



ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO  
EXTENSIÓN LATACUNGA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

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

JESSY ELIZABETH GUILCAMAIGUA MAISINCHO  
WILMER MELCHOR VACA NAVAS

Tesis presentada como requisito previo a la obtención del grado de:

INGENIERO EN ELECTROMECAÁNICA

Año 2013

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**  
**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**CERTIFICACIÓN**

ING. MISAEL PAZMIÑO (DIRECTOR)

ING. SALAZAR FREDDY (CODIRECTOR)

**CERTIFICAMOS:**

Que el trabajo titulado “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” fue realizado en su totalidad por los señores: GUILCAMAIGUA MAISINCHO JESSY ELIZABETH y VACA NAVAS WILMER MELCHOR como requisito parcial para la obtención del título de Ingeniero Electromecánico, el mismo que ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas en el Reglamento de Estudiantes de la Escuela Politécnica del Ejército.

Debido a que constituye un trabajo de excelente contenido científico que coadyuvara a la aplicación de conocimientos y al desarrollo profesional, se recomienda su publicación.

Latacunga, Febrero del 2013

-----  
Ing. Misael Pazmiño  
**DIRECTOR**

-----  
Ing. Freddy Salazar  
**CODIRECTOR**

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**  
**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Nosotros,           GUILCAMAIGUA MAISINCHO JESSY ELIZABETH  
                          VACA NAVAS WILMER MELCHOR

**DECLARAMOS QUE:**

El proyecto de grado denominado “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” ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

En tal virtud, declaramos la autenticidad de este contenido y para los efectos legales y académicos que se desprende del presente proyecto de grado, es y será de nuestra autoría, responsabilidad legal y académica.

Latacunga, Febrero del 2013

-----  
Guilcamaigua Jessy  
CI. 050323980-8

-----  
Vaca Wilmer  
CI. 050318782-5

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**  
**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN**

Nosotros,                   GUILCAMAIGUA MAISINCHO JESSY ELIZABETH  
                                  VACA NAVAS WILMER MELCHOR

**AUTORIZAMOS:**

A la Escuela Politécnica del Ejército, la publicación en la Biblioteca Virtual y/o revistas de la Institución de nuestro trabajo “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”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, Febrero del 2013.

-----  
Guilcamaigua Jessy  
CI. 050323980-8

-----  
Vaca Wilmer  
CI. 050318782-5

## **DEDICATORIA**

Con todo amor y respeto dedico este proyecto a mis padres Leonor y Ángel por todo el esfuerzo que han realizado juntos para construir la empresa METAL-ARTE en la que desarrolle mi Tesis. Y gracias a la misma, mis padres han podido financiar mis estudios y darme todo lo que hoy soy.

Dedico también todo el esfuerzo realizado a aquellas personas que aun creemos y pensamos firmemente que la Pequeña Industria puede seguir creciendo.

*Jessy Elizabeth*

## **AGRADECIMIENTO**

El más sincero agradecimiento a mi familia GUILCAMAIGUA MASINCHO por todo el amor demostrado durante toda mi vida, a mi madre Leonor y mis hermanos Betty y Paúl les agradezco mucho por sus palabras de motivación que me regalaban, un agradecimiento especial a mi padre por el esfuerzo que realizo junto a mí durante el desarrollo de este proyecto.

Agradezco también a una persona muy especial en mi vida que siempre estuvo apoyándome en aquellos momentos en que todo me parecía complicado, por entenderme y escucharme, también a mis amigos que siempre estuvieron pendientes del desarrollo de mi tesis.

*Jessy Elizabeth*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN .....	ii
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD .....	iii
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN .....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
ÍNDICE DE TABLAS .....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xvii
RESUMEN .....	xviii
ABSTRACT .....	xix
ANTECEDENTES .....	xx
JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA .....	xxi
OBJETIVO GENERAL .....	xxi
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	xxi
<b><i>CAPÍTULO 1</i></b> .....	<b>- 1 -</b>
<b><i>MARCO TEÓRICO</i></b> .....	<b>- 1 -</b>
<b>1.1. PLÁSTICOS</b> .....	<b>- 1 -</b>
1.1.1. Introducción .....	- 1 -
1.1.2. Propiedades térmicas de los plásticos .....	- 1 -
<b>1.2. TERMOPLÁSTICOS</b> .....	<b>- 1 -</b>
<b>1.3. POLÍMEROS EMPLEADOS EN EL TERMOFORMADO</b> .....	<b>- 2 -</b>
1.3.1. Policloruro de vinilo (PVC) .....	- 3 -
<b>1.4. TERMOFORMADO</b> .....	<b>- 4 -</b>
1.4.1. Definición .....	- 4 -
1.4.2. Ventajas .....	- 4 -
1.4.3. Métodos de termoformado .....	- 5 -
1.4.5 Elementos fundamentales de una máquina de termoformado .....	- 7 -
1.5.4 Variables de termoformado .....	- 12 -
1.5.5 Variables del molde .....	- 14 -
1.5.6 Moldes para termoformado .....	- 15 -

<b>1.6 DESCRIPCIÓN DE ELEMENTOS EMPLEADOS EN LA MÁQUINA.....</b>	<b>- 16 -</b>
1.6.1 Elementos mecánicos .....	- 17 -
1.6.2 Elementos eléctricos y electrónicos .....	- 18 -
<b><i>CAPÍTULO 2.....</i></b>	<b>- 29 -</b>
<b><i>DISEÑO Y/O SELECCIÓN DEL SISTEMA MECÁNICO.....</i></b>	<b>- 29 -</b>
<b>2.1. RESTRICCIONES Y LIMITACIONES .....</b>	<b>- 29 -</b>
<b>2.2. SISTEMAS QUE CONFORMAN LA MÁQUINA TERMOFORMADORA.....</b>	<b>- 30 -</b>
<b>2.3. ESTACIÓN DE CALENTAMIENTO .....</b>	<b>- 31 -</b>
2.3.1. Requerimientos básicos.....	- 31 -
2.3.2. Propiedades de los componentes del panel calefactor.....	- 32 -
2.3.3. Espesor del aislante térmico .....	- 34 -
<b>2.4 ESTACIÓN DE FORMADO A PRESIÓN.....</b>	<b>- 37 -</b>
2.4.1. Fuerzas de formado por soplado .....	- 38 -
2.4.2. Molde .....	- 39 -
2.4.4 Columnas.....	- 45 -
2.4.5 Mecanismo de palanca articulada.....	- 51 -
2.4.6 Mesas.....	- 64 -
<b>2.5 ESTACIÓN DE CORTE .....</b>	<b>- 74 -</b>
2.5.1 Fuerza de corte .....	- 75 -
2.5.2 Columnas.....	- 75 -
2.5.3 Mecanismo de palancas articuladas .....	- 78 -
2.5.4 Mesas Fijas .....	- 81 -
<b>2.6 SISTEMA DE TRANSPORTE.....</b>	<b>- 83 -</b>
2.6.1 Transmisión de potencia.....	- 84 -
2.6.2 Longitud del vástago del cilindro neumático .....	- 85 -
2.6.3 Diseño de ejes.....	- 87 -
<b>2.7 BASTIDOR .....</b>	<b>- 92 -</b>
2.7.1 Vigas.....	- 92 -
2.7.2 Marcos Rígidos .....	- 93 -
2.7.3 Criterios de diseño.....	- 94 -
2.7.4 Cálculo de la estructura .....	- 95 -
<b>2.8. SISTEMA NEUMÁTICO.....</b>	<b>- 109 -</b>
2.8.1. Selección de cilindros neumáticos para la estación de formado .....	- 111 -
<b><i>CAPÍTULO 3.....</i></b>	<b>- 116 -</b>

<b>SELECCIÓN DE ELEMENTOS PARA LA AUTOMATIZACIÓN .....</b>	<b>- 116 -</b>
<b>3.1. ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO... -</b>	<b>116 -</b>
3.1.1. Referencia.....	- 116 -
3.1.2. Controlador.....	- 117 -
3.1.3. Actuador .....	- 117 -
3.1.4. Proceso .....	- 117 -
3.1.5. Sensor .....	- 118 -
<b>3.2. SELECCIÓN DE LA PANTALLA HMI.....</b>	<b>- 118 -</b>
3.2.1. Clasificación.....	- 118 -
3.2.2. Características de la pantalla HMI KTP600 color básico .....	- 118 -
3.2.3. Aspecto destacables de las HMI KTP600 color básico.....	- 119 -
3.2.4. Interfaz PROFINET .....	- 120 -
3.2.5. Pantalla y gráficos .....	- 120 -
3.2.6. Teclas de función.....	- 121 -
<b>3.3. SELECCIÓN DEL PLC .....</b>	<b>- 121 -</b>
3.3.1. PLC SIMATIC S7-1200.....	- 122 -
<b>3.4 SELECCIÓN DE SENSORES .....</b>	<b>- 127 -</b>
3.4.1 Sensor de temperatura .....	- 127 -
3.4.2 Sensor de posición.....	- 127 -
<b>3.5 AMPLIFICADOR AD595A .....</b>	<b>- 129 -</b>
<b>3.6 SELECCIÓN DE RELÉS.....</b>	<b>- 131 -</b>
3.6.1. Relé de estado sólido.....	- 131 -
<b>3.7 SELECCIÓN DE ELECTROVÁLVULAS NEUMÁTICAS.....</b>	<b>- 134 -</b>
<b>CAPÍTULO 4.....</b>	<b>- 135 -</b>
<b>CONSTRUCCIÓN, IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS.....</b>	<b>- 135 -</b>
<b>4.1. CONSTRUCCIÓN MECÁNICA.....</b>	<b>- 135 -</b>
4.1.1. Diagramas de procesos de los elementos mecánicos .....	- 135 -
<b>4.2 MONTAJE MECÁNICO DE LA MÁQUINA .....</b>	<b>- 164 -</b>
4.2.1 Montaje del sistema de calefacción.....	- 164 -
4.2.2 Montaje del sistema de formado .....	- 164 -
4.2.3 Montaje del sistema de corte .....	- 165 -
4.2.4 Montaje del sistema de transporte .....	- 165 -
<b>4.3 AUTOMATIZACIÓN .....</b>	<b>- 166 -</b>
4.3.1 Circuito de fuerza y control.....	- 167 -
4.3.2 Diagrama de flujo.....	- 173 -

4.3.3	Desarrollo del programa para el sistema de control .....	- 173 -
4.3.4	Tabla de variables definidas en el PLC .....	- 176 -
4.3.5	Programación principal .....	- 177 -
4.3.6	Control de temperatura .....	- 177 -
4.3.8	Comunicación PC con el PLC .....	- 185 -
4.3.9	Comunicación PROFINET S7-1200 con la pantalla KTP600 .....	- 186 -
<b>4.4</b>	<b>PUEBAS Y RESULTADOS .....</b>	<b>- 187 -</b>
4.4.1	Primera Prueba .....	- 187 -
4.4.2	Segunda Prueba .....	- 188 -
4.4.3	Tercera Prueba.....	- 189 -
	<b><i>CAPÍTULO 5.....</i></b>	<b><i>- 191 -</i></b>
	<b><i>ANÁLISIS FINANCIERO .....</i></b>	<b><i>- 191 -</i></b>
<b>5.1.</b>	<b>ANÁLISIS DE COSTOS DIRECTOS .....</b>	<b>- 191 -</b>
5.1.1.	Costos de materia prima .....	- 191 -
5.1.2.	Costos de elementos normalizados .....	- 193 -
5.1.3.	Costos de maquinado .....	- 193 -
5.1.4.	Costo total directo .....	- 193 -
<b>5.2.</b>	<b>ANÁLISIS DE COSTOS INDIRECTOS .....</b>	<b>- 194 -</b>
5.2.1.	Costos de materiales indirectos .....	- 194 -
5.2.2.	Costos de ingeniería .....	- 194 -
5.2.3.	Costos de imprevistos.....	- 195 -
5.2.4.	Costo indirecto total .....	- 195 -
<b>5.3.</b>	<b>COSTO TOTAL DE LA MÁQUINA.....</b>	<b>- 195 -</b>
<b>5.4.</b>	<b>FLUJO DE CAJA.....</b>	<b>- 196 -</b>
<b>5.5.</b>	<b>VALOR PRESENTE NETO (VPN) .....</b>	<b>- 197 -</b>
<b>5.6.</b>	<b>TASA INTERNA DE RETORNO (TIR) .....</b>	<b>- 198 -</b>
<b>5.7.</b>	<b>PERIODO REAL DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN (PRI) -</b>	<b>199 -</b>
<b>5.8.</b>	<b>RELACIÓN COSTO BENEFICIO .....</b>	<b>- 199 -</b>
	<b><i>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</i></b>	<b><i>- 200 -</i></b>
<b>6.1</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>- 200 -</b>
<b>6.2</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>- 202 -</b>
	<b><i>BIBLIOGRAFÍA Y ENLACES .....</i></b>	<b><i>- 203 -</i></b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1: Clases de plásticos termoplásticos amorfos.....	- 2 -
Tabla 1. 2: Polímeros empleados en el termoformado.....	- 2 -
Tabla 1. 3: Propiedades mecánicas del PVC.....	- 3 -
Tabla 1. 4: Materiales empleados en moldes de termoformado.....	- 15 -
Tabla 2. 1: Propiedades del acero inoxidable.....	- 33 -
Tabla 2. 2: Propiedades termo físicas de la lana de fibra de vidrio .....	- 33 -
Tabla 2. 3: Propiedades térmicas del acero ASTM A-36.....	- 34 -
Tabla 2. 4: Propiedades del Acero ASTM A-36 .....	- 53 -
Tabla 2. 5 Medidas de los eslabones 3 del sistemas de formado .....	- 59 -
Tabla 2. 6 Medidas de los eslabones 4 del sistemas de formado .....	- 61 -
Tabla 2. 7. Medidas de los eslabones 5 del sistemas de formado .....	- 61 -
Tabla 2. 8: Medidas de los eslabones de la estación de troquelado .....	- 78 -
Tabla 2. 9: Medidas de los eslabones 2 del sistema de troquelado .....	- 79 -
Tabla 2. 10: Medidas de los eslabones 4 del sistema de troquelado .....	- 79 -
Tabla 2. 11: Medidas de los eslabones 5 del sistema de troquelado .....	- 79 -
Tabla 2. 12. Pesos aplicados en la estructura de la estación de formado. ....	- 96 -
Tabla 2. 13. Pesos aplicados en la estructura de la estación de troquelado. ...	- 107 -
Tabla 2. 14: Datos de los cilindros neumáticos seleccionados. ....	- 115 -
Tabla 3. 1: Datos técnicos del sensor UP18RLD-8PA. ....	- 128 -
Tabla 3. 2: Ventajas de los relés de estado sólido en relación a los relés electromagnéticos.....	- 132 -
Tabla 3. 3: Electroválvulas NUMATICS serie 11SAD4 110. ....	- 134 -
Tabla 4. 1: Máquinas y herramientas empleadas. ....	- 135 -
Tabla 4. 2: Elementos constitutivos del sistema de calentamiento. ....	- 136 -
Tabla 4. 3: Elementos constitutivos del sistema de formado. ....	- 138 -
Tabla 4. 4: Elementos constitutivos del sistema de corte.....	- 148 -
Tabla 4. 5. Elementos constitutivos del sistema de transporte.....	- 152 -
Tabla 4. 6: Variables de entrada.....	- 176 -
Tabla 4. 7: Variables de salida. ....	- 177 -
Tabla 4. 8: Parámetros de calibración de la primera prueba. ....	- 187 -
Tabla 4. 9: Parámetros de calibración de la segunda prueba. ....	- 188 -
Tabla 4. 10: Parámetros de calibración de la segunda prueba. ....	- 189 -

Tabla 4. 11: Parámetros de calibración.....	- 190 -
Tabla 5. 1: Costos de materia prima.....	- 191 -
Tabla 5. 2: Costos de materiales normalizados.....	- 192 -
Tabla 5. 3: Costos de mecanizado.....	- 193 -
Tabla 5. 4: Costo total directo.....	- 193 -
Tabla 5. 5: Costos de materiales indirectos.....	- 194 -
Tabla 5. 6: Costos de imprevistos.....	- 195 -
Tabla 5. 7: Costo indirecto total.....	- 195 -
Tabla 5. 8: Costo total de la máquina.....	- 195 -
Tabla 5. 9: Costo total de la máquina.....	- 196 -
Tabla 5. 10: Flujo de Caja.....	- 196 -
Tabla 5. 11: Flujo de caja.....	- 198 -

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1: Esquema básico de tren de Termoformado. ....	- 4 -
Figura 1. 2: Termoformado a presión .....	- 5 -
Figura 1. 3: Molde negativo en termoformado. ....	- 6 -
Figura 1. 4: Molde positivo en termoformado. ....	- 6 -
Figura 1. 5: Termoformado mecánico.....	- 7 -
Figura 1. 6: Resistencias eléctricas calefactoras .....	- 8 -
Figura 1. 7: Esquema básico de una transmisión por cadena.....	- 10 -
Figura 1. 8: Proceso de troquelado.....	- 11 -
Figura 1. 9: Circuito neumático básico .....	- 11 -
Figura 1. 10: Curva esfuerzo-deformación de los plásticos.....	- 13 -
Figura 1. 11: Controlador Lógico Programable .....	- 19 -
Figura 1. 12: Esquema de un relé.....	- 20 -
Figura 1. 13: Elementos que forman un SSR.....	- 21 -
Figura 1. 14: Función detección de cruce por cero. ....	- 22 -
Figura 1. 15: Detector de cruce por cero.....	- 23 -
Figura 1. 16: Esquema de Funcionamiento de Termopar .....	- 24 -
Figura 1. 17: Distribución de pines AD595. ....	- 25 -
Figura 1. 18: Esquema de un Cilindro de Doble Efecto .....	- 28 -
Figura 1. 19: Esquema Electroválvula Normalmente Cerrada.....	- 28 -
Figura 2. 1: Sistemas de una máquina termoformadora.....	- 31 -
Figura 2. 2: Vista en corte de materiales del horno.....	- 32 -
Figura 2. 3: Difusión de la energía debido a la energía molecular. ....	- 35 -
Figura 2. 4: Transferencia unidimensional de calor por conducción. ....	- 36 -
Figura 2. 5: Elementos del Sistema de Formado.....	- 38 -
Figura 2. 6: Orificios del molde. ....	- 40 -
Figura 2. 7: Curvatura del molde .....	- 40 -
Figura 2. 8: Ángulo de salida .....	- 41 -
Figura 2. 9: Modificación de esquinas y bordes a) Diseño original. b) Diseño con esquinas y bordes redondeados. ....	- 41 -
Figura 2. 10: Diseño del molde.....	- 43 -
Figura 2. 11: Orificios del molde.....	- 44 -
Figura 2. 12: Cámara de soplado.....	- 44 -
Figura 2. 13: Barrenos de la cámara de soplado. ....	- 45 -
Figura 2. 14: Esquema de cargas aplicadas en las columnas. ....	- 46 -
Figura 2. 15: Diagrama de flujo para la construcción de columnas.....	- 47 -
Figura 2. 16: Columnas de la estación de formado.....	- 48 -
Figura 2. 17: Mecanismo de palanca articulada.....	- 51 -

Figura 2. 18: Elementos del mecanismo de palancas articuladas .....	- 52 -
Figura 2. 19: Eslabón 3 .....	- 54 -
Figura 2. 20: Esfuerzo sinusoidal completamente invertido .....	- 54 -
Figura 2. 21: Eslabón 4 y eslabón 5 .....	- 59 -
Figura 2. 22: Pasador 1 .....	- 62 -
Figura 2. 23: Diagrama de flujo para la construcción de placas .....	- 65 -
Figura 2. 24: Diagrama de cuerpo libre de la placa de la mesa fija de la estación de formado. ....	- 66 -
Figura 2. 25: Diagrama de fuerzas cortantes (V) .....	- 66 -
Figura 2. 26: Diagrama de momentos flectores (M) .....	- 67 -
Figura 2. 27: Dimensiones de las mesas fijas del sistema de formado .....	- 69 -
Figura 2. 28: Análisis con carga de las mesas fijas del sistema de formado.....	- 69 -
Figura 2. 29: Análisis con carga de mesas móviles del sistema de formado. ...	- 70 -
Figura 2. 30: Dimensiones de las mesas móviles del sistema de formado. ....	- 70 -
Figura 2. 31: Unión con perno .....	- 71 -
Figura 2. 32: Elementos del sistema de troquelado.....	- 75 -
Figura 2. 33: Columnas de la estación de troquelado. ....	- 76 -
Figura 2. 34: Mesa fija superior de la estación de troquelado .....	- 81 -
Figura 2. 35: Análisis de la mesa fija superior de la estación de troquelado ....	- 82 -
Figura 2. 36: Mesa fija inferior de la estación de troquelado.....	- 82 -
Figura 2. 37: Análisis de la mesa fija superior de la estación de troquelado ....	- 82 -
Figura 2. 38: Cadenas de tracción .....	- 83 -
Figura 2. 39: Elementos del sistema de transporte.....	- 83 -
Figura 2. 40: Esfuerzo sinusoidal completamente invertido .....	- 87 -
Figura 2. 41: Esfuerzo constante en el tiempo .....	- 88 -
Figura 2. 42: Diagrama de cuerpo libre y diagrama de momentos flectores. ...	- 89 -
Figura 2. 43: Diagrama de cuerpo libre del eje conducido principal .....	- 91 -
Figura 2. 44: Bastidor.....	- 93 -
Figura 2. 45: Dimensiones de la estructura de la estación de formado.....	- 95 -
Figura 2. 46: Diagrama de cuerpo libre del marco rígido .....	- 98 -
Figura 2. 47: Representación de cargas en el tramo A-B.....	- 99 -
Figura 2. 48: Representación de cargas en el tramo B-C.....	- 100 -
Figura 2. 49: Fuerza cortante y momento flector del marco rígido. ....	- 100 -
Figura 2. 50: Diagrama de cuerpo libre de las vigas transversales. ....	- 102 -
Figura 2. 51: Diagrama de cuerpo libre de la viga longitudinal.....	- 104 -
Figura 2. 52: Diagrama de fuerzas cortantes (V) .....	- 105 -
Figura 2. 53: Diagrama de momentos flectores (M) .....	- 105 -
Figura 2. 54: Estructura de la estación de troquelado. ....	- 106 -
Figura 2. 55: Diagrama de cuerpo libre del marco rígido. ....	- 108 -
Figura 2. 56: Diagrama de cuerpo libre de la viga transversal.....	- 109 -

Figura 2. 57: Ángulos de los eslabones cuando $\alpha = 10^\circ$ .....	112 -
Figura 2. 58: Carrera máxima. ....	113 -
Figura 2. 59: Consumo de aire en cilindros neumáticos. ....	114 -
Figura 3. 1: Elementos de un Sistema de Control Automático. ....	116 -
Figura 3. 2: SIMATIC HMI. ....	120 -
Figura 3. 3: Interfaz PROFINET. ....	121 -
Figura 3. 5: Partes externas del PLC. ....	123 -
Figura 3. 6: Interfaz PROFINET integrada. ....	125 -
Figura 3. 7: Funcionalidad PID. ....	126 -
Figura 3. 8: Descripción del sensor de posición. ....	128 -
Figura 3. 9. Diagrama de conexión .....	129 -
Figura 3. 10. Conexión básica del amplificador AD595A. ....	130 -
Figura 3. 11: Relés de estado sólido HSR-2D402Z. ....	132 -
Figura 3. 15: Esquema de conexión del relé de estado sólido. ....	133 -
Figura 4. 1. Montaje del sistema de calefacción .....	164 -
Figura 4. 2. Montaje del sistema de formado .....	164 -
Figura 4. 3: Montaje del sistema de corte. ....	165 -
Figura 4. 4: Montaje de ejes. ....	166 -
Figura 4. 5: Montaje de las ruedas dentadas y cadena de tracción. ....	166 -
Figura 4. 6: Circuito de fuerza. ....	169 -
Figura 4. 7: Entradas digitales y análogas al PLC. ....	171 -
Figura 4. 8: Salidas digitales y PWM del PLC. ....	173 -
Figura 4. 9: Diagrama de flujo principal. ....	173 -
Figura 4. 10: Diagrama de flujo modo automático. ....	176 -
Figura 4. 11: Sistema de control de temperatura. ....	178 -
Figura 4. 12: Circuito de conexión del CI. AD595. ....	179 -
Figura 4. 13: Principio básico de control de paquetes de oscilaciones. ....	180 -
Figura 4. 14: Evolución de la curva de temperatura. ....	182 -
Figura 4. 15: Método de oscilación. ....	183 -
Figura 4. 16: Programación para el HMI. ....	183 -
Figura 4. 17: Conexión del HMI con el PLC. ....	184 -

Figura 4. 18: Crear botón “AVANCE” .....	- 184 -
Figura 4. 19: Crear un botón. ....	- 185 -
Figura 4. 20: Asignar función al evento “Pulsar”. ....	- 185 -
Figura 4. 21: Dirección IP del PLC.....	- 186 -
Figura 4. 22: Dirección IP del HMI. ....	- 186 -
Figura 4. 23: Resultado de la primera prueba. ....	- 188 -
Figura 4. 24: Resultados de la segunda prueba. ....	- 188 -
Figura 4. 25: Resultados de la tercera prueba. ....	- 189 -
Figura 4. 26. Imagen Ingresar .....	- 1 -
Figura 4. 27. Imagen Modo automático .....	- 1 -
Figura 4. 28. Imagen Receta 160°C .....	- 1 -

## ÍNDICE DE ANEXOS

**Anexo – A:** Radiadores Térmicos.

**Anexo – B:** Tabla 8-2.

**Anexo – C:** Cadenas de Tracción.

**Anexo – D:** Ruedas Dentadas.

**Anexo – E:** Perfil Laminado IPN

**Anexo – F:** Tabal C-36.

**Anexo – G:** Perfil Laminado UPN

**Anexo – H:** PLC SIEMENS S7-1200

**Anexo – I:** Sensor de Proximidad.

**Anexo – J:** Circuito Integrado AD595A.

**Anexo – K:** Electroválvula Neumática.

**Anexo – L:** Relé de Estado Sólido de 40<sup>a</sup>.

**Anexo – M:** Programación PLC S7-1200.

**Anexo – N:** Configuración PANEL BASIC KTP600.

**Anexo – O:** Manual de Operación.

**Anexo – P:** Manual de Mantenimiento.

**Anexo – Q:** Planos.

## **RESUMEN**

El mercado actual oferta día a día variedad de productos, por lo que las industrias han implantado nuevas técnicas de marketing, una de estas es la publicidad mediante sus empaques, atrayendo mayor número de consumidores.

