportar el peso del molde y todos los componentes de la máquina.
<b>Control</b>	C+I	R	El control de la máquina en lo posible será automático.
<b>Vida útil y mantenimiento</b>	I	R	Se elaborará un manual de mantenimiento de las partes principales de la máquina y su frecuencia de mantenimiento.
<b>Seguridad y Ergonomía</b>	I+C	R	Todos los sistemas poseerán las protecciones necesarias y la señalética apropiada.

## 2.4 Análisis funcional

El propósito del análisis funcional es separar la acción que se efectúa del componente o mecanismo, para de este modo buscar nuevas soluciones, para ello es necesario establecer claramente las funciones primarias y secundarias.

Las funciones primarias son aquellas por las que el usuario o los usuarios compran el producto mientras que las funciones secundarias son las que permiten que las funciones primarias se ejecuten satisfactoriamente.

Establecidas las funciones secundarias se procede a plantear soluciones idóneas para desempeñar estas funciones, para luego seleccionar aquellas más convenientes. Estas

funciones se pueden agrupar para formar módulos que sean capaces de cumplir un conjunto de funciones.

La descomposición funcional del producto se lleva a cabo mediante diagramas de flujo, donde, en cada bloque aparece una función que pueden tener tres tipos de entrada y salida: control o señal, material y energía.

#### **2.4.1 Desarrollo de los diagramas funcionales**

En la página a continuación, en la **Figura 32**, se presentan los diagramas funcionales de la termoformadora.

#### **2.4.2 Análisis de los diagramas funcionales**

Para el presente proyecto se ha estimado desarrollar el diagrama funcional hasta el nivel 2.

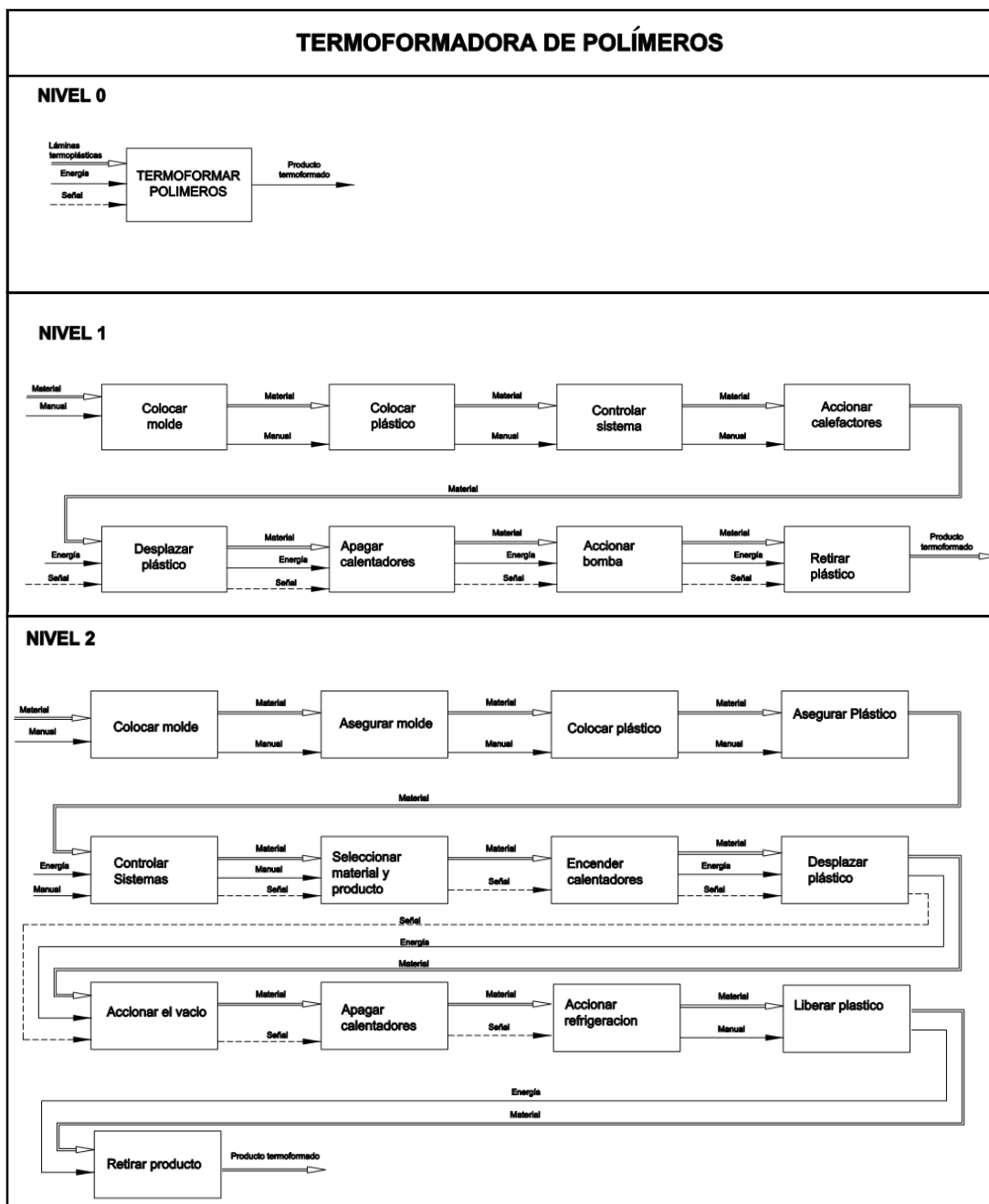
En el Nivel 0, es donde se presenta la función global, que consiste en representar la tarea global que debe realizar el producto que se va a diseñar y se establece como una caja que relaciona los flujos de entrada y salida.

En el Nivel 1, se hace una presentación más precisa por lo que hay que dividir la función global en subfunciones o subtareas y a la vez, establecer las relaciones de flujo entre estas subfunciones.

En el Nivel 2, aparecen desglosadas varias acciones implícitas que en el nivel anterior no se especificaron pero que son fundamentales para el funcionamiento de la máquina.

### **2.5 Definición y generación de módulos**

De acuerdo al material consultado, los productos modulares son aquellos que están organizados según una estructura de diversos bloques constructivos, orientada a ordenar e implementar las distintas funciones y a facilitar las operaciones de composición del producto. Los bloques constructivos se llaman módulos y su organización estructura modular.



**Figura 32 Diagramas funcionales de la termoformadora**

Se observa en la **Figura 33** que se tienen dos funciones principales fácilmente identificadas: los accionamientos manuales y la parte automatizada de la máquina, por lo que el sistema se lo divide en dos módulos que realicen las funciones correspondientes.

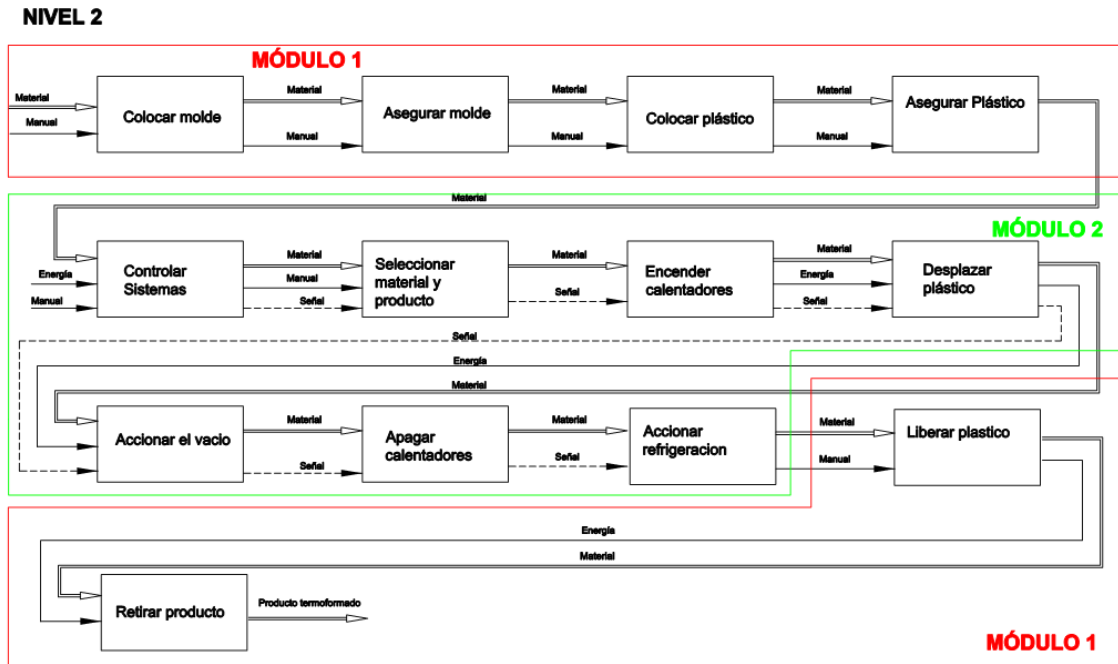


Figura 33 Módulos para el análisis funcional de la termoformadora

## 2.6 Generación de soluciones para cada módulo

### 2.6.1 Módulo 1

El Módulo 1 debe cumplir con las siguientes funciones:

- Colocar el molde.
- Asegurar el molde.
- Colocar el plástico.
- Asegurar el plástico.
- Liberar plástico.
- Retirar el producto.

**a Colocar el molde**

Por solicitud del cliente el molde tendrá en su base ruedas que permitan la fácil transportación del mismo, y así colocarlo en la posición de trabajo en la máquina termoformadora. Esta sugerencia será analizada para asegurar la factibilidad de su uso.

**b Asegurar el molde**

Para asegurar el molde se podría utilizar pernos o pasadores en sus costados para sujetarlos en las columnas de la máquina y así mantenerlo estable al momento del proceso del termoformado.

**c Colocar el plástico**

En la colocación se usará dos marcos metálicos de tamaño acorde a la lámina de plástico, en uno de los marcos se procederá a ubicar la misma para luego con el otro sujetarlo.

**d Asegurar el plástico**

El cliente ha expresado su deseo que el marco que asegura el plástico debe tener dientes para que el mismo no se mueva durante el proceso, además, utilizar seguros tipo prensas para que la sujeción sea más efectiva, estas se colocarán en las esquinas de los marcos.

**e Liberar el plástico**

En la liberación solo se quitarán las seguridades de las prensas, haciendo accesible la manipulación de la lámina.


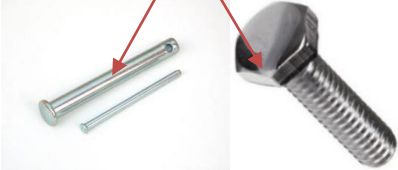



**f Retirar producto**

El retiro del producto se lo realizará cuando todo el proceso esté terminado, se desacoplará el marco asegurador logrando así la liberación del producto.

## g Alternativas de solución Módulo 1

En el **Tabla 5** se aprecia con más claridad las distintas alternativas de solución que se plantea para cada una de las funciones que se desarrollan en el Módulo 1.

**Tabla 5**  
**Alternativas del Módulo 1**

Función	Alternativas
Colocar molde	 <p>1. Rueda metálica</p>
Asegurar molde	 <p>1. Pasador 2. Perno</p>
Colocar plástico	 <p>1. Manual</p>
Asegurar plástico	 <p>1. Seguros tipo prensa</p>
Liberar plástico	 <p>1. Manual</p>

CONTINÚA →



### 2.6.2 Módulo 2

El Módulo 2 debe cumplir con las siguientes funciones:

- Seleccionar material y producto.
- Controlar sistema.
- Encender calentadores.
- Desplazar plástico.
- Accionar el vacío.
- Apagar calentadores.
- Accionamiento de la refrigeración.

#### a Seleccionar material y producto

- Pantalla touch.
- Con los pulsadores se seleccionara la temperatura adecuada de acuerdo al material.

#### b Controlar sistema

- PLC con lazos PID.
- Controlador PID de temperatura, el set point es ingresado por el usuario.

#### c Encender calentadores

- Los calentadores pueden ser infrarrojo, niquelina o gas.
- Se activarán los calentadores de acuerdo a una señal enviada desde el controlador.



**d Desplazar el plástico**

- Pistones neumáticos.
- Pistones hidráulicos.
- Motor, piñón y su sistema de transmisión.

Los mismos que se activarán por medio de una señal enviada desde el controlador.

**e Accionar el vacío**

- Al momento preciso se envía una señal al sistema de vacío para que este realice su función.

**f Apagar calentadores**

- Cuando el proceso de formado esté terminado los calentadores al recibir una señal se desactivarán.

**g Accionar refrigeración**

- La refrigeración se activará al momento que los calentadores terminen su trabajo, para de esta forma enfriar el plástico hasta una temperatura manipulable para el operador.

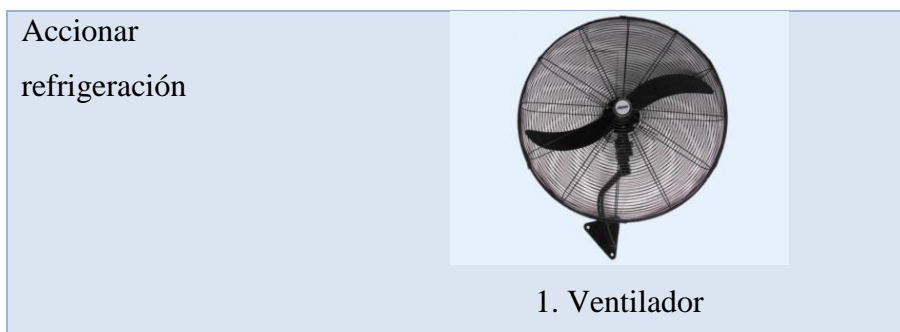
**h Alternativas de solución Módulo 2****Tabla 6****Alternativas del Módulo 2**

Función	Componente
Seleccionar material y producto	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>1. Pantalla Touch</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>2. Pulsadores eléctricos</p> </div> </div>

**CONTINÚA** →

Controlar sistema	 <p>1. PLC</p>	 <p>2. Controlador PID</p>
Encender calentadores	 <p>1. Infrarrojas</p>	 <p>2. Niquelinas</p>
Desplazar el plástico	 <p>1. Hidráulico</p>	 <p>2. Neumático</p>
Accionar el vacío	 <p>1. Sistema de vacío</p>	
Apagar calentadores	<p>Señal digital</p>  <p>1. Señal Digital</p>	

CONTINUÁ →



Por investigación realizada sobre termoformadoras, se recomienda el uso de lámparas infrarrojas para el calentamiento de los plásticos ya que ofrecen más eficiencia y un mejor control. Con esta información y con la tabla anterior se determinaron las siguientes alternativas de solución.

**Tabla 7**  
**Alternativas de solución al Módulo 2**

<b>Función</b>	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	<b>Alternativa 3</b>	<b>Alternativa 4</b>
<b>Seleccionar material y producto</b>	Pantalla Toch	Pantalla Touch	Pulsadores	Pulsadores
<b>Controlar sistema</b>	PLC	Controlador PID	PLC	Controlador PID
<b>Encender calentadores</b>	Infrarrojas	Infrarrojas	Infrarrojas	Infrarrojas
<b>Desplazar plástico</b>	Neumático	Neumático	Neumático	Neumático
<b>Accionar vacío</b>	Sistema de vacío	Sistema de vacío	Sistema de vacío	Sistema de vacío
<b>Apagar calentadores</b>	Señal digital	Señal digital	Señal digital	Señal digital
<b>Accionar ventilación</b>	Ventilador	Ventilador	Ventilador	Ventilador

## 2.7 Selección de la mejor alternativa

### 2.7.1 Evaluación del Módulo 1

Para el Módulo 1, las soluciones que se proponen aplican para ambas alternativas, debido a que estas soluciones se consiguen en el mercado y se ajustan a los requerimientos solicitados por el cliente.

## 2.7.2 Evaluación del Módulo 2

Con el fin de determinar la mejor solución para el Módulo 2 de acuerdo a las alternativas que se tiene, se emplea el Método Original Corregido de Criterios Ponderados.

Se listan a continuación los criterios de valoración más determinantes.

- Bajo peso, para que la máquina sea transportable y de fácil ensamblaje.
- Segura al momento de realizar la producción.
- Fácil uso, para que el operador la pueda usar sin dificultad.
- Precio moderado, para que la construcción de la máquina sea rentable con el costo de producción.
- Rentable, producir productos más baratos en menos tiempo.

La evaluación de los criterios y módulos se detallan en las tablas siguientes:

**Tabla 8**

### Evaluación para cada criterio

	Bajo peso	Segura	Fácil uso	Precio moderado	Rentable	$\sum +1$	Ponderación
<b>BAJO PESO</b>		0	0	1	0	2	0,133
<b>SEGURA</b>	1		0,5	1	1	4,5	0,300
<b>FÁCIL USO</b>	1	0,5		1	0,5	4	0,267
<b>PRECIO MODERADO</b>	0	0	0		0	1	0,067
<b>RENTABLE</b>	0,5	1	0,5	0,5		3,5	0,233
					SUMA	12	1
<b>SEGURA &gt; FÁCIL USO &gt; RENTABLE &gt; BAJO PESO &gt; PRECIO MODERADO</b>							

**Tabla 9**

### Evaluación de soluciones respecto a bajo peso

BAJO PESO	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3	ALTERNATIVA 4	$\sum +1$	PODERACION
ALTERNATIVA 1		0,5	0,5	0	2	0,25
ALTERNATIVA 2	0,5		0	0	1,5	0,188
ALTERNATIVA 3	0,5	0,5		0	2	0,25

CONTINÚA →

ALTERNATIVA 4	1	0,5	0	2,5	0,312
SUMA				8	1
ALTERNATIVA 4 > ALTERNATIVA 3 = ALTERNATIVA 1 > ALTERNATIVA 2					

**Tabla 10****Evaluación de soluciones respecto a segura**

SEGURA	ALTERNATIVA 1	ALTRNATIVA 2	ALTERNATIVA 3	ALTERNATIVA 4	$\sum +1$	PODERACION
ALTERNATIVA 1		1	1	1	4	0,333
ALTERNATIVA 2	0,5		1	1	3,5	0,292
ALTERNATIVA 3	0,5	0,5		0,5	2,5	0,208
ALTERNATIVA 4	0	0,5	0,5		2	0,167
SUMA					12	1
ALTERNATIVA 1 > ALTERNATIVA 2 > ALTERNATIVA 3 > ALTERNATIVA 4						

**Tabla 11****Evaluación de soluciones respecto a fácil uso**

FÁCIL USO	ALTERNATIVA 1	ALTRNATIVA 2	ALTERNATIVA 3	ALTERNATIVA 4	$\sum +1$	PODERACION
ALTERNATIVA 1		1	0,5	1	3,5	0,318
ALTERNATIVA 2	1		0,5	0,5	3	0,273
ALTERNATIVA 3	0,5	0,5		0,5	2,5	0,227
ALTERNATIVA 4	0,5	0,5	0		2	0,182
SUMA					11	1
ALTERNATIVA 1 > ALTERNATIVA 2 > ALTERNATIVA 3 > ALTERNATIVA 4						

**Tabla 12****Evaluación de soluciones respecto a precio moderado**

PRECIO MODERADO	ALTERNATIVA 1	ALTRNATIVA 2	ALTERNATIVA 3	ALTERNATIVA 4	$\sum +1$	PODERACION
ALTERNATIVA 1		0,5	0,5	0	2	0,174
ALTERNATIVA 2	0,5		0,5	0,5	2,5	0,217
ALTERNATIVA 3	1	0,5		0,5	3	0,261

CONTINÚA →

ALTERNATIVA 4	1	1	1	4	0,348
SUMA				11,5	1
ALTERNATIVA 4 > ALTERNATIVA 3 > ALTERNATIVA 2 > ALTERNATIVA 1					

**Tabla 13****Evaluación de soluciones respecto a precio rentable**

RENTABLE	ALTERNATIVA 1	ALTRNATIVA 2	ALTERNATIVA 3	ALTERNATIVA 4	$\sum +1$	PODERACION
ALTERNATIVA 1		1	1	1	4	0,334
ALTERNATIVA 2	1		0,5	0,5	3	0,25
ALTERNATIVA 3	0,5	0,5		0,5	2,5	0,208
ALTERNATIVA 4	0,5	0,5	0,5		2,5	0,208
SUMA					12	1
ALTERNATIVA 1 > ALTERNATIVA 2 > ALTERNATIVA 3 = ALTERNATIVA 4						

Para los valores correspondientes de cada alternativa se multiplica los resultados de ponderación obtenidos en la **Tabla 8** por el resultado de la evaluación de todas las alternativas descritas desde la **Tabla 9** hasta la **Tabla 13**, con lo cual se obtiene los siguientes resultados concluyentes del Módulo 2.

**Tabla 14****Conclusiones del módulo 2**

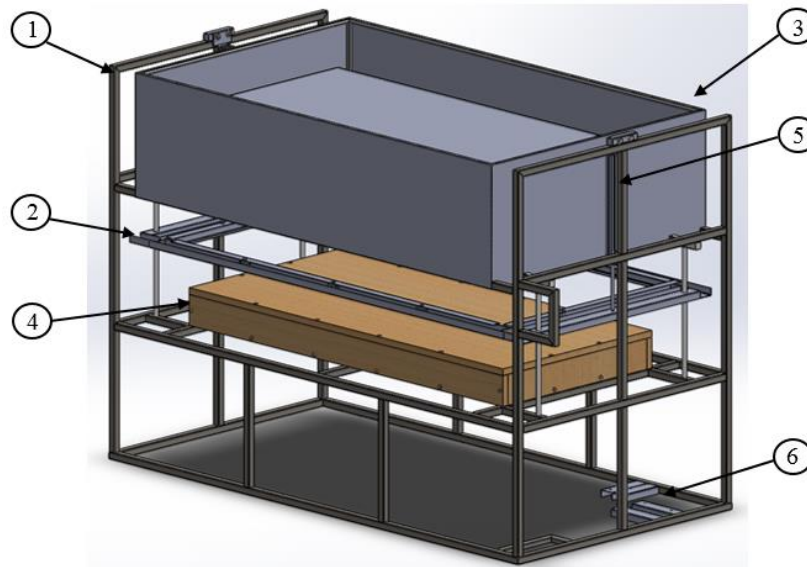
CONCLUSION	BAJO PESO	SEGURA	FÁCIL USO	PRECIO MODERADO	RENTABLE	$\Sigma$	PRIORIDAD
ALTERNATIVA 1	0,033	0,099	0,085	0,012	0,078	0,307	1
ALTERNATIVA 2	0,025	0,088	0,073	0,015	0,058	0,259	2
ALTERNATIVA 3	0,033	0,062	0,061	0,017	0,048	0,221	3
ALTERNATIVA 4	0,041	0,05	0,049	0,023	0,048	0,211	4

La Alternativa 1 es la mejor en comparación de las otras, le sigue al Alternativa 2, y luego casi iguales le siguen la Alternativa 3 y la Alternativa 4.

Las alternativas sugieren el uso de calentadores infrarrojos pero por motivos de economía la empresa solicita el uso de resistencias eléctricas.

## 2.8 Diseño mecánico de la termoformadora

La máquina termoformadora se divide básicamente en tres partes, las cuales cumplen una función específica en el proceso de producción de termoformado:



**Figura 34 Vista isométrica de la máquina termoformadora**

1. Estructura.
2. Portador de plástico.
3. Horno.
4. Caja de vacío.
5. Cilindros neumáticos.
6. Bases de la bomba de vacío y del motor.

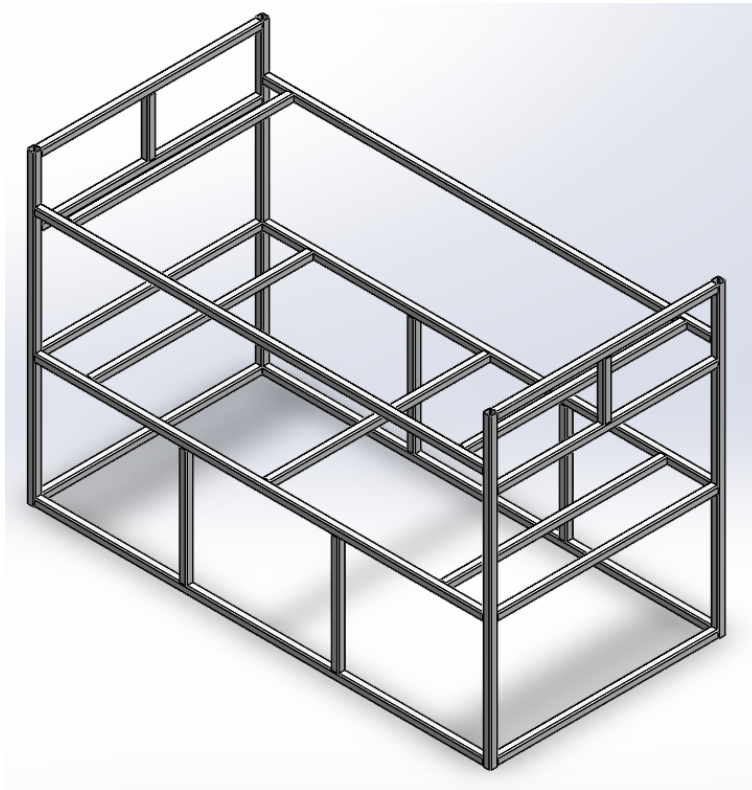
### 2.8.1 Estructura de la máquina

La estructura que es el soporte de todas las partes que constituyen la máquina tiene algunas restricciones con las que se debe cumplir.

- La estructura se diseña bajo el criterio de cargas estáticas ya que por el debido funcionamiento de la máquina el desplazamiento es mínimo de piezas (encargadas de esto son los pistones neumáticos).

- El material que se usa para la construcción es acero estructural ASTM A-36 que es de material que se comercializa en el país y es de fácil accesibilidad. Las propiedades de este material están detalladas en el Anexo A.1.
- Se utiliza el software de diseño de elementos de máquinas para el análisis de la estructura debido a la complejidad del diseño de la estructura. La ventaja de este programa es que nos muestra puntos críticos, deformaciones, además de que es de fácil uso para el diseño mecánico de piezas.

La producción de la estructura se usa perfiles cuadrados de acero, se la puede apreciar en la **Figura 35**.