La máquina semiautomática de Termoformado para la elaboración de empaques tipo blíster, le permitirá a la empresa METAL ARTE recuperar la cadena de valor, es decir que existirá una relación directa entre productor - distribuidor - cliente.

El proyecto desarrolla una máquina que permite dar forma a la hoja plana de PVC en otra forma diferente y que se le fuerce a que copie todo el contorno y los detalles del molde, mediante una fuerza externa, en este caso aire comprimido con presiones de hasta 1.4 MPa. Para evitar que el aire comprimido escape al aplicar la técnica de soplado se emplea una prensa neumática que ejerce una fuerza de cierre de 25 KN. Dicha fuerza se logra gracias al mecanismo de palanca articula, el mismo que se emplea para vencer una gran resistencia con una fuerza motriz pequeña.

La temperatura es uno de los factores fundamentales para el termoformado, la distribución del calor debe ser uniforme y estable, para dicho efecto se emplea en el sistema de calentamiento un controlador PID que genera señales PWM.

El sistema de control posee un PLC SIEMENS S7 1200 y HMI KTP 600 de la misma marca, los mismos que se conectan mediante comunicación Ethernet. El software TIA PORTAL permite crear el algoritmo de control en manual o automático empleando lenguaje Ladder (escalera). El mando automático recibe señales digitales y analógicas producidas por los sensores de temperatura y posición.

El control de la máquina se realiza únicamente en forma física desde el panel operador, permitiendo monitorear y guardar parámetros de calibración para los diferentes tipos de moldes y materia prima.

## **ABSTRACT**

The current market offers a daily variety of products, so industries have implemented new marketing techniques, one of which is advertising, through its packaging, attracting more consumers.

The semi-automatic machine for the production of thermoformed blister packaging, will allow the company METAL ARTE recover the value chain, meaning that there is a direct relationship between producer - distributor - customers.

The project develops a machine that lets you shape the flat sheet of PVC in a different shape and that force to copy the entire outline and details of the mold, by an external force, in this case compressed air at pressures up to 1.4 MPa. To prevent the compressed air escape when applying the technique of blowing, a pneumatic press is used, which exerts a closing force of 25 kN. This force is achieved by the articulated lever mechanism; the same is used to overcome great resistance with a small driving force.

Temperature is one of the key factors for thermoforming, heat distribution to be uniform and stable, this effect is used for the heating in a PID controller that generates PWM signals.

The control system has a SIEMENS S7 PLC HMI KTP 1200 and 600 of the same brand, allow to they are connected by Ethernet communication. TIA Portal software creates the control algorithm in manual or automatic using Ladder language. The automatic control receives digital and analog signals produced by the temperature sensors and position.

The machine control is performed only in physical form from the operator panel, allowing monitoring and storing calibration parameters for different types of molds and feedstock.

## **ANTECEDENTES**

Los distintos productos manufacturados con plásticos se obtienen por variados procesos de moldeo. Entre otros, el proceso por el cual se usa una lámina de material termoplástico para darle una forma deseada, utilizando medios mecánicos o neumáticos para formar el artículo final sin pasar por la fusión del plástico, se denomina Proceso de Termoformado. Este proceso de transformación se puede realizar al vacío, a presión y en forma mecánica. Muchas son las líneas que requieren de este tipo de procesos: la industria productora de embalajes alimentarios, la fabricación de envases y empaques desechables, la industria automotriz (parachoques y tapicería), la fabricación de componentes de línea blanca (refrigeradores, estufas, etc.), etc.

Los envases quizá sean los objetos más cotidianos, comunes y necesarios que el ser humano haya inventado; a tal grado que de alguna manera proyectan la ideología y forma de vida de una sociedad completa en un periodo histórico determinado. Desde la forma más simple hasta el más complejo diseño, el envase cumple con la función específica para el cual fue creado: contener, proteger, informar sobre el producto. Y al final, el embalaje coadyuva al movimiento de éste durante el largo camino que recorre para llegar, a fin de cuentas, al consumidor.

Comercialmente adquiere cada vez más importancia; ha dejado de servir como simple contenedor y protector de mercancía, llegando a adquirir connotaciones simbólicas. Es crucial en la compra, ya que es lo primero que ve el consumidor antes de tomar la decisión final. Por ello, ha sido llamado el vendedor silencioso pues comunica las cualidades y beneficios que va a obtener al consumir determinado producto.

## **JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA**

La empresa METAL ARTE GUILCAMAIGUA en busca de integrarse al mercado competitivo, ha optado por implementar una maquinaria dentro de sus instalaciones. Esta ayudará a la elaboración de sus empaques tipo blíster, el cual cumplirá con las funciones específicas para el cual fue creado: contener, proteger e informar sobre el producto.

El empaque jugará un papel muy importante puesto que permitirá recuperar la cadena de valor, es decir que existirá una relación directa entre productor - distribuidor - cliente. Logrando así obtener mayores réditos económicos, puesto que se podrá incrementar sus porcentajes de ventas y promocionar su marca, a su vez en un futuro la empresa planifica ofrecer un servicio de elaboración de empaques plásticos.

## **OBJETIVO GENERAL**

Diseñar e implementar una máquina semiautomática de termoformado con panel operador que permita la visualización de parámetros del proceso para la elaboración de empaques tipo blíster de un producto de la empresa METAL ARTE GUILCAMAIGUA.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Diseñar y construir la matriz para la elaboración de los empaques.
- Diseñar y seleccionar las partes mecánicas, eléctricas que conformarán la máquina.
- Diseñar, seleccionar e implementar el sistema de control de la máquina de termoformado.
- Construir la máquina semiautomática de termoformado que permita realizar los empaques tipo blíster.
- Determinar los materiales y el límite máximo de espesor con los que la máquina podrá trabajar en condiciones normales.

# **CAPÍTULO 1**

## **MARCO TEÓRICO**

### **1.1. PLÁSTICOS**

#### **1.1.1. Introducción**

Dada la gran variedad de plásticos que existe en la actualidad, es cada vez mayor el uso de estos para la fabricación de cualquier pieza en todos los sectores. Estos materiales presentan una enorme variedad de propiedades muy diferentes, y conociendo su comportamiento, se puede obtener mucha información para cada aplicación específica.

#### **1.1.2. Propiedades térmicas de los plásticos**

En general, un plástico no es un material puro; no presenta un punto de fusión, sino un intervalo de fusión más o menos extenso, en el uso se observa una fusión pastosa cuyo comienzo es denominado punto de reblandecimiento. El calor específico de los plásticos varía entre 0,25 y 0,50 [cal / g °C]. El coeficiente de dilatación térmica es alto en la mayoría de los plásticos, generalmente de dos a diez veces la del acero.

Se producen grandes deformaciones en comparación con los metales, mediante aumentos de temperatura relativamente pequeños y no poseen agrietamientos por efectos térmicos.

### **1.2. TERMOPLÁSTICOS**

En general son polímeros con estructura lineal o ramificada, que mantienen su cohesión mediante fuerzas intermoleculares. Su intensidad depende del tipo y número de ramificaciones.

Los termoplásticos poseen bajas temperaturas de fusión, solubles en disolventes orgánicos y que al exponerlos al calor pueden fundirse o reblandecerse varias veces sin que cambie su estructura y propiedades, es decir, que pueden moldearse

de nuevo, por lo tanto son 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 al ambiente.

En la tabla 1.1 se muestra las clases de termoplásticos, su respectiva abreviatura internacional y su principal característica.

Tabla 1. 1: Clases de plásticos termoplásticos amorfos.

<b>TERMOPLÁSTICOS</b>	<b>ABREVIATURA</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
<b>Policarbonato</b>	PC	Resistencia química
<b>Plexiglás</b>	PMMA	Propiedades ópticas
<b>Poliestireno</b>	PS	Baja resistencia
<b>Cloruro de polivinilo</b>	PVC	Aislante térmico

### 1.3. POLÍMEROS EMPLEADOS EN EL TERMOFORMADO

Tabla 1. 2: Polímeros empleados en el termoformado.

<b>PROCESABILIDAD MEDIANTE TERMOFORMADO</b>			
<b>Polímero</b>	<b>Resistencia del fundido</b>	<b>Estabilidad térmica</b>	<b>Temperatura de operación</b>
<b>PET</b>	E	B	145 - 175
<b>PVC</b>	R/B	R/B	165 - 195
<b>PP homoplo</b>	M	B	170 - 185
<b>PS</b>	B	B	145 - 180

Básicamente, todos los polímeros (plásticos) termoplásticos son adecuados para el proceso de termoformado. Dichos materiales, cuando son sometidos a un calentamiento presentan una variación en su módulo de elasticidad, dureza y capacidad de resistencia bajo carga. Con un incremento de temperatura que rebase el H.D.T. (temperatura de deflexión por calor), el comportamiento del material tenderá a volverse en un estado fundido, teniendo como valor crítico la temperatura de revenido del polímero termoplástico.

Esto puede observarse en el rápido pandeo de la hoja calentada, cuando la fuerza de gravedad se vuelve suficiente para causar esta deformación.

La tabla 1.2 contiene los polímeros adecuados y más comunes para el termoformado, así como su temperatura de formado. El calor específico y la conductividad térmica son dos de las propiedades físicas de los polímeros que se usan extensivamente en el termoformado.

### 1.3.1. Policloruro de vinilo (PVC)

Para el diseño y fabricación de envases en la industria se presentan una serie de polímeros, su elección dependerá de las características que presente cada uno. El uso más difundido en el mercado son: polietileno (PE), policloruro de vinilo (PVC) y polipropileno (PP).

En la tabla 1.3 se indican las propiedades mecánicas normales del PVC. El coeficiente de dilatación lineal en fórmulas rígidas varía entre  $5 \times 10^{-5}$  y  $18 \times 10^{-5} \text{K}^{-1}$ . Es fácil de transformar. Se suele trabajar a temperaturas comprendidas entre 150 – 205 °C en formulaciones rígidas y entre 140 – 180 °C en flexibles.

Tabla 1. 3: Propiedades mecánicas del PVC

<b>Esfuerzo de tracción</b>	35 - 65MPa
<b>Alargamiento</b>	2-150%
<b>Módulo elástico</b>	2450 - 4200 MPa
<b>Dureza</b>	70 - 90 Shore D

La contracción en los moldes suele oscilar entre 0.1 – 0.4 % en el PVC rígido y 10 – 0.5 % en las formulaciones flexibles.

*Aplicaciones:*

Envases: El envase de PVC ofrece interesantes ventajas como son la claridad y transparencia, altas propiedades mecánicas, resistencia a las grasas, aceites, alcoholes, etc.

## 1.4. TERMOFORMADO

### 1.4.1. Definición

El termoformado, o formado al caliente, es una serie de procesos para conformar lámina o película de plástico de material termoplástico sobre un molde, aplicando calor y presión para darle la forma deseada. El proceso se emplea ampliamente para el desarrollo de muchos recipientes como:

- Recipientes de pared delgada: empaques, vasos, tarrinas, letreros, forros de refrigeración, cajas de electrodomésticos, etc.
- Envases tipo ampolla: blíster

Un esquema básico de un tren de termoformado se puede ver en la figura 1.1.

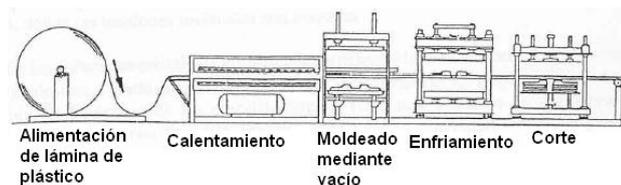


Figura 1. 1: Esquema básico de tren de Termoformado.

Como el termoformado es una operación de estirado, el material debe tener un alargamiento grande y uniforme, porque de lo contrario se estrangulará y fallará.

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

### 1.4.2. Ventajas

El proceso de termoformado presenta ciertas ventajas frente a otros métodos de procesamiento, como son:

- Se requiere presiones de formado relativamente bajas, con lo cual lo hace atractivo económicamente.
- Al no necesitar grandes presiones los moldes pueden fabricarse de materiales más baratos y de confección rápida.

- Es posible fabricar piezas con una relación espesor/longitud muy pequeña.
- Para piezas de espesor pequeño, el tiempo de procesado es extremadamente corto lo que economiza la fabricación de grandes series.

### 1.4.3. Métodos de termoformado

Los métodos de formado pueden clasificarse en tres categorías básicas: termoformado a presión, termoformado al vacío y termoformado mecánico.

#### a. Termoformado a presión o por soplado

Una alternativa del formado involucra presión positiva para forzar al plástico caliente dentro de la cavidad del molde.

Para realizar este proceso se coloca la lámina sobre la cavidad del molde hembra y la presión positiva fuerza a la lámina dentro de la cavidad y los agujeros de ventilación en el molde dejan salir el aire atrapado, dicho proceso se ilustra en la figura 1.2.

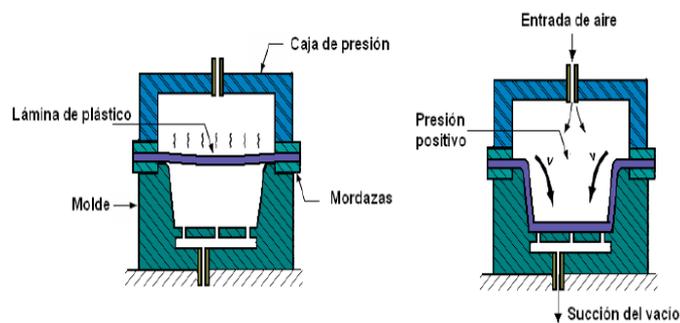


Figura 1. 2: Termoformado a presión

Este proceso se utiliza principalmente para conformar lámina de pequeña galga de materiales como el PP, que se suministran en rollo, o para transformar lámina de gran espesor en piezas con detalle superficial fino.

Las ventajas de este método son: mejoras en las tolerancias dimensionales, la velocidad de formado se puede incrementar considerablemente, así como una mejor definición de los detalles finos y se pueden desarrollar presiones más altas

de formado, ya que en el método por vacío este parámetro se limita a un máximo teórico de una atmósfera.

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

Es conveniente distinguir entre moldes negativos y positivos. El molde que se muestran en las figura 1.3 es un molde negativo porque tiene cavidad cóncava.

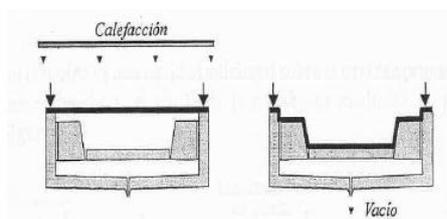


Figura 1. 3: Molde negativo en termoformado.

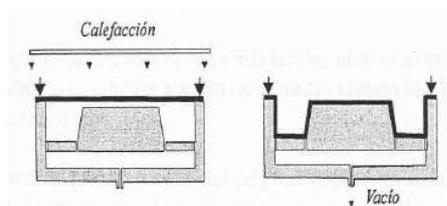


Figura 1. 4: Molde positivo en termoformado.

Un molde positivo tiene una forma convexa. Ambos tipos se usan en termoformado. En el caso del molde positivo, la lámina caliente recubre la forma convexa, y se usa presión negativa o positiva para forzar al plástico contra la superficie del molde. El molde positivo se muestra en la figura 1.4.

### b. Termoformado mecánico

Otro método llamado termoformado mecánico, usa un par de moldes (positivo y negativo) que se aplican contra la lámina u hoja de plástico caliente, forzándola a asumir su forma. En el método de formado mecánico puro no se usa vacío ni presión de aire.

El proceso se ilustra en la figura 1.5. Sus ventajas son un mejor control dimensional y la posibilidad de detallar la superficie en ambos lados de la pieza.

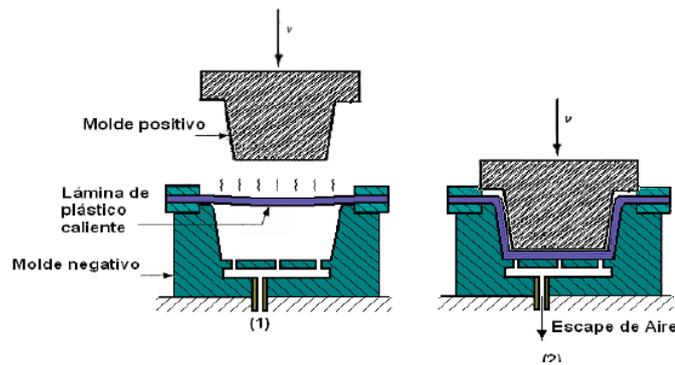


Figura 1. 5: Termoformado mecánico

La desventaja es que se requieren las dos mitades del molde, por tanto, los moldes para los otros dos métodos son menos costosos.

#### 1.4.5 Elementos fundamentales de una máquina de termoformado

En el proceso de termoformado están involucradas distintas herramientas que interactúan para obtener el producto deseado. Estas herramientas se consideran indeformables o con pequeñas deformaciones frente a las grandes deformaciones que se presentan en la lámina durante el proceso. Las herramientas utilizadas son:

- La fuente de calentamiento que permite obtener la temperatura de termoformado
- La estación de conformado; incluyendo el bastidor de la máquina.
- El sistema de vacío o presión de aire, la misma que hace que el material tome la forma requerida de dicho molde.
- El sistema de arrastre y el marco de estirado de la lámina
- El sistema eléctrico o electrónico para los automatismos

##### a. Fuentes de calentamiento

La temperatura de la lámina debe llegar a la óptima con una tolerancia de 5 °C y durante el transporte a la estación de moldeo no debe caer más de 5 a 10 °C. Las distintas técnicas incluyen: alambre de calefacción de Ni/Cr, barras de resistencia metálicas, radiadores cerámicos, placas radiantes calentadas por gas, calentadores

de cuarzo en forma de placa o varilla, lámparas calentadoras, placas de cristal de cuarzo.

La temperatura superficial del calentador se controla mediante termopares o termistores y el calentamiento de la lámina se establece en relación al tiempo, generalmente por iteración. Los alambres de calefacción y las barras de resistencia son económicos, pero se deterioran rápidamente por oxidación.

Los calentadores de cuarzo son muy eficientes y no se deterioran, pero son costosos. Se prefieren para temperaturas altas y necesidades de calentamiento selectivo por zonas.

#### ***a.1 Resistencia eléctrica calefactora***



Figura 1. 6: Resistencias eléctricas calefactoras

Es un dispositivo que produce energía calórica a partir de la eléctrica. El tipo más difundido es el calefactor eléctrico "resistivo", donde la generación del calor se debe al Efecto Joule. Los calefactores resistivos generan calor proporcionalmente al cuadrado de la corriente eléctrica que fluye a través de ellos.

Como la corriente eléctrica genera calor en el seno del conductor, y como la resistencia de un metal aumenta con la temperatura, la resistencia de un calefactor aumenta a medida que éste se calienta. Por otro lado, a mayor temperatura, el conductor transferirá más calor hacia el medio que le rodea. Pero si las pérdidas de calor al ambiente son menores que los Watt generados por efecto Joule, la temperatura seguirá aumentando y el conductor puede llegar a fundirse. Por lo tanto, en el diseño de calefactores (que trabajan entre unos 50 y 1150°C aproximadamente), es importante que el control de temperatura funcione bien, y considerar materiales cuya resistividad cambie muy poco con la temperatura.

## **b. Plataforma de formado**

La estación de formado debe incluir todos los elementos necesarios para pretensar la lámina de la que se formará la pieza, para enfriarla y para extraerla del molde.

Para moldeo a presión de piezas mayores de 300 mm o de más de 600 mm de longitud, el accionamiento de los moldes hace necesaria una estructura de tipo de prensa con barras de soporte importantes, normalmente cuatro.<sup>1</sup>

La estructura de soporte debe ser adecuada para soportar moldes pesados, también debe ofrecer facilidades en: el cambio de los moldes, el ajuste en altura de la apertura, la conexión de los medios de enfriamiento o control de temperatura y acceso a las líneas de vacío y aire comprimido.

Cuando el sistema de desmolde/expulsión no sea integral con el molde es necesario preverlo. El conjunto puede completarse con el yunque de recorte sobre el molde, cuchillas y sistema mecánico de arrastre.

## **c. Mecanismo de transporte**

Es el sistema encargado de transportar las láminas de plástico a través de los sistemas de calentamiento y conformado.

### ***c.1 Transmisión por cadenas***

El método más corriente para el material alimentado en rollos es el arrastre mediante cadenas que poseen tetones o pinchos, espaciados unos 25 mm, montados sobre cadenas paralelas que penetran en el borde del material por la parte inferior y lo transportan hasta el final del ciclo.

La transmisión por cadena está compuesta de una rueda dentada motriz con una o varias ruedas dentadas conducidas y un tramo de cadena unido por ambos extremos que engrana sobre las ruedas dentadas.

---

<sup>1</sup> <http://elblogdelplastico.blogs.upv.es/2011/12/21/procesado-de-polimeros-10/>

En el caso más simple, la transmisión por cadena se compone de una cadena y dos ruedas dentadas, denominadas ruedas de estrella, una de las cuales es conductora y la otra conducida. En la figura 1.7 se ilustra un esquema básico de una transmisión por cadena en donde el elemento motriz generalmente se acopla a piñón de menor diámetro.

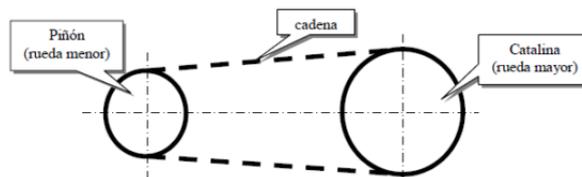


Figura 1. 7: Esquema básico de una transmisión por cadena.

Generalmente, en las transmisiones por cadena una de las ruedas es desplazable para garantizar el tensado adecuado de la cadena. De no ser así, se introducen dispositivos reguladores de la requerida tensión de la cadena.

#### **d. Sistema de corte**

Después de que el ciclo de formado ha terminado, las piezas deben ser cortadas para eliminar el material excedente, rara vez la pieza final no requiere del corte.

Existen algunos factores que determinan la selección, como es el caso de la medida de la hoja, el tamaño y profundidad de la pieza, el nivel aceptable de aspereza de la superficie del corte, la tolerancia dimensional requerida y la velocidad de corte entre otros.

##### ***d.1 Corte con troquel***

El troquel se utiliza para cortar grandes series o para una mayor precisión de cortada, en el troquelado se cortan láminas someténdolas a esfuerzos cortantes, desarrollados entre un punzón y una matriz.

Los parámetros que se tienen en cuenta son la forma y los materiales del punzón y la matriz, la velocidad y la fuerza de punzonado, el espesor del material y la holgura o luz entre el punzón y la matriz.

La determinación de la luz influirá en la forma y la calidad del borde cortado.

Entre mayor luz exista, el borde cortado será más burdo y provocará una zona más grande de deformación en la que el endurecimiento será mayor..

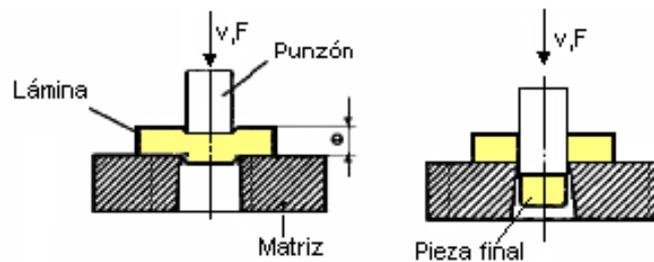


Figura 1. 8: Proceso de troquelado

Dado que con el troquel se hace un corte afinado, es especialmente indicado su uso para el corte de piezas pequeñas o delicadas de cortar.

### e. Sistema motriz

El sistema motriz es aquel que da movimiento, recibe la energía de entrada, la cual será transformada o transmitida.

#### e.1 Sistemas neumáticos



Figura 1. 9: Circuito neumático básico

Los sistemas neumáticos son sistemas que utilizan el aire u otro gas como medio para la transmisión de señales y/o potencia.

Los circuitos neumáticos que convierten la energía del aire comprimido en energía mecánica tienen un amplio campo de aplicación (martillos y herramientas neumáticas, etc.) por la velocidad de reacción de los actuadores y por no necesitar un circuito de retorno del aire. Un circuito neumático básico puede representarse mediante la figura 1.9:

*Ventajas:*

- El aire está prácticamente disponible en cantidades ilimitadas.
- El aire comprimido puede ser transportado fácilmente en tuberías, inclusive a grandes distancias.
- El aire comprimido puede ser almacenado en un depósito y usado cuando se requiera. También el recipiente puede ser movable.
- El aire comprimido es relativamente insensible a las fluctuaciones con la temperatura. Esto asegura una buena operación, incluso en condiciones extremas.
- El aire comprimido no presenta riesgo de explosión o fuego.
- Los componentes de operación son de simple construcción y por lo tanto son relativamente baratos.
- El aire comprimido es un medio de trabajo rápido. Esto permite obtener altas velocidades de trabajo.
- Las herramientas y componentes neumáticos pueden ser cargados hasta el punto de detenimiento y por lo tanto seguros a la sobrecarga.

*Desventajas:*

- El aire comprimido requiere buena preparación. Suciedad y condensación no deben de estar presentes.
- No siempre es posible mantener, en el pistón, una velocidad uniforme y constante con el aire comprimido.

#### **1.5.4 Variables de termoformado**

Existen variables en el proceso de termoformado que pueden afectar la apariencia, calidad, dimensiones y distribución del material en una pieza formada.