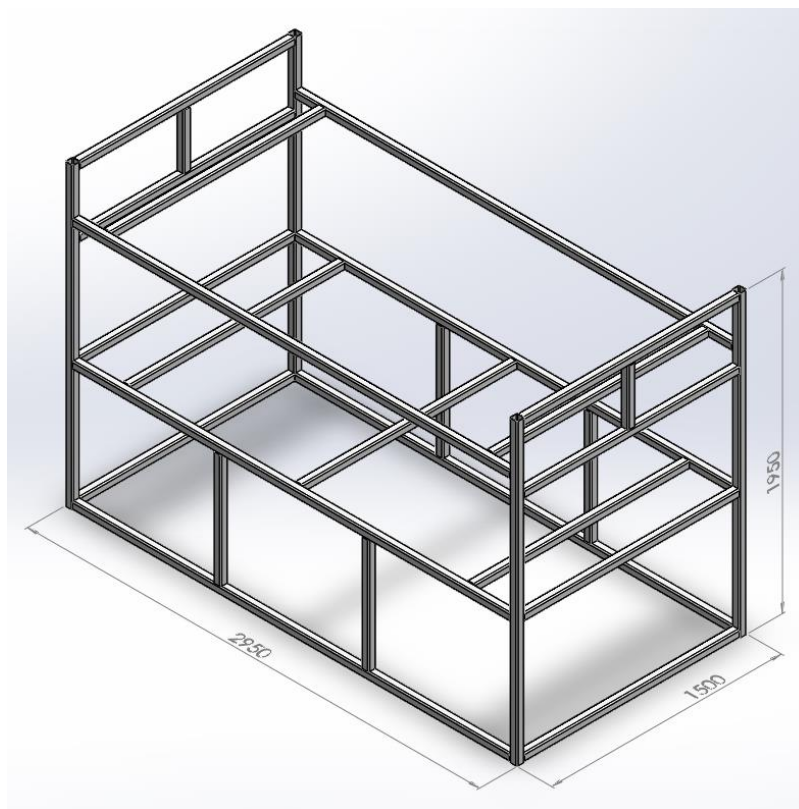


**Figura 35 Diagrama de la estructura**

El tamaño de la estructura está basada al área de trabajo del plástico que se utilizará en la producción de las piezas termoformadas, el plástico comercial del país tiene una medida estándar de 1200x2400mm.

Las medidas que se usará como punto inicial se detallan en la **Figura 36**.





**Figura 36 Dimensiones de la estructura**

El dimensionamiento de los perfiles se lo realizó un proceso iterativo de cálculos, obteniendo los resultados de factor de seguridad, el recomendado para diseño debe ser mayor a 2.2, (Robert & Mott, 2006).

Para realizar este análisis se considera la carga distribuida sobre los perfiles que va a realizar su reacción, debido a que la carga no se la puede aplicar en un único punto por consideración al equilibrio, además, la distribución de la carga uniforme permite que el software entregue los datos del factor de seguridad con más exactitud.

La selección del perfil se lo realizó mediante el uso del catálogo de Dipac, éste es de fácil acceso en el internet, los detalles se los puede encontrar en el Anexo A.2.

#### **a Análisis de viga de soporte**

Como se puede apreciar en la **Figura 34**, las tres vigas de soporte de la caja de vacío es el punto más crítico que debe ser analizado por que aquí va a resistir el peso de la misma y de los moldes de las piezas a fabricar.

Se toma como referencia la masa de la caja de vacío y de los moldes que se asentarán sobre las vigas.

$$m_{\text{molde basurero}} = 25 \text{ kg} * 5 = 125 \text{ kg}$$

$$m_{\text{molde puerta}} = 200 \text{ kg}$$

$$m_{\text{caja de vacío}} = 75 \text{ kg}$$

$$m_{\text{total}} = m_{\text{molde basurero}} + m_{\text{molde puerta}} + m_{\text{caja de vacío}} \quad \text{Ec. 2.1}$$

$$m_{\text{total}} = 125 \text{ kg} + 200 \text{ kg} + 75 \text{ kg}$$

$$m_{\text{total}} = 400 \text{ kg}$$

Se realiza el análisis en una de las vigas, teniendo como referencia el peso máximo aproximado a la que se van a someter, el que hay que dividir para tres.

$$m_{\text{total}} = \frac{400 \text{ kg}}{3} = 133.33 \text{ kg}$$

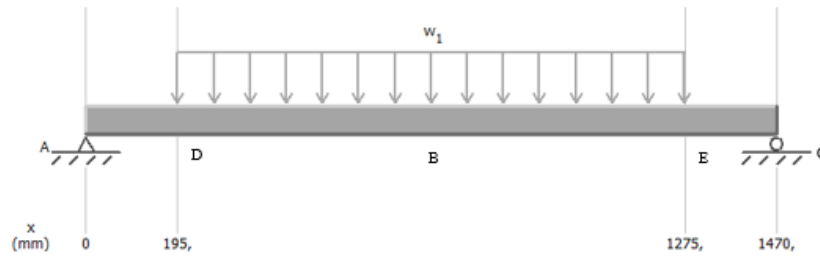
Transformando la masa a peso.

$$W = 133.33 \text{ kg} \cdot \frac{9.81 \text{ N}}{1 \text{ kgf}} = 1307.98 \text{ N}$$

En la **Figura 37** se observa el diagrama de cuerpo libre de una de las vigas de soporte, para conocer el valor de la carga distribuida que representa el peso se divide el resultado anterior para la distancia que ocupa en la superficie del perfil.

$$F = \frac{W}{d}$$

$$F = \frac{1307.98 \text{ N}}{1.08 \text{ m}} = 1211.1 \text{ N/m}$$



**Figura 37 Diagrama de cuerpo libre de la viga**

A continuación se realizan las operaciones matemáticas para determinar los valores de las fuerzas en el punto A y en el punto C.

Sumatorias de momentos en el punto igual a cero, encontrando el valor de la fuerza en el punto C:

$$\sum M_A = 0$$

$$-F_B(735 \text{ mm}) + F_C(1470 \text{ mm}) = 0$$

$$F_C = \frac{1307.98 \text{ N}(735 \text{ mm})}{1470 \text{ mm}}$$

$$F_C = 653.99 \text{ N}$$

Realizando la sumatoria de fuerza igual a cero, se encuentra el valor de la fuerza en el punto A:

$$\sum F = 0$$

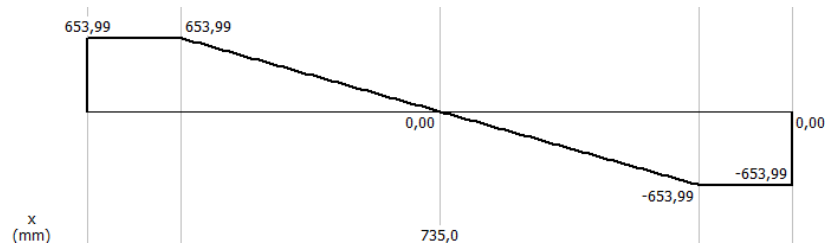
$$F_A - F_B + F_C = 0$$

$$F_A = F_B - F_C$$

$$F_A = 1307.97 \text{ N} - 653.99$$

$$F_A = 653.99 \text{ N}$$

Con estos valores se procede a realizar el diagrama de fuerzas cortantes, mostrada en la **Figura 38**, para así poder determinar el diagrama de momentos.



**Figura 38 Diagrama de fuerzas cortantes de la viga**

Se calcula los momentos más críticos de la viga

Momento en el punto D:

$$M_D = F \cdot d$$

$$M_D = 653.99 \text{ N}(0.195 \text{ m})$$

$$M_D = 127.53 \text{ Nm}$$

Momento en el punto B:

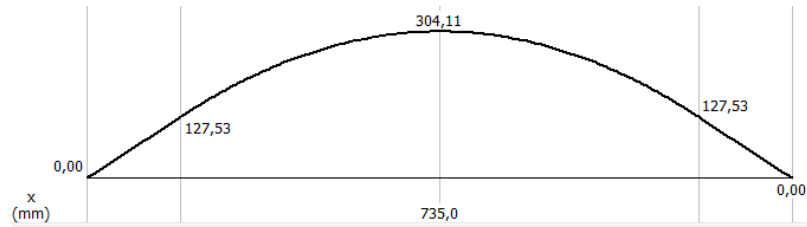
$$M_B = M_D + \frac{1}{2} F \cdot d$$

$$M_B = 127.53 \text{ Nm} + \frac{653.99 \text{ N}(0.540 \text{ m})}{2}$$

$$M_B = 304.11 \text{ Nm}$$

Se traza el diagrama de momentos de la viga, como se puede apreciar en la **Figura 39**, observando que el momento máximo se encuentra localizado en el punto B, por lo tanto éste punto es el más crítico de la viga y el que debe ser analizado; con esto en cuenta tenemos lo siguiente.

$$M_{max} = M_B = 304.11 \text{ Nm}$$



**Figura 39 Diagrama de momentos de la viga**

Determinar el esfuerzo de flexión ( $\sigma_{flex}$ )

$$\sigma_{flex} = \frac{M_{max} \cdot C}{I} \quad \text{Ec. 2. 2}$$

Donde:  $\sigma_{flex}$  = Esfuerzo de flexión, [MPa]

$M_{max}$  = Momento máximo, [Nm]

$C$  = Longitud de la sección, [m]

$I$  = Momento de inercia de la sección, [m<sup>4</sup>]

Se realiza el análisis utilizando un tubo cuadrado de 40x40 mm y 2 mm de espesor por lo tanto el valor de  $C = 0.02$  m, el momento de inercia lo proporciona el fabricante y se lo puede localizar fácilmente en el Anexo A.2,  $I = 6.93$  cm<sup>4</sup>. Reemplazando todos los valores en la ecuación 2.2.

$$\sigma_{flex} = \frac{304.11 \text{ Nm} (0.02 \text{ m}) \cdot (100^4 \text{ cm}^4)}{6.93 \text{ cm}^4 \cdot 1 \text{ m}^4}$$

$$\sigma_{flex} = 87.76 \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \cong 87.76 \text{ MPa}$$

Aplicar la teoría de la energía de distorsión.

Según esta teoría un elemento falla cuando  $\sigma' > S_y$ ; al no existir torsión  $\tau_{corte} = 0$  en la viga se tiene la siguiente igualdad:  $\sigma' = \sigma_1 = \sigma_{flex} = 87.76 \text{ MPa}$

Se calcula el factor de seguridad FS.

$$FS = \frac{S_y}{\sigma'}$$

Donde:  $FS$  = Factor de seguridad

$\sigma'$  = Esfuerzo de Von Mises,  $[MPa]$

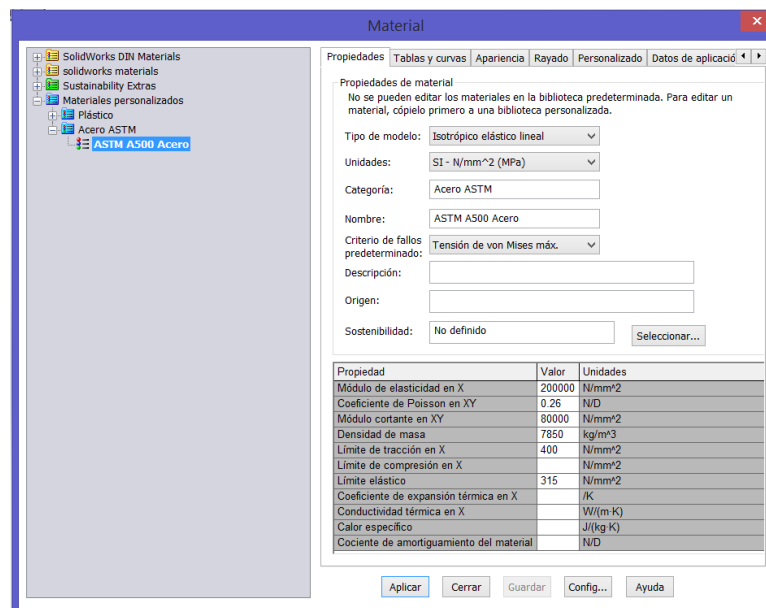
$S_y$  = Límite a la cedencia del material,  $[Acero ASTM A36 = 248 MPa]$

$$FS = \frac{248 MPa}{87.76 MPa} = 2.82$$

El factor de seguridad al ser mayor que 2 por lo tanto construir las vigas con el tubo cuadrado de 40 mm y con 2 mm de espesor es el indicado para que pueda resistir las cargas generadas por los pesos que van a resistir.

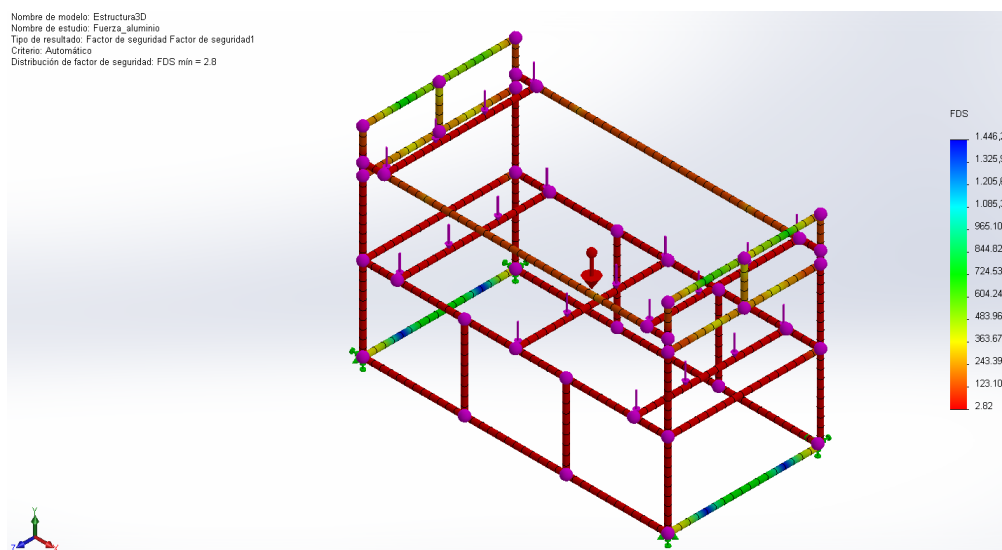
## b Comprobación utilizando software de simulación

En el programa de simulación no existe el material ASTM A-36, al seleccionar el material para poder realizar el estudio de esfuerzos se debe crear la librería de este material usando las especificaciones detalladas en el Anexo A.1, la configuración se la muestra en la **Figura 40**.



**Figura 40 Configuración del acero ASTM A-36**

Los resultados obtenidos al realizar la simulación en el programa y considerando todos los pesos de las partes adicionales que constituyen la máquina, así también de la gravedad, el factor de seguridad que se obtuvo es de 2,8 lo que cumple con lo descrito anteriormente, esto se lo puede apreciar en la **Figura 41**.



**Figura 41** Factor de seguridad de la estructura

### 2.8.2 Portador de plástico

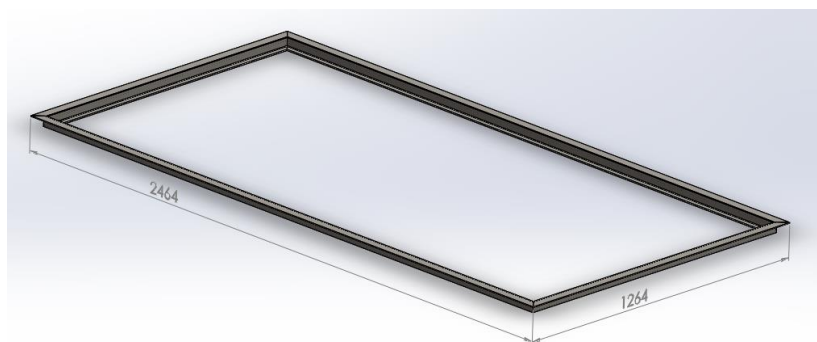
El portador de plástico es donde se va a transportar el plástico desde la zona de calentamiento hacia el área de moldeo y vacío.

Las especificaciones que éste tiene vienen dadas por la empresa como se describió anteriormente.

- Una de las restricciones más destacadas de éste es que debe adaptarse con facilidad a cualquier espesor de lámina siendo el mínimo espesor de 1mm y el máximo de 4 milímetros.
- El área comprendida en el portador de plástico debe ser 1200x2400mm, que es la medida estándar del plástico que se comercializa en el país.
- El material a usarse para los tubos, ángulos y platinas es el acero ASTM A-36, estos materiales son de fácil acceso en el mercado local y así están detallados en el catálogo

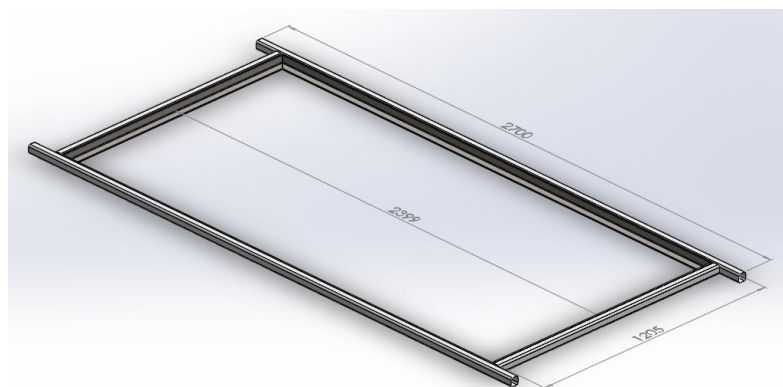
del proveedor Dipac. Los detalles del catálogo de Dipac con respecto a perfiles se los encuentran en el Anexo A.2 hasta el Anexo A.6.

El porta plástico consta de dos marcos, uno fijo a la máquina y el otro removible para poder facilitar la colocación del plástico entre ambos. El marco móvil o superior, ejerce la presión sobre el plástico asegurándolo a la máquina y a la vez impide que se remueve el mismo. En la **Figura 42** se muestra el marco superior del portador de plástico con sus dimensiones.



**Figura 42 Marco superior del portador de plástico**

El marco que está fijo a la máquina es el inferior el cual se une a la misma a través de los pistones neumáticos que realizan el movimiento de transporte. La **Figura 43** muestra el diseño del marco inferior del portador de plástico.

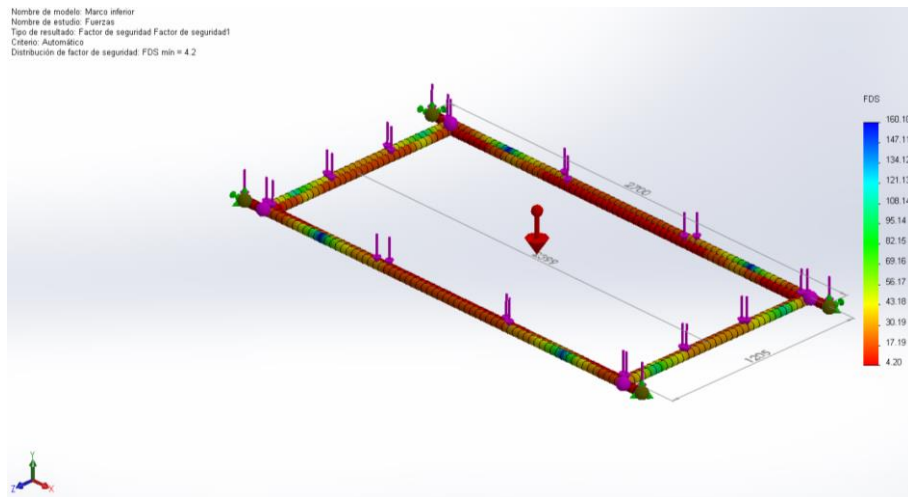


**Figura 43 Marco inferior del portador de plástico**

Para realizar el análisis se considera los pesos del marco superior y de la lámina de plástico como cargas distribuidas a lo largo de los perfiles con los que se encuentra en



contacto, debido a que las cargas no se las podrá aplicar en un solo punto por consideración del equilibrio, además, de esta forma los resultados del factor de seguridad que entrega el programa son más exactos. El resultado que se obtuvo al realizar el análisis fue de un factor de seguridad de 4.2. En la **Figura 44** se observa el resultado que se obtuvo con la simulación en el software de diseño.

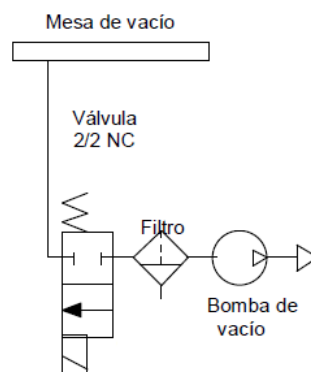


**Figura 44 Factor de seguridad del portador de plástico**

### 2.8.3 Sistema de vacío

En el diseño del sistema de vacío se realiza el dimensionamiento para la selección de la bomba, la cual se encarga de la extracción del aire que está atrapado entre el molde y la lámina de plástico caliente haciendo que ésta se adhiera y obtenga la forma del molde.

El sistema de vacío de la máquina termoformadora consta de las siguientes partes indicadas en la **Figura 45**.



**Figura 45 Sistema de vacío**

- **Mesa de vacío:** es una caja que tiene en la cara superior perforaciones por donde será succionado al aire produciendo que la lámina de plástico se pegue al molde.
- **Electroválvula 2/2 NC:** impide que se pierda el vacío solo se abre al momento que la bomba está realizando el vacío.
- **Filtro:** protege a la bomba de la entrada impurezas.
- **Bomba de vacío:** se encarga de la succión del aire en la mesa de vacío.

#### a Selección de la bomba de vacío

Para la selección de la bomba de vacío se calcula la velocidad a la que se va a realizar el vacío, para la cual se utiliza la siguiente fórmula (tomada del Manual del Ingeniero Mecánico de Marks):

$$S = \frac{V}{t_2 - t_1} \ln \frac{P_1}{P_2} \quad \text{Ec. 2. 3}$$

Donde:  $S$  = Caudal requerido para el vacío, [ $m^3/s$ ]

$V$  = Volumen a desplazar, [ $m^3$ ]

$t_1$  = Tiempo inicial, [s]

$t_2$  = Tiempo final, [s]

$P_1$  = Presión inicial, [plg Hg]

$P_2$  = Presión final, [plg Hg]

El volumen a desplazar está comprendido el volumen total de aire que va a ser desplazado.

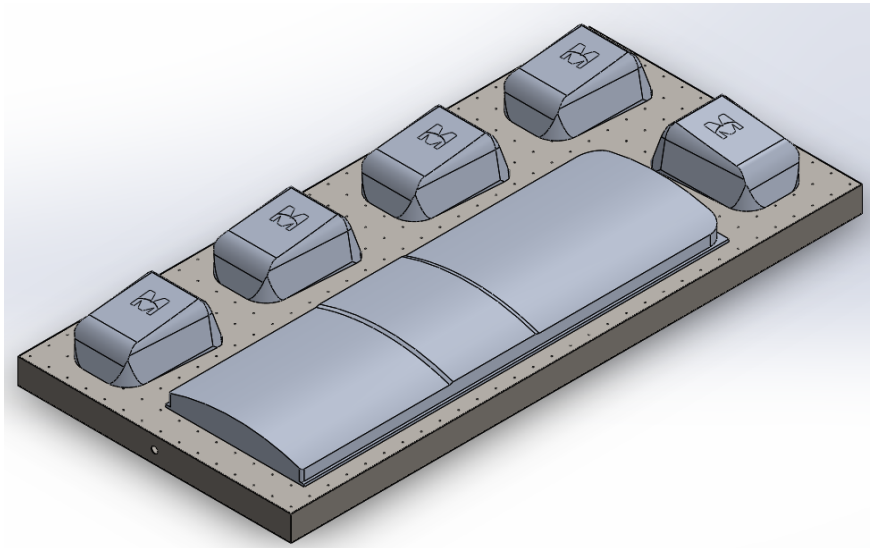
$$V = V_{molde} + V_{mesa} + V_{mangueras} \quad \text{Ec. 2. 4}$$

Donde:  $V_{molde}$  = Volumen de aire a desplazar de los moldes, [ $m^3$ ]

$V_{mesa}$  = Volumen de aire a desplazar en la mesa de vacío, [ $m^3$ ]

$V_{mangueras}$  = Volumen de aire a desplazar en la manguera desde la mesa hasta antes del filtro, [ $m^3$ ]

Para estimar el máximo volumen del molde se realizó el dibujo tridimensional de los moldes en un software de diseño asistido por computador, estimando para esto el área máxima de la mesa de vacío y la cantidad máxima de moldes que caben en ésta área. Siendo así 5 basureros y 1 puerta como se los aprecia en la **Figura 46**.



**Figura 46** Ensamble de moldes y mesa de vacío

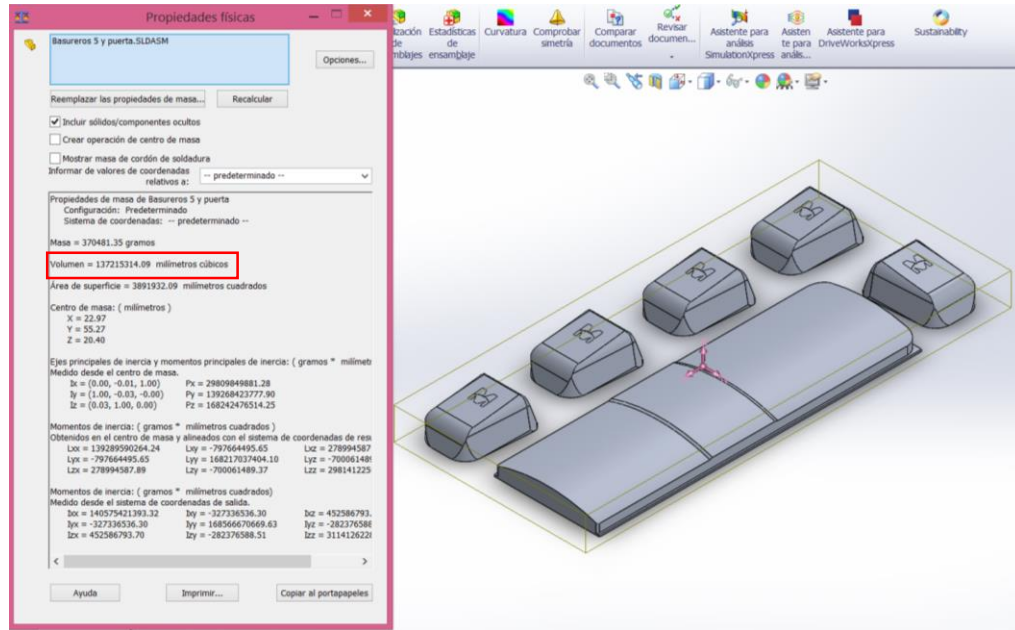
Se realiza esta prueba con los 5 basureros y la puerta debido a que son los moldes más grandes que se pueden usar para la producción.

Luego de confirmar esto se obtuvo el volumen total mediante el cálculo que entrega el programa. Este dato se lo puede observar en la **Figura 47**.

El valor entregado por el software se encuentra en milímetros cúbicos los cuales se los transforma a metros cúbicos para un mejor manejo de los cálculos.

$$V_{molde} = 137215314.09 \text{ mm}^3 \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{(1000 \times 10^3) \text{ mm}^3}$$

$$V_{molde} = 0.1372 \text{ m}^3$$



**Figura 47 Volumen de moldes calculado**

Las dimensiones externas de la mesa de vacío donde se colocan los moldes son de 1.08 m de largo por 2.275 m de ancho, con una altura de 20 cm que es igual a 0,2 m. El espesor de las caras que la forman es de 36 mm dándonos como resultado las siguientes medidas internas; 1.008 m de largo por 2.203 m de ancho y un alto de 0.128 m.

$$V_{\text{mesa}} = 1.008 \text{ m} \times 2.203 \text{ m} \times 0.128 \text{ m}$$

$$V_{\text{mesa}} = 0.284 \text{ m}^3$$

Desde la mesa de vacío hasta el filtro que esta antes de la bomba de vacío se encuentra una manguera de caucho reforzada con alma de acero, con un diámetro de 1 ½ pulgada con una longitud de 1,5 metros.

$$V_{\text{mangueras}} = \pi \times r^2 \times l$$

Donde:  $r^2$  = Radio de la manguera, [m]

$l$  = Longitud de la manguera, [m]

$$V_{\text{mangueras}} = 3.1416 \times (3.81 \text{ cm})^2 \times 150 \text{ cm}$$

$$V_{\text{mangueras}} = 6849.55 \text{ cm}^3 \cong 0.0068 \text{ m}^3$$

Por consiguiente el volumen total a desplazar se calcula a continuación, retomando la ecuación 2.4.

$$V = V_{molde} + V_{mesa} + V_{mangueras}$$

$$V = 0.1372 \text{ m}^3 + 0.284 \text{ m}^3 + 0.0068 \text{ m}^3$$

$$V = 0.428 \text{ m}^3$$

El tiempo con el que la bomba va a evacuar el volumen  $V$  es de 6.0 segundos. Retomando la ecuación de 2.3 se obtienen los siguientes resultados.

$$S = \frac{0.428 \text{ m}^3}{6.0 \text{ seg}} \times \ln \frac{29.89 \text{ plg Hg}}{15 \text{ plg Hg}}$$

$$S = 0.049 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Para poder seleccionar la bomba los fabricantes usan la medida CFM, que es la representación de pie cubico por cada minuto de tiempo transcurrido.

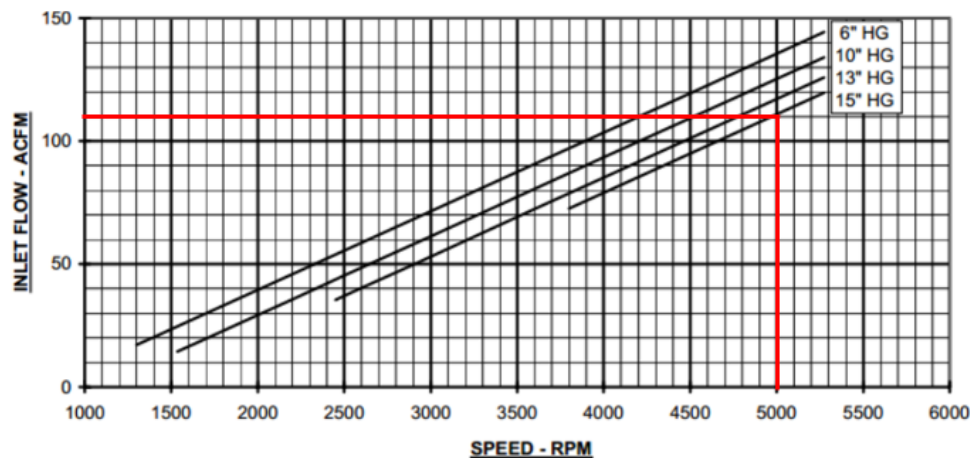
$$S = 0.049 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}} \times \frac{60 \text{ seg}}{1 \text{ min}} \times \frac{(3.28)^3 \text{ pie}^3}{1 \text{ m}^3}$$

$$S = 104.19 \text{ pie}^3/\text{min} \approx 105 \text{ CFM}$$

La bomba seleccionada para las pruebas de la máquina es de la marca ROOTS, modelo 24 U-RAI y configuración LHC, la cual posee una capacidad máxima de succión máxima de 148 CFM.

#### **b Selección del motor para la bomba de vacío**

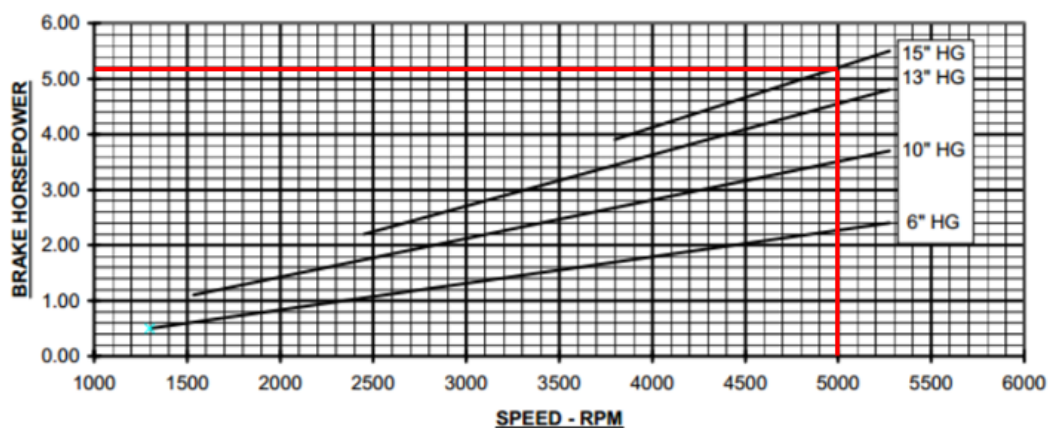
Se debe seleccionar un motor que satisfaga los requerimientos que necesita la bomba, los cuales vienen establecidos por el fabricante. Como se revisó anteriormente el caudal requerido para la evacuación del volumen máximo de trabajo es de aproximadamente 110 CFM, en la tabla que proporciona el fabricante se observa que para generar el caudal para las 15" de Mercurio se requiere un aproximado de 5000 RPM, como se muestra en la **Figura 48**.



**Figura 48 Caudal-Velocidad para bomba de vacío 24 U-RAI**

**Fuente:** (PDBlowers Inc, 2004)

Para la selección de cualquier motor siempre se debe conocer el torque que necesita generar para realizar su trabajo, siguiendo ésta recomendación nos dirigimos a la siguiente gráfica que entrega el proveedor, en la cual utilizando la velocidad que determinamos anteriormente y la presión de vacío que se va a generar se obtiene el torque requerido para el motor, dando como requisito 5,1 HP, mostrado en la **Figura 49**, para medidas comerciales se redondea al inmediato inferior requiriendo usar un motor de 5 HP de torque con 5000 RPM.



**Figura 49 Torque-Velocidad para bomba de vacío 24 U-RAI**

**Fuente:** (PDBlowers Inc, 2004)

Teniendo en cuenta éstos datos se seleccionó un motor de marca Allen Bradley, que posee una potencia de 5 HP y una velocidad máxima de 3450 RPM y necesita una

alimentación trifásica de 220 V. Para aumentar la velocidad a 5000 RPM que necesitamos se usará un sistema de transmisión por bandas y poleas que se detallan en el siguiente tema.

#### 2.8.4 Selección de la banda

La banda es el elemento que va a transmitir la energía motriz desde el motor eléctrico hacia la bomba de vacío, para poder realizar la selección se utilizan los datos anteriormente calculados de los elementos seleccionados en el tema anterior. Los datos preliminares son los siguientes:

- Potencia motor: 5 HP.
- RPM del motor: 3600 rpm.
- RPM máquina impulsada: 5000 rpm.
- Distancia aproximadamente entre centros de los ejes: 60 cm.
- Diámetros de los ejes: 2 cm.
- Horas promedio de operación al día: 8 horas.
- **Paso 1: Determinar la potencia de diseño**

Consultando la **Tabla 15**; en la columna de la izquierda se busca el equipo o un equipo similar al de su aplicación y en las columnas de la derecha se busca el tipo de unidad motriz que se usará.

El factor de servicio seleccionado es 1.3.

Multiplicando la Potencia del motor por el Factor de servicio:

$$\text{Potencia de diseño} = 5HP * 1.3$$

$$\text{Potencia de diseño} = 6.5 HP$$

**Tabla 15**

**Factores de servicio**

<p><b>EL FACTOR DE SERVICIO CORRECTO SE DETERMINA POR:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. La extensión y frecuencia de las cargas pico.</li> <li>2. El número de horas de operación al año, divididas en un promedio de horas al día de servicio continuo.</li> <li>3. La categoría de servicio apropiada (intermitente, normal o continuo). Seleccione aquella que más se aproxime a las condiciones de su aplicación.</li> </ol>		<p><b>SERVICIO INTERMITENTE — FACTOR DE SERVICIO 1.0 A 1.5</b></p> <p><b>a - Trabajo Ligero —</b> No más de 6 horas al día.  <b>b -</b> No debe exceder la carga promedio.</p> <p><b>SERVICIO NORMAL — FACTOR DE 1.1 A 1.6</b></p> <p><b>a -</b> Servicio diario de 6 a 16 horas al día.  <b>b -</b> Donde el arranque ocasional o las cargas pico no excedan el 200% de la carga total.</p> <p><b>SERVICIO CONTINUO — FACTOR DE 1.2 A 1.8</b></p> <p><b>a -</b> Donde el arranque o la carga pico exceda el 200% de la carga total o donde el arranque o las cargas pico y sobrecargas ocurran frecuentemente.  <b>b -</b> Servicio continuo de 16 a 24 horas al día.</p>													
FACTORES DE SERVICIOS TÍPICOS															
TIPOS DE MÁQUINAS DE TRANSMISIÓN			TIPOS DE UNIDADES MOTRICES												
<p>Los tipos de máquinas de manejo que se utilizan a continuación son solamente ejemplos representativos. Seleccione de la lista la categoría que más se aproxime a su aplicación.</p> <p><b>SI SE UTILIZAN RUEDAS LOCAS, AÑADA LO SIGUIENTE AL FACTOR DE SERVICIO:</b></p> <table border="0"> <tr> <td>Rueda loca en todo tipo (dentro)</td> <td>Ninguna</td> </tr> <tr> <td>Rueda loca en todo tipo (afuera)</td> <td>0.1</td> </tr> <tr> <td>Rueda loca en todo tipo (dentro)</td> <td>0.1</td> </tr> <tr> <td>Rueda loca en todo tipo (afuera)</td> <td>0.2</td> </tr> </table>			Rueda loca en todo tipo (dentro)	Ninguna	Rueda loca en todo tipo (afuera)	0.1	Rueda loca en todo tipo (dentro)	0.1	Rueda loca en todo tipo (afuera)	0.2	<p><b>MOTORES ELÉCTRICOS</b></p> <p>AC Tercera Normal                      Jaula de Alfil                      y Sincrono                      AC Fase Dividida                      DC Dinámico Compuesto                      Motores de Combustión Interna</p>		<p><b>MOTORES ELÉCTRICOS</b></p> <p>AC Alta Tensión                      AC Multi-Fase Dividida                      AC Repetición-Inducción                      AC Monofásico                      Dinámico en Serie                      AC Anillo de Desplazamiento                      DC Dinámico Compuesto</p>		
Rueda loca en todo tipo (dentro)	Ninguna														
Rueda loca en todo tipo (afuera)	0.1														
Rueda loca en todo tipo (dentro)	0.1														
Rueda loca en todo tipo (afuera)	0.2														
			SERVICIO INTERMITENTE	SERVICIO NORMAL	SERVICIO CONTINUO	SERVICIO INTERMITENTE	SERVICIO NORMAL	SERVICIO CONTINUO							
<p>Aplicaciones para Líquidos                      Ventiladores y Aspiradores                      Bombas Centrífugas y Compresoras 1/2                      Ventiladores de Suelo 10 Caballos de Fuerza                      Transportadores de Trabajo Ligero</p>			1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3							
<p>Transportadores de Banda para Arena, Grano, etc.                      Arrastrados                      Ventiladores de más de 10 Caballos de Fuerza                      Generadores                      Ejes de Línea                      Mecanismo de Lavandería                      Mezclador-Mezclador                      Toldos Premontados                      Mecanismo de Impulso                      Bombas Rotatorias de Desplazamiento Positivo                      Cranes Gólicas y Vibratorias</p>			1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4							
<p>Mecanismo para Lámparas                      Excavadores de Cargadores                      Excavadores                      Compresores de Pistones                      Transportadores (Ruedas, Rodillos, Trolleys)                      Motores de Bombas                      Hidráulico                      Bombas de Pistones                      Seguidores de Desplazamiento Positivo                      Pulverizadores                      Mecanismo para Molinos de Saca y Trabajo en Molinos                      Mecanismo Trolly</p>			1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6							
<p>Queltrones (Generadores-Motores-Rodillos)                      Molinos (Saca- Saca- Rodillos)                      Molinos                      Molinos — Extruídos — Molinos de Hule</p>			1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8							
Equipo con Arrastre			2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0							

Fuente: (Martín)

● **Paso 2. Seleccione la Sección de la Banda**

En la **Tabla 16**, tabla de selección para bandas de alta capacidad o la tabla de selección para bandas convencionales. Se debe encontrar la Potencia de diseño calculada en el paso 1 y subir hasta encontrar la Velocidad del eje más rápido. En el punto donde las líneas se intersectan será la sección de banda recomendada para la aplicación.

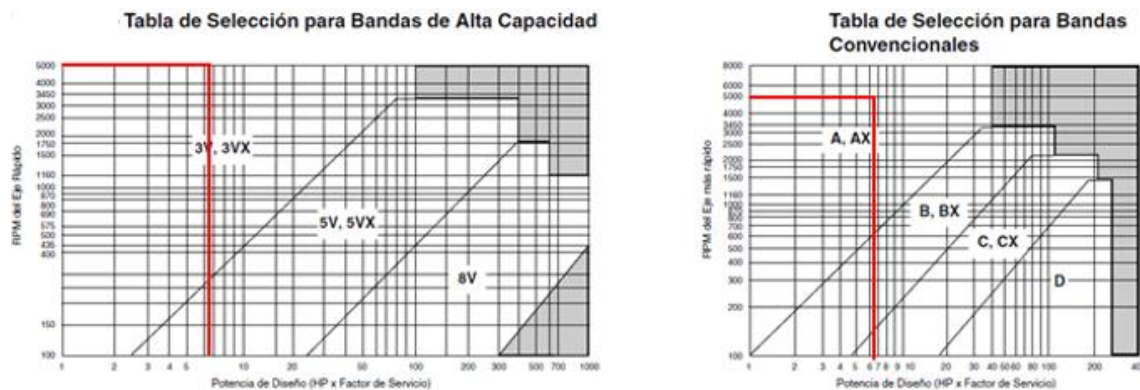
Teniendo así 4 opciones 3V, 3VX, A, AX pero se sugirió escoger la opción 3V.

En la **Tabla 17**, diámetro mínimo de la polea recomendado. En la intersección de la potencia del motor y las RPM se encontrará el diámetro de la polea recomendado.



Tabla 16

## Selección para bandas de Alta Competencia y Bandas Convencionales



Fuente: (Martín)

Tabla 17

## Diámetro mínimo para polea de motor eléctrico

POTENCIA DEL MOTOR	RPM DEL MOTOR					
	575	695	870	1160	1750	3450
.50	2.50	2.50	2.50	—	—	—
.75	3.00	2.50	2.50	2.50	—	—
1.00	3.00	3.00	2.50	2.50	2.25	—
1.50	3.00	3.00	3.00	2.50	2.50	2.25
2.00	3.75	3.00	3.00	2.50	2.50	2.50
3.00	4.50	3.75	3.00	3.00	2.50	2.50
5.00	4.50	4.50	3.75	3.00	3.00	2.50
7.50	4.25	4.50	4.50	3.75	3.00	3.00
10.00	6.00	5.25	4.50	4.50	3.75	3.00
15.00	6.75	6.00	5.25	4.50	4.50	3.75
20.00	8.25	6.75	6.00	5.25	4.50	4.50
25.00	9.00	8.25	6.75	6.00	4.50	4.50★
★30.00	10.00	9.00	6.75	6.75	5.25	—
40.00	10.00	10.00	8.25	6.75	6.00	—
50.00	11.00	10.00	9.00	8.25	6.75	—
60.00	12.00	11.00	10.00	9.00	7.50	—
75.00	14.00	13.00	10.00	10.00	9.00	—
100.00	18.00	15.00	13.00	13.00	10.00	—
125.00	20.00	18.00	15.00	13.00	11.00	—
150.00	22.00	20.00	18.00	13.00	—	—
200.00	22.00	22.00	22.00	—	—	—
250.00	22.00	22.00	—	—	—	—
300.00	27.00	27.00	—	—	—	—

Fuente: (Martín)

Según la tabla el diámetro mínimo de la polea para el motor eléctrico es de 3 pulgadas.

- Paso 3. Determine la Relación de Velocidad

Dividir las rpm del eje más rápido entre las rpm del eje más lento.

$$\text{Relación de velocidad} = \frac{5000}{3600} = 1.39$$

- **Paso 4. Seleccione los diámetros de las poleas**

En la **Tabla 18** seleccionar una polea cuya medida esté cerca de la calculada en el paso 2.

**Tabla 18**

**Poleas existente para bandas 3V**

<b>3V</b>	
<b>Diám. Exterior</b>	<b>Diám. de Paso</b>
2.20	2.15
2.35	2.30
2.50	2.45
2.65	2.60
2.80	2.75
<u>3.00</u>	<u>2.95</u>
3.15	3.10
3.35	3.30
3.65	3.60
4.12	4.07
4.50	4.45
4.75	4.70
5.00	4.95
5.30	5.25
5.60	5.55
6.00	5.95
6.50	6.45
6.90	6.85
8.00	7.95
10.60	10.55
14.00	13.95
19.00	18.95
25.00	24.95
33.50	33.45

**Fuente:** (Martín)

En este caso se seleccionó una polea de diámetro exterior de 3 pulgadas con un diámetro de paso de 2.95 pulgadas.

Calcule la Velocidad de la banda usando la siguiente fórmula:

$$V_b = 0.262 \times D_p$$

Donde:  $V_b$  = Velocidad de la banda, [rpm]

$D_p$  = Diámetro de paso de la polea por las rpm de la misma polea, [plg]

$$V_b = 2.62 \times (2.95 \times 3600)$$

$$V_b = 2782.44 \text{ pie}/\text{min}$$

Para determinar el valor de la polea impulsada se divide el diámetro de la polea motriz para la relación de velocidad.

$$\frac{3 \text{ pulg}}{1.39} = 2.15 \text{ pulg}$$

El diámetro de la polea impulsada será de 2.15 pulgadas.

- **Paso 5. Determine la Distancia entre Centros y el largo de la banda**

Primero se calcula la distancia entre centros con la siguiente fórmula:

$$C = \frac{D+3d}{2} \quad \text{Ec. 2. 5}$$

Donde:  $D$  = Diámetro exterior de la polea impulsada, [plg]

$d$  = Diámetro exterior de la polea motriz, [plg]

$$C = \frac{3 \text{ pulg} + 3(2.15 \text{ pulg})}{2}$$

$$C = 4.7525 \text{ pulg}$$

Para calcular la longitud de la banda requerida cuando se conoce la distancia entre centros, utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{longitud de la banda} = 2C + 1.57(D + d) + \frac{(D+d)^2}{4} \quad \text{Ec. 2. 6}$$

$$\text{longitud de la banda} = 2(4.7525) + 1.57(3 + 2.15) + \frac{(3 + 2.15)^2}{4}$$

$$\text{longitud de la banda} = 17.71 \text{ pulg}$$

Como el usuario de la máquina sugirió una distancia de centros de aproximadamente 19 pulgadas (48.3 centímetros) se hace el cálculo de la longitud de banda con este valor.

$$\text{longitud de la banda} = 2(19) + 1.75(3 + 2.15) + \frac{(3 + 2.15)^2}{4}$$

*longitud de la banda = 53.6 pulg*

## **2.9 Elementos para automatización y control**

### **2.9.1 Selección del controlador**

Al seleccionar el controlador se debe considerar diferentes características que debe cumplir para poder controlar el proceso de forma eficiente. Los requerimientos que se debe considerar son las siguientes:

- La capacidad de entradas/salidas que se requieren, así también la propiedad de expansión para necesidades futuras.
- El tipo de entradas/salidas que se requieren, dependiendo del tipo de uso pueden ser digitales o analógicas.
- La capacidad de memoria que se requiere, está en relación con la cantidad de entradas/salidas y además de la complejidad del programa que va a ejecutar el controlador.
- La velocidad y capacidad debe tener la unidad central del proceso (CPU). Esto tiene relación con los tipos de instrucciones que va a manejar el controlador, así también cuanto mayor sea la cantidad de entradas/salidas que deba manejar, mayor debe ser la velocidad del CPU.

En la **Tabla 19** se muestra algunos de los controladores que podrían ser utilizados para la automatización de la máquina termoformadora. Para seleccionar un controlador debemos tener en cuenta la cantidad de entradas y salidas digitales que se van a utilizar en la automatización de la máquina.

#### **a Entradas digitales**

1. Paro de emergencia.
2. Sensor de posición el plástico está en el horno.
3. Sensor de posición para home.
4. Sensor de posición el plástico está en la etapa de vacío.

5. Pulsador para abrir gripper.
6. Pulsador para cerrar gripper.
7. Pulsador para realizar la operación de home.
8. Pulsador para iniciar el proceso automático de termoformado.
9. Pulsador para terminar la operación de vacío.
10. Alarma de set point alcanzado.

#### **b Salidas digitales**

1. Electroválvulas para abrir el gripper.
2. Electroválvulas para cerrar el gripper.
3. Electroválvula para subir el portador de láminas de plástico.
4. Electroválvula que hace bajar el portador de plástico.
5. Voltaje de control para el Relé de Estado Sólido.
6. Contactor para activar el sistema de vacío.
7. Contactor para activar el sistema de enfriamiento.
8. Control para luces indicadores de proceso.

#### **c Entradas analógicas**

1. Temperatura de calentamiento en el horno.
2. Temperatura de enfriamiento del plástico.

**Tabla 19**

#### **Controladores para automatización**

	Entradas digitales	Salidas digitales	Entradas analógicas	Modular	Satisface
<b>SIEMENS S7 1200</b>	14	10 a relé	2	Si	Si
<b>XINGE</b>	18	14 a relé	2	Si	Si
<b>RENU</b>	16	12 a relé	2	Si	Si
<b>LOGO! 24 RC</b>	12	8 a relé	2	SI	SI

De acuerdo a la **Tabla 19** se puede seleccionar cualquiera de los controladores mencionados, pero por factores económicos se decide utilizar el PLC SIEMENS LOGO!

24 RC 6ED1 052-1HB00-0BA6 que cumple con los requerimientos de automatización de la máquina termoformadora.

### **2.9.2 Selección de sensores**

Para la selección de los sensores se determinan las variables que se cumplen en el proceso, teniendo así; temperatura y posición. Estas magnitudes serán controladas mediante sensores, los cuales fueron descritos en el capítulo anterior y se detallan a continuación.

#### **a Sensor de temperatura**

Como se describió anteriormente el módulo analógico para termocupla del LOGO! solo permite dos tipos de sensores, PT100 o PT1000. El sensor seleccionado es el PT100.

El sensor PT100 consiste en un alambre de platino que a 0 °C tiene una resistencia de 100 ohms y que al aumentar la temperatura también aumenta su resistencia eléctrica.

### **2.9.3 Selección de relés**

En la selección de los relés se tomó en consideración los siguientes aspectos:

- Voltajes de operación.
- Amperaje de operación.
- Facilidad de instalación.
- Aislamiento del circuito de control.
- Disponibilidad del producto en el mercado.

#### **b Relé de estado sólido**

El relé de estado sólido (SSR) es un elemento electrónico que permite el aislamiento entre el circuito de entrada o control y el circuito de salida o potencia.

Para seleccionar el relé de estado sólido se debe conocer la corriente máxima de trabajo, en este caso la corriente de consumo de las resistencias eléctricas anteriormente diseñadas.

Las resistencias van a estar conectadas en triángulo con una alimentación de voltaje trifásico; y tomando los datos proporcionados por el fabricante de las resistencias procedemos a la selección del relé.

**Tabla 20**

**Características de las resistencias eléctricas**

Características de resistencias eléctricas	
<b>Potencia</b>	25 000 W
<b>Voltaje</b>	220 Vac trifásico
<b>pf</b>	0.9

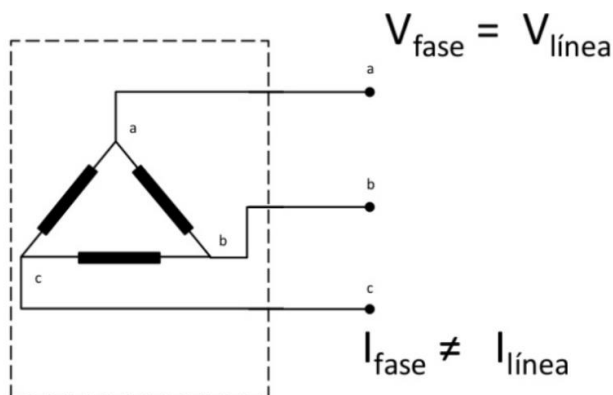
Se calcula la corriente trifásica de línea, usando la siguiente ecuación.

$$I_l = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V_l \cdot pf} \quad \text{Ec. 2.7}$$

$$I_l = \frac{25000}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 0.9}$$

$$I_l = 72.9 \text{ A}$$

Como puede observarse en la **Figura 50**, en una conexión en triángulo la corriente de línea no es la misma a la corriente de fase, debido a que la corriente se reparte por todos los elementos que componen la conexión.



**Figura 50 Conexión trifásica en triángulo**

**Fuente:** (Acebo Rueda, 2013)

$$I_f = \frac{I_l}{\sqrt{3}}$$

$$I_f = \frac{72.9 \text{ A}}{\sqrt{3}}$$

$$I_f = 42.08 \text{ A}$$

Los fabricantes de relé de estado sólido recomiendan que un relé debe trabajar al 70% de su corriente nominal para obtener un óptimo rendimiento, alargando su vida útil y para evitar que sufra daños. Por esto la corriente de fase tomamos como el 70% de la corriente nominal de trabajo del relé a seleccionar, para realizar el cálculo realizamos una regla de tres.

Corriente	Porcentaje
42.08	70
$I_n$	100

$$I_n = \frac{100 (42.08)}{70}$$

$$I_n = 60.1 \text{ A} \approx 60 \text{ A}$$

Las medidas comerciales son en números enteros aproximamos al valor calculado, seleccionando así un relé de estado sólido trifásico de marca Shenhai que resiste una corriente máxima de trabajo de 60 amperios, hasta 380 Vac de carga y un voltaje de control de 3 a 32 Vdc.

#### 2.9.4 Selección de protecciones eléctricas

Para realizar una excelente conexión de todo el circuito de potencia se debe usar protecciones asegurando el bienestar de todos los elementos eléctricos, estos elementos de seguridad que abren la conexión interna en caso de existir un aumento de la corriente o en el peor de los casos que exista un corto circuito entre las conexiones.



## c Selección de breaker

### c.1 Protección para la alimentación trifásica

La alimentación trifásica va a proporcionar la energía para todo el sistema eléctrico, para dimensionar la protección tomamos la corriente de línea máxima que va a ser consumida, en éste caso son las resistencias eléctricas del horno; retomamos los cálculos en la sección **2.9.3.b**.

$$I_l = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V_l \cdot pf}$$

$$I_l = \frac{25000 \text{ W}}{\sqrt{3} \cdot 220 \text{ V} \cdot 0.9}$$

$$I_l = 72.9 \text{ A}$$

Por recomendaciones se debe sobredimensionar incrementando 1.5 veces la corriente nominal a la que va a estar trabajando.

$$I_t = 1.5 \cdot I_l$$

$$I_t = 1.5(72.9 \text{ A})$$

$$I_t = 109.4 \text{ A}$$

Debido a que la cantidad comercial es un número entero tomamos el que esté más cerca al calculado para colocar el breaker de protección para la línea trifásica, para lo cual seleccionamos un breaker trifásico de 100 amperios.