El conocimiento de estas variables puede muchas veces resolver problemas difíciles de producción en el proceso de termoformado. A continuación

presentamos las variables que con mayor frecuencia se presentan como desviaciones en el proceso de termoformado:

#### a. Material de partida

El material de partida debe ser necesariamente un material deformable pero no excesivamente: trabajar dentro de la meseta elastomérica, esto mismo ocurre en extrusión y soplado de filmes y en moldeo por soplado.

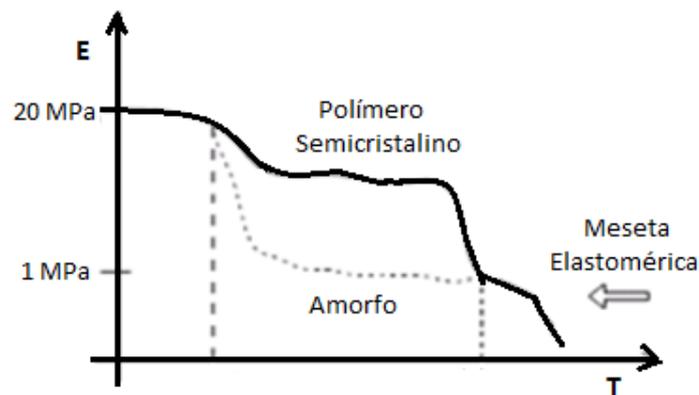


Figura 1. 10: Curva esfuerzo-deformación de los plásticos

En el caso de materiales semicristalinos deben presentar resistencia del fundido, esto es, una meseta elastomérica por encima de la temperatura de fusión cristalina. Lo descrito anteriormente se muestra en la figura 1.10.

#### b. Espesor de la hoja

Cuando se utiliza un calentamiento a base de resistencias eléctricas o radiación infrarroja, la descalibración 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.

### **c. 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.

### **1.5.5 Variables del molde**

#### **a. Superficie del molde**

Una hoja de material termoplástico cuando es formada tenderá a adquirir la apariencia del molde; un acabado mate en el molde, dará un acabado opaco en el material; un acabado muy pulido (acabado espejo) dará por consecuencia una pieza brillante.

#### **b. 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.
- Problema de envejecimiento físico: material enfriado muy rápidamente

### 1.5.6 Moldes para termoformado

Los moldes pueden ser muy económicos y la selección de material depende básicamente de la calidad de superficie que se desee obtener, por lo general suelen ser de aluminio, porque no se necesita que tengan gran resistencia.

Es de notar que se suele tratar de moldes hembra y que es necesario disponer en ellos finos taladros para efectuar el vacío a su través, estando el molde contenido en una cámara en la que se hace el vacío. Los taladros no deben ser tan grandes, suelen ser en un rango de 0.5 mm (0,02 plg.) hasta 0.8 mm (0.031 plg.) para que no resulten marcas en la pieza y deben distribuirse de un modo adecuado teniendo en cuenta que son los que producen las zonas de aspiración o soplado.

Tabla 1. 4: Materiales empleados en moldes de termoformado

GRUPO	MATERIALES EMPLEADOS	VOLUMEN DE PRODUCCIÓN	VENTAJAS Y DESVENTAJAS
<b>Maderas</b>	Pino Caoba Cedro Maple Triplay Aglomerado	Baja	Estos moldes se caracterizan por ser de bajo costo, tiempo de construcción corto y buen acabado superficial, aunque en algunos casos la veta de la madera deje marcas de moldeo. La duración del molde puede prolongarse reforzando las aristas con metal.
<b>Minerales</b>	Yeso Fluosilicato de sodio	Baja Mediana	Los moldes de yeso tienen mayor duración que los de madera y pueden vaciarse de un

			compuesto de yeso de bajo encogimiento, alta resistencia y reforzados en su interior con malla metálica, fibra de vidrio u otros materiales que no absorban humedad.
<b>Resinas plásticas</b>	Resina poliéster, resina epóxica, resina fenólica, laminados plásticos, nylon	Mediana	Los moldes de resina plástica son más costosos y elaborados que los de yeso o madera, pero ofrecen una mayor duración. Superficies más tersas y mejor estabilidad dimensional. A estos moldes se puede incorporar el sistema de vacío.
<b>Metálicos</b>	Aluminio Cobre Berilio Hierro	Alta	Son ideales para grandes corridas de producción, altas presiones o formado mecánico. Pueden usarse moldes de fundición de aluminio, bronce o cualquier otra aleación de bajo punto de fusión y maquinados en acero. El tiempo de construcción es largo, tienen mejor acabado superficial, bajo costo de mantenimiento y mejor estabilidad dimensional. Utilizar sistemas de enfriamiento.

#### **a. Materiales empleados en la fabricación de moldes de termoformado**

Existen cuatro grupos para la construcción de moldes de termoformado, los mismos se describen en la tabla 1.4.

### **1.6 DESCRIPCIÓN DE ELEMENTOS EMPLEADOS EN LA MÁQUINA**

Los sistemas que conforman la máquina están formados por distintos elementos mecánicos, eléctricos y neumáticos, los cuales se describe a continuación:

### **1.6.1 Elementos mecánicos**

En el presente capítulo únicamente se da a conocer los materiales empleados en la construcción de elementos mecánicos. El diseño y selección de cada uno se observa en el capítulo 2 y 3.

#### **a. Características técnicas de los materiales**

##### ***a.1 Acero SAE 1018***

Material: ACERO AISI-SAE 1018 (UNS G10180)

Descripción: este acero de bajo - medio carbono tiene buena soldabilidad y ligeramente mejor maquinabilidad que los aceros con grados menores de carbono. Se presenta en condición de calibrado (acabado en frío). Debido a su alta tenacidad y baja resistencia mecánica es adecuado para componentes de maquinaria.

##### *Propiedades mecánicas:*

- Esfuerzo de fluencia 370 MPa (53700 PSI)
- Esfuerzo máximo 440 MPa (63800 PSI)
- Elongación máxima 15% (en 50 mm)
- Reducción de área 40%
- Módulo de elasticidad 205 GPa (29700 KSI)
- Maquinabilidad 76% (AISI 1212 = 100%)

##### *Propiedades físicas*

- Densidad 7.87 g/cm<sup>3</sup> (0.284 lb/in<sup>3</sup>)

*Usos:* se utiliza en operaciones de deformación plástica, remachado y extrusión. Se utiliza también en componentes de maquinaria debido a su facilidad para conformarlo y soldarlo. Piezas típicas son los pines, cuñas, remaches, rodillos, piñones, pasadores, tornillos y aplicaciones de lámina

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

*Descripción:* es hasta hace poco tiempo, el acero estructural básico utilizado más comúnmente en construcciones de edificios y 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/in<sup>3</sup>)

*Usos:* se utiliza en vigas, puentes, estructuras metálicas, Tanques de almacenamiento, autopartes, torres de alta tensión, equipos mecánicos, etc.

## **1.6.2 Elementos eléctricos y electrónicos**

### **a. Panel de operador**

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

Los elementos más utilizados para ésta comunicación son los llamados paneles de operador, este se compone de una pantalla con más o menos resolución de gráficos y teclas numéricas y de función o como en algunos casos pantalla táctil. La pantalla puede ser en color o monocromo e indica el estado de los diferentes valores del proceso, con gráficos complejos o figuras sencillas permitiendo a su vez introducir valores para ajustar los parámetros de regulación del proceso o consignas del mismo.

Se programan con un software propio, se comunican con el PLC a través de un puerto de comunicación, que varía de unos a otros, pero siendo lo más frecuente una comunicación RS232.

Entre las funciones que pueden desarrollar estos paneles de operador están las siguientes:

- Visualizar y parametrizar datos del proceso (lectura y escritura de variables)
- Gestión de alarmas del proceso, con textos de ayuda al operario para la resolución de las mismas
- Recopilación de alarmas sucedidas en el tiempo (histórico de alarmas)
- Impresión de las citadas alarmas

#### **b. Controlador lógico programable (PLC)**

Un PLC (figura 1.11) es un dispositivo electrónico de funcionamiento digital basado en un microprocesador, que utiliza una memoria para el almacenamiento de las instrucciones de programa empleado para el control automático de máquinas y procesos, mediante la implementación de funciones específicas tales como operaciones lógicas, aritméticas, temporizaciones, cuentas y secuencias, a través de módulos de entrada y salida de tipo analógico / digital.



Figura 1. 11: Controlador Lógico Programable

De acuerdo con la definición de la "Nema" (National Electrical Manufacturers Association) un controlador programable es: Un aparato electrónico operado digitalmente, que usa una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones para implementar funciones específicas, tales como lógica, secuenciación, registro y control de tiempos, conteo y operaciones aritméticas para controlar, a través de módulos de entrada/salida digitales (ON/OFF) o analógicos ( $1 - 10VDC$ ,  $4 - 20 mA$ ), varios tipos de máquinas o procesos.

Los PLC's operan de manera secuencial y cíclica, es decir, una vez finalizado el recorrido completo de un programa, comienza a ejecutar su primera instrucción.

Pueden poseer una interface hombre-máquina (HMI) para la programación, o su programación se realiza utilizando la unidad de programación o una terminal de programación independiente.

### c. Relé

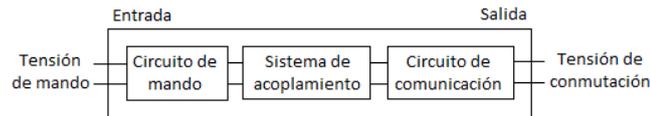


Figura 1. 12: Esquema de un relé

El relé o relevado, es un dispositivo electromecánico, que funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de una bobina y un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes.

Dado que el relé es capaz de controlar un circuito de salida de mayor potencia que el de entrada, puede considerarse, en un amplio sentido, como un amplificador eléctrico.

#### *c.1 Características generales*

Las características generales de cualquier relé son:

- El aislamiento entre los terminales de entrada y de salida.
- Adaptación sencilla a la fuente de control.
- Posibilidad de soportar sobrecargas, tanto en el circuito de entrada como en el de salida.

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

- En estado abierto, alta impedancia.
- En estado cerrado, baja impedancia.

Para los relés de estado sólido se pueden añadir:

- Gran número de conmutaciones y larga vida útil.
- Conexión en el paso de tensión por cero, desconexión en el paso de intensidad por cero.
- Ausencia de ruido mecánico de conmutación.
- Escasa potencia de mando, compatible con TTL y MOS.
- Insensibilidad a las sacudidas y a los golpes.
- Cerrado a las influencias exteriores por un recubrimiento plástico.

### *c.2 Relés Electromecánicos*

Están formados por una bobina y unos contactos los cuales pueden conmutar corriente continua o bien corriente alterna. Vamos a ver los diferentes tipos de relés electromecánicos.

### *c.3 Relés de Estado Sólido*

Un relé de estado sólido SSR (Solid State Relay), es un circuito electrónico que contiene en su interior un circuito disparado por nivel, acoplado a un interruptor semiconductor, un transistor o un tiristor. Por SSR se entenderá un producto construido y comprobado en una fábrica, no un dispositivo formado por componentes independientes que se han montado sobre una placa de circuito impreso.

El SSR esta formado por los elementos que se observan en la figura 1.13.

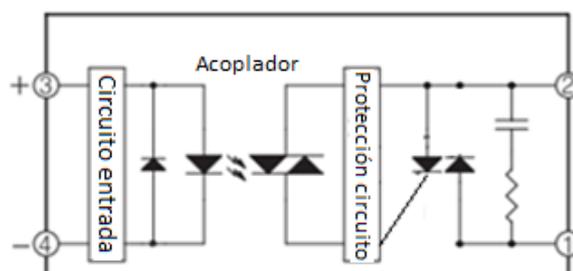


Figura 1. 13: Elementos que forman un SSR.

- *Circuito de Entrada o de Control:* Control por tensión continúa, el circuito de entrada 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 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.
- *Circuito de Conmutación o de salida:* El circuito de salida contiene los dispositivos semiconductores (Salida AC, Triac) de potencia con su correspondiente circuito excitador. Este circuito será diferente según queramos conmutar CC, CA.
- *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 1.14. Los relés con esta función tienen una buena inmunidad a los parásitos de entrada y producen unas bajas radiaciones parásitas al conmutar tensiones bajas.

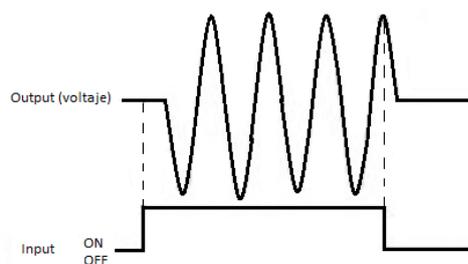


Figura 1. 14: Función detección de cruce por cero.

Los relés de estado sólido con la función de detección de paso por cero son adecuados para cargas resistivas, capacitivas y cargas inductivas con un factor de potencia entre 0.7 y 1.

En este caso la idea de usar el detector de cruce por cero, es tratar de eliminar los armónicos que se produce al activar la señal de la carga, es decir cuando hay un retardo de disparo fuera de fase con la señal de la línea se produce la generación

de armónicos para compensar la forma de onda. En la figura 1.15 se observa como actúa el detector de cruce por cero.

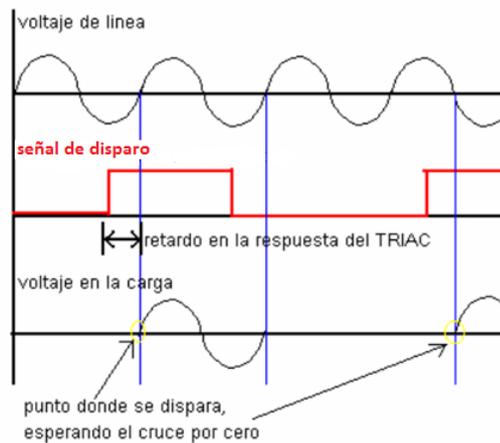


Figura 1. 15: Detector de cruce por cero.

#### d. Sensores

Son los elementos de medición de parámetros o variables del proceso. Los sensores pueden ser usados también como indicadores, para transformar la señal medida en señal eléctrica. Los sensores más comunes son los de nivel, temperatura, presencia, proximidad, flujo, presión, entre otros.

##### *d.1 Sensores de Temperatura*

La temperatura es una medida del promedio de energía cinética de las partículas en una unidad de masa, expresada en unidades de grados en una escala estándar. Puede medir temperatura 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.<sup>2</sup>

- Termopares

Los termopares son económicos y pueden operar en un amplio rango de temperaturas. Un termopar se crea cuando dos metales diferentes se juntan y el punto de contacto produce un pequeño voltaje de circuito abierto como una

<sup>2</sup> <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/12286>

función de temperatura como se muestra en la figura 1.16. Puede usar este voltaje termoeléctrico, conocido como voltaje Seebeck para calcular la temperatura. Para pequeños cambios en temperatura, el voltaje es aproximadamente lineal.

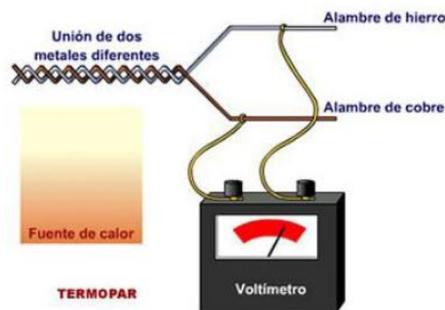


Figura 1. 16: Esquema de Funcionamiento de Termopar

Si por razones prácticas la longitud de los termopares de incrementa, esta debe ser hecho por el empleo de la extensión correcta: El cable de extensión consiste de conductores hechos nominalmente del mismo material de los conductores del termopar. A continuación se indican los tipos de termopares:

- *Tipo K* (Ni-Cr) y (Ni -Al): con una amplia variedad de aplicaciones, está disponible a un bajo costo y en una variedad de sondas. Tienen un rango de temperatura de  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $+1.372\text{ }^{\circ}\text{C}$  y una sensibilidad de  $41\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$  aprox. Posee buena resistencia a la oxidación<sup>3</sup>
- *Tipo J* (Hierro / Constantán): debido a su limitado rango, el tipo J es menos popular que el K. Son ideales para usar en viejos equipos que no aceptan el uso de termopares más modernos. El tipo J no puede usarse a temperaturas superiores a  $760\text{ }^{\circ}\text{C}$  ya que una abrupta transformación magnética causa una descalibración permanente. Tienen un rango de  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $+750\text{ }^{\circ}\text{C}$  y una sensibilidad de  $52\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ . Es afectado por la corrosión.

Debido al bajo nivel de tensión y baja impedancia los termopares requieren de acondicionamiento.

<sup>3</sup> [http://instrumentacionbustos.blogspot.com/2008\\_09\\_01\\_archive.html](http://instrumentacionbustos.blogspot.com/2008_09_01_archive.html)

## 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 (Rotatory 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. Circuito integrado AD595

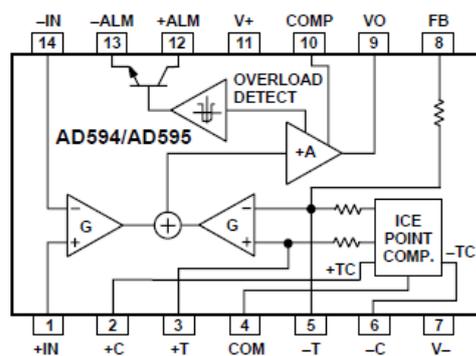


Figura 1. 17: Distribución de pines AD595.

El circuito AD595AQ que se indica en la figura 1.17 es el diagrama del circuito integrado amplificador para termocoupla compensado. Se utiliza un circuito integrado de Analog Devices (AD5945AQ) específico para termopares Tipo K.

Éste contiene un amplificador de instrumentación y el circuito de compensación de la unión fría para un termopar tipo K, aunque se podría calibrar para otros tipos de termopares.<sup>4</sup>

Algunas características acerca de este sistema de medida son:

- El circuito está calibrado a una temperatura de 25 °C para un termopar tipo K.
- A la temperatura de 25 °C la sensibilidad del termopar es 40.44  $\mu V/^{\circ}C$ .
- A la temperatura de 25 °C la ganancia del amplificador de instrumentación es 247.3.
- A la temperatura de 25 °C la tensión que el circuito entrega a su salida es de 10 mV/°C (40.44  $\mu V/^{\circ}C \cdot 247.3$ ).

El circuito integrado introduce un offset en la salida del amplificador de 11  $\mu V$ , por tanto, la tensión exacta de salida para 25 °C es:

$$AD595 \text{ output} = (V \text{ termopar} + 11 \mu V) \cdot 247.3$$

La tensión del termopar tipo K será por tanto:

$$V \text{ termopar} = (AD595 \text{ output} / 247.3) - 11 \mu V$$

Hay que tener en cuenta que el comportamiento del termopar no es lineal. Esto quiere decir que la sensibilidad de 40.44  $\mu V/^{\circ}C$  es cierta para temperaturas alrededor de 25 °C. Si se quiere evitar el error provocado por dicha no-linealidad cuando se miden temperaturas distintas a los 25 °C se debe emplear el factor de sensibilidad apropiado en cada caso.

## **f. Elementos neumáticos**

### ***f.1 Compresor***

Para producir aire comprimido se utilizan compresores que elevan la presión del aire al valor de trabajo deseado. Los mecanismos y mandos neumáticos se

---

<sup>4</sup> <http://www.analog.com>

alimentan desde una estación central. El aire comprimido proviene del compresor y llega a las instalaciones (demanda), a través de tuberías.

### ***f.2 Cilindros neumáticos***

Los cilindros se emplean cuando se desea un movimiento rectilíneo alternativo. Pueden utilizarse para desplazar objetos, para mover brazos de robots, etc.

Los cilindros constan de un tubo cilíndrico llamado camisa, herméticamente sellado por las tapaderas delantera y trasera con uno o varios orificios de entrada/salida del fluido; y en cuyo interior hay un émbolo contra el que el fluido ejerce presión provocando el movimiento de éste, y del vástago al que se encuentra unido. El movimiento lineal del vástago se transmite al elemento sobre el que actúa el cilindro.

Los diferentes tipos de cilindros se clasifican en dos grandes grupos:

- *Cilindro de simple efecto:* Uno de sus movimientos está gobernado por el aire comprimido, mientras que el otro se da por una acción antagonista, generalmente un resorte colocado en el interior del cilindro. Este resorte podrá situarse opcionalmente entre el pistón y la tapa delantera (con resorte delantero) o entre el pistón y su tapa trasera (con resorte trasero) Realiza trabajo aprovechable, sólo en uno de los dos sentidos, y la fuerza obtenida es algo menor a la que da la expresión  $F = P \times A$ , pues hay que descontar la fuerza de oposición que ejerce el resorte.
- *Cilindro de doble efecto:* dispone de dos orificios de entrada/salida, realizando el trabajo en ambos sentidos; es decir, durante el avance y durante el retroceso. El fluido penetra primero en una de las cámaras, moviendo el émbolo a medida que evacúa el fluido de la otra cámara. En el retroceso se invierte el proceso como se muestra en la figura 1.18.

Se emplean especialmente en los casos en que el émbolo tiene que realizar una misión también al retornar a su posición inicial.

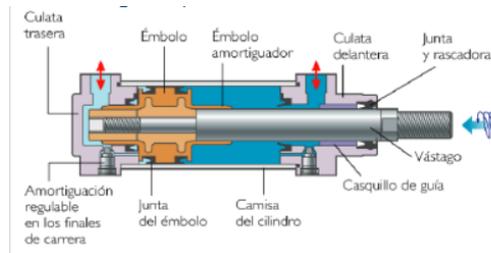


Figura 1. 18: Esquema de un Cilindro de Doble Efecto

En el proceso de retroceso, la superficie del émbolo es menor que en el avance, debido al área de la sección transversal del vástago, por consiguiente, la fuerza de tracción es menor que la de empuje.

### f.3 Electroválvula

Una electroválvula tiene dos partes fundamentales: el solenoide y la válvula. El solenoide convierte energía eléctrica en energía mecánica para actuar la válvula.

La válvula es un dispositivo que consta de un cuerpo rígido con orificios a través de los cuales fluye el fluido (vías) y un conjunto de elementos móviles sobre los que actuamos para cambiar su posición como se observa en la figura 1.19, y que permite actuar sobre el arranque, parada, sentido y dirección del flujo del aire.

Es común que la válvula se mantenga cerrada por la acción de un muelle y que el solenoide la abra venciendo la fuerza del muelle. Esto quiere decir que el solenoide debe estar activado y consumiendo energía mientras la válvula deba estar abierta. También es posible construir electroválvulas biestables que usan un solenoide para abrir la válvula y otro para cerrar o bien un solo solenoide que abre con un impulso y cierra con el siguiente impulso.

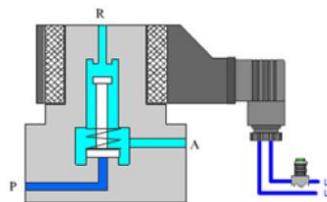


Figura 1. 19: Esquema Electroválvula Normalmente Cerrada

## **CAPÍTULO 2**

### **DISEÑO Y/O SELECCIÓN DEL SISTEMA MECÁNICO**

El presente capítulo contempla el diseño y/o selección del sistema mecánico de una máquina Termoformadora para empaques plásticos tipo Blíster, con el objetivo de elaborar envases con una área principal de (150 x 280) mm<sup>2</sup>, con recipientes de 38mm de diámetro y 40 mm de profundidad, a partir de un rollo de PVC (Policloruro de vinilo) que se encuentra en el mercado.

Además, el diseño debe cumplir con todos los requerimientos planteados por la empresa METAL ARTE, los cuales se detalladas a continuación:

- Semiautomática.
- Producir los envases de manera rápida y eficaz.
- Fácil manejo, montaje y mantenimiento
- Velocidad de producción variable.

Las máquinas de termoformado son muy variadas, por dicho motivo se decide tener presente a la hora del diseño las siguientes restricciones y limitaciones.

#### **2.1. RESTRICCIONES Y LIMITACIONES**

Los factores a continuación detallados nos proporcionarán ciertas restricciones y limitaciones para seleccionar la alternativa más adecuada para la realización del proyecto y cumplir con las expectativas de la empresa.

- *Función primaria:* Es el cumplimiento del trabajo para la que debe ser construida la máquina. Siendo este uno de los aspectos más importantes que se deben tomar en cuenta para seleccionar la técnica de termoformado a emplear, ya que si se llega a utilizar una técnica inadecuada, por las características del producto lo más probable es que se presenten problemas antes de obtener una pieza con las especificaciones que se determinaron desde un principio y en muchos de los casos se puede tener un fracaso con las

consecuentes pérdidas de tiempo, dinero y recursos.

- *Económicas – financieras:* El costo de construcción no debe exceder en demasía el costo de compra de estos envases a otras empresas dedicadas a su producción en serie.
- *Físicas:* Disponibilidad de espacio en la empresa, puesto que de este aspecto depende el tamaño de la Termoformadora.
- *Disponibilidad de elementos:* Relacionado directamente con la disponibilidad de elementos; mecánicos, neumáticos, eléctricos y electrónicos. Internamente en la empresa y en el mercado nacional.
- *Facilidad de construcción:* Relacionado directamente con la dificultad y tiempos de construcción.
- *Humanas:* El grado de capacitación que requiera el operador para maniobrar la máquina.
- *Ambiente de trabajo:* Debe ser un espacio cubierto, a temperatura adecuada, cuidando el exceso de humedad para evitar el daño de los equipos que pueden ser corroídos por este tipo de ambiente.

## **2.2. SISTEMAS QUE CONFORMAN LA MÁQUINA TERMOFORMADORA**

La máquina se encuentra seccionada en seis partes, lo cual permite realizar un análisis individual de cada una de las estaciones y sistemas que la conforman, los mismos que observamos en la figura 2.1.

1. Estación de calentamiento
2. Estación de formado
3. Estación de corte
4. Sistema de transporte
5. Sistema Neumático
6. Bastidor

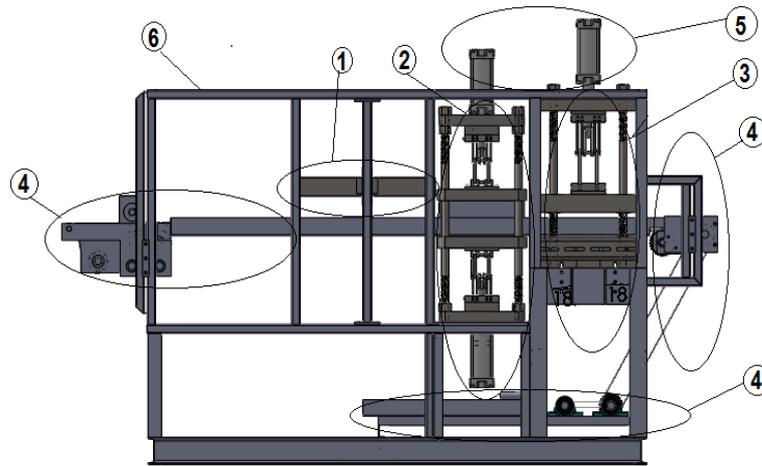


Figura 2. 1: Sistemas de una máquina termoformadora

### 2.3. ESTACIÓN DE CALENTAMIENTO

Sistema de calentamiento cumple la función de calentar las láminas de PVC hasta la temperatura ideal de formado.

La temperatura es uno de los factores fundamentales para el termoformado, debido a que la distribución del calor debe ser uniforme y constante, para que la lámina alcance la temperatura necesaria de formado. Bajas temperaturas ocasionan esfuerzos internos excesivos en la pieza formada, disminuyendo su resistencia y tornándose susceptible a la deformación y al craqueo. Altas temperaturas pueden provocar que el material se ampolle (hierva), reduciendo su resistencia al rasgado durante el formado, también pueden producirse marcas del molde.

Por dicho motivo se decide emplear radiadores térmicos, las mismas que ofrecen una distribución uniforme del calor y tiempos cortos para alcanzar la temperatura requerida.

#### 2.3.1. Requerimientos básicos

Se requieren hacer ciertas consideraciones fundamentales, que sirven como punto de partida para establecer las características de diseño de la estación de calentamiento:

- El panel de calentamiento a diseñar es el medio por el cual se calientan las láminas de PVC hasta la temperatura de reblandecimiento y deformación que se encuentra en un rango de 160 – 200 °C.
- El panel debe ser compuesto por: una plancha de acero inoxidable brillante la cual alberga a los radiadores térmicos, material aislante (lana de fibra de vidrio) y una chapa metálica como recubrimiento.
- Debe ubicarse a menos de 5cm de distancia de la lámina de PVC, para evitar pérdidas de calor por convección.
- El tiempo de exposición al calor será aproximadamente 20 - 25 segundos o hasta alcanzar su temperatura de trabajo. Hay que mencionar que dicho tiempo dependerá del espesor de la lámina y también se lo puede reducir si se integra a la estación de calentamiento una etapa de precalentamiento. Este tiempo se analizará en el capítulo de pruebas.

### 2.3.2. Propiedades de los componentes del panel calefactor

Los materiales que conforman al horno son una placa de acero inoxidable que sirve como base de sujeción para los radiadores térmicos, lana de fibra de vidrio que funciona como material aislante y chapa de acero como material de recubrimiento del material aislante. La disposición de los materiales se detalla en la figura 2.2.

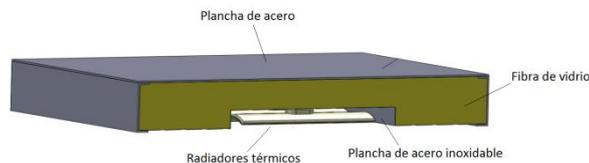


Figura 2. 2: Vista en corte de materiales del horno

Con los materiales mencionados anteriormente y con su respectiva disposición a continuación se hace un análisis de las propiedades más importantes de estos.

#### a. Lámina de acero inoxidable brillante

Su función es dar sujeción a los radiadores térmicos y refleja el calor hacia la carga, sobre ésta se encuentra la lana de fibra de vidrio. El material empleado es

Acero inoxidable ASI 340 debido a su baja conductividad térmica, en la tabla 2.1 se detallan sus propiedades térmicas. El espesor debe ser menor o igual a 1.5 mm, dato que se obtiene del manual de resistencias térmicas.

Tabla 2. 1: Propiedades del acero inoxidable.

<b>PLANCHA DE ACERO INOXIDABLE AISI - 304</b>		
Conductividad [ $W/m \cdot ^\circ C$ ]	Calor específico [ $J/Kg \cdot ^\circ K$ ]	Densidad [ $g/cm^3$ ]
0.059	500	8

**b. Lana de fibra de vidrio (5cm)**

La Lana AW de FiberGlass es un aislamiento térmico hecho con lana de fibras de vidrio inorgánicas y elásticas, aglomeradas con resina termo-resistente, presentada en rollos. Está diseñada para ser empleada en aplicaciones como aislamiento térmico de equipos y electrodomésticos que trabajan a temperaturas hasta de 540°C (1000°F) con el espesor recomendado.<sup>5</sup>

Tabla 2. 2: Propiedades termo físicas de la lana de fibra de vidrio

<b>LANA DE FIBRA DE VIDRIO</b>			
Conductividad [ $W/m \cdot ^\circ C$ ]	Calor específico [ $J/Kg \cdot ^\circ K$ ]	Temperatura máxima de aplicación [ $^\circ C$ ]	Densidad [ $Kg/m^3$ ]
0.036	835	540	32

Los beneficios de la lana de vidrio son:

- Excelente funcionamiento térmico.
- Peso Liviano.
- Elasticidad.
- Rápido y fácil de Instalar.

<sup>5</sup> [www.disetec-ec.com](http://www.disetec-ec.com)

- Incombustible.
- Resiste la vibración sin deformarse.
- No genera ni acelera la corrosión sobre acero, hierro, cobre o aluminio.
- No absorbe humedad ambiental.

**c. Radiadores térmicos**

Son calefactores eléctricos infrarrojos de cerámica marca Elstein de la serie FSR, 1000W de potencia, opera con un voltaje de 220V. Están diseñados para temperaturas hasta 750 °C. Superficie de calefacción hasta 64 kW / m<sup>2</sup> que pueden ser instalados. Brinda las siguientes ventajas:

- Facilidad de montaje
- Calentamiento uniforme y en tiempos razonables
- Posee una termocupla Tipo K

Los datos técnicos se encuentran en el Anexo-A.

**d. Chapa de acero**

La chapa que recubre el material aislante es un acero ASTM A-36, cuyas propiedades térmicas se detallan en la tabla 2.3.

Tabla 2. 3: Propiedades térmicas del acero ASTM A-36

<b>PLANCHA DE ACERO A-36</b>		
Conductividad [W/m · °C]	Calor específico [J/Kg · °K]	Densidad [Kg/m <sup>3</sup> ]
60.5	434	7854

**2.3.3 Espesor del aislante térmico**

El diseño del panel no requiere de cálculos complejos puesto que este cumple únicamente con la función de dar soporte a los radiadores térmicos. Sin embargo

se realiza un análisis para determinar el espesor del aislante térmico y disminuir las pérdidas de calor por conducción hacia la chapa de acero que recubre el panel.

### a. Conducción<sup>6</sup>

Es el paso de la energía calorífica a las moléculas adyacentes mediante la transferencia de energía vibratoria o el movimiento de los electrones libres sin que se aprecie un movimiento observable de partículas.

Las temperaturas más altas se asocian con las energías moleculares más altas, y cuando las moléculas vecinas chocan, debe ocurrir una transferencia de energía de las moléculas más energizadas a las menos energizadas. En presencia de un gradiente de temperatura, la conducción de temperatura debe ocurrir entonces en la dirección de la temperatura decreciente, esta transferencia es apreciable en la figura 2.3.

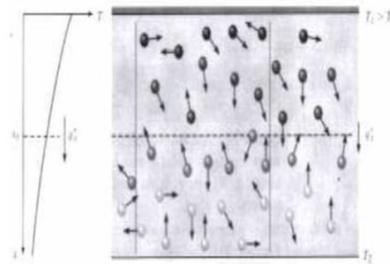


Figura 2. 3: Difusión de la energía debido a la energía molecular.

La ley de Fourier para una pared unidimensional se expresa como:

$$q''_{cond} = -K * \frac{T_2 - T_1}{L} \quad \text{Ec.2.1}$$

Dónde:

$q''$  = *calo transferido por unidad de área, [W/m<sup>2</sup>]*

$k$  = *coeficiente de transferencia de calor por conducción, [W/m<sup>2</sup>°C]*

<sup>6</sup> INCROPERA, F. Fundamentos de Transferencia de Calor, Prentice Hall, Cuarta Ed. Pag.2 y 3

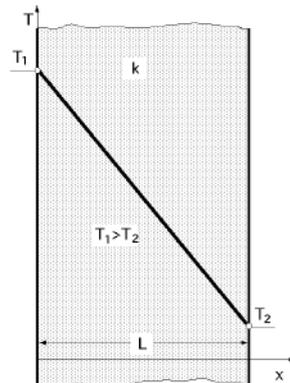


Figura 2. 4: Transferencia unidimensional de calor por conducción.

El diseño del panel parte de datos iniciales, que son los que regulan todo el funcionamiento de éste, estos datos son: las temperaturas tanto interior como exterior del panel y espesor del material refractario los mismos que se exponen a continuación:

Datos:

$$T_1 = 200[^\circ\text{C}]$$

$$T_2 = 25[^\circ\text{C}]$$

$$L = 0.05[\text{m}]$$

$$q''_{cond} = 0.059 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}} \right] * \frac{(25 - 200)[^\circ\text{C}]}{0.05[\text{m}^2]} = 126 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$$

Puesto que el panel tiene un área de  $0.24 [\text{m}^2]$  la misma que alberga 14 radiadores eléctricos de  $1000[\text{W}]$  cada uno con un total de  $14000[\text{W}]$  instalados.

Para hallar la potencia que se está perdiendo, se emplea ecuación 2.2:

$$P_{perdida} = q''_{cond} \cdot A \tag{Ec.2.2}$$

$$P_{perdida} = 126 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right] * 0.24[\text{m}^2]$$

$$P_{perdida} = 30.24[\text{W}]$$

Es decir que el espesor de aislante térmico empleado es correcto, puesto que tenemos una pérdida de potencia del 0.20 %.

## **2.4 ESTACIÓN DE FORMADO A PRESIÓN**

Su función es dar forma a la hoja plana de PVC en otra forma diferente y que se le fuerce a que copie todo el contorno y los detalles del molde, mediante una fuerza externa.

Es uno de los sistemas más importantes de la Termoformadora, debido a que es la base para la correcta formación del envase. La selección de una fuerza de formado generalmente está condicionada al tamaño del producto, volumen a producir y la velocidad de los ciclos de formado.

Debido a los requerimientos de la empresa y teniendo en cuenta las restricciones y limitaciones indicadas anteriormente, se decide emplear el método por soplado o también llamado termoformado a presión. Su ventaja sobre el formado al vacío radica principalmente en que la empresa dispone de un compresor dentro de sus instalaciones.

Debido a que el sistema de formado es mediante aire comprimido a presión se deben considerar los siguientes aspectos para el desarrollo de los cálculos:

- Son comunes las presiones de aire comprimido de hasta 1,4 MPa. (203 Psi) por lo que el sistema precisa de una cámara cerrada superior.<sup>7</sup>
- La fuerza de formado fácilmente puede multiplicarse hasta 10 veces si el aire a presión es mayor o igual a 100 Psi.<sup>8</sup>
- Un molde de tamaño regular requiere eventualmente una presión de cierre de algunas toneladas, que naturalmente una prensa común (tipo "C") no resiste. Es conveniente entonces utilizar un mecanismo de palancas articuladas para obtener un cierre satisfactorio del molde.

---

<sup>7</sup> <http://elblogdelplastico.blogs.upv.es/2011/12/21/procesado-de-polimeros-10/>

<sup>8</sup> PLASTIGAS DE MEXICO, Manual Técnico Termoformado, pág.37.

- Un molde pobre en construcción con la presión que se ejerce, puede actuar como una bomba y explotar, por lo que un molde de aluminio o metal maquinado es una buena selección.<sup>9</sup>

En la figura 2.5 se observa los elementos que constituyen el sistema:

1. Molde
2. Cámara de soplado
3. Columnas
4. Mecanismo de palanca articulada
5. Mesas fijas
6. Mesas móviles
7. Tuercas de sujeción

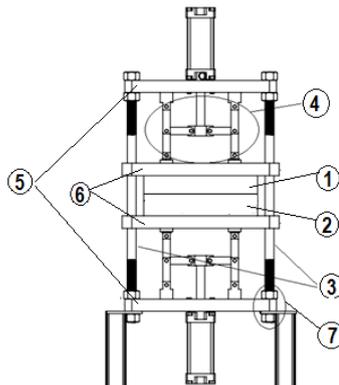


Figura 2. 5: Elementos del Sistema de Formado

#### 2.4.1. Fuerzas de formado por soplado

En base al análisis de la cámara de soplado se puede establecer la fuerza que se ejerce durante el soplado de aire a presión y por ende permite determinar la fuerza de cierre de la prensa y las fuerza crítica para la cual deben ser diseñados los elementos que conforman el presente sistema.

Mediante la ecuación 2.3 se halla la fuerza producida durante el formado, para lo cual se conoce: el área de trabajo es igual a  $(400 \times 500)[mm]^2$  en la misma que

<sup>9</sup> PLASTIGAS DE MEXICO, Manual Técnico Termoformado, pág.37.

se distribuirá agujeros de 1[mm] de diámetro separados a 10[mm] y se empleará una presión de formado igual a 1.4 MPa (14 bar).

$$F = P \times A \quad \text{Ec.2.3}$$

Dónde:

$F = \text{Fuerza realizada durante el formado [KN]}$

$P = \text{Presión teórica de formado [MPa]}$

$A = \text{Área de formado [m}^2\text{]}$

$$F = 1.4 \left[ M \frac{N}{m^2} \right] \times \frac{m^2}{(1000)^2 [mm]^2} \times 2000 \left( \frac{\pi \cdot (1)^2 [mm]^2}{4} \right)$$

$$F = 2.2 [KN]$$

Multiplicar por 10,

$$F = 22 [KN]$$

Mediante la fuerza hallada y en base a máquinas similares, se asume que la estructura y mecanismos de la estación de formado deben ser diseñados para soportar una  $F = 25 [KN]$ .

#### **2.4.2. Molde**

Una de las grandes ventajas del proceso de termoformado es la diversidad y tipo de moldes que se pueden fabricar a un costo muy bajo y en tiempos relativamente cortos, teniendo una gran aceptación en varias aplicaciones sobre otros procesos.

##### **a. Criterios de diseño del molde<sup>10</sup>**

Debido a la amplia gama de geometrías que se pueden producir por diversos métodos de termoformado, a continuación sólo se presentan guías generales para diseño de moldes para termoformado:

---

<sup>10</sup> <http://www.slideshare.net/centenodaniel/diseo-y-fabricacin-de-un-molde-de-termoformado-utilizando-herramientas-cadcaecam>

1. El molde cuando así lo requiera debe contar con orificios como se observa en la figura 2.6, estos deben estar ubicados en las partes más profundas y en las áreas en donde el aire pueda quedar atrapado y así evitar arrugas o formados deficientes, deben ser lo suficientemente pequeños para no causar marcas, se recomienda diámetros entre 1/32" a 1/8". Como punto de partida, los barrenos tendrán un diámetro equivalente al espesor final de la pieza termoformada, para aquellos casos en que el material sea muy delgado o grueso, o que no importe si se marcan estos orificios, entonces esta regla no aplica.

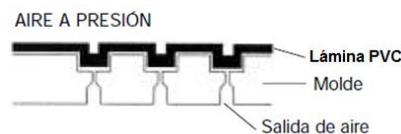


Figura 2. 6: Orificios del molde.

2. Debe proveerse de conductos que permitan la circulación de agua o aceite a través del molde cuando se requiere un control de temperatura en el mismo. Generalmente se emplea tubo de cobre para transportar un volumen considerable de refrigerante o inclusive, después del termoformado se puede inyectar por los orificios o barrenos del molde aire a presión.
3. Cuando las dimensiones de la pieza formada sean críticas, los moldes deben construirse de dimensiones mayores para compensar la contracción del material. La contracción que debe esperarse de la temperatura de moldeo a la temperatura ambiente es de 0.6 al 1% máximo.
4. Una pequeña curvatura del molde en las partes planas de las áreas grandes, permitirá obtener áreas planas al enfriar el material. (Ver figura 2.7).



Figura 2. 7: Curvatura del molde

5. No se podrán obtener piezas con paredes a 90°, el molde deberá tener un ángulo de salida de por lo menos 3° y 5. (Ver figura 2.8).

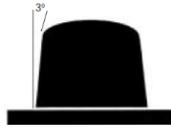


Figura 2. 8: Ángulo de salida

- Deben evitarse bordes y esquinas agudas, estos deben ser redondeados ya que podrían causar la ruptura de la lámina. En la Figura 2.9 puede observarse esta modificación del diseño.

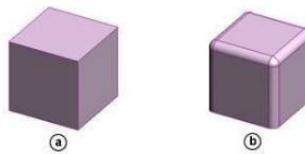


Figura 2. 9: Modificación de esquinas y bordes a) Diseño original. b) Diseño con esquinas y bordes redondeados.

- Un radio de curvatura cuatro veces mayor que el espesor local de la lámina puede ser formado sin problemas con la mayoría de los materiales termoplásticos. Se pueden obtener menores radios de curvatura a mayor temperatura del molde y ciclos de formado más rápidos.

Al diseñar moldes para termoformado se deben tomar en consideración ciertos elementos como: el material, los sistemas de refrigeración, orificios de vacío y textura superficial.

#### **b. Material**

Para la producción de moldes para termoformado son utilizados distintos materiales, siendo los más utilizados el aluminio, el acero, la madera y las resinas epóxicas. La selección del material depende en gran medida de la severidad y tiempo de servicio requeridos; si la producción es pequeña y el material puede ser deformado a relativamente bajas temperaturas y presiones, se pueden utilizar la madera y resinas epóxicas. En cambio sí se requiere de altos volúmenes de producción o de grandes presiones para obtener la geometría de la pieza deseada, se recomienda el uso de moldes de aluminio o acero.

La selección del material depende también de factores económicos, facilidad de producción, reparación y mantenimiento, requerimientos de almacenaje, disponibilidad del material y peso del molde.

El acero es recomendado para moldes que contienen elementos cortantes por su alta rigidez y durabilidad, además por su alta estabilidad dimensional es una ventaja utilizar acero cuando se requieren separaciones de apenas micrones entre las mitades del molde para efectuar el corte de la pieza in situ.

### **c. Orificios**

La evacuación del aire controlado del molde es un factor determinante en la calidad de la pieza. Normalmente, el sistema de evacuación consta de agujeros taladrados directamente en la superficie del molde, que se conectan a canales de vacío que dirigen el flujo de aire hacia la cámara de presión, ésta última está acoplada al compresor por mangueras.

Los agujeros normalmente son colocados en esquinas y bordes de la geometría de la pieza, ya que estos son los últimos puntos en formarse; también se colocan en áreas elevadas de difícil formado (logotipos, particiones, etc.) y en las áreas en donde el aire pueda quedar atrapado.

El diámetro, o ancho en el caso de ranuras, de los orificios de vacío, no deben ser mayores al espesor local de la lámina de PVC para evitar marcas en la superficie de la pieza. Para aquellos casos en que el material sea muy delgado o grueso, o que no importe si se marcan estos orificios, entonces esta regla no aplica.

### **d. Textura superficial**

Para mejores resultados se recomienda el uso de superficies lijadas de los moldes. Si la superficie es demasiado lisa o pulida, porciones de aire pueden quedar atrapadas entre el molde y el material lo cual provocaría inclusiones de aire, marcas circulares o en forma de olas en la superficie de la pieza; si en cambio la superficie es demasiado áspera, se dificulta el deslizamiento de la lámina y se obtienen piezas con pobre acabado superficial.

Para mejorar la distribución de espesores de la pieza, se puede utilizar un molde con diferentes acabados en distintas zonas, así se puede aumentar la fricción entre el material y el molde en las zonas donde es necesario una mayor cantidad de material.

#### e. Sistema de refrigeración

La refrigeración de moldes de aluminio se realiza usualmente mediante canales de refrigeración a cierta distancia de la superficie, lo cual es posible gracias a la alta conductividad térmica del material. En algunos casos se diseñan moldes sin canales de enfriamiento que van montados directamente sobre placas completamente refrigeradas.

Lo importante a la hora de diseñar el sistema de refrigeración es asegurar que la temperatura de la superficie del molde se mantenga constante durante la etapa de formado.

#### f. Descripción general del molde

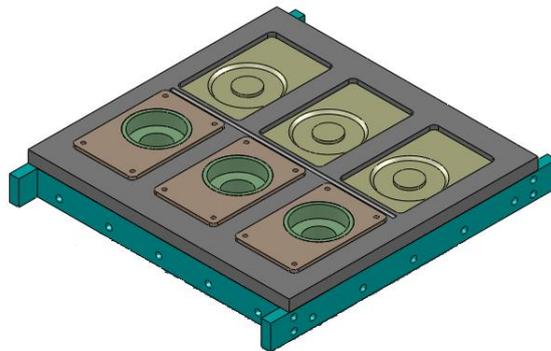


Figura 2. 10: Diseño del molde.

El diseño es desarrollado en base a los criterios mencionados anteriormente. En la figura 2.10 se muestran el molde diseñado. Los planos se hallan en los Anexos Q-4 al Q-9. A continuación se describen las características del molde diseñado:

- *Molde hembra y macho:* Debido al diseño complejo de la pieza a fabricarse.
- *Acero:* Se decide fabricar el molde en este material puesto que se requieren presiones altas de formado y por ser económicamente favorable.

- *Orificios de 1.5 mm en molde hembra y 1/8 plg. molde macho:* Los orificios en el molde hembra cumplen la función de evacuar el aire atrapado, a su vez inyectar aire a presión, el cual permita expulsar la pieza termoformada y enfriar el molde conjuntamente, (Ver figura 2.11).

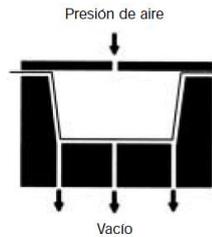


Figura 2. 11: Orificios del molde.

### 2.4.3 Cámara de soplado

La cámara de soplado, figura 2.12, es fundamentalmente una caja metálica completamente sellada en sus uniones para evitar fugas de aire, posee un orificio por el cual ingresa el aire a presión por la parte inferior y en su cara frontal existe una serie de agujeros o barrenos a través de los cuales se efectúa el soplado. En el presente caso por la forma que se desea obtener la cámara de soplado cumple también con la función de ser el molde macho, los planos se observan en los Anexos Q-10 y Q-11.

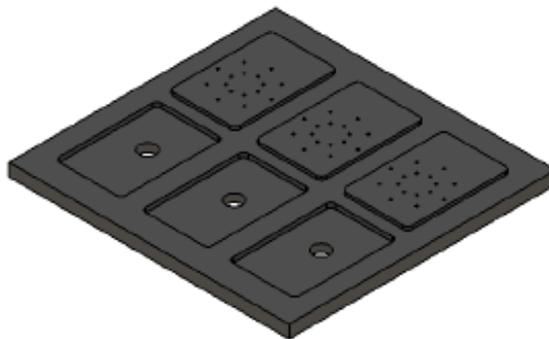


Figura 2. 12: Cámara de soplado.

La velocidad de formado es directamente proporcional a la calidad de la pieza. Un formado lento provoca que la parte de la hoja donde ocurre el primer contacto con

el molde se enfríe más rápido que el resto. El resultado es la obtención de secciones muy delgadas de la pared o piezas incompletas.

#### **a. Barrenos**

Los orificios de la cámara de soplado o molde macho cumplen la función de inyectar aire comprimido a presión para que la lámina de plástico adopte completamente la forma del molde. Cuando se utilizan técnicas de termoformado a presión de aire, es muy importante desplazar el mayor volumen de aire entre el molde y la hoja en un mínimo de tiempo.

Podemos considerar que un rango apropiado para el diámetro de los agujeros está entre 1/32" hasta 1/8" de diámetro. En caso necesario, para desplazar un volumen de aire grande, se pueden barrenar algunos orificios de 1/8" ó 1/4" de diámetro.<sup>11</sup>

Los agujeros podrán ampliarse en la parte interna como se muestra en la figura 2.13, para reducir el tiempo de desplazamiento del volumen de aire en la periferia de la hoja reblandecida y en la caja de aire.



Figura 2. 13: Barrenos de la cámara de soplado.

Otra función de la cámara, es la de contribuir junto con el molde a estabilizar la posición de la hoja y sustentar un buen sellado en toda la periferia del molde, en algunos casos es conveniente realizar un canal alrededor de la pieza, precisamente en la zona exterior de la línea de corte.

#### **2.4.4 Columnas**

Las columnas están sometidas a una carga axial de compresión, figura 2.14. Por dicho motivo se aplica la teoría de columnas para dimensionar los elementos y poder mantenerlo estable.