### c.2 Protección para el motor eléctrico

Igual que el tema anterior calculamos la corriente de consumo del motor para poder dimensionar el térmico para proteger el motor en caso de que exista una sobre carga de corriente.

Como se indicó anteriormente se va usar un motor Allen Bradley que tiene los siguientes datos:

**Tabla 21****Características del motor Allen Bradley**

Características de motor Allen Bradley	
<b>Potencia</b>	5 HP
<b>Voltaje</b>	220 Vac trifásico
<b>pf</b>	0.9

Para calcular la corriente trifásica se usa la siguiente expresión, en la cual la potencia debe estar expresada en vatios.

$$I_t = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot pf}$$

Convertimos la potencia en vatios, multiplicando los caballos de fuerza por el factor de conversión para vatios.

$$P = 5 \text{ HP} \cdot \frac{745.7 \text{ W}}{1 \text{ HP}}$$

$$P = 3728.5 \text{ W}$$

Retomamos la fórmula de la corriente trifásica.

$$I_b = \frac{3728.5 \text{ W}}{\sqrt{3} \cdot 220 \text{ V} \cdot 0.9}$$

$$I_b = 10.87 \text{ A}$$

Por recomendaciones se debe sobre dimensionar 1.25 veces a la corriente de nominal a la que va a trabajar.

$$I_t = 1.2 I_b$$

$$I_t = 1.25(10.87 \text{ A})$$

$$I_t = 13.59 \text{ A} \approx 14$$

Las cantidades comerciales son números enteros redondeamos obteniendo una corriente de 12 amperios para el breaker que va a proteger la conexión del motor eléctrico. El breaker comercial más cercano es el de 16 amperios que es más adecuado para la protección del motor.

#### **d Selección de fusibles**

Los fusibles son elementos que ayudan a las protecciones a asegurar que los elementos no se deterioren por exceso de corriente, cuando existe un exceso de corriente se funde su elemento de seguridad rompiendo la conexión del circuito eléctrico que está protegiendo. Al igual que en el caso de la selección de breaker se debe calcular la corriente nominal de consumo de los elementos eléctricos que el fusible va a proteger, por lo que tenemos los siguientes resultados.

##### **d.1 Fusible para motor eléctrico**

Como anteriormente calculamos la corriente máxima del motor retomamos esos datos para la selección del fusible.

$$I_n = 10.87 A \approx 10 A$$

El fusible soporta una corriente mayor a la que está marcada en su carcasa, por lo que seleccionamos un fusible de 16 amperios que es la medida estándar comercial.

##### **d.2 Fusible para las resistencias eléctricas del horno**

Las resistencias eléctricas del horno van a estar conectadas en triángulo con una alimentación trifásica, por esta razón usamos la corriente de fase calculada anteriormente en la sección **2.9.3.b**.

$$I_f = 42.08 A$$

A esta corriente le sobre dimensionamos para tener una máxima seguridad, para esto usamos un factor de seguridad de 1,25 veces de la corriente nominal de la fase.

$$I_s = 1.25 I_f$$

$$I_s = 1,25(42.08 A)$$

$$I_s = 52.6 A \approx 53 A$$

Para seleccionar el fusible que se va a usar, buscamos una medida comercial más próxima a la cantidad calculada por lo tanto usamos un fusible de 50 amperios que a la vez ayuda a proteger el relé de estado sólido ya que éste si resiste un amperaje máximo de 60 amperios.

### 2.9.5 Selección de cables para las conexiones eléctricas

El cable es el elemento encargado de conectar los diferentes componentes que constituyen la máquina para formar el circuito eléctrico. Para seleccionar el calibre del conductor eléctrico debemos conocer las corrientes que va a circular por el mismo, como se explicó anteriormente las corrientes de consumo de la máquina son diferentes dependiendo de los equipos utilizados. En la **Tabla 22** se puede apreciar los diferentes calibres de cable que se usan dependiendo del elemento de consumo.

**Tabla 22**

#### Selección de cable AWG

Calibre de cable	Corriente máxima soportada a 30° C	Elemento de consumo	Corriente de consumo
<b>18 AWG</b>	10 A	Circuito de control en general	5 A
<b>14 AWG</b>	15 A	Motor eléctrico trifásico	13 A
<b>8 AWG</b>	43 A	Resistencias eléctricas en triángulo	35 A
<b>6 AWG</b>	57 A	Alimentación general de toda la máquina	53 A

Fuente: (Disensa, 2015)

### 2.10 Sistema neumático

Para realizar trabajos en producción es muy común que se utilice aire comprimido.

En la máquina termoformadora se hace uso de aire comprimido para realizar la sujeción del plástico en los marcos donde es colocado mediante cilindros de carrera corta que trabajan a manera de gripper; y para el desplazamiento del plástico en las diferentes etapas del proceso mediante cilindros de carrera larga.

Para la realización de los cálculos se conoce las condiciones normales de trabajo, la mayoría de herramientas y equipos neumáticos están contruidos para tener su óptimo desempeño a una presión entre 6 y 7 bar.

El sistema neumático está constituido por los siguientes elementos:

- Diez cilindros compactos distribuidos uniformemente en todo el perímetro del marco sujetador para poder sujetar la lámina de plástico.
- Dos cilindros que soportan el peso de todo el marco portador de plástico; éstos cilindros tendrán tres posiciones de trabajo trasladando el plástico por las mismas. Las posiciones son; inicio la cual es a la mitad de la carrera del cilindro, calentamiento cuando los cilindros están recogidos y la de termoformado cuando el vástago está fuera del cilindro.
- Electroválvulas 5/2 (5 vías, 2 posiciones) encargadas de accionar los cilindros compactos para la sujeción del plástico. Electroválvula 5/3 (5 posiciones, 3 vías) encargada de accionar las tres posiciones de los cilindros que desplazan el plástico en las distintas etapas del proceso.
- Unidad de mantenimiento, la cual está constituida por un filtro, regulador de presión y un lubricador, encargado de dar un tratamiento al aire para evitar que ingrese humedad a los distintos elementos neumáticos.
- Tuberías de servicio, son encargadas de transportar el aire a presión a los distintos elementos neumáticos en su punto de operación.
- Acoples rápidos que permiten unir la manguera con los cilindros y electroválvulas.

### 2.10.1 Selección de cilindros neumáticos para la sujeción del plástico

Se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones para la selección de cilindros neumáticos:

- Los cilindros son de doble efecto y de la misma longitud de carrera, debido a que los espesores de las láminas de plásticos a trabajar es de máximo 4 milímetros seleccionamos la carrera mínima de 10 milímetros.
- La presión mínima de trabajo es de 6 bar.

Además como se mencionó en el capítulo anterior los cilindros tienen dos fuerzas una mayor y una menor debido al área que ocupa el émbolo en el vástago; teniendo esto en consideración calculamos la fuerza que va a generar el cilindro en el instante que va a regresar expresada en la siguiente ecuación.

$$F = P \times A \quad \text{Ec. 2. 8}$$

Dónde:  $P$  = Presión neumática, [bar]

$A$  = Área sobre la que actúa el aire comprimido, [mm<sup>2</sup>]

Siguiendo los catálogos de los cilindros neumáticos seleccionamos los MCJT-12-32-10, que tiene una carrera de 10 milímetros y los siguientes datos de diámetros.

$$D_{\text{émbolo}} = 32 \text{ mm}$$

$$D_{\text{vástago}} = 16 \text{ mm}$$

Calculamos el área comprendida entre el vástago y el émbolo, usando la fórmula de áreas para superficies circulares.

$$A = \frac{\pi(D_e^2 - D_v^2)}{4}$$

$$A = \frac{\pi(32^2 - 16^2)mm^2}{4}$$

$$A = 603.19 \text{ mm}^2$$

Convertimos los 6 bar de presión a unidades de  $kgf/cm^2$ .

$$P = 6 \text{ bar} \cdot \frac{1.0197 \text{ kgf}}{1 \text{ bar} \cdot cm^2}$$

$$P = 6.1183 \text{ kgf}/cm^2$$

Reemplazamos los valores en la ecuación 2.8 obtenemos el siguiente resultado:

$$F = 6.1183 \frac{kgf}{cm^2} \times 603.19 \text{ mm}^2 \times \frac{1 \text{ cm}^2}{(10)^2 \text{ mm}^2}$$

$$F = 36.9 \text{ kgf}$$

La fuerza de cierre que el gripper va a ejercer en el cierre es de aproximadamente 37 kgf, la cual es uniforme en todo el perímetro que se realiza la presión ya que los cilindros están ubicados en paralelo en toda la sujeción.

### 2.10.2 Selección de cilindros neumáticos para desplazar el sujetador de plástico

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores sobre la selección de cilindros neumáticos, realizamos el mismo procedimiento para seleccionar los cilindros de 500 milímetros de carrera. Para esto seleccionamos los cilindros MCQI-11-40-500 que cumplen con la longitud de carrera deseada, y tienen los siguientes diámetros:

$$D_{\text{embolo}} = 40 \text{ mm}$$

$$D_{\text{vástago}} = 16 \text{ mm}$$

Repetimos el procedimiento anterior para verificar la fuerza que producen estos cilindros.

$$A = \frac{\pi(D_e^2 - D_v^2)}{4}$$

$$A = \frac{\pi(40^2 - 16^2)mm^2}{4}$$

$$A = 1055.58 \text{ mm}^2$$

La presión es la misma así que tomamos el valor anteriormente calculado y con el nuevo valor del área retomamos la ecuación 2.8, obteniendo el siguiente resultado:

$$F = 6.1183 \frac{kgf}{cm^2} \times 1055.58 mm^2 \times \frac{1 cm^2}{(10)^2 mm^2}$$

$$F = 64.58 kgf$$

La fuerza producida por cada cilindro es de 64.58 kgf, el peso total del conjunto entre el sujetador de plástico y la lámina de plástico es de 80 kgf, por lo tanto el cilindro seleccionado satisface nuestra necesidad.

## 2.11 Diseño térmico

### 2.11.1 Selección de la potencia de los calefactores

Se calcularán las pérdidas de calor con el ambiente y la energía necesaria para llegar a temperatura de termoformado de la lámina, y así conocer la potencia que deberán tener los calefactores y compensar las pérdidas por convección y conducción calculadas, por lo tanto el proceso tiene el siguiente balance energético:

$$Q_{conducción} + Q_{convección} + Q_f = P \quad \text{Ec. 2.9}$$

Donde:  $Q_{conducción}$  = Calor perdido por convección, [W]

$Q_{convección}$  = Calor perdido por conducción, [W]

$Q_f$  = Calor necesario para fundir el plástico, [W]

$P$  = Potencia requerida de las resistencias, [W]

#### a Calor necesario para fundir el plástico

Para determinar la energía necesaria para calentar la lámina se utiliza las propiedades propias del material a calentar.



Tabla 23

## Propiedades térmicas de termoplásticos usados comúnmente

Termoplástico	$C_p$ [J/KgK]	Temperatura óptima de formado [K]	Densidad [g/cm <sup>3</sup> ]	Emisividad
<b>Poliestireno</b>	1200	428	1.05	0.9
<b>Polietileno alta densidad</b>	1900	441	0.95	0.9
<b>Polietileno baja densidad</b>	1900	430	0.92	0.9
<b>Polipropileno</b>	1800	446	0.9	0.9
<b>ABS</b>	1400	438	1.05	0.9
<b>PVC</b>	1256	433	1.58	0.9
<b>PET</b>	1275	433	1.35	0.9
<b>Policarbonato</b>	1200	508	1.2	0.9

Fuente: (Urquiza, 1994)

La energía necesaria para calentar la lámina por unidad de tiempo está definida por:

$$Q_p = \frac{C_p * m * \Delta T}{t} \quad \text{Ec. 2. 10}$$

Donde:  $C_p$  = Calor específico, [J/KgK]

$m$  = Masa de la lámina a calentar, [Kg]

$\Delta T$  = Delta de temperatura final e inicial de la lámina, [K]

$t$  = Tiempo de calentamiento, [s]

Teniendo en cuenta que:

$$\text{área del plástico} = d * v$$

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

$$m = d * v$$

$$m = d * \text{área} * \text{espesor}$$

$$m = 1050 \frac{Kg}{m^3} * 2.88 m^2 * 0.004 m$$

$$m = 12.096 Kg$$

Con el valor de la masa se halla el calor necesario, ecuación 2.10:

$$Q_p = \frac{Cp * m * \Delta T}{t}$$

$$Q_p = \frac{1.2 \frac{KJ}{Kg^{\circ}C} (12.096 Kg) (180 - 20)}{300 s}$$

$$Q_p = 7741.44 \text{ vatios} = 7.74 KW$$

## b Calor perdido en convección y conducción

Muchas veces en los hornos térmicos se transmite el calor por diferentes métodos en este caso por conducción en las paredes y por convección del aire hacia las paredes, es por esto que se dará una breve explicación de cada uno con sus respectivas ecuaciones.

La conducción es la difusión de energía calórica debido al movimiento molecular aleatorio, teniendo como ecuación:

$$Q_{\text{conducción}} = k \frac{A \Delta T}{e} \quad \text{Ec. 2. 11}$$

Donde:  $k$  = Conductividad térmica,  $[W/mK]$

$A$  = Área de la pared,  $[m^2]$

$\Delta T$  = Delta de temperatura final e inicial de la pared,  $[K]$

$e$  = Espesor de la pared,  $[m]$

La convección es la difusión de energía calórica debido al movimiento molecular aleatorio, la energía también se transfiere mediante el movimiento global o macroscópico del fluido, teniendo como ecuación:

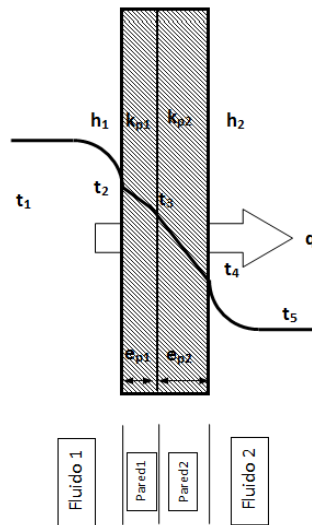
$$Q_{convección} = h A \Delta T \quad \text{Ec. 2.12}$$

Donde:  $h$  = Coeficiente de convección del fluido,  $[W/m^2K]$

$A$  = Área de la pared,  $[m^2]$

$\Delta T$  = Delta de temperatura final e inicial de la pared,  $[K]$

Para nuestro horno tendríamos un sistema similar al esquematizado a continuación en la **Figura 51**, donde se realizará un análisis para determinar la pérdida de potencia en el mismo.



**Figura 51** Transferencia de calor del horno de pared compuesta

Las ecuaciones serán:

$$q = h_1 \cdot A_t \cdot (t_1 - t_2) \quad \text{Ec. 2.12 (a)}$$

$$q = k_{p1}/e_{p1} A_t \cdot (t_2 - t_3) \quad \text{Ec. 2.12 (b)}$$

$$q = k_{p2}/e_{p2} A_t \cdot (t_3 - t_4) \quad \text{Ec. 2.12 (c)}$$

$$q = h_2 \cdot A_t \cdot (t_4 - t_5) \quad \text{Ec. 2.12 (d)}$$

En particular existe una analogía entre la difusión de calor y la carga eléctrica. De la misma manera que se asocia una resistencia eléctrica con la conducción de electricidad se asocia una resistencia térmica con la conducción de calor, (Urquiza, 1994). Al definir la resistencia como la razón de una potencial de transmisión a la transferencia de calor correspondiente, por ende la resistencia térmica para la conducción es:

$$R_{t,cond} = \frac{T_{s,1} - T_{s,2}}{q} = \frac{e_p}{k_p A} \quad \text{Ec. 2. 13}$$

Una resistencia térmica también se asocia con la transferencia de calor mediante convección a una superficie, es entonces:

$$R_{t,conv} = \frac{T_s - T_\infty}{q} = \frac{1}{hA} \quad \text{Ec. 2. 14}$$

De todas las ecuaciones:

$$R_1 = 1/h_1$$

$$R_2 = 1/(k_{p1}/e_{p1})$$

$$R_3 = 1/(k_{p2}/e_{p2})$$

$$R_4 = 1/h_2$$

La resistencia total del sistema a la transferencia de calor será la suma de las resistencias individuales:

$$R_t = R_1 + R_2 + R_3 \quad \text{Ec. 2.14 (e)}$$

$$R_t = \frac{1}{h_1} + \frac{1}{k_{p1}/e_{p1}} + \frac{1}{k_{p2}/e_{p2}} + \frac{1}{h_2} \quad \text{Ec. 2.14 (f)}$$

Si se despejan  $h_1$ ,  $k_p/e_p$  y  $h_2$ , de las ecuaciones 2.12 (a) hasta la 2.12 (c), y se introducen en la ecuación 2.14 (f), tendremos:

$$R_t = \frac{A_t}{q} \{(t_1 - t_2) + (t_2 - t_3) + (t_3 - t_4) + (t_4 - t_5)\} \quad \text{Ec. 2. 15}$$

Quedando:

$$R_t = \frac{A_t}{q} \{(t_1 - t_5)\}$$

O:

$$q = \frac{A_t}{R_t} (t_1 - t_5)$$

Reemplazando la ecuación 2.14 (f) en la ecuación 2.15:

$$q = \frac{A_t}{\left\{ \left( \frac{1}{h_1} \right) + \left( \frac{e_{p1}}{k_{p1}} \right) + \left( \frac{e_{p2}}{k_{p2}} \right) + \left( \frac{1}{h_2} \right) \right\}} (t_1 - t_5) \quad \text{Ec. 2. 16}$$

Para determinar los diferentes coeficientes de transferencia de calor por conducción se procede a observar las características del material con el que está formado el horno, en primer lugar se tiene una plancha de acero galvanizado seguido por un materia aislante, a continuación se presentan los detalles:

**Tabla 24**

**Propiedades del acero galvanizado**

Young's Modulus of Elasticity	200 x 10 <sup>9</sup> MPa at 20 °C
Density	7.87 g/cm <sup>3</sup> at 20 °C
Coefficient of Thermal Expansion	Low-Carbon/HSLAS: 12.4 μm/m/°C in 20 °C to 100 °C range I-F Steel: 12.9 μm/m/°C in 20 °C to 100 °C range
Thermal Conductivity	Low-Carbon/HSLAS: 89 W/m°C at 20°C I-F Steel: 93 W/m°C at 20°C
Specific Heat	481 J/kg/°C in 50 °C to 100 °C range
Electrical Resistivity	0.142 μΩ•m at 20 °C

Fuente: (AK Steel Corporation, 2012)

Para determinar el valor del coeficiente de transferencia de calor por convección es frecuente emplear en hornos una expresión simplificada que da directamente el valor de  $h$  en función de la velocidad del aire o atmósfera (fluido) y la temperatura del fluido caliente, es decir, la del horno:

$$h = 2.3 + 195 \sqrt{\frac{V}{t_a + 273}} \quad \text{Ec. 2. 17}$$

Donde:  $h$  = Coeficiente por convección,  $[W/m^2K]$

$V$  = Velocidad del aire, [m/s]

$t_a$  = Temperatura del aire o del horno, [°C]

**Tabla 25**

**Propiedades del aislante térmico**

Parameter	Value	Standard
Thermal conductivity	$\lambda_{10} = 0,035$ W/mK	EN 12667
Nominal density	130 kg/m <sup>3</sup>	-
Compressive strength	-	EN 826
Fire classification	Non-combustible Approved for A constructions	IMO A.799(19) IMO A.754(18)
Max. service temp.	Wool: 750°C Facing: 80°C	-
Sound absorption directly mounted	$\alpha_w = 0,80$ Thickness: 50 mm	ISO 354 (approximated) Evaluated after ISO 11 654
	$\alpha_w = 0,90$ Thickness: 2x30 mm	
Facings (on request)	Reinforced alu foil White glass fabric 210 g/m <sup>2</sup> (GW 200)	IMO A.653(16) (low flame - spread)
Dimensions	Marine Firebatts 130: L:1000 mm - W: 600 mm - T: 30-100 mm Marine Firebatts 130 w reinf. alu: L: 1000 mm - W: 600 mm - T: 30, 40, 50 mm Marine Firebatts 130 GW 200: L: 1000 mm - W: 600 mm - T: 30, 40, 50 mm	

Fuente: (Rockwool Marine & Offshore, 2015)

Para determinar la velocidad del aire nos guiamos en la escala de Beaufort

Como el aire que se encuentra tanto en el interior como el exterior del horno está en calma se tomará el valor de 0.5 m/s.

**Tabla 26**

**Escala de Beaufort**

Escala de Beaufort	Nombre de Viento	Velocidad m/s	Km/h
0	Calma	0,5	2
0	Calma	0,5	2
1	Aire ligero	1,5	5
2	Brisa ligera	3	11
3	Brisa suave	6	22
4	Brisa moderada	8	30
5	Brisa fresca	11	40
6	Brisa fuerte	14	50
7	Viento moderado	17	60
8	Viento fresco	21	75
9	Viento fuerte	24	87
10	Gran viento	28	100
11	Tempestad	32	115
12	Huracán	36 o más	130 o más

Fuente: (SLU, 2014)

Para el coeficiente de convección de la parte de interna del horno con una temperatura de 220 °C, retomando la ecuación 2.17 se tiene:

$$h_1 = 2.3 + 195 \sqrt{\frac{0,5 \text{ m/s}}{220 \text{ }^\circ\text{C} + 273}}$$

$$h_1 = 8.51 \frac{W}{m^2 \text{ }^\circ\text{C}}$$

Para la parte externa del horno con una temperatura de 50°C se obtiene:

$$h_1 = 2.3 + 195 \sqrt{\frac{0,5 \text{ m/s}}{50 \text{ }^\circ\text{C} + 273}}$$

$$h_1 = 9.97 \frac{W}{m^2 \text{ }^\circ\text{C}}$$

Para obtener las pérdidas de calor por convección y conducción se parte de los datos preliminares del horno como son: el espesor de las planchas de acero y del aislante con sus respectivos coeficientes térmicos, (Incropera, 1999) el área de la superficie por donde se perderá calor, las temperaturas internas y externas del horno los mismos que se exponen a continuación:

Datos:

$$T_1 = 220 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_5 = 50 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$A_t = 2.88 \text{ m}^2$$

$$e_{p1} = 0.007 \text{ m}$$

$$e_{p2} = 0.05 \text{ m}$$

Retomando la ecuación 2.9:

$$Q_{\text{convección+conducción}} = \frac{A_t}{\left\{ \left( \frac{1}{h_1} \right) + \left( \frac{e_{p1}}{k_{p1}} \right) + \left( \frac{e_{p2}}{k_{p2}} \right) + \left( \frac{1}{h_2} \right) \right\}} (t_1 - t_4)$$

$$Q_{\text{Convección+conducción}} = \frac{2,88}{\left\{ \left( \frac{1}{8.51} \right) + \left( \frac{0.007}{89} \right) + \left( \frac{0.05}{0.035} \right) + \left( \frac{1}{9.97} \right) \right\}} (220 - 50)$$

$$Q_{\text{convección+conducción}} = 297.37 \text{ vatios} = 0.297 \text{ KW}$$

Sumando todas las pérdidas de calor obtendremos la potencia aproximada requerida para el calefactor:

$$Q_{\text{convección+conducción}} + Q_p = P \quad \text{Ec. 2. 18}$$

$$P = 7.74 \text{ KW} + 0.297 \text{ KW} = 8.714 \text{ KW}$$

A este valor se le multiplica un coeficiente de seguridad de 2 debido a que existen otras pérdidas no analizadas, quedándonos así un valor de potencia requerida de:

$$P = 2 * 8.714 \text{ KW} = 17.428 \text{ KW}$$

De este modo se selecciona un calefactor que sea capaz de entregar por lo menos 17.4 KW de potencia.



## CAPÍTULO III

### 3 CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN

#### 3.1 Introducción

En el presente capítulo se describen de forma detallada y concisa el procedimiento realizado para la construcción de la máquina, ensamble de componentes y la implementación de los diferentes sistemas como son el eléctrico y neumático. Se describen los materiales, equipos y herramientas para ejecutar todo lo que se describió con anterioridad.

#### 3.2 Construcción mecánica

Después de haber realizado el diseño de cada uno de los elementos o partes constituyentes de la máquina se procede a su adquisición, construcción y mecanizado del material en bruto, enumerando y detallando cada uno de estos para utilizarlos en el proceso de obtención de los elementos mecánicos.

Para dicha obtención de los elementos mecánicos se usaron diferentes máquinas y herramientas mostradas a continuación en la **Tabla 27**:

**Tabla 27**

#### Máquinas y herramientas empleadas

Equipo Extra	Máquina	Instrumentos de calibración y medida	Soldadura
Rayador	Moladora	Flexómetro	Soldadora MIG
Escuadra	Esmeril	Calibrador	
Brocas	Taladro vertical	Micrómetro	
Prensas	Taladro de mano		
Martillo	Sierra circular para metal		
Lijas	Dobladora		
Limas	Cortadora de plasma manual		
Broca de centros	Cortadora de plasma CNC		

CONTINÚA →

Entenalla	Sierra circular de mano
Disco de corte	Pulidora neumática
Disco de pulir	
Sierra manual	
Tijera para tol	
Broca corona	

### 3.2.1 Diagramas de proceso de los elementos mecánicos

A continuación se detalla cada uno de los diagramas de procesos para la construcción e implementación de los elementos mecánicos que conforman los sistemas pertenecientes a la máquina de termoformado.

#### a Diagramas del sistema de sujeción de la lámina

La **Tabla 28** indica un listado de los elementos constitutivos del sistema de sujeción de la lámina.