<sup>11</sup> MANUAL TECNICO TERMOFORMDO, Plastiglas de México S.A

Como se espera una falla con una carga límite y no con un esfuerzo, el concepto de un factor de diseño se aplica en forma distinta que a los demás miembros sometidos a cargas. En lugar de aplicar el factor de diseño a la resistencia de fluencia o a la resistencia última del material, se debe aplicar a la carga crítica. Para aplicaciones típicas en el diseño de máquinas, se emplea un factor de diseño de 3. Para columnas estacionarias con cargas y extremos empotrados bien conocidos se podrá emplear un factor menor, tal como 2. En algunas aplicaciones de construcción se emplea un factor de 1.92.<sup>12</sup>

$$F1 = F2$$

$$F1 \geq F3$$

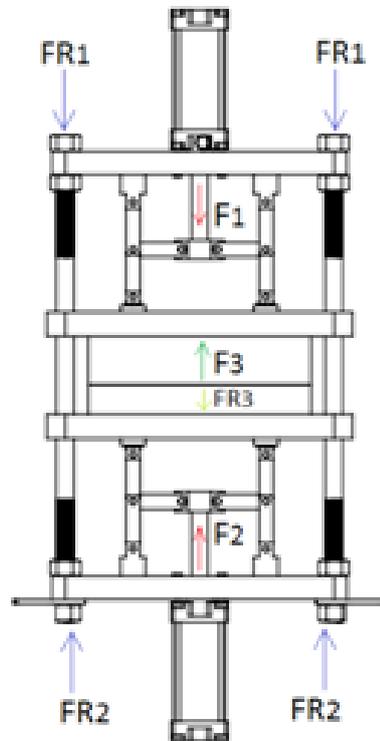


Figura 2. 14: Esquema de cargas aplicadas en las columnas.

En el diseño de columnas se emplea el diagrama de flujo mostrado en la figura 2.15. Se requiere conocer datos como: Carga en la columna, longitud necesaria para la aplicación, tipo de fijación en los extremos y material en el que será construido.

<sup>12</sup> DISEÑO DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS, Robert L. Mott, Cuarta Edición, 2006, México, Pág. 238.

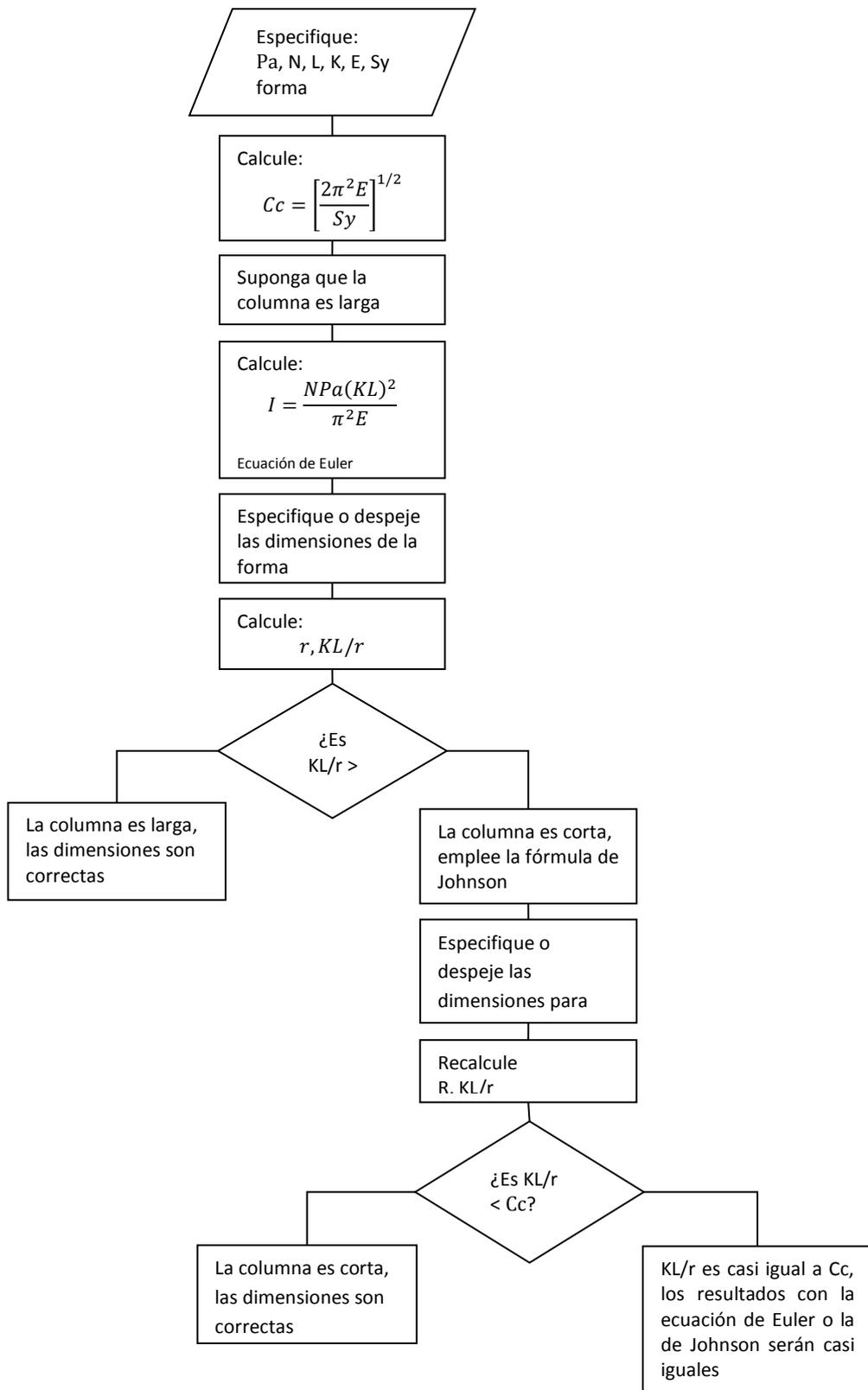


Figura 2. 15: Diagrama de flujo para la construcción de columnas.

Las variables de las ecuaciones empleadas en el diseño de columnas se refieren a:

$P$  = carga real aplicada [KN]

$P_a$  = carga admisible [KN]

$P_{cr}$  = carga critica [KN]

$L$  = longitud [mm]

$K$  = constante que depende del tipo de fijación en los extremos

$N$  = factor de diseño

$S_y$  = esfuerzo de fluencia [MPa]

$E$  = módulo de elasticidad [GPa]

$C_c$  = contante de columna o relación de esbeltez de transición

$I$  = momento de inercia

$D$  = diámetro [mm]

$A$  = área [mm<sup>2</sup>]

$r$  = radio de giro [mm]

$\frac{KL}{r}$  = relación de esbeltez

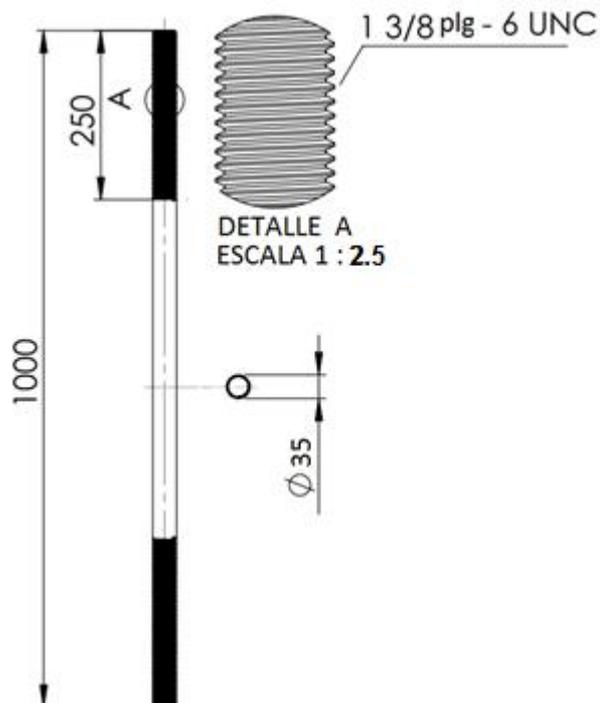


Figura 2. 16: Columnas de la estación de formado

Las cuatro columnas principales de la estructura deben resistir por lo menos 0.64 toneladas para que en conjunto soporten 2.55 toneladas (25KN) que es la carga total aplicada en el sistema de formado.

Las columnas serán construidas con acero SAE 1018 estirado en frío, debido a su gran resistencia, los extremos de las columnas deben ser roscadas para poder fijar a las mesas, regular la altura y la presión. En la figura 2.13 se puede apreciar una de las columnas con sus respectivas medidas y seguidamente se detalla su diseño:

Datos:

$$F_3 = P = 25 \text{ [KN]}$$

$$L = 1000 \text{ [mm]}$$

$$K = 0.65 \text{ (para extremos empotrados)}$$

$$N = 1.92$$

Material SAE 1018

$$S_y = 370 \text{ [MPa]}$$

$$E = 205 \text{ [GPa]}$$

Calcular:

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{S_y}} \quad \text{Ec.2.4}$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2 * \pi^2 * 205}{370}} = 104.6$$

Suponer que la columna es larga y calcular I mediante la fórmula de Euler indicada en la ecuación 2.5.

Para efectos de diseño se asume que  $P_a \geq P$

$$I = \frac{N P_a (KL)^2}{\pi^2 E} \quad \text{Ec.2.5}$$

$$I = \frac{1.92(25)[KN](0.65 * 1)^2[m^2]}{\pi^2(205) \left[ \frac{GN}{m^2} \right]}$$

$$I = 1.6 \times 10^{-8}[m^4] = 16000[mm^4]$$

Hallar el diámetro, despejando D de la ecuación 2.6

$$I = \frac{\pi.D^4}{64} \quad \text{Ec.2.6}$$

$$D = \sqrt[4]{\frac{64 I}{\pi}}$$

$$D = 23.89 [mm]$$

El diámetro calculado para las columnas es de 23,89 [mm]. Para comprobar si esta es la medida correcta se debe calcular la relación de esbeltez y observar si cumple la condición de columna larga, si esta no cumple se debe analizar como columna corta.

Primero, calcular el radio de giro mediante la ecuación 2.7.

$$r = \frac{D}{4} \quad \text{Ec.2.7}$$

$$r = 5.97 [mm]$$

Ahora calcular la relación de esbeltez:

$$\frac{KL}{r} = \frac{0.65 * 1000}{5.97}$$

$$\frac{KL}{r} = 108.87$$

Comprobar si cumple la siguiente condición:

$$\frac{K.L}{r} > Cc$$

$$108.87 > 104$$

Observamos que cumple con la condición  $\frac{K.L}{r} > Cc$ , por lo tanto la columna es larga y el diámetro calculado para las columnas es correcto.

La columna resistirá una carga crítica igual a:

$$P_{cr} = N \cdot Pa \quad \text{Ec.2.8}$$

$$P_{cr} = 1.98(25)$$

$$P_{cr} = 49.5 \text{ KN}$$

Las cuatro columnas son construidas con Acero SAE 1018, diámetro 35 [mm], debido a que la empresa desea sobredimensionar cierto porcentaje para tener la posibilidad de ampliar la utilización de la máquina.

#### 2.4.5 Mecanismo de palanca articulada<sup>13</sup>

Este mecanismo tiene muchas aplicaciones en que es necesario vencer una gran resistencia con una fuerza motriz muy pequeña.

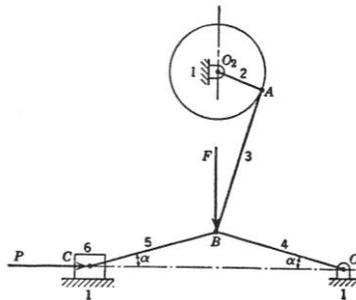


Figura 2. 17: Mecanismo de palanca articulada.

La figura 2.17 muestra el mecanismo; los eslabones 4 y 5 son de una misma longitud. Al disminuir el ángulo  $\alpha$  y conforme los eslabones 4 y 5 se hacen más colineales, la fuerza F necesaria para vencer una resistencia dada P disminuye en la forma mostrada por la siguiente relación:

$$\frac{F}{P} = 2 \operatorname{tng} \alpha \quad \text{Ec.2.9}$$

Se ve que para una F dada, conforme  $\alpha$  se aproxima a cero, P se aproxima a infinito. Por tal motivo en el presente proyecto se debe considerar una tolerancia de  $\alpha = 10^\circ$ . Este mecanismo puede ser empleado lo mismo en forma estática que

<sup>13</sup> HAMILTON, Mecanismos y Dinámica de Máquinaria, Ed. Cimusa, 1985, pág. 46

dinámica, como se puede ver en los muchos dispositivos sujetadores de palanca para detener o fijar piezas de trabajo.

En la figura 2.18 se observan los elementos que conforman el mecanismo que se implementara en la estación de formado.

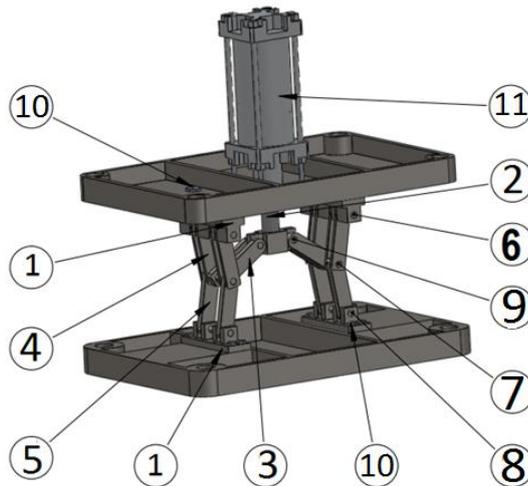


Figura 2. 18: Elementos del mecanismo de palancas articuladas

1. Eslabones fijos
2. Eslabón motriz
3. Eslabón acoplador (Eslabón 3)
4. Eslabón conducido (Eslabón 4)
5. Eslabón conducido (Eslabón 5)
6. Pasador 1
7. Pasador 2
8. Pasador 3
9. Pasador 4
10. Pernos de sujeción
11. Cilindro neumático

#### a. Eslabones

El diseño del mecanismo se basa en un análisis por fallas resultantes de carga estática y fallas por fatiga resultantes de carga variable, empleando la teoría de

columnas puesto que están sujetos a carga axial de compresión y la teoría de fallas por fatiga ya que están sometidos a esfuerzos cíclicos o fluctuantes en los que continuamente cambian de tracción a compresión y viceversa, respectivamente.

El análisis de fallas por fatiga únicamente se aplica a los eslabones 3 por ser estos los elementos que realizan mayor esfuerzo al trabajar como palanca en el mecanismo, es decir que son los encargados de multiplicar la fuerza que reciben del cilindro neumático y transmitirla a los eslabones 4 y 5.

Los eslabones 4 y 5 están sujetos a carga axial de compresión por ende su análisis se realiza con la teoría de columnas. Las columnas son de sección rectangular lo cual permite asumir el ancho (B) y el espesor (H) para proceder a verificar que la carga crítica sea mayor a la carga requerida.

El diseño parte de datos conocidos como son las longitudes de los eslabones, las mismas que son especificadas en base a las necesidades y a la aplicación de la teoría de palancas articuladas.

El material empleado en su construcción es Acero ASTM A-36 puesto que este es el más comercial, en la tabla 2.4 se observan sus propiedades.

Tabla 2. 4. Propiedades del Acero ASTM A-36

Propiedades		Acero ASTM A-36
Densidad [ $Kg/m^3$ ]		7860
Resistencia Última	Tensión [ $MPa$ ]	400
	Compresión [ $MPa$ ]	
	Cortante [ $MPa$ ]	
Fluencia	Tensión [ $MPa$ ]	250
	Cortante [ $MPa$ ]	145
Módulo de elasticidad [ $GPa$ ]		248
Módulo de rigidez [ $GPa$ ]		200
Coeficiente de expansión Térmica [ $10^{-6}/^{\circ}F$ ]		77 11.7
Ductilidad, porcentaje de elongación en 50 mm		23

### a.1 Eslabón 3

Estos elementos están sometidos a cargas axiales variables por tal motivo presentan fallas por fatiga como se observa en la figura 2.19, durante el recorrido de trabajo se ejerce compresión y en el retorno se ejerce tracción.

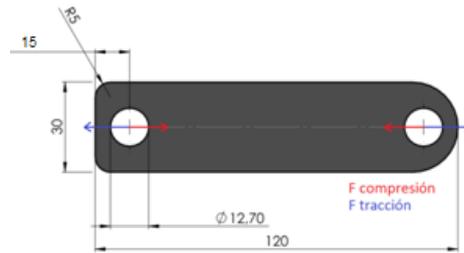


Figura 2. 19: Eslabón 3

El factor de seguridad de fatiga de un elemento sometido a cargas cíclicas o fluctuantes debido a cargas axiales se expresa mediante los criterios de falla Goodman modificado y de Langer Ec. 2.10.

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n_f} \quad \text{Ec. 2.10}$$

En base a la teoría de palanca articulada se conoce que la fuerza máxima que debe ejercer el mecanismo durante el recorrido de avance y retorno es 25 [KN]. A su vez los esfuerzos normales van a estar invirtiéndose completamente como se muestra en la figura 2.20, por ende:  $\sigma_{m\acute{a}x} = -\sigma_{m\acute{i}n}$  y  $\sigma_m = 0$ .

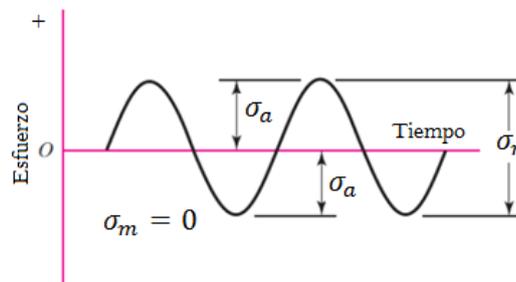


Figura 2. 20: Esfuerzo sinusoidal completamente invertido

Reemplazando  $\sigma_m$  en la Ec.2.10 se obtiene la Ec. 2.11

$$n_f = \frac{S_e}{\sigma_a} \quad \text{Ec.2.11}$$

Dónde:

$n_f$  = *factor de seguridad de fatiga*

$\sigma_a$  = *esfuerzo axial [Pa]*

$S_e$  = *Límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de máquina en la geometría y condición de uso, [MPa]*

El valor de  $\sigma_a$  en presencia de un orificio, ranura o muesca, viene dado por la ecuación siguiente.

$$\sigma_a = \frac{F}{A} \quad \text{Ec.2.12}$$

Dónde:

$F$  = *fuerza aplicada, [N]*

$A$  = *área, [m<sup>2</sup>]*

El valor de  $S_e$  está dado por la ecuación:

$$S_e = S_e' * k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f \quad \text{Ec.2.13}$$

Dónde:

$S_e'$  = *límite de resistencia a la fatiga, [MPa]*

$k_a$  = *factor del acabado superficial. Tabla 6 – 2<sup>14</sup>*

$k_b$  = *factor de modificación del tamaño<sup>15</sup>*

$k_c$  = *factor de modificación de la carga<sup>16</sup>*

$k_d$  = *factor de modificación de la temperatura, Tabla 6 – 4<sup>17</sup>*

<sup>14</sup> SHIGLEY J. E., Diseño en Ingeniería Mecánica, Octava edición, 2008. Pág. 280.

<sup>15</sup> SHIGLEY J. E., Diseño en Ingeniería Mecánica, Octava edición, 2008. Pág. 280.

<sup>16</sup> SHIGLEY J. E., Diseño en Ingeniería Mecánica, Octava edición, 2008. Pág. 282.

<sup>17</sup> SHIGLEY J. E., Diseño en Ingeniería Mecánica, Octava edición, 2008. Pág. 283

$k_e =$  factor confiabilidad, Tabla 6 – 5<sup>18</sup>

$k_f =$  factor de concentración del esfuerzo por fatiga

El límite de resistencia a la fatiga viene dado por la ecuación:

$$S'_e = 0.5 * S_{ut} \quad \text{Ec.2.14}$$

El factor de acabado superficial viene dado por la ecuación 2.14, los valores de a y b se encuentran en la tabla 6-2.<sup>19</sup>

$$K_a = aS_{ut}^b \quad \text{Ec.2.15}$$

El factor de concentración del esfuerzo por fatiga viene dado por la siguiente ecuación:

$$k_f = 1 + \frac{k_t - 1}{1 + \sqrt{a/r}} \quad \text{Ec.2.16}$$

Dónde:

$a =$  constante de Neuber

$k_t =$  factor de concentración del esfuerzo

Con los criterios de diseño establecidos se inicia con el procedimiento de cálculo, para lo cual se parte de los datos establecidos a continuación:

Los eslabones son de sección rectangular y presenta las siguientes medidas  $L = 120[mm]$  y  $b = 30 [mm]$  (Ver figura 2.17). Los extremos están articulados. La fuerza que se requiere para sujetar la lámina de plástico es de 25 KN y debido a que el sistema posee dos mecanismos cada uno de ellos debe soportar 12.5[KN]. A su vez cada mecanismo está formado por dos eslabones 3 por tal motivo cada eslabón debe resistir 6.25 [KN].

Con los siguientes datos, hallar el límite de resistencia a la fatiga del eslabón 3:

---

<sup>18</sup> SHIGLEY J. E., Diseño en Ingeniería Mecánica, Octava edición, 2008. Pág. 285.

<sup>19</sup> SHIGLEY J. E., Diseño en Ingeniería Mecánica, Octava edición, 2008. Pág. 280.

Datos:

Superficie maquinada

$$S_{ut} = 400[MPa]$$

$$k_c = 0.85 \text{ (axial)}$$

$$k_d = 1 \text{ (temperatura ambiente)}$$

$$k_e = 1 \text{ (confiabilidad 50\%)}$$

Hallar el límite de resistencia a la fatiga mediante la ecuación 2.14.

$$S'_e = 0.5 \times 400[MPa] = 200[MPa]$$

Se conoce que la superficie será maquinada por tal motivo de la tabla 6-2,  $a = 4.51$  y  $b = -0.265$ . Entonces, de la ecuación 2.15:

$$k_a = 4.51 * (400)^{-0.265} = 0.92$$

Puesto que para carga axial no hay efecto de tamaño, por lo cual

$$k_b = 1$$

Debido a que en los extremos de cada eslabón existe un orificio de  $\frac{1}{2}$  plg de diámetro, mediante la ecuación 2.16 hallar  $k_t$ ,

De la siguiente ecuación, con  $S_{ut} = 400 [MPa] = 58[Ksi]$

$$\begin{aligned} \sqrt{a} &= 0.245799 - 0.307794(10^{-2})S_{ut} + 0.150874(10^{-4})S_{ut}^2 \\ &\quad - 0.266978(10^{-7})S_{ut}^3 \end{aligned}$$

$$\sqrt{a} = 0.113\sqrt{plg} = 0.568\sqrt{mm}$$

De la Figura A-15-12<sup>20</sup>, para  $h=15$ ,  $w=30$  y  $d=12.7$

$$k_t = 1.55$$

---

<sup>20</sup> SHIGLEY J. E., Diseño en Ingeniería Mecánica, Octava edición, 2008. Pág. 1009.

Así que de la ecuación 2.16:

$$k_f = 1 + \frac{1.55 - 1}{1 + \frac{0.568}{\sqrt{6.35}}} = 1.44$$

Reemplazando los valores obtenidos en la ecuación 2.13 se tiene:

$$S_e = 200[MPa] * 0.92 * 1 * 0.85 * 1 * 1 * 1.44$$

$$S_e = 255.22 [MPa]$$

A continuación se considera un factor de seguridad igual a 4 debido a que los elementos están contruidos con materiales dúctiles y están sometidos a cargas variables.<sup>21</sup>

Despejamos  $\sigma_a$  de la ecuación 2.11.

$$\sigma_a = \frac{S_e}{n_f} = \frac{255.22 [MPa]}{4}$$

$$\sigma_a = 56.30 [MPa]$$

Finalmente despejamos A de la ecuación 2.12:

$$A = \frac{F}{\sigma_a} = \frac{6.25[KN]}{56.30 \left[ M \frac{N}{m^2} \right]}$$

$$A = 1.11 \times 10^{-4} [m^2] = 111 [mm^2]$$

$$A = (b \times h) - (d \times h) = h(b - d)$$

$$h = \frac{111 [mm^2]}{30 - 12.7 [mm]} = 6.41 [mm]$$

El resultado obtenido del análisis por fatiga se concluye que el espesor mínimo que puede emplearse en los eslabones 3 es igual a 6.41[mm]. Por cuestiones de disponibilidad de material se decide emplear un espesor de 12.7[mm].

---

<sup>21</sup> RESISTENCIA DE MATERIALES, Robert L. Mott, Quinta Edición, pág. 122

Las medidas finales para el eslabón 3 se indican en la tabla 2.5 y los planos de construcción se observan en el Anexo Q-13.

Tabla 2. 5 Medidas de los eslabones 3 del sistemas de formado

ESLABÓN 3 [mm]	
Ancho	30
Espesor	12.7
Longitud	120

### a.2 Eslabones 4

Los eslabones 4 poseen las mismas características que los eslabones 3, con la diferencia que el mecanismo está conformado por cuatro de cada uno de estos elementos. Este análisis nos permite tener un punto de partida para el diseño de estos eslabones, puesto que su espesor debe ser la mitad de los eslabones 3. Conocemos que los eslabones son de sección rectangular:  $L=120$  mm,  $b=30$  mm y asumimos  $h = 6$  [mm]. Los extremos son articulados.



Figura 2. 21: Eslabón 4 y eslabón 5

Para su análisis se emplea la teoría de columna corta puesto que está sometido a carga por compresión.

Cálculos:

$$\cos 10^\circ = \frac{12.5 [KN]}{F_2}$$

$$F_2 = 12.7 [KN]$$

Calcular la relación de esbeltez. Primero calcular el radio de giro mediante la ecuación 2.15, respecto al eje que produzca el valor menor. En este caso es el eje X-X, para el cual:

$$r = \frac{H}{\sqrt{12}} = \frac{6}{\sqrt{12}} = 1.73[\text{mm}]$$

La columna tiene extremos articulados, para los cuales  $K=1$ . Entonces calcular la relación de esbeltez:

$$\frac{KL}{r} = 69.36$$

Calcular la constante de columna. Para el acero ASTM A-36, de tablas se determina la resistencia a la tracción  $S_y = 248 \times 10^6 [\text{Pa}]$  y el módulo de elasticidad  $E = 200 \times 10^9 [\text{Pa}]$ . Entonces, según la ecuación 2.4.

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E}{S_y}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 200 \times 10^9}{248 \times 10^6}}$$

$$C_c = 71.18$$

Comprobamos la siguiente relación si  $\frac{KL}{r} \geq C_c$ , la columna es larga. Entonces,  $69.36 < 71.18$  esto indica que la columna es corta, por lo tanto emplear la fórmula de J.B. Johnson para calcular la carga crítica.

$$P_{cr} = A \cdot S_y \left[ 1 - \frac{S_y (KL/r)^2}{4\pi^2 E} \right] \quad \text{Ec.2.16}$$

$$P_{cr} = 1.8 \times 10^{-4} * 248 \times 10^6 \left[ 1 - \frac{248 \times 10^6 * 69.36^2}{4\pi^2 * 200 \times 10^9} \right]$$

$$P_{cr} = 85.57 [\text{KN}]$$

Esta es la carga crítica de pandeo. Se tiene que aplicar el factor de diseño para determinar la carga admisible empleando la Ec.2.8.

$$P_a = \frac{P_{cr}}{N} = 9.5 [\text{KN}]$$

Cada mecanismo debe soportar  $12.7 [\text{KN}]$ , pero sabemos que el mecanismo está conformado por 4 eslabones uno, es decir que cada elemento debe soportar  $3.2 [\text{KN}]$ .

Según los cálculos realizados, se obtuvo una carga admisible de 9.5 [KN] la misma que es mayor a la carga que se va aplicar a cada eslabón 3.2 [KN]. Por consiguiente el diseño de los eslabones 4 es correcto, adoptando así las medidas de la tabla 2.6. Los planos se encuentran en el Anexo Q-14.

Tabla 2. 6 Medidas de los eslabones 4 del sistemas de formado

ESLABÓN 4 [mm]	
<b>Ancho</b>	30
<b>Espesor</b>	6
<b>Longitud</b>	120

### a.3 Eslabones 5

Los eslabone 5 poseen las mismas características que los eslabones 4 como se muestra en la figura 2.21, con la diferencia que el mecanismo está conformado por dos de estos elementos. Sabemos que la fuerza que debe soportar todo el mecanismo es 12.5 [KN], por tal motivo cada eslabón debe resistir 6.25 [KN].

Con dicho análisis sabemos que su espesor debe ser el doble de los eslabones 4. En la tabla 2.7 se muestran los resultados obtenidos al realizar un análisis similar al de los eslabones 4 debido a que estos también están sometidos a cargas a compresión.

Tabla 2. 7. Medidas de los eslabones 5 del sistemas de formado

ESLABÓN 5 [mm]	
<b>Ancho</b>	30
<b>Espesor</b>	12.7
<b>Longitud</b>	120

### b. Pasadores

Los pasadores son diseñados para soportar una carga en el punto más crítico, es decir para una carga de 12.5 KN. En el caso de pasadores sujetos a cargas cortantes, el proceso de diseño es bastante directo. Al conocer las cargas por

transmitir y las tensiones admisibles en los materiales, podemos calcular las áreas requeridas de los miembros a partir de la relación general siguiente<sup>22</sup>

$$\text{Área requerida} = \frac{\text{Carga por transmitirse}}{\text{Tensión Admisible}}$$

En la figura 2.22 se muestra el bosquejo del acople entre el pasador a los eslabones y a los sujetadores.

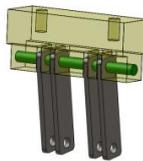


Figura 2. 22: Pasador 1

Datos:

Acero ASTM A-36

$$S_y = 248 [MPa]$$

$$F = 12.5 [KN]$$

Como se puede ver en el diagrama de cuerpo libre de la figura 2.22, el pasador uno presenta 8 áreas de corte, por lo tanto empleamos la siguiente ecuación:

$$\tau_{perm} = \frac{F}{8 \cdot A} \quad \text{Ec.2.17}$$

Dónde:

$$\tau_{perm} = \text{esfuerzo cortante permisible [Pa]}$$

$$F = \text{fuerza aplicada [KN]}$$

$$A = \text{área del pasador [m}^2\text{]}$$

La fluencia empieza cuando la tensión de fluencia se alcanza en cualquier punto dentro de la estructura; por tanto, al aplicar un factor de seguridad con respecto a

<sup>22</sup> TIMOSHENKO, Resistencia de materiales, James M. Gere, Quinta edición, pagina 44.

la tensión de fluencia (o tensión de trabajo), obtenemos una tensión admisible (o tensión de trabajo) que no debe excederse en ninguna parte de la estructura. Entonces, para cortante:<sup>23</sup>

$$\tau_{perm} = \frac{\tau_Y}{n} \quad \text{Ec.2.18}$$

Dónde:

$\tau_{perm}$  = esfuerzo cortante admisible o de trabajo [MPa]

$\tau_Y$  = tensión de fluencia [MPa]

$n$  = factor de seguridad

Consideramos  $n = 4$ , puesto que para elementos de máquinas con materiales dúctiles, que soportan cargas con un grado de incertidumbre se recomienda este valor.<sup>24</sup>

$$\tau_{perm} = \frac{248[\text{MPa}]}{4} = 62[\text{MPa}]$$

*Pasador 1*

$$A = \frac{F}{8 \cdot \tau_{perm}} = \frac{12.5 [\text{KN}]}{8(62)[\text{MPa}]} = 2.52 \times 10^{-5} [\text{m}^2] = 25.2 [\text{mm}^2]$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} = 5.66 [\text{mm}]$$

*Pasador 2*

$$A = \frac{F}{4 \cdot \tau_{perm}} = 50.4 [\text{mm}^2]$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} = 8.01 [\text{mm}]$$

<sup>23</sup> Resistencia de materiales, James M. Gere, 5 Edición, pág. 40.

<sup>24</sup> RESISTENCIA DE MATERIALES, Robert L. Mott, Quinta Edición, pág. 122

*Pasador 3*

$$A = \frac{F}{6 \cdot \tau_{perm}} = 33.6 [mm^2]$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} = 6.54 [mm]$$

*Pasador 4*

$$A = \frac{F}{2 \cdot \tau_{perm}} = 100.8 [mm^2]$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} = 11.3 [mm]$$

Debido a que en el mercado se encuentra varilla en Acero SAE 1018 de ½ plg, se decide emplear esta varilla en los 4 pasadores.

#### **2.4.6 Mesas**

La estación de formado consta de dos mesas fijas y dos mesas móviles, sobre las mismas se va aplicar una fuerza de 25[KN]. El material a utilizar en su elaboración es acero de construcción ASTM A-36. El largo y ancho de las cuatro placas se definieron en función a las dimensiones de los moldes, lámina de plástico y necesidades de la empresa, así faltando por definir su espesor.

En la figura 2.23 se muestra el diagrama de flujo en el que se describen los pasos a seguir para el diseño de las placas de las mesas.

##### **a. Mesa fija**

Las mesas fijas albergan a los cilindros neumáticos y a todos los elementos que forman parte del sistema de formado. El diseño de las placas parte con las siguientes medidas: ancho 600 [mm] y largo 400 [mm], faltando por definir el espesor [h], para lo cual se emplean los pasos del diagrama de la figura 2.23.

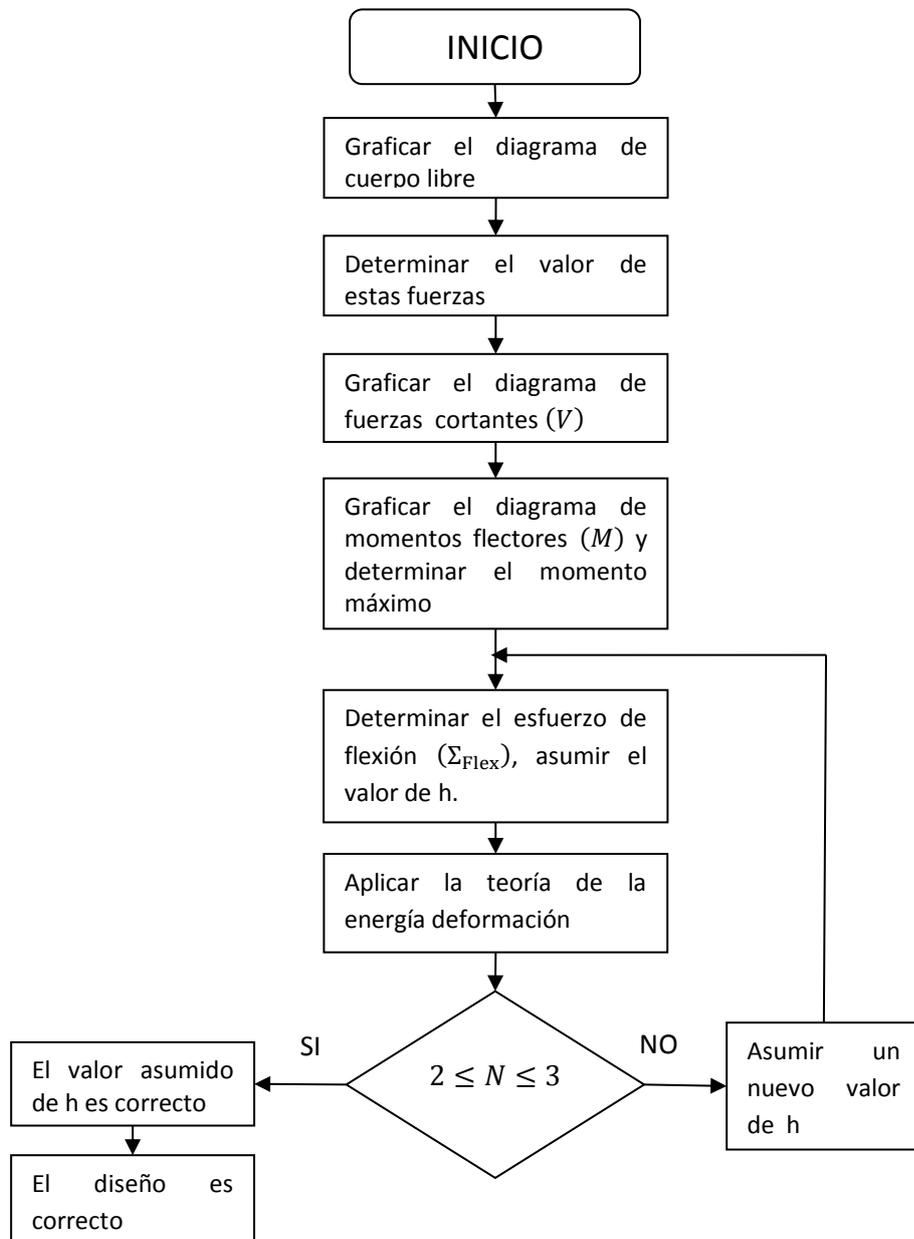


Figura 2. 23. Diagrama de flujo para la construcción de placas

- **Graficar el diagrama de cuerpo libre**

Para graficar el diagrama de cuerpo libre, se debe conocer las fuerzas y reacciones que actúan sobre la placa, las mismas se indican en la figura 2.24.

$P_1$  y  $P_2 =$  fuerza de trabajo 12.5 [KN]

$R_A$  y  $R_B =$  fuerza de reacción [KN]

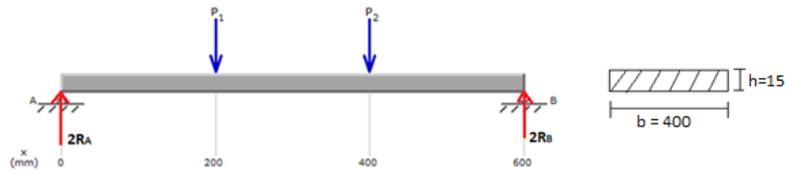


Figura 2. 24. Diagrama de cuerpo libre de la placa de la mesa fija de la estación de formado.

- **Fuerzas que intervienen en el diagrama de cuerpo libre**

$$F = 25 [KN]$$

- **Graficar el diagrama de fuerzas cortantes (V)**

Para graficar el diagrama de fuerzas cortantes (Figura 2.25) se debe conocer el valor de las reacciones  $R_A$  y  $R_B$ , para lo cual se aplica la sumatoria de fuerzas en el eje Y.

$$\uparrow + \sum Fy = 0$$

$$2R_A + 2R_B = F_1 + F_2$$

$$2R_A + 2R_B = 12.5 [KN] + 12.5 [KN]$$

$$R_A = R_B$$

$$2R_A = 12.5 [KN]$$

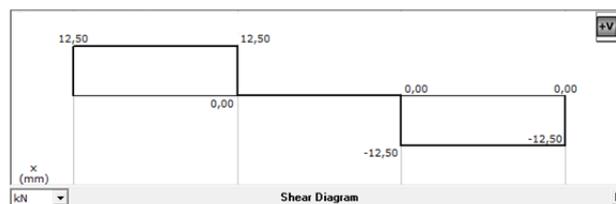


Figura 2. 25: Diagrama de fuerzas cortantes (V)

- **Graficar el diagrama de momentos flectores (M)**

Para graficar el diagrama de momentos flectores (figura 2.26), se aplica el método de áreas, para lo cual se debe conocer el valor de las áreas formadas en el diagrama de fuerzas cortantes.

$$A_1 = -A_2$$

$$A_1 = 12.5 \text{ [KN]} * 0.2 \text{ [m]}$$

$$A_1 = 2.5 \text{ [KN} \cdot \text{m]}$$

Dónde:

A1: Área bajo la curva del diagrama de fuerzas cortantes.

A2: Área sobre la curva del diagrama de fuerzas cortantes.

Una vez dibujado el diagrama de momentos flectores, se determina el momento máximo.

$$M_{\text{máx}} = 2.5 \text{ [KN} \cdot \text{m]}$$

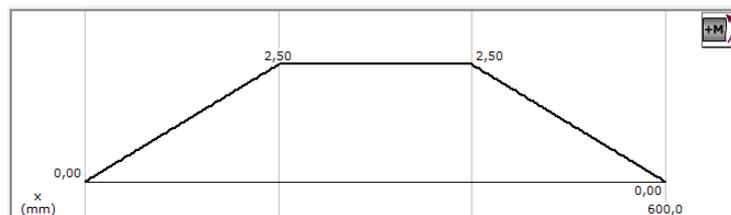


Figura 2. 26: Diagrama de momentos flectores (M)

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

$$\sigma_{flex} = \frac{M_{\text{máx}}}{\frac{bh^2}{6}} \quad \text{Ec.2.19}$$

Dónde:

$\sigma_{flex}$  = *esfuerzo de flexión* [MPa]

$M_{\text{máx}}$  = *momento máximo* [KN · m]

$b$  = *ancho de la placa* [m]

$h$  = *espesor de la placa* [m]

Para el diseño, se asume  $h = 0.015 \text{ [m]}$

$$\sigma_{flex} = \frac{2.5 \text{ [KN} \cdot \text{m}]}{\frac{0.4 \text{ [m]} (0.015)^2 \text{ [m}^2]}{6}}$$

$$\sigma_{flex} = 166.666[MPa]$$

- **Aplicar la teoría de la energía de deformación**

Según esta teoría un elemento de máquina falla cuando  $\sigma' \geq Sy$

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_2 + \sigma_2^2} \quad \text{Ec.2.20}$$

Dónde:

$\sigma' = \text{esfuerzo de Von Mises [MPa]}$

$\sigma_1$  y  $\sigma_2 = \text{Esfuerzos normal Principal (Círculo de MOHR)}$

$$FS = \frac{Sy}{\sigma'} \quad \text{Ec.2.21}$$

Dónde:

$FS = \text{Factor de seguridad}$

Al no existir torsión  $\tau_{corte} = 0$  y por ende  $\sigma_2 = 0$ , reemplazando este valor en la Ec. 2.20 se obtiene la siguiente igualdad:

$$\sigma' = \sigma_1 = \sigma_{flex}$$

Reemplazar el valor de  $\sigma_{flex}$  en la Ec.2.21

$$FS = \frac{248[MPa]}{166.666[MPa]} = 1.49$$

El factor de seguridad debe ser mayor a 2 y como se observa en los cálculos realizados el factor de seguridad es de 1.49 indicando que el espesor de la plancha empleada para construir la mesa fija no es la correcta.

Para incrementar el factor de seguridad se decide emplear una placa de acero de  $(600 \times 400 \times 12.7)[mm]$ , la misma que es reforzada con placas del mismo material Acero ASTM A-36 de  $12.7 [mm]$  de espesor y  $35[mm]$  de alto, como se observa en la figura 2.27. Los planos se observarse en el Anexo Q-19.

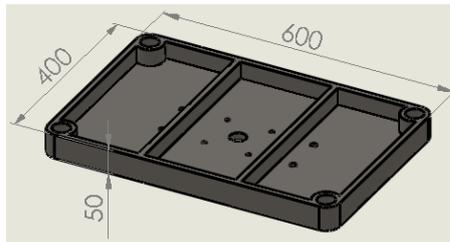


Figura 2. 27: Dimensiones de las mesas fijas del sistema de formado

Empleando un software de simulación en el cual se puede simular la carga exterior  $F = 25 [KN]$  que se aplica sobre la mesa fija, podemos observar en la figura 2.28 que el factor de seguridad se incrementa a  $FS=2.16$

El factor de seguridad obtenido indica que el diseño para las mesas fijas es correcto.

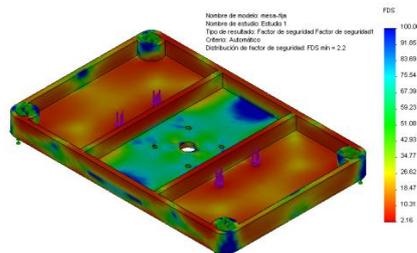


Figura 2. 28: Análisis con carga de las mesas fijas del sistema de formado.

#### 2.4.6.1 Mesa móvil

Estas mesas dan soporte; la superior al molde y la inferior a la cámara de soplado. Al igual que las mesas fijas sabemos que la plancha para estas mesas tendrá un factor de seguridad menor a 2, por tal motivo también se deben contemplar refuerzos en su diseño.

Las dos mesas móviles estarán conformadas por: una plancha de acero de  $(621 \times 421 \times 5) [mm]$ , refuerzos de  $45[mm]$  de alto y  $12.7 [mm]$  de espesor. Construida en Acero ASTM A-36.

El análisis para determinar su factor de seguridad se determina mediante el empleo del software, en esta mesa existe la presencia de una fuerza que actúa en

toda el área de la mesa, es decir que existe una presión. Para hallar dicha presión se emplea la ecuación 2.22, la misma que sirve como dato para efectuar el análisis.

$$P = \frac{F}{A} \quad \text{Ec.2.22}$$

$$P = \frac{25 \text{ [KN]}}{(0.621 \times 0.421) \text{ [m}^2\text{]}}$$

$$P = 95\,623 \text{ [Pa]}$$

En la figura 2.29 observamos los resultados generados del análisis, obteniendo un factor de seguridad  $FS = 2.96$ , el mismo valor nos indica que el diseño para las mesas móviles cumple con las características necesarias para efectuar correctamente su función.

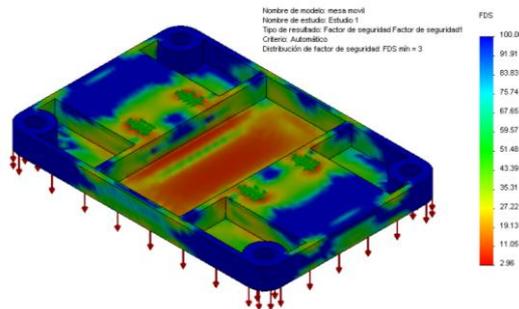


Figura 2. 29: Análisis con carga de mesas móviles del sistema de formado.

Una de las mesas móviles se observa en la figura 2.30. Los planos se encuentran en el Anexo Q-20.

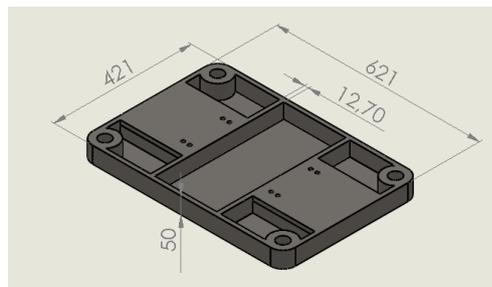


Figura 2. 30: Dimensiones de las mesas móviles del sistema de formado.

### 2.4.7 Tuercas de sujeción

Las mesas fijas en conjunto con las columnas forman la estructura que alberga al mecanismo y los elementos que conforman el proceso de formado, las misma que se acoplan a las columnas mediante la ayuda de tuercas hexagonales de  $1\frac{3}{8}$  [plg] de Acero G-8 paso M7.

Aquí se considera un factor de carga en lugar de un factor de seguridad, en vista de que las dos ideas están relacionadas de alguna manera. Cualquier valor de  $n > 1$  en la ecuación 2.23 asegura que el esfuerzo en el perno es menor que la resistencia de prueba.<sup>25</sup>

$$n = \frac{S_p * A_t - F_i}{C * P} \quad \text{Ec.2.23}$$

Dónde:

$S_b$  = parte de  $P$  tomada por el perno

$F_i$  = precarga (Fuerza de sujección)

$C$  = fracción de la carga externa  $P$  soportada por el perno

$P$  = carga externa de tensión

$P_m$  = parte de  $P$  tomada por los elementos

Ahora, se debe considerar qué sucede cuando se aplica una carga externa de tensión  $P$  a una unión con pernos, como en la figura 2.28. Por supuesto, se debe suponer que la fuerza de sujección, a la que se llama precarga  $F_i$ , se ha aplicado de manera correcta apretando la tuerca antes de aplicar  $P$ .

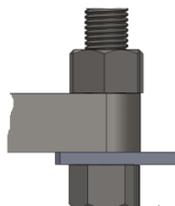


Figura 2. 31: Unión con perno

<sup>25</sup> SHIGLEY J. E., Diseño en Ingeniería Mecánica, Octava Edición, 2008. Pág. 425.

Se recomienda tanto para la carga estática como para la de fatiga que se use la ecuación siguiente para la precarga:<sup>26</sup>

$$F_i = 0.75 F_p \quad ; \text{ para conexiones no permanentes} \quad \text{Ec.2.24}$$

Donde  $F_p$  es la carga de prueba, que se obtiene mediante la ecuación:

$$F_p = A_t \cdot S_p \quad \text{Ec.2.25}$$

Aquí  $S_p$  es la resistencia de prueba que para distintos materiales, un valor aproximado es:

$$S_p = 0.85 S_y \quad \text{Ec.2.26}$$

La constante de rigidez de la unión, esta defina por:

$$C = \frac{k_b}{k_b + k_m} \quad \text{Ec.2.27}$$

Dónde:

$k_b$  = rigidez efectiva estimada del perno o tornillo en la zona de sujeción

$k_m$  = rigidez efectiva estimada de los elementos en la zona de sujeción

$$k_b = \frac{A_t E}{l_t} \quad \text{Ec.2.28}$$

Dónde:

$A_t$  = área de esfuerzo sometida a tensión. Anexo

$l_t$  = longitud de la parte roscada de agarre

$$k_m = \frac{0.5774 \pi E d}{2 \ln\left(5 \frac{0.5774 l + 0.5d}{0.5774 l + 2.5d}\right)} \quad \text{Ec.2.29}$$

Dónde:

---

<sup>26</sup> SHIGLEY J. E., Diseño en Ingeniería Mecánica, Octava Edición, 2008. Pág. 427.

$E = \text{modulo de Young [GPa]}$

$d = \text{diámetro de la columna roscada [m]}$

$l = \text{espesor de agarre[m]}$

Cálculos:

De la tabla 2.4 obtener el módulo de Young del Acero ASTM A-36 que es  $E = 200 \text{ [GPa]}$ .

Iniciar empleando la ecuación 2.29

$$k_m = \frac{0.5774 \cdot \pi \cdot 200 \cdot (0.035)}{2 \ln \left[ 5 \frac{0.5774(0.06) + 0.5(0.035)}{0.5774(0.06) + 2.5(0.035)} \right]}$$

$$k_m = 8.37 \left[ \frac{GN}{m} \right]$$

De la tabla 8.2<sup>27</sup> del ANEXO - B y según el paso de rosca seleccionamos  $A_t$ , en este caso para un paso de 6 hilos por pulgada el área de esfuerzo de tensión  $A_t = 1.581 \text{ [plg}^2] = 0.00102 \text{ [m}^2]$ , emplear la ecuación 2.28.

$$k_b = \frac{0.00102 \cdot 200}{0.06}$$

$$k_b = 3.4 \left[ \frac{GN}{m} \right]$$

Hallar la constante de rigidez de la unión, según la ecuación 2.27

$$C = \frac{3.4}{3.4 + 8.37}$$

$$C = 0.12$$

Mediante las ecuación 2.26 y de tablas se obtiene para el Acero AISI 1018 el  $S_y = 370 \text{ [MPa]}$ .

---

<sup>27</sup> SHIGLEY J. E., Diseño en Ingeniería Mecánica, Octava Edición, 2008. Pág. 399

$$S_p = 0.85 (370) = 314.5 [MPa]$$

Reemplazando este valor en la ecuación 2.25 se encuentra la carga de prueba  $F_p$  :

$$F_p = 0.00102(314.5) = 320.8 [KN]$$

Ahora mediante la ecuación 2.24 hallar la precarga recomendada:

$$F_i = 0.75 (320.8) = 288.72 [KN]$$

Finalmente, aplicar la ecuación 2.23 para hallar factor de carga:

$$n = \frac{314.5 \times 10^3 (0.00102) - 288.72}{0.12(53)}$$

$$n = 3.17$$

Cumple  $n > 1$ , por tal motivo se usa la carga de apriete recomendado. Por tal motivo se concluye que las tuercas de sujeción empleadas resistirán la carga externa aplicada sin existir peligro de que las uniones se separen.

## 2.5 ESTACIÓN DE CORTE

En la presente estación se lleva a cabo el troquelado de las piezas termoformadas, entregando así un empaque tipo blíster listo para ser utilizado.

El troquelado se realiza mediante un molde hembra y el punzón. Dichos elementos deben ser provistos de fuerza y soporte, para lo cual se cuenta con una estructura y un mecanismo similar a la estación de conformado, por dicho motivo en el presente diseño se hace mención a las ecuaciones empleadas en dicha estación. En la figura 2.29 se muestran los elementos que conforman el presente sistema.