**Tabla 28**

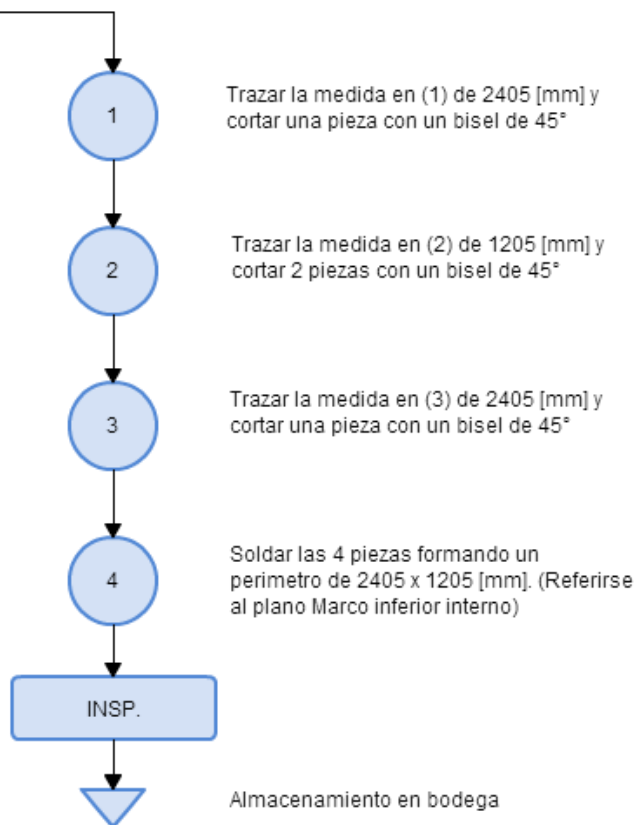
#### Elementos constitutivos del sistema de sujeción de la lámina

Cantidad	Elemento del sistema de sujeción de la lámina	Material
1	Marco inferior interno	Platina 40x3 mm Dipac Ángulo 40x3 mm Dipac
1	Marco inferior externo	Canal en U 80x40x3 mm Dipac
1	Marco superior	Platina 50x3 mm Dipac Platina 30x3 mm Dipac Ángulo 30x3 mm Dipac
1	Sujeción superior	Platina 50x3 mm Dipac Platina 30x3 mm Dipac Ángulo 30x3 mm Dipac
1	Sujeción inferior externa	Canal en U 80x40x3 mm Dipac
2	Platina guía	Platina 20x3 mm Dipac
2	Platina sujeción	Platina 25x3 mm Dipac
4	Tubo guía	Tubo estructural de 1 pulg Dipac
4	Tubo riel	Tubo estructural de 1 ½ pulg Dipac
2	Ángulo soporte estabilizador ranurado	Ángulo 30x3 mm Dipac

### a.1 Diagrama de proceso: Marco inferior interno

Ángulo 40x3 mm Dipac  
Platina 40x3 [mm] Dipac

Referirse al plano:  
Marco inferior interno

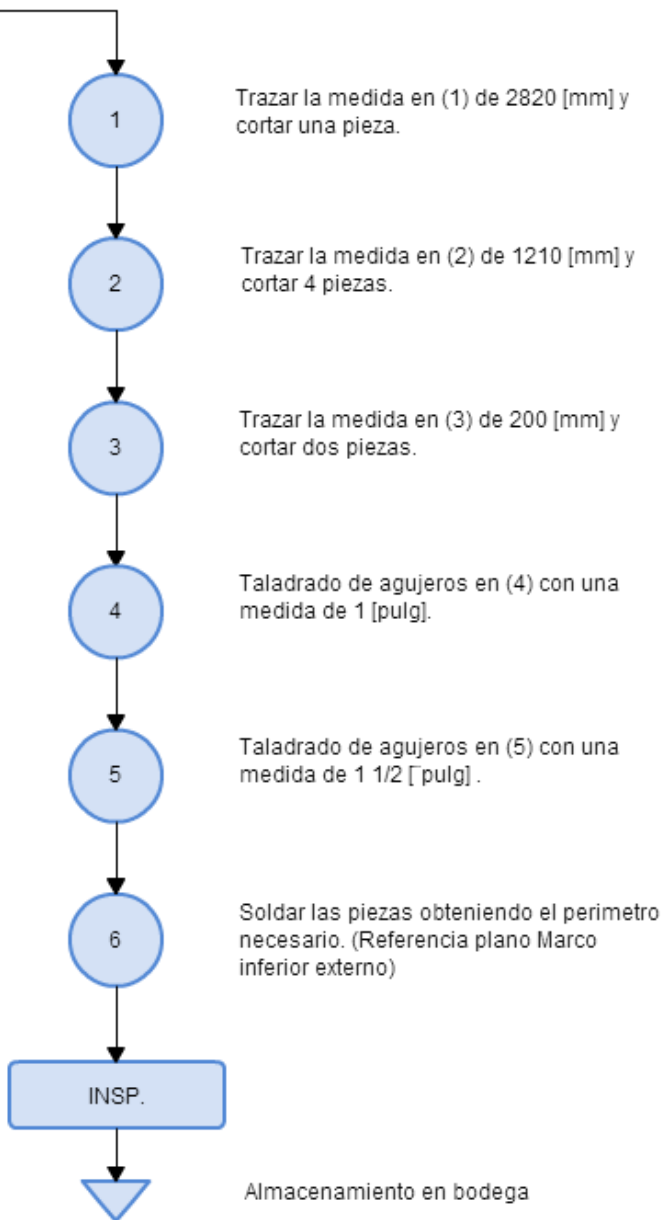


**Figura 52 Diagrama y figura del proceso del marco inferior interno**

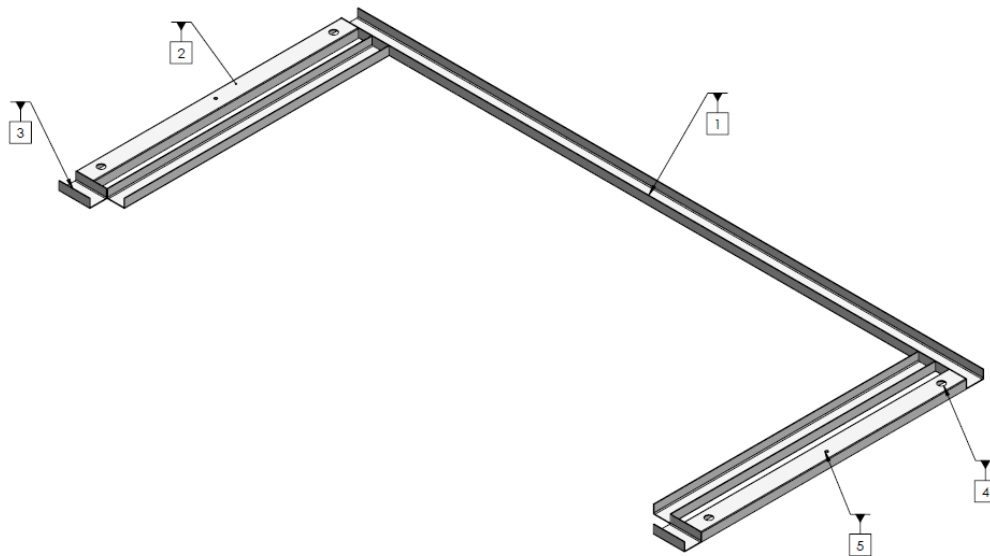
**a.2 Diagrama de proceso: Marco inferior externo**

Canal en U 80x40x3 mm Dipac

Referirse al plano:  
Marco inferior externo



**CONTINÚA** →

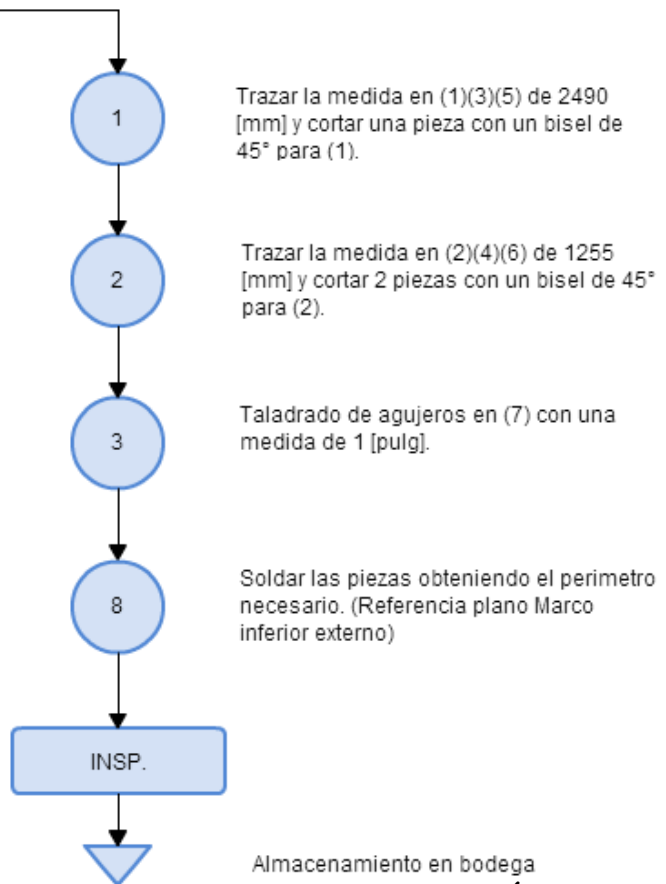


**Figura 53 Diagrama y figura del proceso del marco inferior interno**

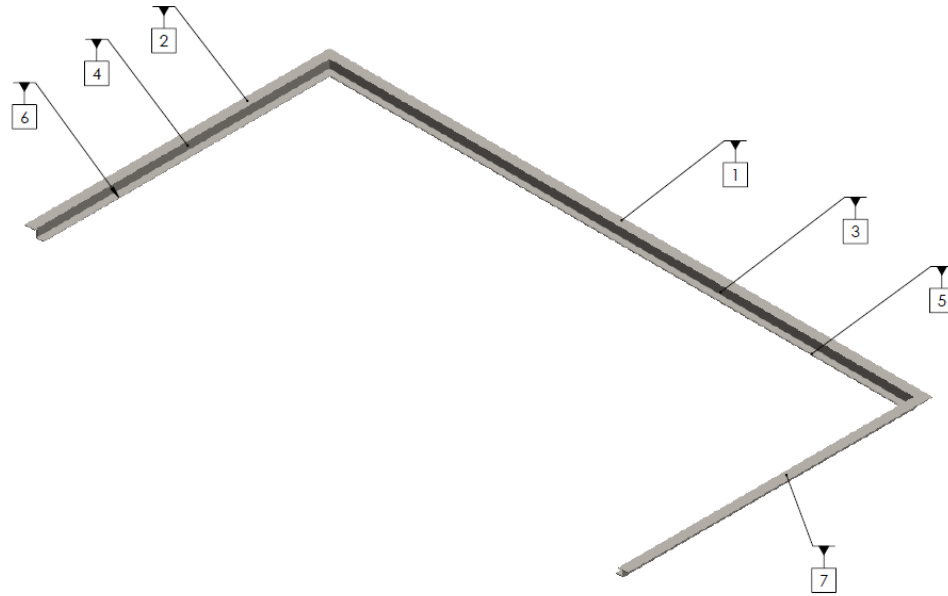
**a.3 Diagrama de proceso: Marco superior**

- Platina 50x3 mm Dipac (1)(2)
- Platina 30x3 mm Dipac (3)(4)
- Ángulo 30x3 mm Dipac (5)(6)

Referirse al plano:  
Marco superior



**CONTINÚA** →

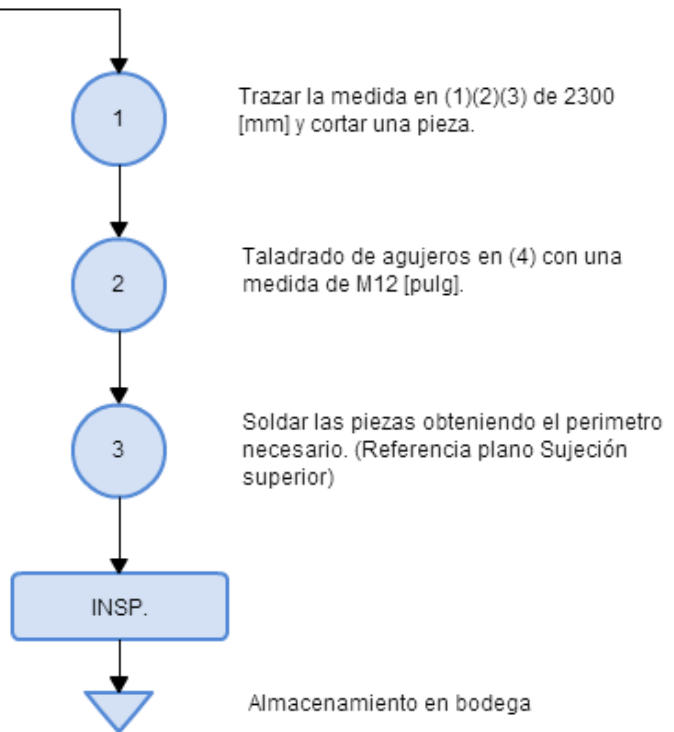


**Figura 54 Diagrama y figura del proceso del marco superior**

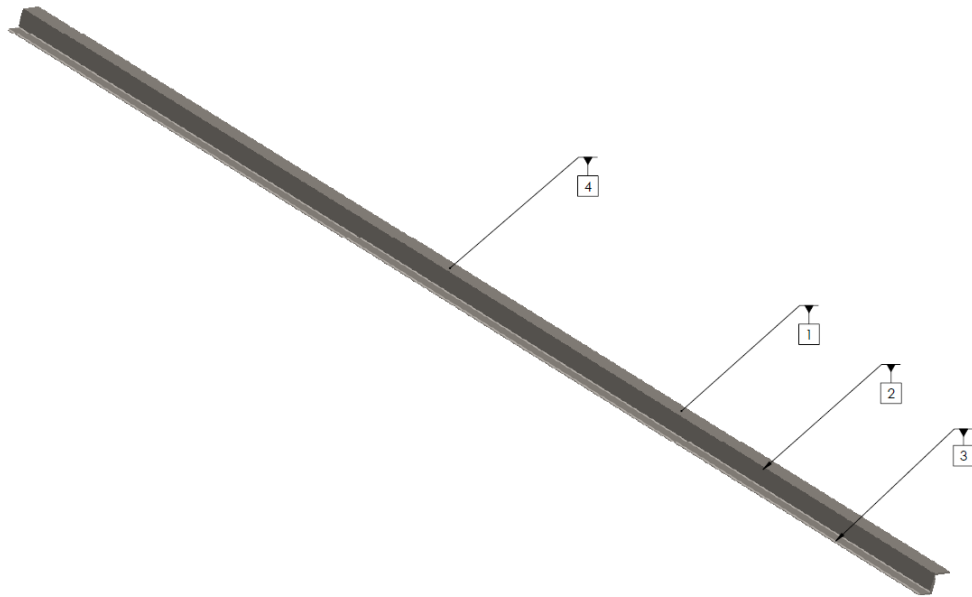
**a.4 Diagrama de proceso: Sujeción superior**

- Platina 50x3 mm Dipac (1)
- Platina 30x3 mm Dipac (2)
- Ángulo 30x3 mm Dipac (3)

Referirse al plano:  
Sujeción superior



**CONTINÚA** →

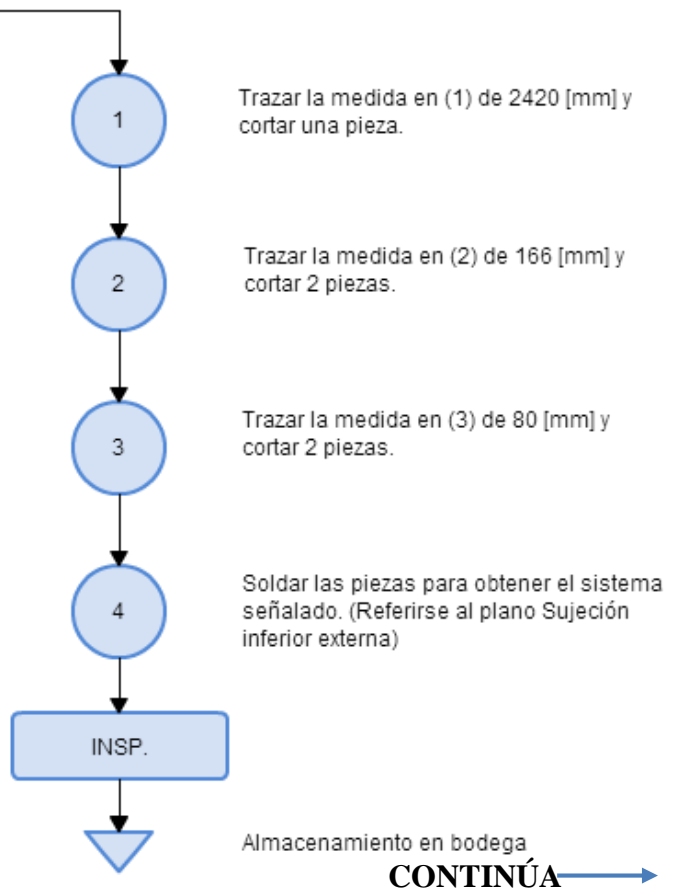


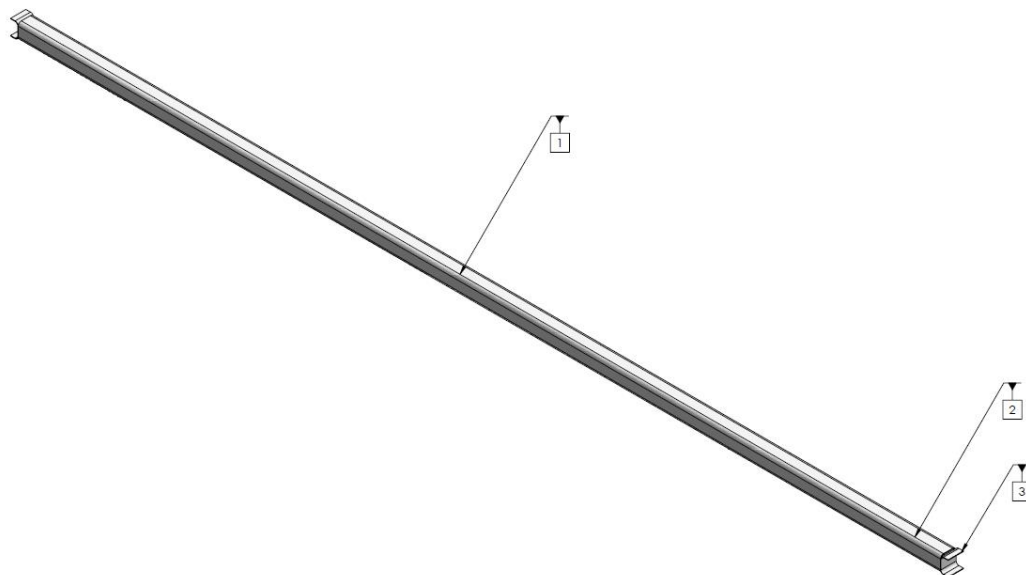
**Figura 55 Diagrama y figura del proceso de la sujeción superior**

**a.5 Diagrama de proceso: Sujeción inferior externa**

Canal en U 80x40x3 mm Dipac

Referirse al plano:  
Sujeción inferior externa



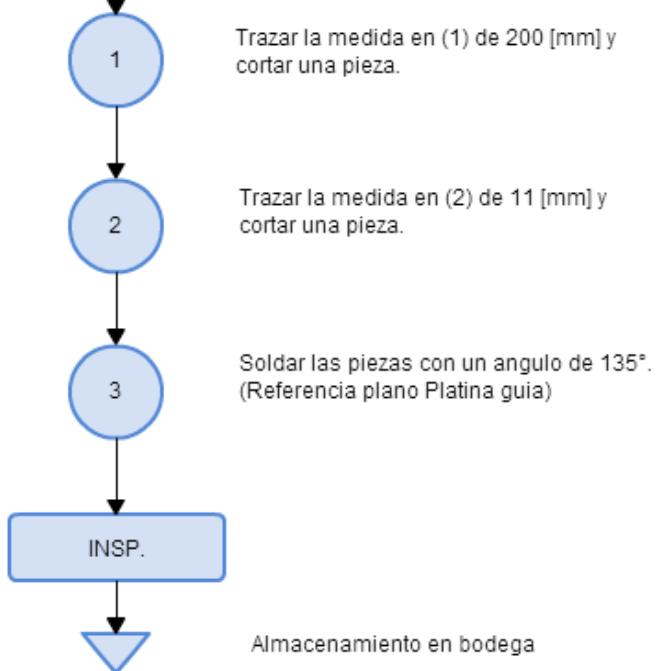


**Figura 56 Diagrama y figura del proceso de la sujeción inferior externa**

**a.6 Diagrama de proceso: Platina guía**

Platina 20x3 mm Dipac

Referirse al plano:  
Platina guía



Trazar la medida en (1) de 200 [mm] y cortar una pieza.

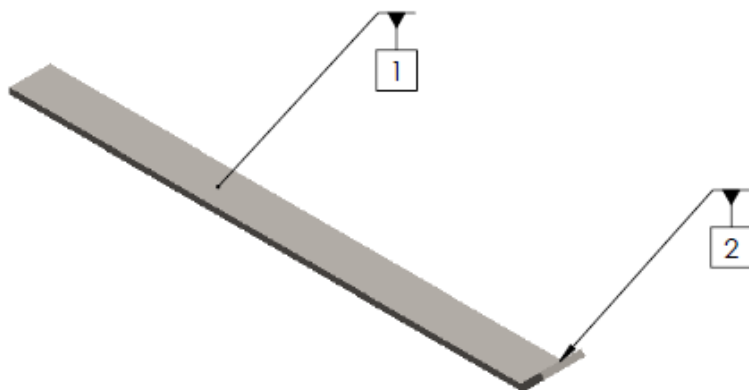
Trazar la medida en (2) de 11 [mm] y cortar una pieza.

Soldar las piezas con un ángulo de 135°. (Referencia plano Platina guía)

Almacenamiento en bodega

**CONTINÚA** →



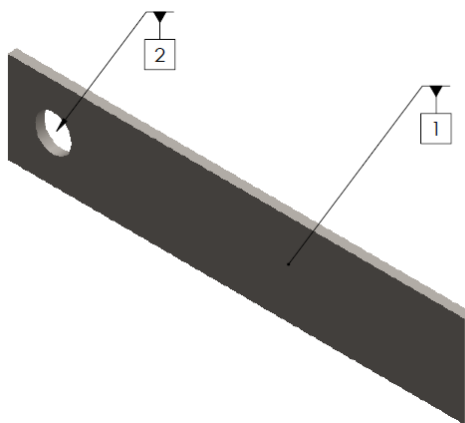
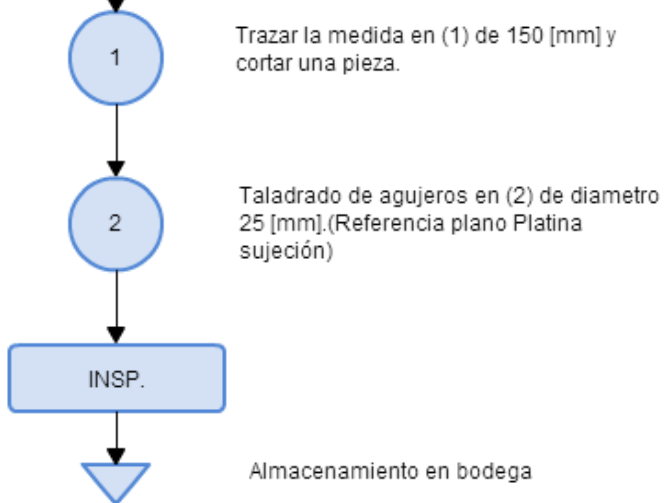


**Figura 57 Diagrama y figura del proceso de la platina guía**

### a.7 Diagrama de proceso: Platina sujeción

Platina 25x3 mm Dipac

Referirse al plano:  
Platina sujeción



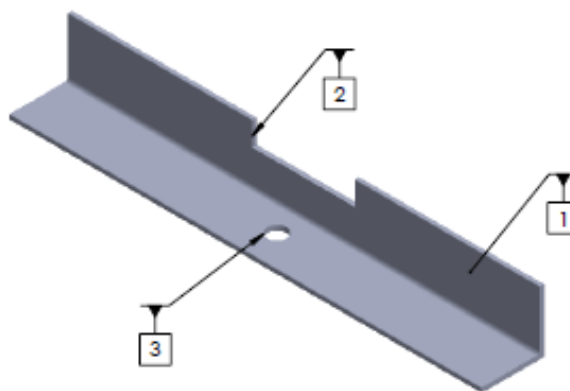
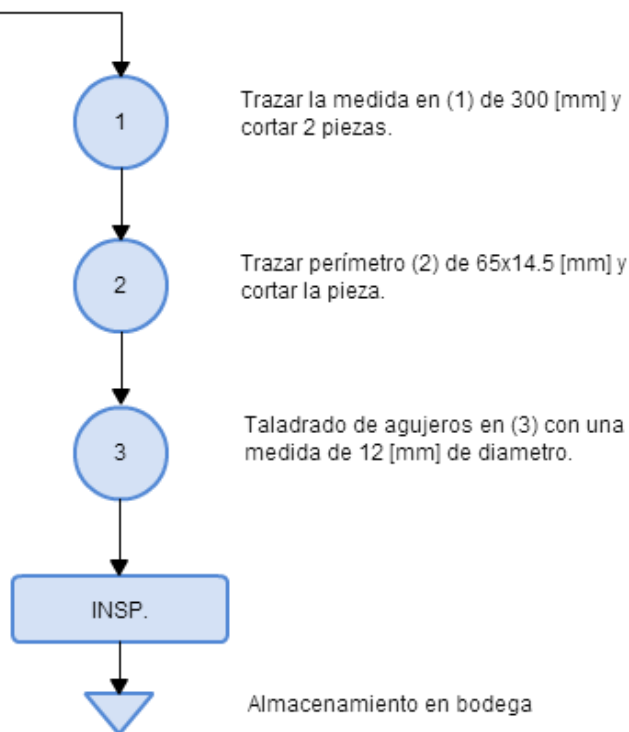
**Figura 58 Diagrama y figura del proceso de la platina de sujeción**

### a.8 Diagrama de proceso: Ángulo soporte estabilizador ranurado

Ángulo 40x3 mm Dipac

Referirse al plano:

Ángulo soporte estabilizador ranurado



**Figura 59 Diagrama y figura del proceso del ángulo soporte estabilizador ranurado**

### a.9 Diagrama de proceso: Ángulo soporte estabilizador

Ángulo 40x3 mm Dipac

Referirse al plano:  
Ángulo soporte estabilizador

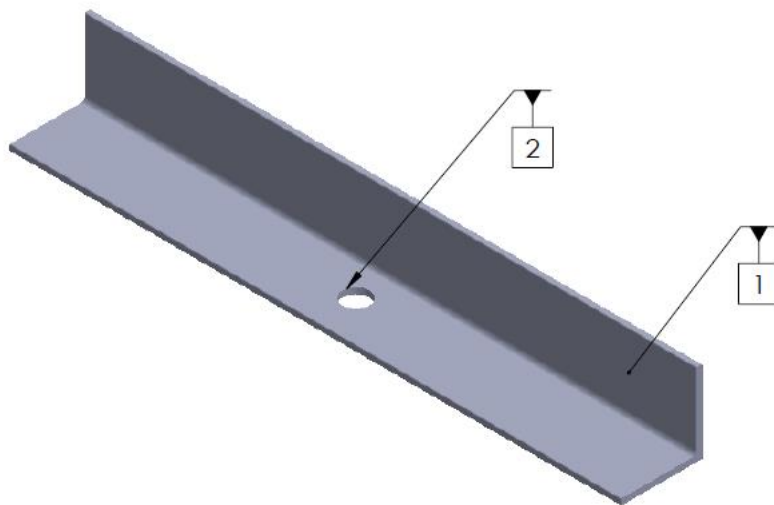
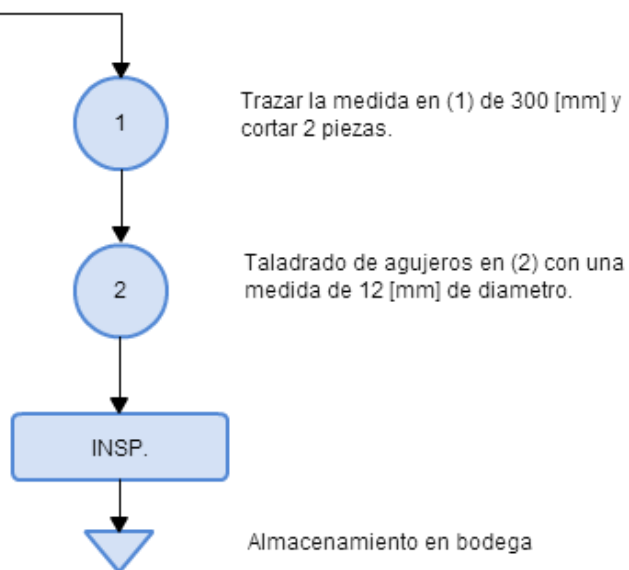
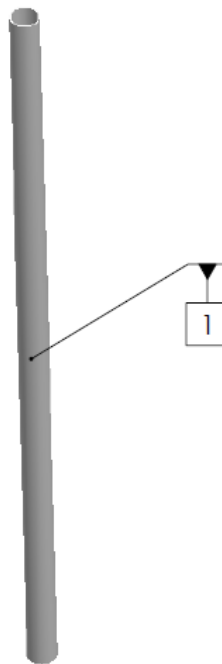
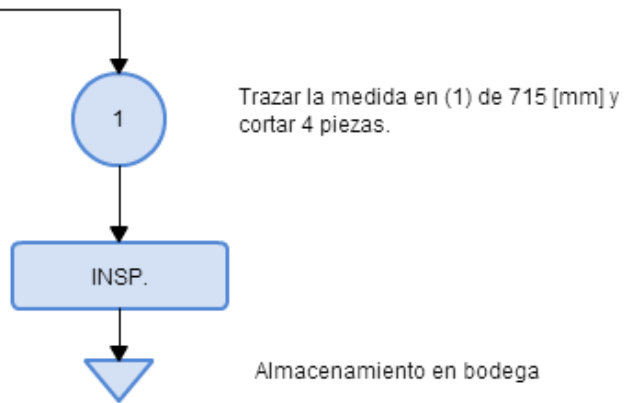