1. Columnas
2. Mecanismo de palanca articulado
3. Mesas fijas
4. Mesa móvil
5. Molde

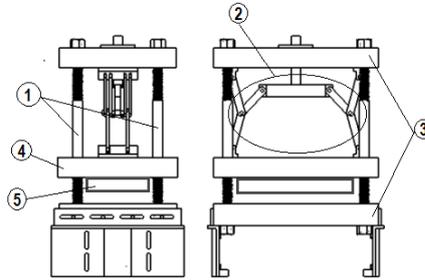


Figura 2. 32: Elementos del sistema de troquelado

### 2.5.1 Fuerza de corte

Mediante la ecuación 2.30 se determina la fuerza requerida para el troquelado. Los cálculos siguientes se efectúan para los casos más críticos que pueden presentarse.

$$P_s = l * t * k_s * \frac{1}{(1000)^2} \quad \text{Ec.2.30}$$

Dónde:

$P_s =$  Fuerza para troquelado [tf o kN]

$l =$  perímetro de corte [mm]

$t =$  Espesor de la lámina [mm]

$K_s =$  Resistencia del corte [Kgf/mm<sup>2</sup> o MPa]

$K_s = 0.57 S_u$  (Resistencia última a la Tensión)

$$P_s = 1800 * 1.5 * 0.57 * 25 \times 10^6 * \frac{1}{(1000)^2}$$

$$P_s = 38 \text{ [KN]}$$

El valor hallado indica que todos los elementos que conforman la estructura y el mecanismo de la presente estación deben estar diseñadas para soportar una fuerza de 38 [KN].

### 2.5.2 Columnas

Empleando el diagrama de flujo de la figura 2.12 y las ecuaciones del diseño de columnas de la estación de formado, se procede a realizar los cálculos mostrados

seguidamente. En la figura 2.30 se puede apreciar una de las columnas de la estación de troquelado.

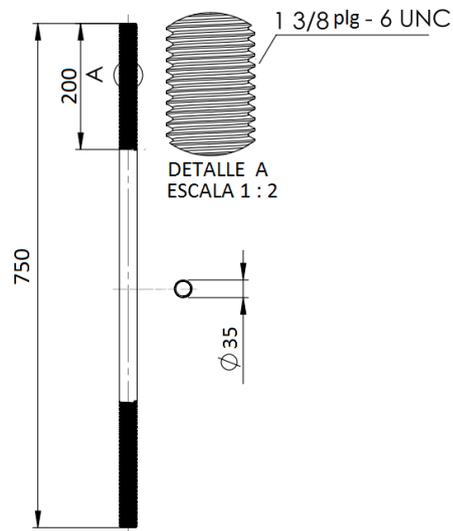


Figura 2. 33: Columnas de la estación de troquelado.

Datos:

$$P = 38 \text{ [KN]}$$

$$L = 750 \text{ [mm]}$$

$$K = 0.65 \text{ (Para extremos empotrados)}$$

$$N = 1.98$$

Material SAE 1018

$$S_y = 370 \text{ [MPa]}$$

$$E = 205 \text{ [GPa]}$$

Cálculos:

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{S_y}}$$

$$C_c = 104.6$$

Suponer que la columna es larga y calcular mediante la fórmula de Euler, Ec.2.5.

Para efectos de diseño se asume que  $P_a \geq P$

$$I = \frac{NPa(KL)^2}{\pi^2 E}$$

$$I = \frac{1.98(38)[KN](0.65 * 1)^2[m^2]}{\pi^2(205) \left[ \frac{GN}{m^2} \right]}$$

$$I = 1.57 \times 10^{-8}[m^4] = 15700[mm^4]$$

$$D = \sqrt[4]{\frac{64 \cdot I}{\pi}} = 24[mm]$$

El diámetro calculado para las columnas es de 24[mm]. Para comprobar si es la medida correcta se debe calcular la relación de esbeltez y observar si cumple la condición de columna larga, si esta no cumple se debe analizar como columna corta.

$$r = \frac{D}{4} = \frac{24[mm]}{4}$$

$$r = 6 [mm]$$

$$\frac{KL}{r} = 81.3$$

Comprobar si cumple la siguiente condición:

$$\frac{KL}{r} > Cc$$

$$81.3 < 104$$

Observamos que no cumple la condición  $\frac{KL}{r} > Cc$ , por lo tanto la columna es corta y el diámetro calculado para las columnas es incorrecto.

Analizar como columna corta, para lo cual despejamos A de la ecuación 2.15.

$$A = \frac{Pa}{Sy} + \frac{Sy \cdot (KL)^2}{\pi \cdot E}$$

$$A = \frac{38[KN]}{370 \left[ \frac{MN}{m^2} \right]} + \frac{370 \left[ \frac{MN}{m^2} \right] (0.65 * 0.75)^2[m^2]}{\pi \cdot 205 \left[ \frac{GN}{m^2} \right]}$$

$$A = 1.43 \times 10^{-4} [m^2]$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} = 0.013 [m] = 13.5 [mm]$$

La columna resistirá una carga crítica igual a:

$$P_{cr} = N \cdot Pa$$

$$P_{cr} = 1.98(53)$$

$$P_{cr} = 104.94 \text{ KN}$$

Las cuatro columnas son construidas con Acero SAE 1018, diámetro  $1 \frac{3}{8}$  plg, debido a que la empresa desea sobredimensionar cierto porcentaje para tener la posibilidad de ampliar la utilización de la máquina.

### 2.5.3 Mecanismo de palancas articuladas

Tabla 2. 8: Medidas de los eslabones de la estación de troquelado

ELEMENTOS	LONGITUD [mm]
Eslabón 3	150
Eslabón 4	175
Eslabón 5	175

Aplicar el criterio empleado en el diseño de los eslabones de la estación de formado considerando la fuerza de 38[KN] que este debe ejercer. Por estar formada por dos mecanismos dividimos la fuerza total, obteniendo así que cada mecanismo y por ende sus elementos deben soportar una carga de 19[KN].

En la tabla 2.8 se definen las longitudes de los eslabones definidas según las necesidades que presenta la máquina. El material empleado en su construcción es Acero ASTM A-36.

**a. Eslabones 3**

El mecanismo posee dos eslabones 2, es así que cada eslabón soporta 9.5[KN]. Son de sección rectangular y los extremos están articulados  $K=1$ .

*Resultados:*

El análisis empleado para diseñar los eslabones es similar al empleado en el sistema de formado. En la tabla 2.9 se presentan los resultados obtenidos:

Tabla 2. 9: Medidas de los eslabones 2 del sistema de troquelado

<b>ESLABÓN 3</b>	
<b>Ancho</b>	30 mm
<b>Espesor</b>	12.7 mm
<b>Longitud</b>	150 mm

**b. Eslabones 4 y 5**

Tabla 2. 10: Medidas de los eslabones 4 del sistema de troquelado

<b>ESLABÓN 4 [mm]</b>	
<b>Longitud</b>	175
<b>Ancho</b>	30
<b>Espesor</b>	9

Tabla 2. 11: Medidas de los eslabones 5 del sistema de troquelado

<b>ESLABÓN 5 [mm]</b>	
<b>Longitud</b>	175
<b>Ancho</b>	30
<b>Espesor</b>	9

Los eslabones 3 y 4 son iguales en ancho y longitud pero de diferente espesor. Son de sección rectangular y los extremos están articulados. Las dimensiones obtenidas del análisis se muestran en las tablas 2.10 y 2.11.

### c. Pasadores

Los pasadores son diseñados para soportar una carga en el punto más crítico, es decir para una carga de 19 KN.

*Datos*

Material del pasador: Acero ASTM A-36

$$S_y = 248 [MPa]$$

$$F = 19 [KN]$$

$$\tau_{perm} = \frac{248 [MPa]}{4}$$

$$\tau_{perm} = 62 [MPa]$$

*Pasador 1*

$$A = \frac{F}{8 \cdot \tau_{perm}} = \frac{19 [KN]}{8(62) [MPa]} = 3.83 \times 10^{-5} [m^2] = 38.3 [mm^2]$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} = 7 [mm]$$

*Pasador 2*

$$A = \frac{F}{4 \cdot \tau_{perm}} = 76.6 [mm^2]$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} = 10 [mm]$$

*Pasador 3*

$$A = \frac{F}{6 \cdot \tau_{perm}} = 51.07 [mm^2]$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} = 8 [mm]$$

*Pasador 4*

$$A = \frac{F}{2 \cdot \tau_{perm}} = 120 [mm^2]$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} = 12.3 [mm]$$

Debido a que en el mercado se encuentra varilla en Acero ASTM A-36 de ½ plg, se decidió emplear esta varilla en los 4 pasadores del mecanismo del sistema de troquelado.

#### **2.5.4 Mesas Fijas**

Como se ha mencionado anteriormente que el análisis es similar al diseño de las mesas fijas y móviles de la estación de formado, de igual modo para el presente diseño también se hace uso del software ahí empleado para comprobar que el factor de seguridad del diseño propuesto sea el correcto. Estas mesas son construidas en Acero ASTM A-36 y sometidas a una fuerza de 38[KN].

##### **a. Superior**

El diseño propuesto presenta las dimensiones mostradas en la figura 2.34. El espesor de las placas empleadas en la base es de 15 [mm] y de los refuerzos es de 12.7 [mm]. A continuación en la figura 2.35 se observan los resultados obtenidos al realizar el análisis en el software:

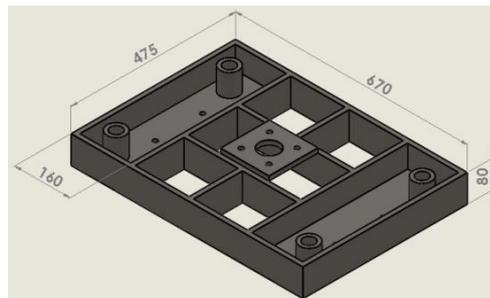


Figura 2. 34: Mesa fija superior de la estación de troquelado

El factor de seguridad obtenido es 2.21 el mismo que indica que el diseño es aceptable.

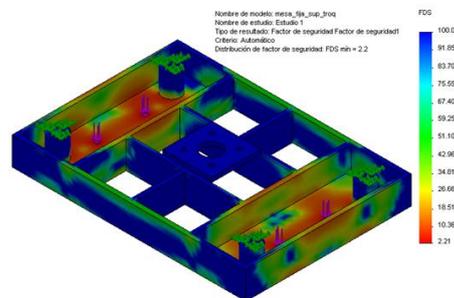


Figura 2. 35: Análisis de la mesa fija superior de la estación de troquelado

### b. Inferior

Sobre esta mesa se ubica el molde macho. La figura 2.36 indica las medidas del diseño propuesto para la mesa inferior y el espesor de las planchas empleadas tanto en la base como en los refuerzos es de 15[mm].

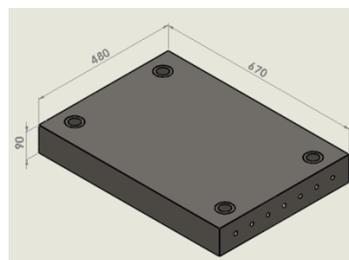


Figura 2. 36: Mesa fija inferior de la estación de troquelado

A continuación en la figura 2.37 se observan los resultados obtenidos al realizar el análisis en el software:

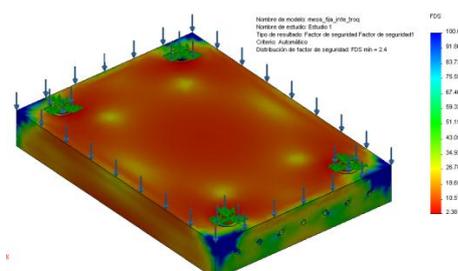


Figura 2. 37: Análisis de la mesa fija superior de la estación de troquelado

Por los resultados obtenidos concluimos que el diseño es correcto, puesto que presenta un factor de seguridad mínimo de 2.4

## 2.6 SISTEMA DE TRANSPORTE

El mecanismo de transporte es aquel que se encarga de movilizar automáticamente la lámina de PVC a través de las distintas estaciones que conforman el proceso de termoformado, obteniendo así el producto final.

El transporte se realiza mediante la utilización de un cilindro neumático que es el encargado de generar la fuerza y velocidad necesaria para dar movimiento a las cadenas de tracción que son las encargadas de sujetar y mover la lámina de PVC.

Por tratarse de cadenas elaboradas especialmente para el transporte de láminas plásticas estas son acondicionadas con accesorios tipo púas y disponibles en el mercado en paso de 1/2 pulgada, según la norma ISO el número de cadena es 08B-1. En la figura 2.38 se observa la vista frontal de la cadena de transporte. Las características se observan en el Anexo – C.

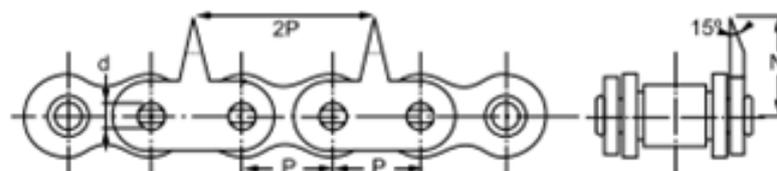


Figura 2. 38: Cadenas de tracción

El cilindro neumático únicamente transmitirá movimiento a la cadena durante su recorrido de retorno, esto se puede lograr gracias a la utilización de una rueda dentada con giro a un solo sentido. La figura 2.39 muestra las partes del sistema:

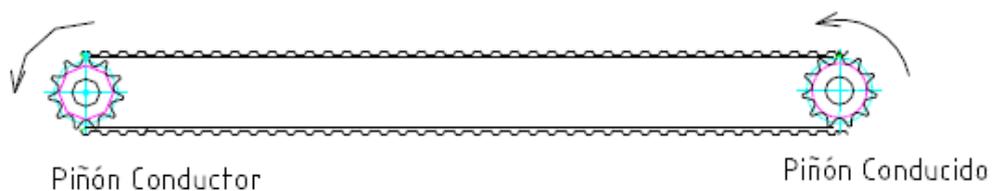


Figura 2. 39: Elementos del sistema de transporte

### 2.6.1 Transmisión de potencia

Las características básicas de las transmisiones de cadenas incluyen una relación constante de velocidad, puesto que no hay resbalamiento o estirado; larga vida y la capacidad para impulsar cierto número de ejes desde una sola fuente de potencia o fuerza motriz.

El diseño del sistema de alimentación parte de los criterios establecidos con respecto al tiempo de exposición al calentamiento de las planchas de polipropileno, tomando esta consideración como dato de partida los cálculos para hallar la velocidad a la que tiene que desplazarse dicha lámina se muestra a continuación:

El diseño inicia con el uso de las ecuaciones del movimiento circular uniforme que se detallan a continuación:

$$V = \frac{x}{t} \quad \text{Ec.2.31}$$

Dónde:

$V =$  *velocidad lineal del piñón conductor de la cadena [m/s]*

$t =$  *tiempo de permanencia en el horno [seg]*

$x =$  *distancia a recorrer por el plástico [m]*

Además, para encontrar el número de revoluciones a las que giran las catalinas que trasladan al plástico se tiene:

$$\omega = \frac{V}{r} \quad \text{Ec.2.32}$$

Dónde:

$\omega =$  *velocidad angular del piñón conductor de la cadena, [rad/s]*

$V =$  *velocidad lineal del piñón conductor de la cadena, [rad/s]*

$r =$  *radio del piñón conductor, [m]*

El diseño del sistema motriz tiene su punto de partida en el tiempo de permanencia de las planchas de polipropileno dentro del horno, y después de haber consultado máquinas similares se establece que el tiempo de permanencia ideal es de aproximadamente 25 segundos.

### 2.6.2 Longitud del vástago del cilindro neumático

Calcular la velocidad a la que se debe transportar la lámina de PVC, para ello se conoce:

$$x = 2.5 [m]$$

$$t = 25[s]$$

$$V = \frac{x}{t} = \frac{2.50}{25} = 0.1[m/s]$$

Para transformar la velocidad lineal a velocidad angular se requiere conocer el radio del piñón para lo cual aplicamos la siguiente directriz; ruedas dentadas de 17 o más dientes deberán usarse para velocidades moderadas y de 21 o más debe usarse solo para sistemas de alta velocidad. Las ruedas con menos de 17 dientes deberían usarse sólo para velocidades muy pequeñas.<sup>28</sup>

En base a lo indicado, se decide seleccionar ruedas dentadas conductoras de 26 dientes para transmitir el movimiento del eje conductor del motor hacia al eje conductor de la cadena principal, sus respectivos datos se encuentran en el Anexo-D.

Mediante la ecuación 2.32 transformamos la velocidad lineal y hallamos la velocidad angular del eje conducido de la cadena principal.

$$\omega_2 = \frac{V}{r} = \frac{0.1}{0.05268} = 1.9 [rad/s]$$

Puesto que el eje conducido de la cadena principal y el eje conducido del motor giran a la misma velocidad:

---

<sup>28</sup> <http://es.scribd.com/doc/8945948/cadenas>

$$\omega_1 = \omega_2 = 1.9 \text{ [rad/s]}$$

Y

$$N_1 = N_2 = 26$$

Con los datos obtenidos proceder a calcular la velocidad del motor, en este caso la velocidad lineal del vástago del cilindro neumático. Para lo cual despejamos  $V$  de la ecuación 2.32 puesto que conocemos la velocidad angular del eje conductor y se emplea una rueda dentada de 18 dientes acoplada mediante una cadena al extremo del vástago del cilindro.

$$V = \omega_1 * r_{18} = 1.9 \text{ [rad/s]} * 36.57 \text{ [mm]}$$

$$V = 69.48 \text{ [mm/s]}$$

Mediante la ecuación 2.31 a continuación se halla la longitud del vástago del cilindro neumático a emplearse:

$$d = V * t = 69.48 * 25$$

$$d = 1737 \text{ [mm]}$$

Donde  $d$  es la distancia total recorrida del vástago durante cada ciclo de 25 segundos, puesto que durante todo el proceso se requiere que el transporte de la lámina de un proceso a otro no sea pausado, dividir el valor  $d$  para 4, puesto que se considera las 3 estaciones y la etapa de precalentamiento, hallando así la longitud del vástago:

$$L = \frac{d}{4} = \frac{1737}{4}$$

$$L = 434.26 \text{ [mm]}$$

$$L_{real} \approx 44 \text{ [cm]}$$

### 2.6.3 Diseño de ejes

El diseño de los ejes se realiza mediante la aplicación de la Teoría de Goodman modificado, debido a que los elementos se encuentran resistiendo esfuerzos de fatiga. El material empleado para su construcción es acero SAE 1018. El método de diseño se explica a continuación:

El factor de seguridad por fatiga de un elemento sometido a esfuerzos fluctuantes debido a la flexión y torsión según el criterio de Goodman modificada está dado por la siguiente ecuación:

$$\frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n_f} \quad \text{Ec.2.33}$$

Dónde:

$n_s$  = factor de seguridad de fatiga

$\sigma'_m$  = Esfuerzo normal medio, [MPa]

$\sigma'_a$  = Esfuerzo normal amplitud, [MPa]

- **Calculo de esfuerzos normales**

Los esfuerzos normales van a estar invirtiéndose completamente como se muestra en la figura 2.40. También se observa que el esfuerzo amplitud es igual al esfuerzo normal que viene dado por la ecuación 2.34:

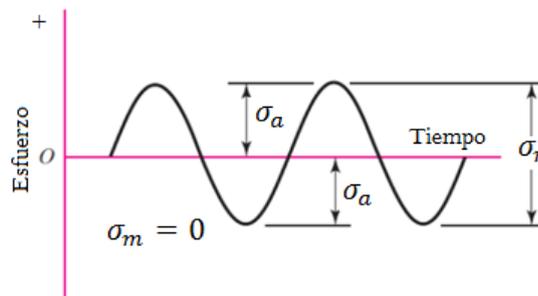


Figura 2. 40: Esfuerzo sinusoidal completamente invertido

$$\sigma_a = \frac{M_{m\acute{a}x}}{Z} \quad \text{Ec. 2.34}$$

- **Cálculo de esfuerzos cortantes**

La figura 2.41 muestra el esfuerzo cortante en el tiempo.

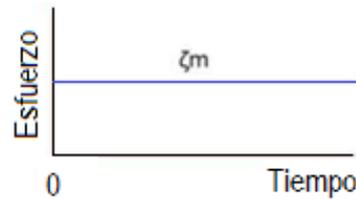


Figura 2. 41: Esfuerzo constante en el tiempo

De la figura se concluye que no hay esfuerzo cortante amplitud, por lo tanto el esfuerzo cortante medio es:

$$\tau_{xym} = \frac{T * r}{J} = \frac{16 * T}{\pi * D^3} \quad \text{Ec. 2.35}$$

- **Calculo de esfuerzo de Von Mises Amplitud<sup>29</sup>**

$$\sigma'_a = \sqrt{\sigma_a^2 + \tau_{xya}^2}$$

Como el esfuerzo cortante amplitud es cero, el valor de  $\sigma'_a$  viene dado por la ecuación 2.34

$$\sigma'_a = \sigma_a = \frac{32 * M_{\text{máx}}}{\pi * D^3}$$

- **Calculo de esfuerzo de Von Mises Medio<sup>30</sup>**

$$\sigma'_m = \sqrt{\sigma_m^2 + 3 \tau_{xym}^2}$$

Como el esfuerzo normal medio es cero, el valor de  $\sigma'_m$  viene dado por la ecuación siguiente:

$$\sigma'_m = \sqrt{3 * \tau_{xym}^2} \quad \text{Ec.2.36}$$

<sup>29</sup> SHIGLEY J. E., Diseño en Ingeniería Mecánica, Octava edición, 2008. Pág. 215.

<sup>30</sup> SHIGLEY J. E., Diseño en Ingeniería Mecánica, Octava edición, 2008. Pág. 215.

### a. Diseño del eje conductor

Eje al que se conecta el cilindro neumático que genera el movimiento de la cadena transportadora, los mismos son acoplados mediante la utilización de una cadena de  $\frac{1}{2} [plg]$  de paso y una rueda dentada de 18 dientes que está ubicada a la mitad de las dos chumaceras que dan el soporte al eje. A su extremo se acopla una rueda dentada de 26 dientes que es la encargada de transmitir el movimiento hacia los ejes conducidos.

Para generar dicho movimiento se requiere de un motor que genere un torque  $T = 12[N - m]$ <sup>31</sup>, dato obtenido de una máquina similar.

A continuación en las figura 2.42 se observa el diagrama de cuerpo libre y el diagrama de momentos flectores.

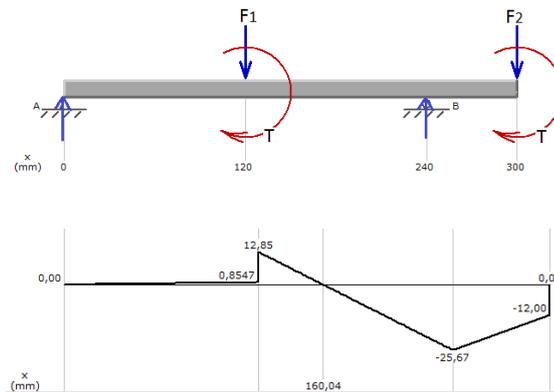


Figura 2. 42: Diagrama de cuerpo libre y diagrama de momentos flectores.

Mediante la siguiente ecuación hallar la fuerza que se produce en las ruedas dentadas:

$$F = \frac{T}{r}$$

Dónde:

$F$  = Fuerza que genera la rueda dentada

$r$  = radio de la rueda dentada

<sup>31</sup> [bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1076/1/CD-1911.pdf](http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1076/1/CD-1911.pdf)

*Rueda dentada 1*

$$N = 18$$

$$r = 0.03657[m]$$

$$F_1 = 328.14 [N]$$

*Rueda dentada 2*

$$N = 26$$

$$r = 0.05268[m]$$

$$F_2 = 227.79[N]$$

Mediante los siguientes datos y empleando la ecuación 2.12, se procede a calcular el límite de resistencia a la fatiga:

*Datos:*

$$M_{m\acute{a}x} = -25.67[N - m]$$

$$S'_e = 0.5 * S_{ut} = 200[MPa]$$

$$k_a = a * (S_{ut})^b = 0.92$$

$$k_b = 1$$

$$k_c = 0.85$$

$$k_d = k_e = k_f = 1$$

$$S_e = 200[MPa] * 0.92 * 1 * 0.85 * 1 * 1 * 1$$

$$S_e = 176.7[MPa]$$

Mediante la ecuación 2.35, calcular el esfuerzo cortante máximo:

$$\tau_{xym} = \frac{16 * 12}{\pi * D^3} = \frac{61.12}{D^3}$$

Reemplazando el valor de  $\tau_{xym}$  para encontrar el  $\sigma_m$  se hace uso de la ecuación 2.36 así:

$$\sigma_m = \sqrt{3 * \left(\frac{61.12}{D^3}\right)^2} = \frac{105.86}{D^3}$$

El valor de  $\sigma_a$  viene dado por la ecuación 2.34 como se indica a continuación:

$$\sigma_a = \frac{32 * 25.67}{\pi * D^3} = \frac{261.47}{D^3}$$

Para un factor de seguridad igual a 2 y reemplazando los valores de  $\sigma_a$  y  $\sigma_m$  en función del diámetro del eje D la ecuación 2.33 se procede a despejar este valor:

$$\frac{2 * 261.47}{176.7 * 10^6 * D^3} + \frac{2 * 105.86}{400 * 10^6 * D^3} = 1$$

$$D = 0.015[m] = 15.17[mm]$$

### b. Diseño del eje conducido principal

El sistema está formado por dos ejes conducidos, el principal se ubica al final del proceso y los secundarios que son de menor longitud se ubican al inicio del transporte en ambos costados. En la figura 2.43 se aprecia el diagrama de cuerpo libre del eje conducido principal.