Figura 60 Diagrama y figura del proceso del ángulo soporte estabilizador

**a.10 Diagrama de proceso: Tubo guía**

Tubo estructural de diámetro 1 [pulg] Dipac

Referirse al plano:  
Tubo guía

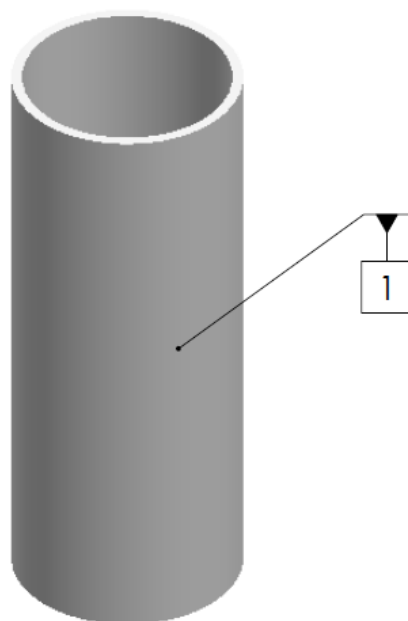
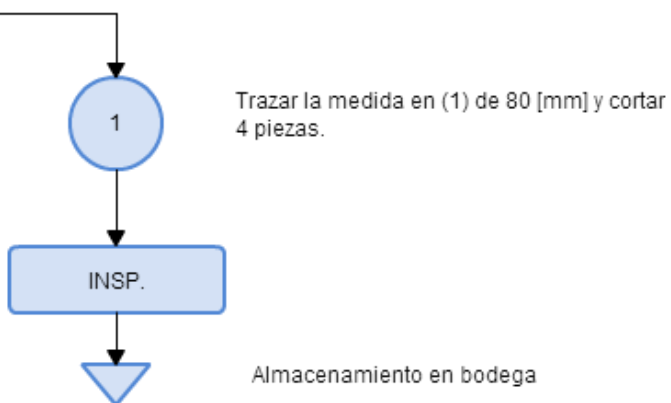


**Figura 61 Diagrama y figura del proceso del tubo guía**

### a.11 Diagrama de proceso: Tubo riel

Tubo estructural de diametro 1 1/2 [pulg] Dipac

Referirse al plano:  
Tubo riel



**Figura 62 Diagrama y figura del proceso del tubo riel**

### b Diagramas de la sujeción para cilindros MCQI-11-40-500

La **Tabla 29** muestra un listado de los elementos constitutivos del sistema de sujeción de los cilindros MCQI-11-40-500.

Tabla 29

## Elementos constitutivos de la sujeción de los cilindros MCQI-11-40-500

Cantidad	Elemento del sistema de sujeción de la lámina	Material
2	Soporte inferior de cilindro	Canal en U 300x70x8 mm Dipac
2	Soporte superior de cilindro	Canal en U 300x70x8 mm Dipac

## b.1 Diagrama de proceso: Soporte inferior de cilindro

Canal en U 300x70x8 mm Dipac

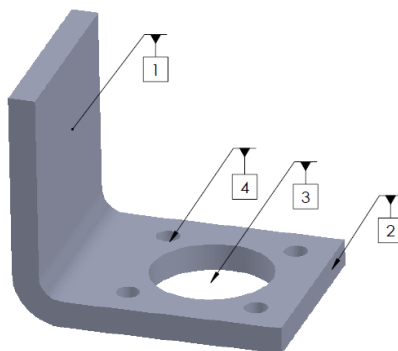
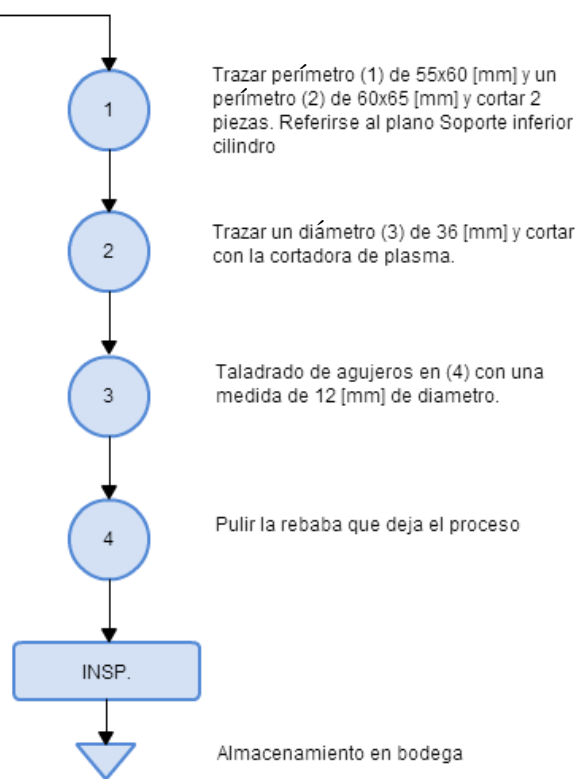
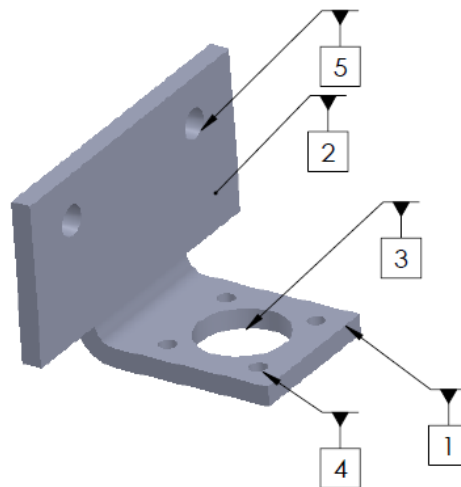
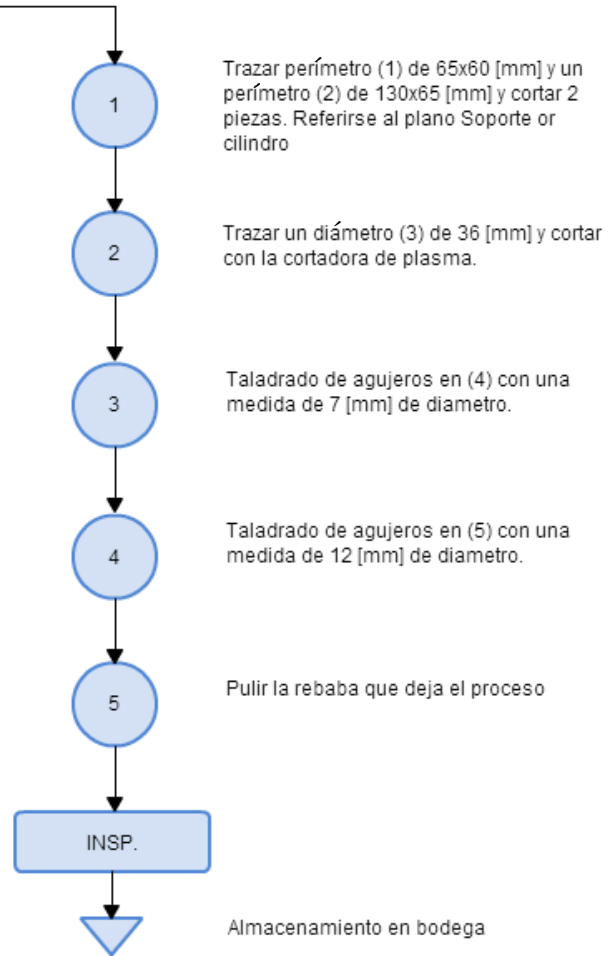
Referirse al plano:  
Soporte inferior de cilindro

Figura 63 Diagrama y figura del proceso de la sujeción inferior de cilindro

**b.2 Diagrama de proceso: Soporte superior de cilindro**

Canal en U 300x70x8 mm Dipac

Referirse al plano:  
Soporte superior de cilindro



**Figura 64 Diagrama y figura del proceso de la sujeción superior de cilindro**

### c Diagramas del sistema de sujeción de resistencias eléctricas

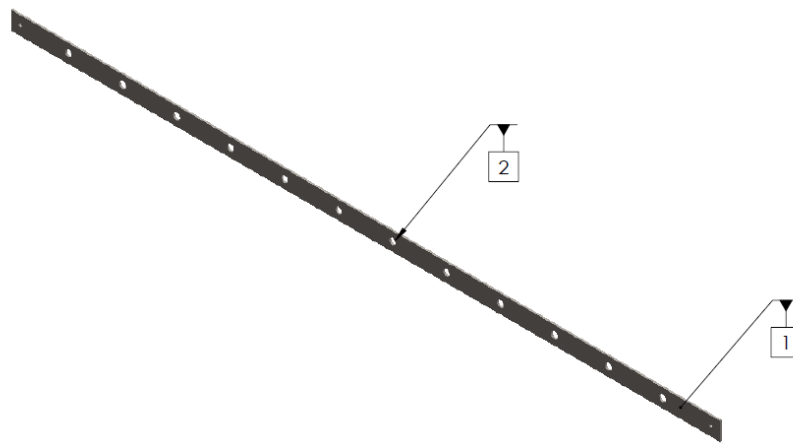
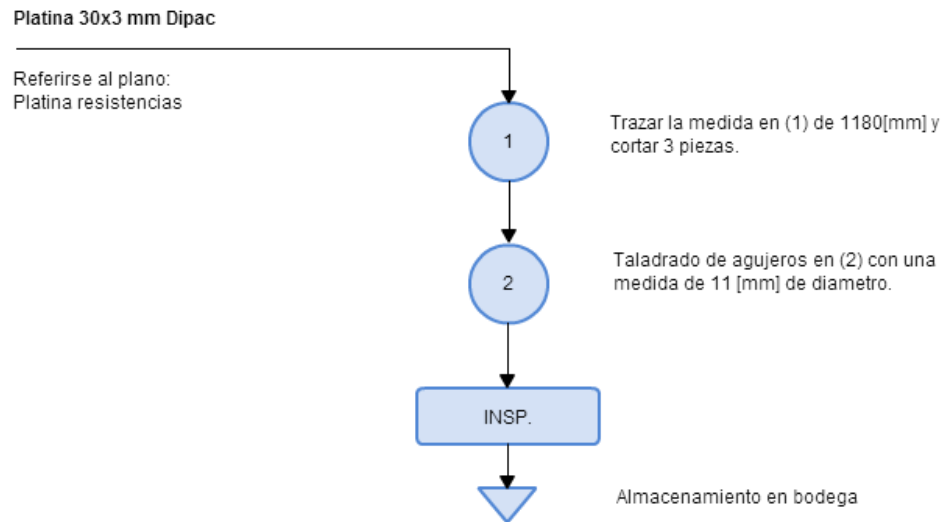
La **Tabla 30** nos muestra un listado de los elementos constitutivos del sistema de sujeción de las resistencias eléctricas.

**Tabla 30**

#### Elementos constitutivos del sistema de sujeción de las resistencias eléctricas

Cantidad	Elemento del sistema de sujeción de resistencias	Material
3	Platina para resistencias	Platina 30x3 mm Dipac
6	Soporte para platina para resistencias	Platina 30x3 mm Dipac

#### c.1 Diagrama de proceso: Platina para resistencias



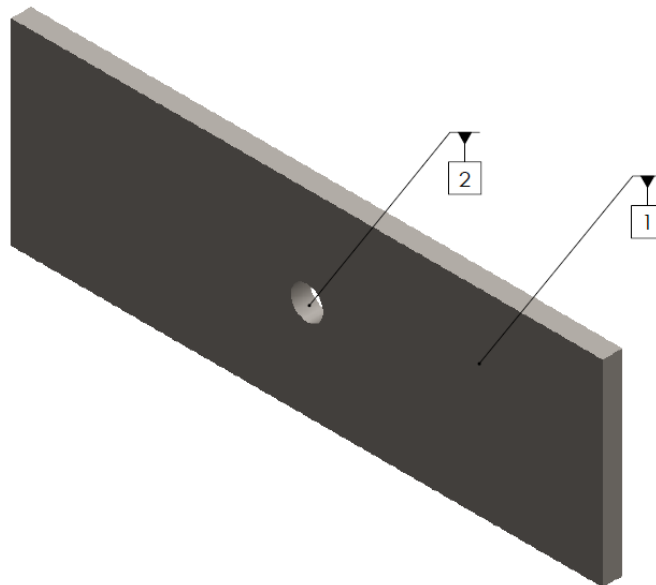
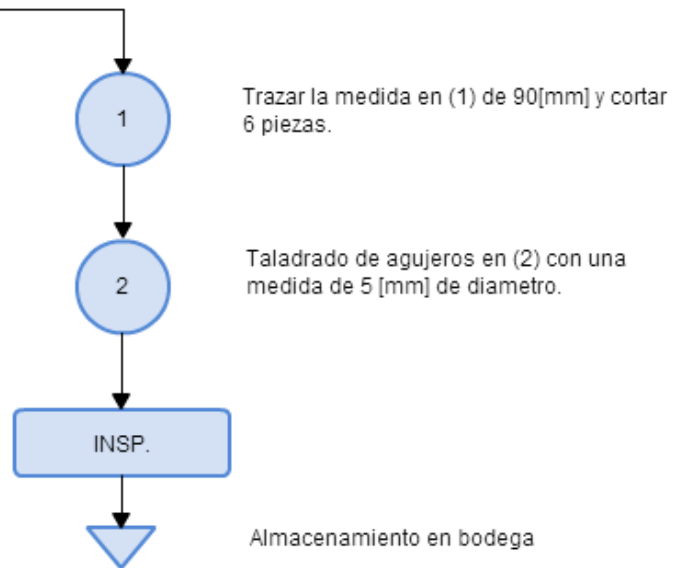
**Figura 65 Diagrama y figura del proceso de la platina para resistencias**



## c.2 Diagrama de proceso: Soporte para platina para resistencias

Platina 30x3 mm Dipac

Referirse al plano:  
Platina soporte resistencias



**Figura 66 Diagrama y figura del proceso del soporte de la platina para resistencias**

## d Diagrama del sistema de vacío

En la **Tabla 31** se indica un listado de los elementos constitutivos del sistema de vacío de la máquina.

**Tabla 31**

### Elementos constitutivos del sistema de vacío

Cantidad	Elemento del sistema de vacío de la máquina	Material
1	Vacío fondo	MDF 45 mm
2	Vacío lateral corto	MDF 45 mm
2	Vacío lateral largo	MDF 45 mm
1	Vacío tapa	MDF 45 mm

#### d.1 Diagrama de proceso: Vacío fondo

MDF 45 [mm]

Referirse al plano:  
Vacío fondo

1

Trazar perímetro (1) de 1008x 2200[mm] y cortar 1 pieza.

INSP.

Almacenamiento en bodega

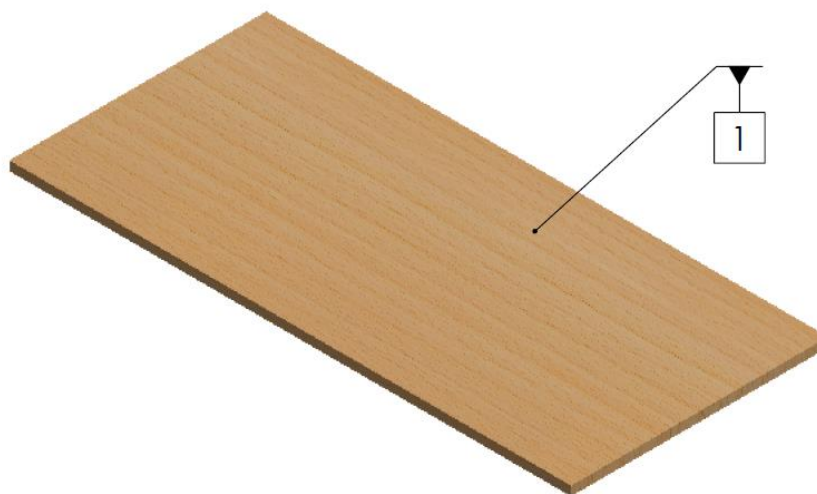


Figura 67 Diagrama y figura del proceso de la pieza vacío fondo

## d.2 Diagrama de proceso: Vacío lateral corto

MDF 45 [mm]

Referirse al plano:  
Vacío lateral corto

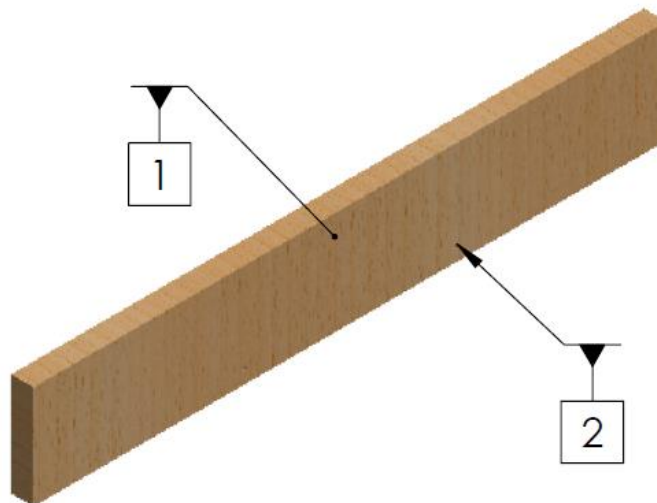
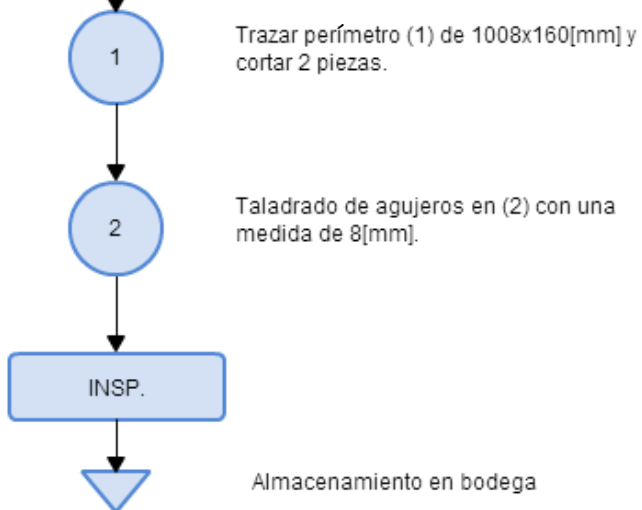
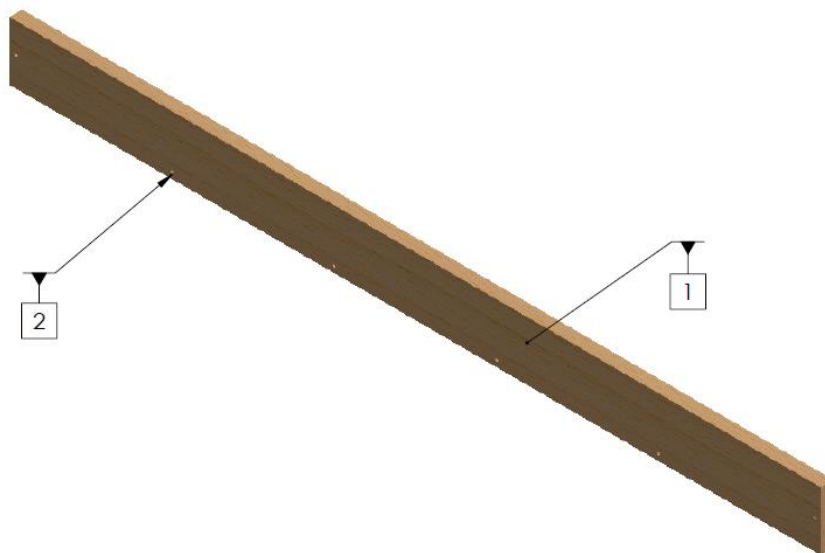
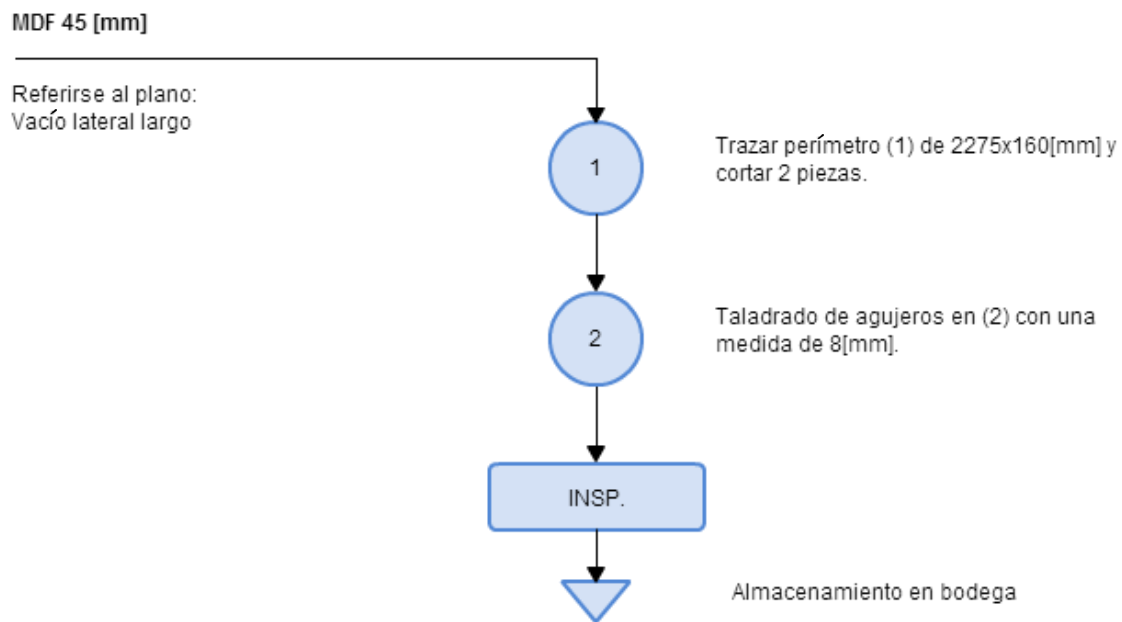


Figura 68 Diagrama y figura del proceso de la pieza vacío lateral corto

### d.3 Diagrama de proceso: Vacío lateral largo

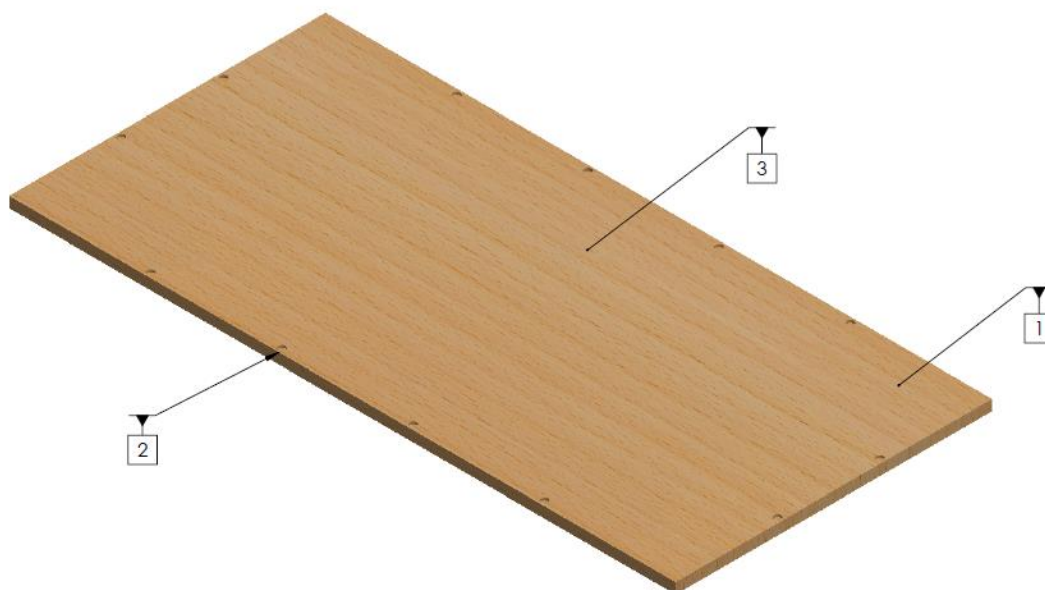
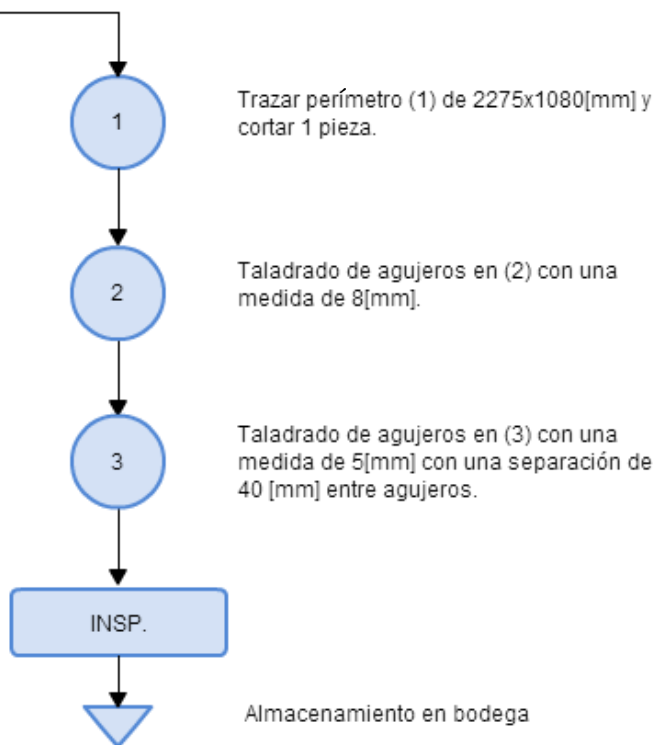


**Figura 69 Diagrama y figura del proceso de la pieza vacío lateral largo**

#### d.4 Diagrama de proceso: Vacío tapa

MDF 45 [mm]

Referirse al plano:  
Vacío tapa

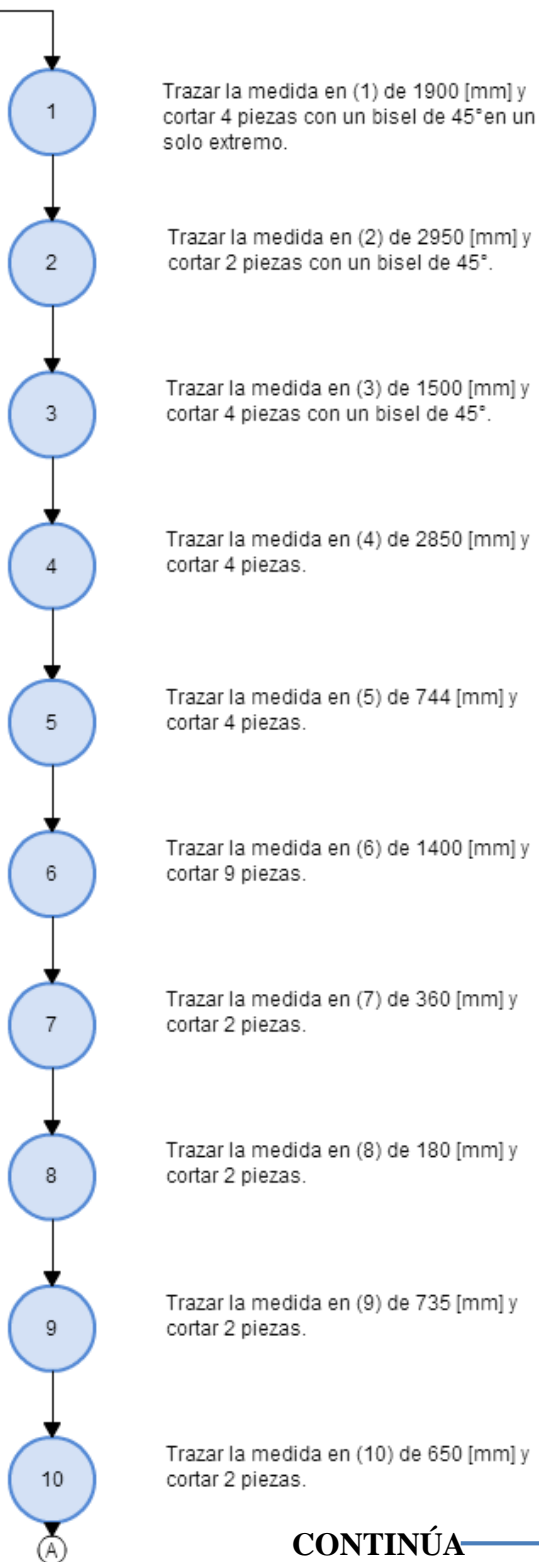


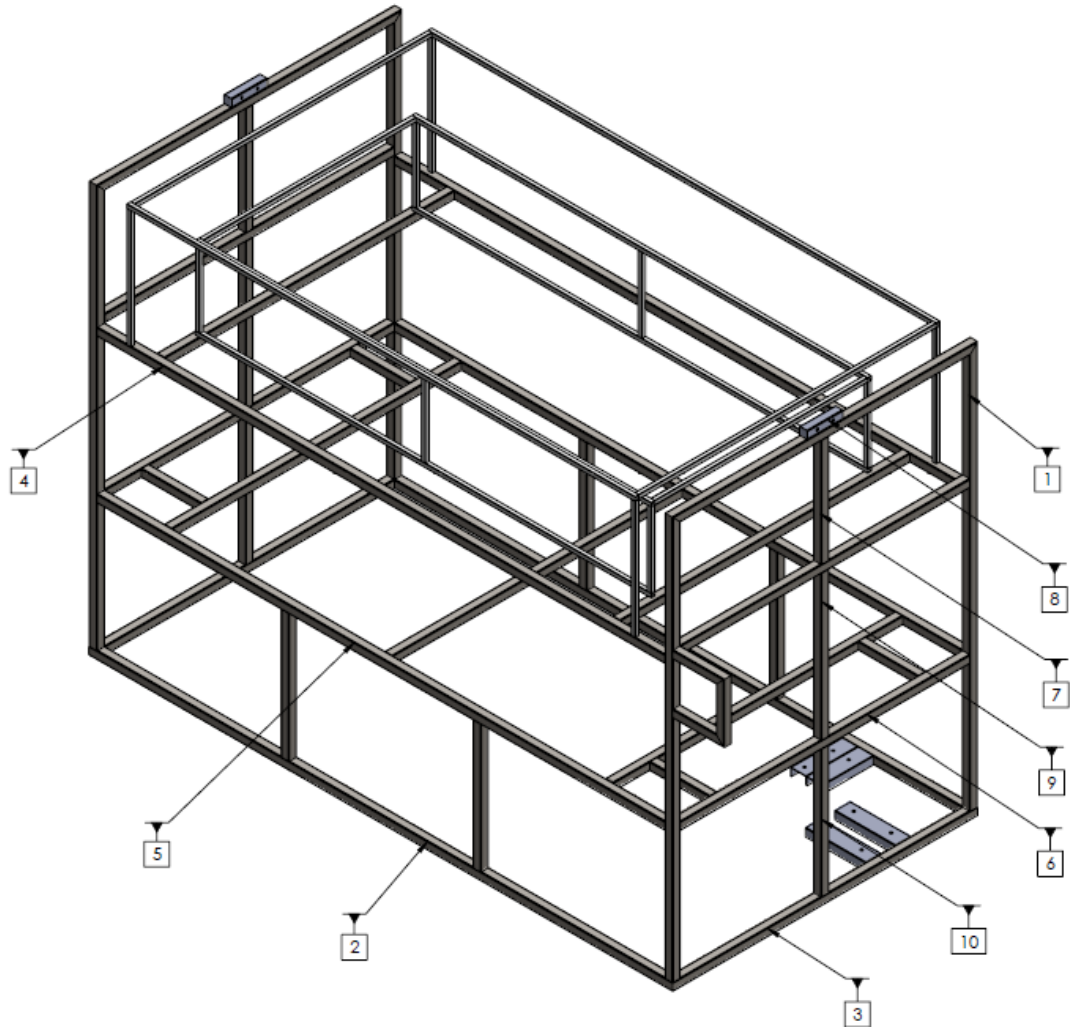
**Figura 70 Diagrama y figura del proceso de la pieza vacío tapa**

### e Diagrama de la estructura de la máquina

Tubo cuadrado de acero estructural 40x2 mm Dipac  
 Tubo cuadrado de acero estructural 20x1.5 mm Dipac  
 Canal en U 80x40x3 mm Dipac

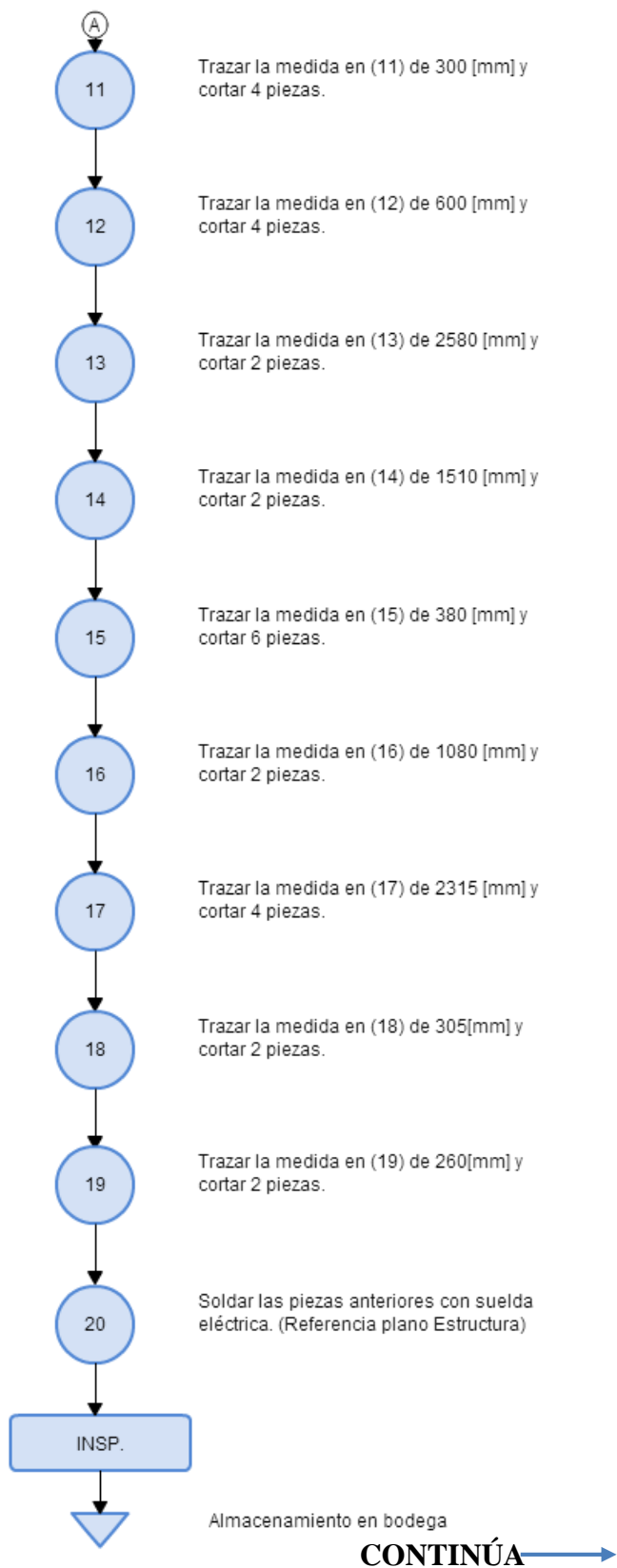
Referirse al plano:  
 Estructura



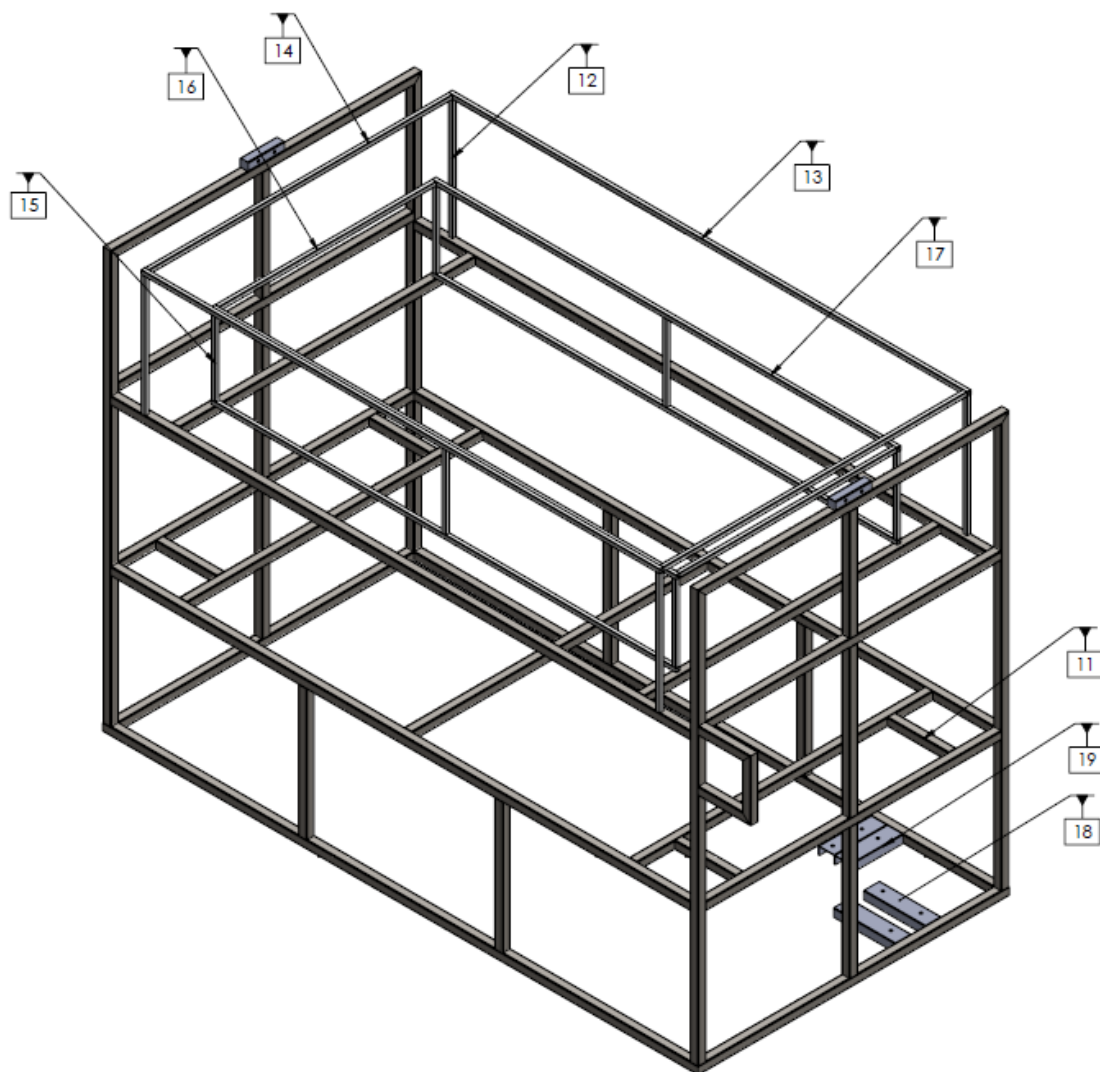


**Figura 71 Diagrama y figura del proceso de la estructura de la máquina (parte I)**

Continuando con el diagrama de proceso de la fabricación de la estructura de la máquina







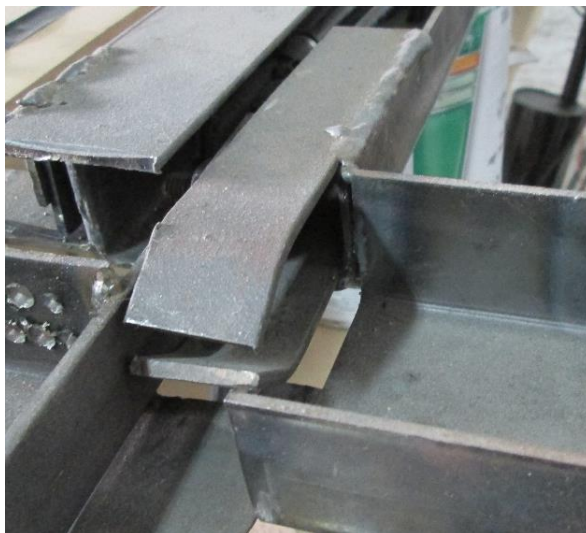
**Figura 72 Diagrama y figura del proceso de la estructura de la máquina (parte II)**

### **3.3 Montaje mecánico de la máquina**

Después de haber realizado la construcción de las partes mecánicas se procede al ensamblaje de la máquina.

#### **3.3.1 Montaje del sistema de sujeción de la lámina**

Las platinas guías son soldadas en el lugar correspondiente como se muestra en la **Figura 73**, para que sirvan de sujeción para el rodamiento que se ubicará posteriormente.



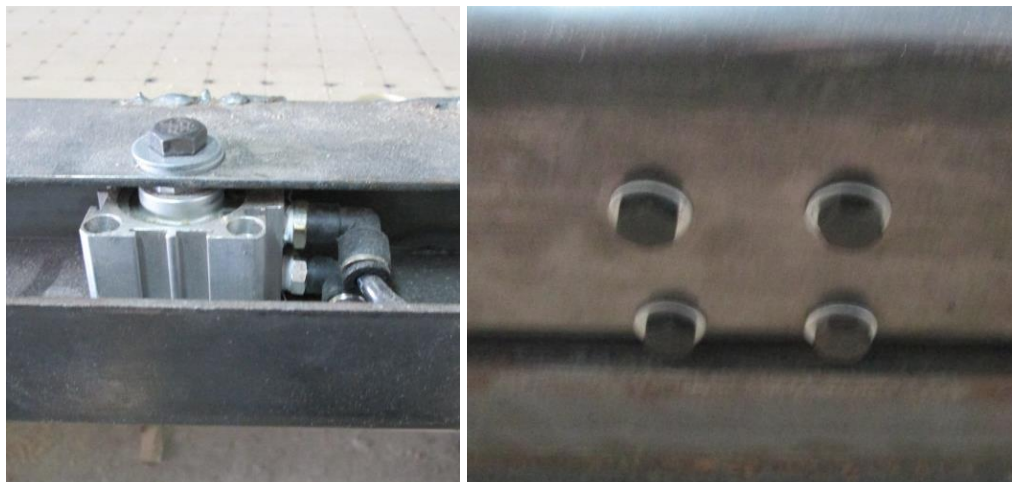
**Figura 73 Ubicación de platinas guías**

Se suelda las platinas de sujeción a la estructura del gripper móvil, donde además por los agujeros taladrados se crea un sistema corredizo que consta de un perno-tuerca-arandela de presión y un rodamiento como se indica en la **Figura 74**.



**Figura 74 Sistema móvil de las platinas de sujeción**

Para terminar el ensamble del sistema de sujeción de la lámina se usan los cilindros neumáticos pequeños mostrados en la **Figura 75** con sus respectivos pernos y arandelas para que de esta forma se una la parte superior e inferior del portador de láminas de plástico.



**Figura 75 Ubicación de los cilindros neumáticos pequeños**

Los tubos riel son soldados al marco inferior externo como se indica en la **Figura 76** para que los mismos sean atravesados por los tubos guía y así soldarlos a la estructura de la máquina.



**Figura 76 Ubicación de los tubos guía y los tubos riel**

### **3.3.2 Montaje del sistema de sujeción de los cilindros**

Para realizar la sujeción en el sitio correspondiente primero se procede a soldar el soporte inferior en la columna, se ubica el cilindro y se lo sujeta con el soporte superior

mostrado en la **Figura 77** el mismo que se une a la estructura con la tornillería correspondiente.



**Figura 77 Sujeción del cilindro neumático a la estructura**

Por último para unir el vástago del cilindro con la parte móvil del portador de láminas se usan los ángulos de soporte ubicados en la parte superior e inferior del canal en U, como son mostrados en la **Figura 78**, para esto se utiliza tuerca y arandelas correspondientes.



**Figura 78 Unión del vástago con el portador de láminas**

### 3.3.3 Montaje del sistema de sujeción de resistencias

Primero se suelda la platina de soporte para las resistencias a la estructura, las cuales por medio de tornillos se unen a la platina que soportará los calefactores, los mismos que son ubicados en los agujeros realizados, como se muestra en la **Figura 79**.



**Figura 79** Ubicación de las resistencias

### 3.3.4 Montaje del sistema de vacío

Con las partes realizadas en MDF se procede a construir la caja de vacío con sellante poliuretano “Sikaflex”, y utilizando adicionalmente de tornillos tirafondos con su respectiva arandela, se muestra en la **Figura 80**.



**Figura 80** Ensamble de la caja de vacío

Para culminar el ensamblaje del sistema de vacío se realiza una perforación en la parte inferior de la caja donde se ubicará con sellante de poliuretano la manguera flexible, la misma que se unirá a la bomba de vacío, esto se muestra en la **Figura 81**.



**Figura 81** Caja de vacío unida a la manguera flexible

### **3.4 Automatización**

El objetivo principal de la automatización industrial consiste en gobernar la actividad y la evolución de los procesos sin la intervención continua de un operador humano.

#### **3.4.1 Circuito de control**

La circuitería de control es el medio por el cual la máquina puede interactuar con el operario. Consta de varias partes como el panel frontal e interno que se la detallan a continuación.

##### **a Panel frontal**

Por medio de éste el operador puede dar las órdenes a la máquina y a la vez la misma se comunica con el usuario para identificar el proceso que se encuentra realizando.



**Figura 82 Panel frontal**

### **a.1 Control de temperatura PID**

Controla la temperatura del horno por medio de una señal digital que es recibida por el Relé de Estado Sólido, además envía una señal al LOGO! para que pueda continuar con el siguiente proceso autónomo de la máquina.

### **a.2 Paro de emergencia**

Detiene la ejecución de cualquier proceso que esté realizando en ese instante la máquina.

### **a.3 Botones de mando**

Son el medio con el que el operador da las órdenes a la máquina, cada botón realiza una función específica, como son: abrir gripper, cerrar gripper, ir a home, iniciar proceso y terminar vacío.

### **a.4 Luces indicadoras de proceso**

Por medio de éstas la máquina se comunica con el usuario para que este pueda entender que procedimiento se está realizando. Cada luz indica un parámetro diferente como son: gripper cerrado, home alcanzado y fin de proceso.

## b Panel interno



**Figura 83 Panel interno**

### b.1 Protecciones eléctricas

Consta de un breaker de 4 amperios que protege al controlador de temperatura y al LOGO!, éstos dos dispositivos están protegidos individualmente por fusibles de 2 amperios.

### b.2 Fuente 24 Vdc

Entrega la energía para la señal de control del Relé de Estado Sólido, la electroválvula del sistema de vacío y al LOGO!

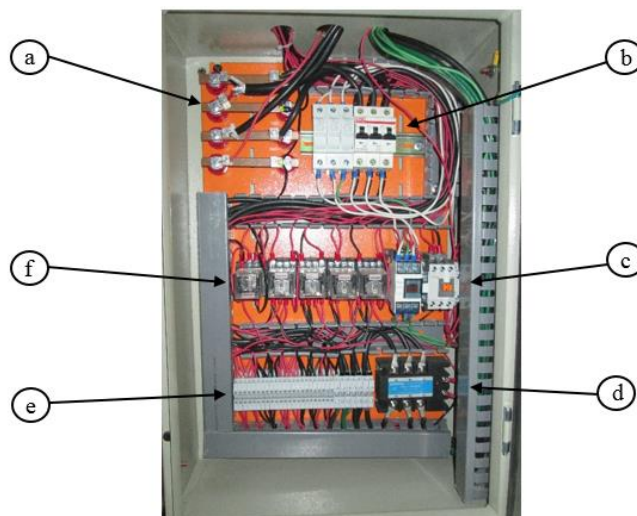
### b.3 SIEMENS LOGO! 24 RC

Contiene la programación que controla toda la máquina termoformadora, además tiene un módulo de RTD el cual sensa la temperatura de enfriamiento por medio de una PT-100.

### 3.4.2 Circuito de fuerza

El circuito de potencia consta de varios elementos como se puede observar en la **Figura 84**, los cuales están detallados a continuación:





**Figura 84 Circuito de potencia**

**a Alimentación principal de energía eléctrica**

Consta de 4 varillas de cobre donde se recibe energía eléctrica trifásica de 220 voltios, y una línea de neutro para equipos que utilicen 110, como son las electroválvulas que controlan el movimiento de los cilindros neumáticos.

**b Protecciones eléctricas**

Asegura a los componentes principales en caso de que existe un aumento de corriente impidiendo que se dañen y alargando su vida útil.

Se ha utilizado dos tipos diferentes de protecciones como se puede apreciar en la **Figura 85**, breaker o fusible que se los describe en los temas siguientes.



**Figura 85 Fusibles y breaker de protección**

### **b.1 Protección general de la máquina**

Es un breaker trifásico de 60 amperios que protege todas las conexiones eléctricas de toda la máquina.

### **b.2 Horno eléctrico**

Breaker trifásico de 43 amperios que interrumpe la conexión en triángulo del horno eléctrico.

### **b.3 Motor eléctrico**

Fusible de 16 amperios ubicados en cada línea de las fases que alimentan al motor eléctrico del sistema de vacío.

### **b.4 Enfriadores**

Fusibles ubicados en las líneas de alimentación de los cuatro enfriadores para el plástico.

### **c Contactores de motores eléctricos**

Se activan al momento de realizar una función específica en la máquina. Existen 2 contactores que activan la conexión eléctrica de las dos funciones indicadas a continuación, de izquierda a derecha:

- **Motor eléctrico del sistema de vacío:** contactor de 220 Vac, además del motor también conecta la energía a la electroválvula que sella la cámara de vacío.
- **Enfriadores:** contactor de 110 Vac, aquí se encuentran conectados los enfriadores que ayudan al enfriamiento del plástico para agilizar el proceso de termoformado.

### **d Relé de Estado Sólido (SSR)**

Conmuta el paso de energía eléctrica trifásica de la conexión en triángulo del horno. Éste dispositivo soporta una corriente máxima de 60 amperios y un voltaje de control de 3 a 24 Vdc.

#### **e Borneras de conexión**

Contienen conexiones de las terminales de los elementos que se encuentran fuera del tablero, como son las electroválvulas y las resistencias eléctricas permitiendo realizar las conexiones dentro del tablero acortando las conexiones al exterior.

#### **f Relays de control de las luces indicadoras de proceso**

Realizan el control de las luces indicadoras de procesos, utilizan 110 Vac para alimentación de sus bobinas. Para realizar el control reciben las señales directas de las salidas del LOGO!

### **3.4.3 Programación de LOGO! 24 RC**

Para realizar el diseño del programa que va a ejecutar el LOGO! para la automatización de la máquina se tiene en cuenta los diferentes procesos que van a ejecutarse en el desarrollo del termoformado, asignando las funciones mediante sensores y pulsadores a las diferentes entradas y salidas del LOGO!.

Usamos la entrada analógica de la RTD conjuntamente con las entradas digitales del LOGO! para que pueda identificar qué operación debe realizar según la señal que se reciba; y las salidas digitales para que ejecute la acción de control en el proceso de termoformado.

Las entradas digitales reciben las siguientes señales:

- **I1:** botón de Paro de Emergencia.
- **I2:** abrir gripper.
- **I3:** cerrar gripper.
- **I4:** botón de Home.
- **I5:** botón Inicio de Proceso.
- **I6:** botón de Fin de Vacío.
- **I7:** sensor de posición, el portador de láminas de plástico se encuentra arriba, cuando los cilindros están totalmente recogidos.

- **I8:** sensor de posición, el portador de láminas de plástico está en la posición de home que es la mitad de la carrera de los cilindros.
- **I9:** sensor de posición, el portador de láminas de plástico está abajo, el vástago de los cilindros está totalmente afuera.
- **I10:** señal recibida de la alarma que envía el controlador de temperatura REX C-100.

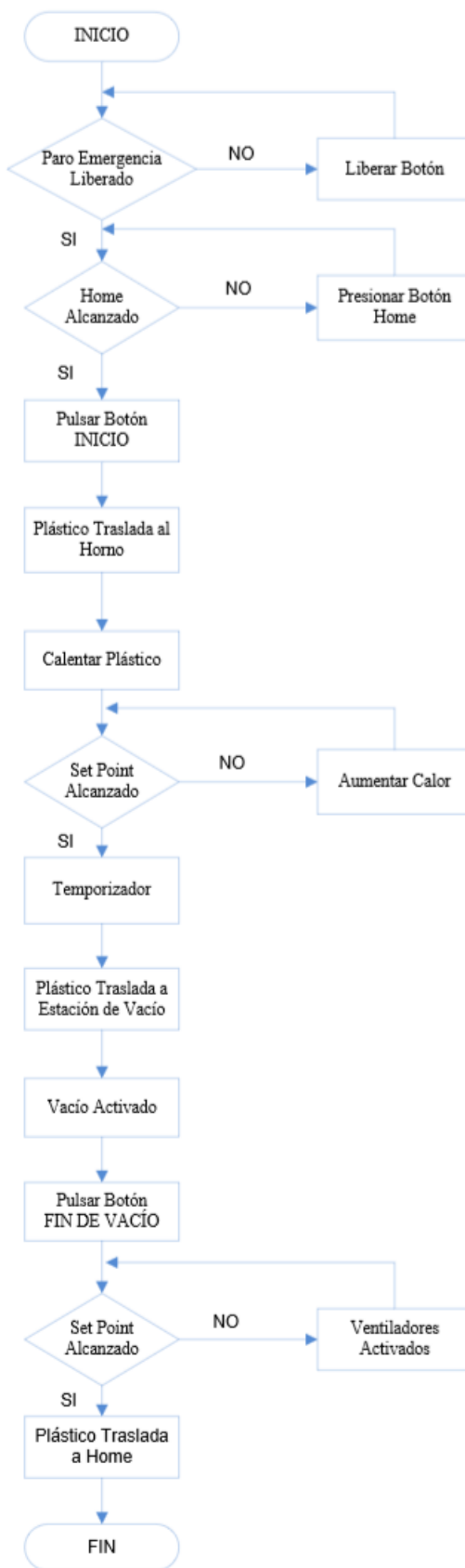
Las salidas digitales controlan los siguientes elementos:

- **Q1:** bobina de electroválvula 5/2 que hace abrir el gripper.
- **Q2:** bobina de electroválvula 5/2 que cierra el gripper.
- **Q3:** bobina de electroválvula 5/3 que hace que el portador de láminas de plástico suba.
- **Q4:** bobina de electroválvula 5/3 que hace que el portador de láminas de plástico baje.
- **Q5:** señal de control para el Relé de Estado Sólido.
- **Q6:** bobina de contactor que suministra el voltaje al motor trifásico y a la electroválvula del sistema de vacío.
- **Q7:** bobina de contactor que suministra energía eléctrica a los enfriadores para el plástico.
- **Q8:** bobinas de relays que realizan el control de las luces indicadoras de proceso.

#### Notas:

- Las electroválvulas 5/2 solo necesitan recibir un pulso eléctrico para cambiar de posición.
- La electroválvula 5/3 es necesario que reciba para cambiar de posición, ya que al no recibir nada se queda en la posición media haciendo que los vástagos no se muevan.
- La alimentación de Q5 es con 24 Vdc debido a que el voltaje de control que requiere Relé de Estado Sólido es de 3 a 32 Vdc, las demás entradas de las salidas están conectadas a fase de 220 Vac.
- La entrada analógica de la PT 100 se la denomina A1, que sensa la temperatura de enfriamiento del plástico.

A continuación se muestra el diagrama del proceso que realiza el LOGO! para la automatización de la máquina termoformadora.



**Figura 86 Diagrama de flujo del programa de control de la termoformadora**

Usando el diagrama de proceso mostrado anteriormente se procede a realizar la programación del LOGO! usando el lenguaje de Función de Bloques (Anexo C), que es el lenguaje propio de programación para este tipo de controladores.

## CAPÍTULO IV

### 4 PRUEBAS Y RESULTADOS

#### 4.1 Introducción

Después de construir la máquina termoformadora se necesita seguir un procedimiento de pruebas para determinar el correcto funcionamiento de la misma y así observar posibles fallas en alguna parte de los sistemas, lo que nos servirá para regular y calibrar las variables hasta obtener un producto final acorde a las exigencias de la empresa MIVILTECH SOLUCIONES INDUSTRIALES S.A.

#### 4.2 Primera prueba

En la primera prueba realizada se utilizaron los siguientes parámetros de calibración mostrados en la **Tabla 32**.

**Tabla 32**

#### Parámetros de calibración primera prueba

Temperatura mostrada	Tiempo de calentamiento	Tiempo de vacío	Temperatura de enfriamiento
190 °C	180 seg.	7 seg.	60° C

Al realizar esta prueba se pudo obtener un producto final como el mostrado en la **Figura 87**, del cual se pueden hacer las siguientes observaciones.



**Figura 87** Producto final de la primera prueba

- Existe una fuga de vacío por los tirafondos que conforman la caja del sistema, lo que se corrige ajustando estos tornillos para que tengan una mayor profundidad permitiendo sellar la caja en su totalidad.
- El material calentado no se encontraba del todo maleable por lo que se debe incrementar la temperatura así como el tiempo de calentamiento.
- Se observa estrías, las cuales son producto de una presión de vacío insuficiente, se procederá a aumentar el tiempo en el que se realiza el vacío de la pieza.
- El producto seguía caliente para ser manipulado por un trabajador por lo que se necesita disminuir la temperatura de enfriado sensada.

### 4.3 Segunda prueba

En la segunda prueba realizada se utilizaron los siguientes parámetros de calibración mostrados en la **Tabla 33**.

**Tabla 33**

#### Parámetros de calibración segunda prueba

Temperatura mostrada	Tiempo de calentamiento	Tiempo de vacío	Temperatura de enfriamiento
210 °C	240 seg.	10 seg.	25° C

Al realizar esta prueba se pudo obtener un producto final como el mostrado en la **Figura 88**, del cual se pueden hacer las siguientes observaciones.

- Se disminuyeron considerablemente las estrías formadas pero aún se pueden ver unas pocas, para ello se aumentará el tiempo de vacío.
- El estado del material aun no era el adecuado en ciertas zonas, se procederá a aumentar el tiempo de calentamiento para que el calor se distribuya uniformemente.
- Los ángulos de molde no eran los adecuados y producían pequeñas estrías en las partes laterales, se corregirá el molde.



- El producto final se encontraba a una temperatura óptima para ser manejado manualmente



**Figura 88 Producto final de la segunda prueba**

#### 4.4 Tercera prueba

En la tercera prueba realizada se utilizaron los siguientes parámetros de calibración mostrados en la **Tabla 34**.

**Tabla 34**

**Parámetros de calibración tercera prueba**

Temperatura mostrada	Tiempo de calentamiento	Tiempo de vacío	Temperatura de enfriamiento
210 °C	300 seg.	15 seg.	25° C

Al realizar esta prueba se pudo obtener un producto final como el mostrado en la **Figura 89**, del cual se puede hacer las siguientes observaciones.

- Las estrías desaparecieron y si existe alguna, están presentes en zonas que no afectan al producto final, debido al aumento del tiempo de vacío.
- Con los ángulos correctos del molde ya no se puede observar las estrías laterales.

- Con un tiempo de calentamiento más prolongado se logró tener uniformidad en la temperatura de la lámina de plástico.
- El tiempo de enfriamiento es el adecuado para que el producto final sea manejado sin problemas.



**Figura 89 Producto final de la tercera prueba**

#### **4.5 Evaluación por parte de la empresa**

Después de haber regulado las variables con éxito y tener un producto final aceptable se presenta al encargado de la empresa un formato del protocolo de pruebas indicado en la **Figura 90** en el que se evaluará a la máquina, en donde se consideran los siguientes aspectos:

- Revisión de dimensiones generales.
- Verificación de los componentes principales.
- Verificación del funcionamiento.

PROTOCOLO DE PRUEBAS	
Cliente:	Fecha:
Proyecto:	
Evaluadores:	



#### 1 VERIFICACIÓN DE LAS DIMENSIONES PRINCIPALES

DIMENSIONES PRINCIPALES			
	DIMENSIONES (mm)	ACEPTACIÓN	
		SI	NO
LARGO TOTAL			
ANCHO TOTAL			
ALTURA TOTAL			
LARGO TOTAL DE TRABAJO			
ANCHO TOTAL DE TRABAJO			

#### 2 VERIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES PRINCIPALES

COMPONENTES PRINCIPALES			
ELEMENTO	FUNCIONAMIENTO		
	BUENO	REGULAR	MALO
SISTEMA DE CALENTAMIENTO			
SISTEMA NEUMÁTICO			
SISTEMA DE VACÍO			
SISTEMA DE CONTROL			

#### 3 VERIFICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO

OPERACIÓN MÓDULO 1										
TIEMPO (min)	COLOCAR MOLDE		COLOCAR PLÁSTICO		ASEGURAR PLÁSTICO		LIBERAR PLÁSTICO		RETIRAR PRODUCTO	
	F	NF	F	NF	F	NF	F	NF	F	NF
5-10										
10-15										

OPERACIÓN MÓDULO 2												
TIEMPO (min)	CONTROLAR SISTEMA		ENCENDER CALENTADORES		DESPLAZAR PLÁSTICO		ACCIONAR VACÍO		APAGAGAR CALENTADORES		ACCIONAR REFRIGERACIÓN	
	F	NF	F	NF	F	NF	F	NF	F	NF	F	NF
5-10												
10-15												

#### 4 ACEPTACIÓN

SI  NO

**Figura 90 Formato del protocolo de pruebas**

### 4.6 Análisis financiero de la termoformadora

Para realizar el análisis tomamos en consideración el costo de la inversión inicial de todos los elementos utilizados para la construcción de la máquina, descritos en la **Tabla 35**.

**Tabla 35****Costo de construcción de la máquina termoformadora**

Ítem	Artículo	Valor
1	Materiales para estructura de la máquina	\$ 900.00
2	Materiales eléctricos	\$ 1000.00
3	Controlador SIEMENS LOGO!	\$ 250.00
4	Materiales neumáticos	\$ 1950.00
5	Bomba de vacío	\$ 1700.00
6	Mangueras neumáticas	\$ 210.00
7	Motor trifásico 5 HP	\$ 310.00
8	Resistencias eléctricas	\$ 1182.72
9	Pernos, tuercas y arandelas	\$ 20.00
10	Varios	\$ 200.00
<b>Total</b>		<b>\$ 7722.72</b>

**4.7 Análisis de producción**

Tomando en cuenta la cantidad de moldes que se pueden utilizar para optimizar el área de trabajo tenemos que por cada lámina de plástico se puede obtener 6 basureros con sus respectivas tapas o 5 parantes (embellecedor de ventana). Presentamos una tabla de costo por lámina según su espesor y el precio individual de acuerdo al artículo moldeado.

**Tabla 36****Costo de termoformado por lámina**

Lámina de poliestireno 1.2x2.4 m	Costo	Basureo y tapa	Parante
<b>1 mm</b>	\$ 18.54	\$ 3.09	\$ 3.71
<b>2 mm</b>	\$ 36.62	\$ 6.10	\$ 7.33

Para ofrecer mayor seguridad del producto a los clientes se recomienda utilizar la lámina de 2 mm de espesor. Tomando en cuenta la mano de obra y el costo de energía eléctrica se obtiene los siguientes costos de producción para los artículos mencionados.

- **Consumo de energía eléctrica:** la máquina consume un máximo de 60 amperios a 220 voltios, dándonos como resultado una potencia de 13.2 KW, el costo del KW/h es de \$ 0.12 en el sector industrial, el costo de energía de termoformado es \$ 1.58 por hora de trabajo.
- **Mano de obra:** el costo por hora de un operador de la empresa es \$ 1.90.
- Por cada hora de trabajo se estima que se puede realizar la producción total de 3 láminas de plástico sin importar el diseño del molde que se esté utilizando.

Cada bus por lo general utiliza 12 parantes y un basurero lo que indica que se debe utilizar 2.5 láminas de plástico, aprovechando el plástico por completo se logra obtener 14 parantes y 1 basurero.

En tres láminas se obtiene 18 basureros y 15 parantes, que nos ayuda a determinar el costo de cada artículo, teniendo los datos descritos en la **Tabla 37**.

**Tabla 37**

**Costos de producción de basurero y parante**

	Termoformado	Ener. eléctrica	Mano de obra	Costo total
<b>Basurero</b>	\$ 6.10	\$ 0.09	\$ 0.10	\$ 6.29
<b>Parante</b>	\$ 7.33	\$ 0.11	\$ 0.13	\$ 7.57

**4.8 Porcentaje de ganancia**

Por análisis de venta realizado por el departamento financiero de la empresa se plantea un porcentaje de ganancia del 100% en los artículos termoformados, dando como resultado los siguientes precios para la venta.

**Tabla 38**

**Precio de venta de artículos termoformados**

Artículo	C. Producción	% de ganancia	Precio de venta
<b>Basurero y tapa</b>	\$ 6.29	\$ 6.29	\$ 12.58
<b>Parante</b>	\$ 7.57	\$ 7.57	\$ 15.14

#### 4.9 Análisis de ventas

Mensualmente se venden estos accesorios para 8 buses, y otros clientes compran los artículos por separado; teniendo los siguientes valores de ingreso.

**Tabla 39**

#### Ingreso mensual por ventas de productos termoformados

Cantidad	Artículo	Valor ganancia	Valor total
80	Basurero y tapa	\$ 6.29	\$ 503.20
2168	Parantes	\$ 7.57	\$ 1635.12
<b>Total</b>			\$ 2138.32

#### 4.10 Recuperación de la inversión

Con los valores de ingreso de las ventas podemos determinar el tiempo necesario para recuperar el valor de la inversión de la máquina termoformadora.

$$T = \frac{\$ 7722.72}{\$ 2138.32} = 3.6 \cong 4$$

El tiempo de recuperación de la inversión en la máquina termoformadora de plástico es de 4 meses, lo que quiere decir que a partir del noveno mes de producción se obtienen ganancias.

#### 4.11 Flujo de caja

El flujo de caja se realiza con una proyección estimada de 5 años, considerando una inversión inicial de 7 722.72 [USD] y una inversión de operación de 4 200,00 proyectada para un año, el mismo que se detalla en la **Tabla 4.9**.

Para realizar el flujo de caja mostrado en la **Tabla 4.10** se analizan los siguientes aspectos:

- Basándose en datos históricos de la empresa se estima para el primer año ventas de 50,000.00 USD.
- Se estima un incremento del 5% en la inversión de operación para los años siguientes.

- La empresa se ha puesto como meta incrementar sus ventas en un 15% anual.

**Tabla 40****Costo total de inversión de un año de la máquina**

COSTOS	TOTAL [USD]
Materiales directos	28800
Mano de obra directa	1200
Otros costos indirectos	500
<b>Inversión año 1</b>	<b>30500</b>

**Tabla 41****Flujo de Caja**

DETALLES	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
<b>INVERSIÓN</b>	7.722,72	30.500,00	32.025,00	33.623,25	35.304,41	37.069,63
<b>VENTAS</b>	0	50.000,00	57.500,00	66.125,00	76.043,75	87.450,31
<b>FLUJO NETO</b>	(7.722,72)	19.500,00	22.475,00	32.499,75	40.739,34	50.380,68

**4.12 Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR)**

El VAN y el TIR son dos de los criterios económicos más utilizados para la evaluación de proyectos. Con éstos se puede conocer si un proyecto es rentable y si es conveniente invertir en él o no. El análisis se lo realizará con una tasa de interés del 10.21% anual (BCE, 2015) y calculando se puede obtener el beneficio neto a cinco años.

Para el cálculo del VAN se utiliza la siguiente ecuación:

$$VAN = -k_0 + \sum_{i=1}^n \frac{FC_i}{(1 + D)^i}$$

Donde:  $k_0$  = Inversión de capital inicial

$FC_i$  = Flujo de caja en el año  $i$

$D$  = Tasa de descuento real utilizado

$i$  = Número de periodos de vida del proyecto

Y para el cálculo del TIR se iguala el VAN a cero y se procede a calcular usando la siguiente ecuación:

$$VAN = 0 = -k_0 + \sum_{i=1}^n \frac{F c_i}{(1 + TIR)^i}$$

Empleando el software EXCEL calculamos los valores presentados en la **Tabla 4. 11** los mismos que serán analizados de acuerdo a lo obtenido.

**Tabla 42**

**Resultados VAN, TIR y B/C**

<b>VAN</b>	<b>111.352,24</b>
<b>TIR</b>	<b>274%</b>
<b>B/C</b>	<b>14,42</b>

Debido a que el VAN es positivo y la TIR está por encima de la tasa de interés con la que se desarrolló el proyecto, se puede afirmar que es rentable y la inversión generara ganancias, así mismo se obtuvo un resultado de la relación costo beneficio de 14,42 lo que nos muestra que por cada dólar invertido en la construcción de la máquina se tendrá 14,42 dólares de retorno.

#### 4.13 Validación de la hipótesis

- ¿Es posible diseñar y construir la máquina termoformadora de plásticos para le empresa MIVILTECH SOLUCIONES INDUSTRIALES S.A.?

El diseño y construcción de una máquina termoformadora de plásticos fue posible utilizando material que en su mayoría se puede conseguir en el mercado nacional, logrando así un costo de construcción considerablemente bajo comprada con una máquina de similares características que se comercializa en el mercado internacional.



La implementación de este proyecto le será útil a la empresa MIVILTECH SOLUCIONES INDUSTRIALES S.A. permitiendo así mejorar el tiempo, precio y cantidad de producción.

## CAPÍTULO V

### 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

- Las alternativas de solución que se obtienen mediante el método de la casa de la calidad, son las más eficientes pero a su vez no es la alternativa más económica, debido a que por economía de la empresa se utilizó resistencias eléctricas que son mucho más baratas que las lámparas infrarrojas.
- Se diseñó y construyó una máquina termoformadora con control automático usando la técnica de vacío, para la fabricación de autopartes para la empresa MIVILTECH Soluciones Industriales S.A., permitiendo producir autopartes de una forma más eficiente y económica, con un ahorro del 30% en costos de producción a comparación con la técnica de fibra de vidrio.
- Las pruebas realizadas en el horno confirman que la selección de la potencia de los calentadores está bien realizado permitiendo que cualquier tipo de plástico llegue a su temperatura requerida para que sea termoformable en un tiempo de 6 minutos.
- El caudal generado por la bomba de vacío es el adecuado para evacuar el volumen de aire de los moldes incluyendo la máxima capacidad de trabajo de la máquina, haciendo que el proceso de producción sea óptimo y sin tener pérdidas de energía.
- La correcta selección de los cilindros neumáticos que permiten al portador de láminas de plástico se traslade libremente en las diferentes estaciones de la máquina sin que realicen algún esfuerzo mecánico. También evitan que la lámina de plástico se desplace de la sujeción del gripper.
- En la automatización de la máquina se utiliza un LOGO! 24 RC el cuál cumple satisfactoriamente con todos los requisitos de la máquina como son las entradas y salidas digitales; y las entradas analógicas para realizar la correcta automatización del proceso de termoformado.

- Para controlar la temperatura del horno se utiliza un control de temperatura REX C-100, que realiza su operación utilizando el método PID y a la vez interactúa con el PLC permitiendo que el proceso automático se realice con normalidad.
- La interacción de la máquina con el operador está diseñada para que sea lo más simple posible y de fácil aprendizaje para que el personal de la empresa MIVILTECH se pueda familiarizar con la máquina rápidamente, debido a que la mayoría solo tiene formación académica de segundo nivel.
- El proceso de termoformado redujo los tiempos de producción en comparación de la elaboración en fibra de vidrio considerablemente, disminuyendo la producción de 40 basureros mensuales a tan solo un día de trabajo y los parantes se redujo la producción de 108 mensuales a un día y medio.
- El termoformado es una técnica que ayuda al trabajador a precautelar su salud ya que no se expone a la toxicidad de los químicos que se utilizan en la fabricación en fibra de vidrio.

## 5.2 Recomendaciones

- Emplear de forma correcta el manual de operación para evitar posibles errores en el funcionamiento de la máquina.
- Aplicar las temperaturas según el rango permisible de cada tipo de plástico a utilizarse, así se evitará que el plástico se dañe o se derrita.
- Optimizar el diseño de los moldes para utilizar el 100% del área de trabajo de la máquina obtener mayor rentabilidad y reducir pérdidas y desperdicios de material.
- La distancia de separación de los moldes para reducir que se formen estrías debe ser igual a 1.75 veces de la altura que posee el molde.
- Utilizar protecciones de seguridad cuando se realice el proceso de termoformado; como son: guantes, mascarilla y tapones auditivos. La mascarilla es de uso obligatorio debido a que algunos de los plásticos son cancerígenos para la salud humana.
- Mantener el nivel de aceite dentro de los límites indicados en el Filtro Regulador Lubricador (FRL) para mantener siempre lubricado los vástagos y émbolos de los cilindros neumáticos para prolongar su vida útil.
- Realizar el mantenimiento periódico de los diferentes elementos de la máquina para evitar daños que puedan interrumpir la producción por un largo periodo de tiempo.
- Cuando no se utilice la máquina se debe cubrir la mesa de vacío para impedir que entren impurezas como el polvo, que posteriormente puedan ocasionar deterioro al sistema de vacío.

## BIBLIOGRAFÍA

- AK Steel Corporation. (2012). *Hot dip galvanized steel*. West Chester.
- Alzate Rodríguez, E. J., Montes Ocampo, J. W., & Silva Ortega, C. A. (2007). *Medición de temperatura: sensores termoeléctricos*. Paper.
- Cerrada, M. (1995). *Propiedades mecánicas, comportamiento viscoelástico y anisotropía de copolímeros de alcohol vinílico y etileno*. Madrid: Tesis doctoral.
- Guilcamaigua Maisincho, J., & Vaca Navas, W. (2013). *Diseño e implementación de una máquina semiautomática de termoformado con panel operador para la elaboración de empaques tipo blíster de un producto de la empresa Metal Arte Guilcamaigua*. Latacunga: Tesis de grado.
- Incropera, F. P. (1999). *Fundamentos de transferencia de calor*. México, D.F.: Prentice Hall.
- Marquéz Zurita, C. D. (2012). *Control automático de temperatura en el proceso de termoformado de láminas, en la planta "Techoluz" de Tubasec C.A*. Riobamba: Tesis de grado.
- Martín. (s.f.). *Transmisión por Bandas*.
- PLASTIGLAS DE MÉXICO S.A. (s.f.). *Manual Técnico TERMOFORMADO*. México, D.F.
- Riba, C. (2004). *Diseño concurrente*. Quito.
- Robert, & Mott, R. L. (2006). *Diseño y elementos de máquinas*. México: Pearson Educación.
- Rockwool Marine & Offshore. (2015). *Rockwool Marine Firebatts*. Hedehusene.
- SIEMENS. (s.f.). *Manual LOGO!*
- Urquiza, J. (1994). *Hornos industriales de resistencias*. Colombia: S.A. MCGRAW-HILL.

## LINKOGRAFÍA

- (s.f.). Obtenido de <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/AP.T1.1-MPyC.Tema1.IntroduccionPolimeros.Generalidades.pdf> [Recuperado 24-08-2014]
- Acebo Rueda, R. A. (29 de Julio de 2013). *slideshare.net*. Obtenido de <http://www.slideshare.net/RubnAlexanderAcevedo/relacin-entre-corrientes-de-fase-y-lnea-24743237> [Recuperado 12-06-2014]
- Arian Control & Intrumentación. (s.f.). *Arian.cl*. Obtenido de <http://www.arian.cl/downloads/nt-002.pdf> [Recuperado 13-05-2015]
- Brindis, E. (2002). Propiedades Básicas de los Polímeros. Obtenido de <http://www.bibliociencias.cu/gsd/collect/libros/index/assoc/HASHdff3.dir/doc.pdf> [Recuperado 24-06-2015]
- Disensa. (2015). *disensa.com*. Obtenido de [disensa.com: http://disensa.com/main/images/pdf/electro\\_cables.pdf](http://disensa.com/main/images/pdf/electro_cables.pdf) [Recuperado 14-05-2014]
- Gavilanez, N. (16 de Mayo de 2013). *Procesos de manufactura ESPOCH.blogspot.com*. Obtenido de [http://procesosdemanufacturaepoch.blogspot.com/2013\\_05\\_01\\_archive.html](http://procesosdemanufacturaepoch.blogspot.com/2013_05_01_archive.html) [Recuperado 14-08-2014]
- I Trade. (s.f.). *Hangzhou Color Equipos De Recubrimiento*. Obtenido de <http://esp.colopowdercoatingequipment.com/pid13958988/Horno+de+Polimerizado+infrarrojos+para+el+secado.html> [Recuperado 14-09-2014]
- Mater.upm.es*. (s.f.). Obtenido de [http://www.mater.upm.es/polimeros/Documentos/Cap6\\_4Termoformado.pdf](http://www.mater.upm.es/polimeros/Documentos/Cap6_4Termoformado.pdf) [Recuperado 26-10-2014]
- MedirTemperatura.com. (s.f.). *Medirtemperaura.com*. Obtenido de <http://medirtemperatura.com/PT100-PT1000.php> [Recuperado 18-03-2015]

- Neumática Seritium. (2013). *seritiumneumatica.wikispaces.com*. Obtenido de <http://seritiumneumatica.wikispaces.com/Unidad+de+mantenimiento> [Recuperado 05-08-2015]
- Omron Electronics S.A.: (s.f.). *Reitec.es*. Obtenido de <http://www.reitec.es/Pdf/documentacion6.pdf> [Recuperado 16-07-2015]
- Pallomaro. (s.f.). *Pallomaro.com*. Obtenido de <http://www.pallomaro.com/catalogo/productos/horno-de-conveccion-xf195> [Recuperado 04-06-2015]
- PDBlowers Inc. (Diciembre de 2004). *PDBlowers*. Obtenido de [www.pdblowers.com:www.pdblowers.com/admin/uploads/24\\_urai\\_vacuum\\_performance\\_curve\\_2.pdf](http://www.pdblowers.com:www.pdblowers.com/admin/uploads/24_urai_vacuum_performance_curve_2.pdf) [Recuperado 23-05-2015]
- Rezistans, I. (s.f.). *Isiformrezistans.com*. Obtenido de <http://www.isiformrezistans.com/es/urunler-56-horno-stones-y-alambres----.html> [Recuperado 19-09-2015]
- SLU, S. S. (2014). *Solerpalau.es*. Obtenido de <http://www.solerpalau.es/es-es/hojas-tecnicas-velocidad-del-aire/> [Recuperado 24-06-2015]

# ANEXOS

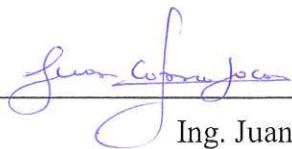


**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE**  
**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

**CERTIFICACIÓN**

Se certifica que el presente trabajo fue realizado por los señores: Luis Enrique Martínez Chile y Fabián Alberto Moya Paredes.

En la ciudad de Latacunga, a los 12 días del mes de Noviembre del 2015.

  
\_\_\_\_\_

Ing. Juan Correa J.


**DIRECTOR DEL PROYECTO**

  
\_\_\_\_\_

Ing. Freddy Salazar P.

**CODIRECTOR DEL PROYECTO**

Aprobado por:

  
\_\_\_\_\_

Ing. Vicente Hallo

**DIRECTOR DE LA CARRERA DE  
INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

  
\_\_\_\_\_

Dr. Freddy Jaramillo

**SECRETARIO ACADÉMICO**