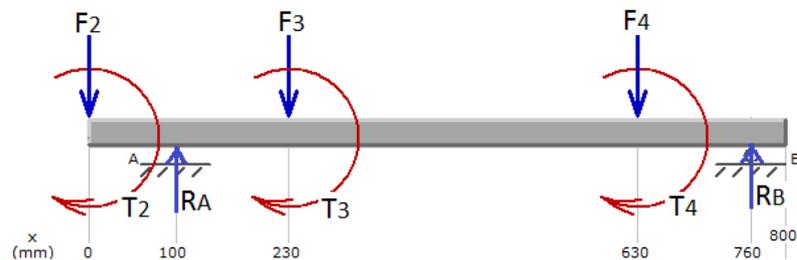


Figura 2. 43: Diagrama de cuerpo libre del eje conducido principal

Está formado por: una rueda dentada de 26 dientes que es la encargada de recibir el movimiento transmitido por el eje conductor y dos ruedas dentadas de 22 dientes que transmiten la fuerza y velocidad a la cadena transportadora.

Para el cálculo del eje se hace uso de un procedimiento igual al anterior, por lo cual se va a proceder a presentar los resultados obtenidos con los siguientes datos:

*Rueda dentada 3*

$$N = 22$$

$$r = 0.04462[m]$$

$$F_3 = F_4 = 328.14 [N]$$

*Datos:*

$$M_{m\acute{a}x} = 37.57[N - m]$$

$$T = 12[N - m]$$

Reemplazando estos valores en las respectivas ecuaciones se halla:

$$D = 17[mm]$$

Debido que la empresa dispone de material en bodega y por cuestiones de seguridad, se decide construir los dos ejes con un diámetro de 1 pulgada, en acero SAE 1018.

## **2.7 BASTIDOR**

El bastidor es el encargado de soportar y servir de base a todos los sistemas que forman parte de la Termoformadora, es la estructura primaria de la máquina y su construcción se basa en la utilización de perfiles y placas de acero. El bastidor se aprecia en la figura 2.44.

### **2.7.1 Vigas**

Las vigas son uno de los elementos más comunes encontrados en la estructura. Cuando una viga se carga perpendicularmente con respecto a su eje longitudinal, se desarrollan fuerzas internas, cortante y momento que transmiten las cargas aplicadas a los apoyos. En la Figura 2.44 se muestra la configuración de la estructura.

### 2.7.2 Marcos Rígidos

Los marcos rígidos son elementos estructurales compuestos de vigas y columnas conectadas por juntas rígidas. El ángulo entre la viga y la columna generalmente es de  $90^\circ$ . Al diseñar marcos rígidos debe seguir el siguiente procedimiento:

1. Determinar la forma y las dimensiones generales del marco: Altura de las columnas y claro (luz).
2. Seleccionar la forma general de construcción: perfiles laminados, miembros armados, juntas remachadas, atornilladas o soldadas.
3. Determinar el espaciamiento entre marcos.
4. Seleccionar el tipo de apoyo para las columnas: rotación libre o restringida
5. Determinar las cargas que actúan sobre el marco, distribución de las fuerzas y momentos sobre el mismo.
6. Dimensionar los miembros y sus conexiones.
7. Diseñar las bases y las cimentaciones para los marcos si los tuviere.

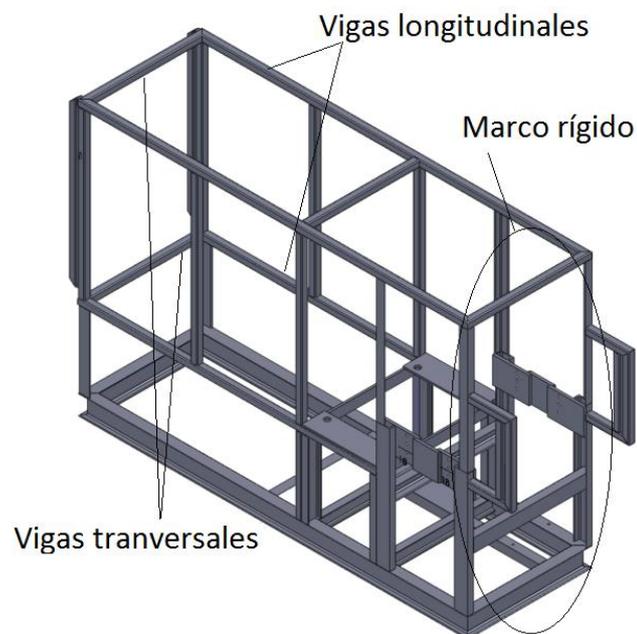


Figura 2. 44: Bastidor

Las cargas aplicadas a la estructura están dadas por el peso total de los componentes de la máquina más la máxima fuerza de trabajo aplicada.

### 2.7.3 Criterios de diseño

Los criterios de diseño del bastidor son los siguientes:

1. El bastidor es diseñado bajo criterios de carga estáticas, debido a que el funcionamiento de la máquina se realiza a velocidades de desplazamiento y alimentación muy bajas.
2. El material a usarse es acero ASTM A-36 de fácil accesibilidad en el mercado ecuatoriano. Las propiedades de este acero se observa en la tabla 2.4
3. Las columnas trabajan sujetas a cargas de compresión por lo que su diseño es realizado por estabilidad el mismo que se detalla a continuación y las vigas mediante resistencia a la flexión cuyo flujo de diseño se observa en la figura 2.20.

#### a. Diseño por estabilidad

La teoría del manual de la AISC será utilizado para el diseño de las columnas, el manual recomienda seguir el siguiente procedimiento:

- Para un valor conocido de la carga axial, se selecciona una columna de prueba con sus propiedades.
- Calcular el esfuerzo de compresión de la columna:

$$fa = \frac{P}{A} \quad \text{Ec.2.37}$$

Dónde:

*fa = esfuerzo de compresión de la columna*

*P = carga de compresión*

*A = sección transversal del perfil*

- Cumplir que:

$$fa \leq FA \quad \text{Ec.2.38}$$

Dónde:

**FA:** Esfuerzo permisible de compresión, en el manual de la AISC se encuentra los esfuerzos admisibles para el acero estructural ASTM A36.

- Se comparan los valores de ***fa*** y ***FA***, se calcula el índice de trabajo de la columna.

$$Ia = \frac{fa}{FA} \leq 1 \quad \text{Ec.2.39}$$

Dónde:

*Ia* = índice de trabajo de la columna.

#### 2.7.4 Cálculo de la estructura

Existen partes de la estructura que no necesitan de mayores cálculos, puesto que su única función es dar soporte a elementos de poco peso y que no ejercen fuerzas externas sobre este.

Se pondrá mayor énfasis en el desarrollo de los cálculos de aquellas partes de la estructura que dan soporte a las estaciones de conformado y troquelado. En la figura 2.41 se observa la estructura a analizar.

##### a. Estructura de la estación de formado

###### a.1 Marcos rígidos

La forma y dimensiones, se pueden apreciar en la Figura 2.45. Las columnas y vigas transversales de los marcos rígidos, son construidas con perfiles estructurales tipo IPN y plancha de acero.

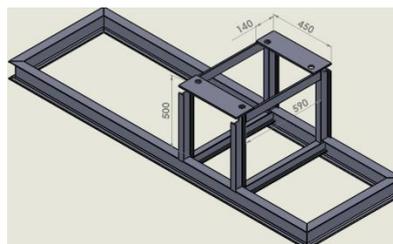


Figura 2. 45: Dimensiones de la estructura de la estación de formado

El tipo de apoyo para las columnas es restringido.

Luz = 450 mm

Altura de columnas = 500 mm

Longitud de vigas longitudinales = 590 mm

- **Cargas sobre el marco**

Los perfiles estructurales de la estación de conformado y troquelado, soportarán los pesos de todos los elementos que contenga la máquina más la carga máxima de termoformado. El peso de los distintos elementos se detalla en la Tabla 2.12.

Tabla 2. 12. Pesos aplicados en la estructura de la estación de formado.

<b>ELEMENTOS (<i>unidades</i>)</b>	<b>PESO [N]</b>
Mesas fijas (2)	734.0
Mesa móviles (2)	671.0
Columnas (4)	296.0
Sujetador 1 (4)	128.9
Sujetador 2 (4)	42.1
Sujetador 3 (2)	27.6
Eslabones 1 (16)	24.0
Eslabones 2 y 3 (16)	51.2
Cilindros neumáticos (2)	109.9
<b>TOTAL</b>	<b>2084.7</b>

El peso de las columnas del mecanismo para el formado es:

$$L = 1000[mm]$$

$$D = 35[mm]$$

$$W_{columna} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} * L * \delta * g$$

Dónde:

$L = longitud [mm]$

$D = diámetro [mm]$

$\delta = densidad del acero, 7.85 \times 10^{-6} [Kg/mm^3]$

$g = gravedad, 9.8 [m/s^2]$

$$W_{columnas} = \frac{\pi \cdot (35)^2}{4} * 1000 * 7.85 \times 10^{-6} * 9.8 = 74 [N]$$

El peso total que soporta la estructura es:

$$Q_t = W_{elementos} + W_{carga\ máxima}$$

$$Q_t = 2084.7 + 25000 = 27084.7 [N]$$

Al peso total aplicado se aumenta el 4% por cuestiones de seguridad:

$$Q_T = Q_t + Q_t \cdot 4\% = 37918.6 [N]$$

La carga total se divide para 2, porque son dos los marcos rígidos los que soportan esta carga.

$$Q = \frac{Q_T}{2}$$

Peso total

$$Q = 18\ 959.3 [N]$$

Se calcular la carga final que está distribuida a lo largo de la viga transversal del marco rígido.

$$q = \frac{Q}{Luz}$$

$$q = \frac{18959.3}{450} = 42.132 \left[ \frac{N}{mm} \right]$$

- **Diagrama de cuerpo libre (Figura 2.46) y conexiones de la estructura.**

Determinar las reacciones producidas en la columna:

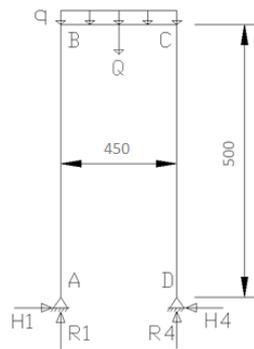


Figura 2. 46: Diagrama de cuerpo libre del marco rígido

$$\sum F_x = 0$$

$$H_1 - H_4 = 0$$

$$H_1 = H_4$$

$$\sum F_y = 0$$

$$R_1 + R_4 = Q + F$$

$$R_1 + R_4 = 18\,959.3[N]$$

$$\sum M_A = 0$$

$$R_4 L - Q \frac{L}{2} = 0$$

$$R_4 = \frac{Q}{2}$$

$$R_4 = 9479.65[N]$$

Se encuentra  $R_1$ :

$$R_1 = 18\,959.3 - R_4$$

$$R_1 = 18\,959.3 - 9479.65 = 9479.65[N]$$

Determinar la fuerza normal, fuerza cortante y momento flector en cada uno de los miembros para hallar la sección más crítica, para ello se divide al marco rígido en tres secciones:

Tramo A-B.

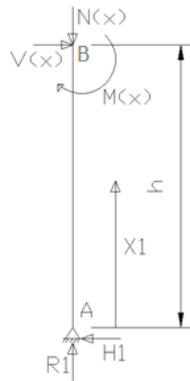


Figura 2. 47: Representación de cargas en el tramo A-B.

De acuerdo a la Figura 2.47 se tienen las siguientes ecuaciones:

$$\sum F_N = 0$$

$$N(x) = R_1$$

$$N(x) = 9479.65[N]$$

$$\sum F_v = 0$$

$$V(x) - H1 = 0$$

$$V(x) = H1$$

$$\sum M_A = 0$$

$$M(x) = H_1 * X_1$$

Tramo B-C

Entonces según la Figura 2.48 se tienen las siguientes ecuaciones:

$$\sum F_N = 0$$

$$N(x) = H_1$$

$$\sum F_v = 0$$

$$V(x) = R_1 - Q = -9479.65[N]$$

$$\sum M_C = 0$$

$$M(x) = R_1 X_2 - Q \frac{X_2}{2}$$

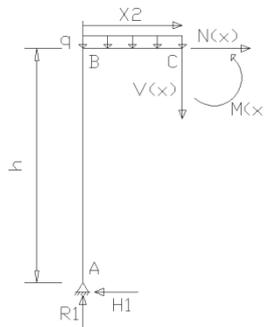


Figura 2. 48: Representación de cargas en el tramo B-C.

Sabemos que las fuerzas que actúan sobre la columna en el tramo C-D, son iguales a la del primer tramo.

Se procede a identificar las zonas críticas analizando los diagramas de fuerza cortante y momento flector, los cuales para efecto de comprobar los cálculos antes realizados y obtener los diagramas requeridos, se emplea un software:

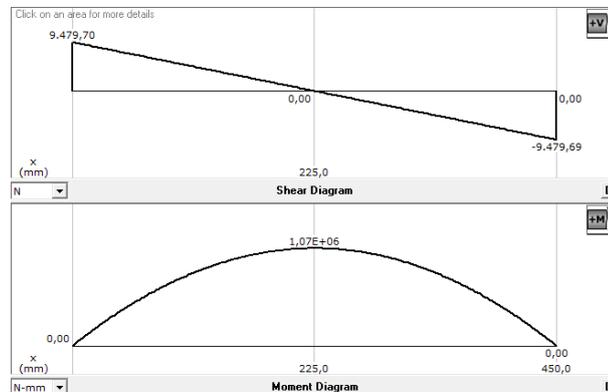


Figura 2. 49: Fuerza cortante y momento flector del marco rígido.

## a.2 Columnas

El cálculo de columnas requiere determinar el esfuerzo de compresión al que está sometido el perfil, para ello es necesario conocer el área transversal y el radio giro respecto al eje que produzca el valor menor. Es el eje X-X.

Se selecciona un perfil tipo IPN 80 del catálogo de perfiles estructurales de DIPAC. En el Anexo-E se indican las principales características.

La fuerza de compresión que actúa en la columna es:

$$P = R_1 = 9479.65[N]$$

Utilizando la ecuación 2.37 se determina en la columna el esfuerzo de compresión:

$$f_a = \frac{P}{A}$$

$$f_a = \frac{9479.65[N]}{7.58 \times 10^{-4}[m^2]} = 12.5 [KPa] = 1.8 Psi$$

Para hallar  $F_A$ , con el valor de  $KL/r$  nos dirigimos al manual de la AISC Tabla C-36<sup>32</sup> (Anexo-F):

$$\frac{KL}{r} = \frac{1 * 500}{32} = 15.63 \approx 16$$

Por lo tanto:

$$F_A = 20.83[Ksi]$$

Se tiene que cumplir también la ecuación 2.38, para determinar si la columna va a trabajar correctamente.

$$f_a \leq F_A$$

---

<sup>32</sup> AISC, Manual de Construcción de Estructuras Metálicas, Novena Edición, Pág. 489.

$$18 \times 10^{-5} [Ksi] \leq 20.83 [Ksi]$$

Cumpliendo también con la relación de esfuerzos.

Por último se verifica que el índice de trabajo de la columna sea menor que 1 con la ecuación 2.39:

$$Ia = \frac{fa}{Fa} \leq 1$$

$$Ia = \frac{0.0018}{20.83} = 0.00086 \leq 1$$

Finalizando de esta manera el diseño de la columna.

### a.3 Vigas Transversales

Las vigas se diseñan para resistir cargas a flexión. De la Figura 2.24 se obtiene el momento máximo:

$$M_{m\acute{a}x} = 1.07 \times 10^6 [N. mm] = 1070 [N. m]$$

- **Graficar el diagrama de cuerpo libre**

Para graficar el diagrama de cuerpo libre, se debe conocer las cargas y reacciones que actúan sobre la placa, las mismas que se observan en la figura 2.50.

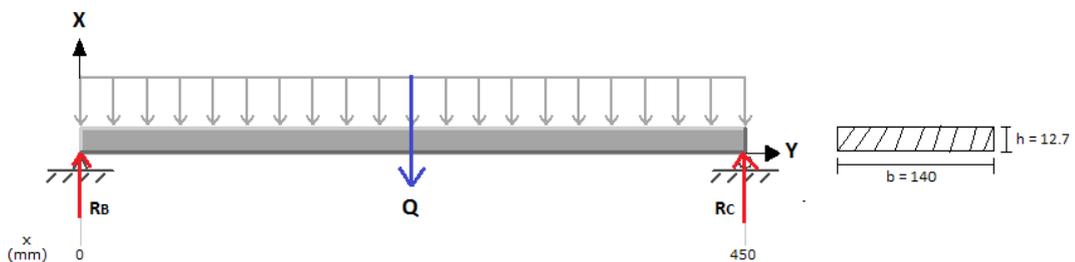


Figura 2. 50: Diagrama de cuerpo libre de las vigas transversales.

$Q = \text{fuerza de trabajo} + \text{peso de los elementos}$

$R_B \text{ y } R_C = \text{fuerzas de reacción [KN]}$

- **Fuerzas que intervienen en el diagrama de cuerpo libre**

$$Q = 18\,959.3 \text{ [N]}$$

$$q = \frac{Q}{L} = \frac{18959.3}{450} = 42.132 \left[ \frac{\text{N}}{\text{mm}} \right]$$

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

$$\sigma_{flex} = \frac{M_{\text{máx}}}{\frac{bh^2}{6}}$$

Para el diseño, se asume  $h = 0.0127[\text{m}]$

$$\sigma_{flex} = \frac{1070[\text{N} \cdot \text{m}]}{\frac{0.15[\text{m}](0.02)^2[\text{m}^2]}{6}}$$

$$\sigma_{flex} = 107.31 \text{ [MPa]}$$

- **Aplicar la teoría de la energía de la deformación**

Emplear las ecuaciones 2.20 y 2.21. Dichas vigas no están sometidas a torsión  $\tau_{corte} = 0$  y por ende  $\sigma_2 = 0$ , reemplazando este valor en la Ec. 2.20 se obtiene la siguiente igualdad:

$$\sigma' = \sigma_1 = \sigma_{flex}$$

Reemplazar el valor de  $\sigma_{flex}$  en la Ec.2.21

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

$$FS = \frac{248[\text{MPa}]}{107.31 \text{ [MPa]}}$$

$$FS = 2.3$$

El factor de seguridad debe ser mayor a 2 y como se observa de acuerdo a los cálculos realizados se obtuvo un factor de seguridad igual a 2.3, concluyendo que el espesor asumido de 20 [mm] para el diseño de las vigas transversales es correcto.

#### a.4 Vigas longitudinales

- **Graficar el diagrama de cuerpo libre**

Se realiza el diagrama de cuerpo libre (Figura 2.26) de la viga longitudinal donde se analizará el siguiente caso de esfuerzos. En la figura 2.51 se indican estas fuerzas que se detallan a continuación:

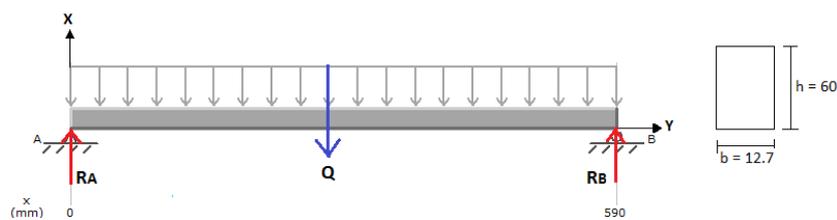


Figura 2. 51: Diagrama de cuerpo libre de la viga longitudinal.

$$Q = \text{fuerza de trabajo} + \text{peso elementos}$$

$$R_B \text{ y } R_C = \text{fuerzas de reacción [KN]}$$

- **Fuerzas que intervienen en el diagrama de cuerpo libre**

$$Q = 18\,959.3 \text{ [N]}$$

$$q = \frac{Q}{L} = \frac{18959.3}{590} = 32.134 \left[ \frac{\text{N}}{\text{mm}} \right]$$

- **Graficar el diagrama de fuerzas cortantes (V)**

Mediante el software empleado se halla el diagrama de fuerzas cortantes de las vigas longitudinales de la estructura de la estación de formado, mostrado en la figura 2.52.

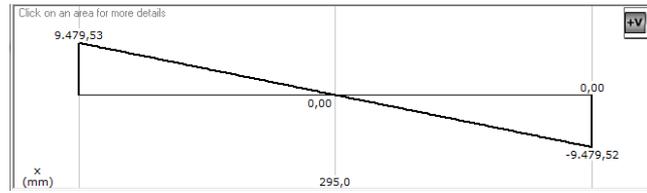


Figura 2. 52: Diagrama de fuerzas cortantes (V)

- **Graficar el diagrama de momentos flectores (M)**

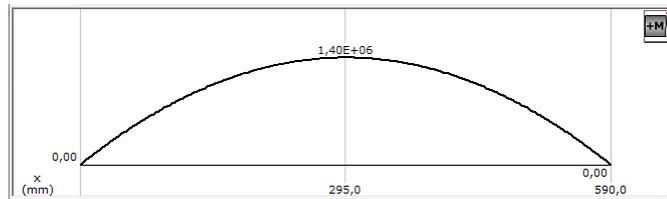


Figura 2. 53: Diagrama de momentos flectores (M)

Una vez dibujado el diagrama de momentos flectores, se determina el momento máximo.

$$M_{m\acute{a}x} = 1400[N \cdot m]$$

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

$$\sigma_{flex} = \frac{M_{m\acute{a}x}}{\frac{bh^2}{6}}$$

Para el diseño, se asume  $h = 0.06[m]$

$$\sigma_{flex} = \frac{1400[N \cdot m]}{\frac{0.015[m](0.07)^2[m^2]}{6}}$$

$$\sigma_{flex} = 114,285[MPa]$$

- **Aplicar la teoría de la energía de deformación**

Emplear las ecuaciones 2.20 y 2.2. En dichas vigas no existe torsión por lo tanto  $\tau_{corte} = 0$  y por ende  $\sigma_2 = 0$ , reemplazando este valor en la Ec. 2.20 se obtiene la siguiente igualdad:

$$\sigma' = \sigma_1 = \sigma_{flex}$$

Reemplazar el valor de  $\sigma_{flex}$  en la Ec.2.21

$$FS = \frac{248 [MPa]}{114.285 [MPa]}$$

$$FS = 2.17$$

A partir de los cálculos realizados se obtiene un  $FS = 2.17$ , lo cual indica que el espesor y las dimensiones de la placa empleada para construir las vigas longitudinales es correcta.

## **b. Estructura de la estación de troquelado**

### **b.1 Marcos rígidos**

La forma y dimensiones, se pueden apreciar en las Figuras 2.54. Las columnas y vigas transversales de los marcos rígidos, son construidas con perfiles estructurales tipo IPN y plancha de acero. El tipo de apoyo para las columnas es restringido.

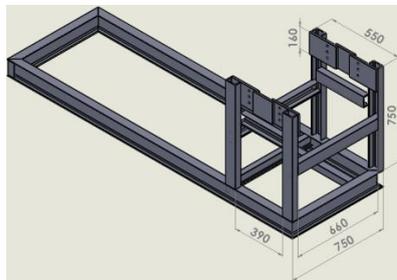


Figura 2. 54: Estructura de la estación de troquelado.

Luz = 550 [mm]

Altura de columnas = 750 [mm]

Longitud de vigas longitudinales = 750 [mm]

- **Cargas sobre el marco**

Los perfiles estructurales de la estación de troquelado soportarán los pesos de todos los elementos que contenga más la carga máxima de troquelado. El peso de los distintos elementos se detalla en la Tabla 2.13

Tabla 2. 13. Pesos aplicados en la estructura de la estación de troquelado.

<b>ELEMENTOS (<i>unidades</i>)</b>	<b>PESO [N]</b>
Mesa fija superior	500.8
Mesa fija inferior	530.8
Mesa móvil	442.7
Columnas (4)	291.0
Sujetador 1 (2)	9.4
Sujetador 2 (2)	37.6
Sujetador 3	50.1
Eslabones 2 (4)	16.26
Eslabones 3 (8)	27.2
Eslabones 4 (4)	19.2
Cilindro neumático	54.9
<b>TOTAL</b>	<b>1979.96</b>

El peso total que soporta la estructura es:

$$Q_t = W_{elementos} + W_{carga\ máxima}$$

$$Q_t = 1979.96 + 38000 = 39979.96 [N]$$

Al peso total aplicado se aumenta el 4% por cuestiones de seguridad:

$$Q_T = Q_t + Q_t \cdot 4\% = 55971,9[N]$$

La carga total se divide para 2, porque son dos los marcos rígidos los que soportan esta carga.

$$Q = \frac{Q_T}{2}$$

Peso total

$$Q = 27986[N]$$

$$q = \frac{Q}{Luz}$$

$$q = \frac{27986}{550} = 50.9 \left[ \frac{N}{mm} \right]$$

- **Diagrama de cuerpo libre (Figura 2.55) y conexiones de la estructura.**

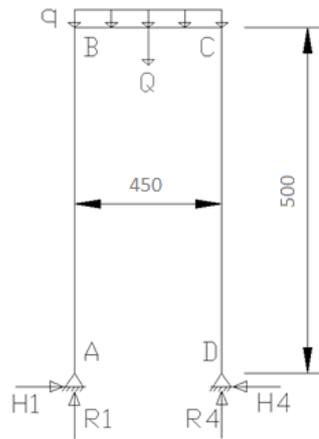


Figura 2. 55: Diagrama de cuerpo libre del marco rígido.

## b.2 Cálculo de columnas

Se selecciona un perfil laminado tipo UPN 80 del catálogo de aceros especiales de DIPAC. En el ANEXO - G Se detalla sus características principales.

Por el análisis realizado en las columnas de la estación de conformado, sabemos que la fuerza de compresión que actúa en la columna es:

$$P = \frac{Q}{2} = \frac{27986}{2} = 13993 [N]$$

Los pasos siguientes no se muestran puesto que se debe realizar un análisis similar al de que se desarrolló anteriormente en la estructura de la estación de formado.

Con el análisis se demostró que el índice de trabajo de la columna cumple la condición de ser menor a 1:

$$Ia = 0.104 \leq 1$$

Por tal motivo concluimos que el perfil UPN 80 que se emplea en la construcción de la estructura de la estación de troquelado si soportara las condiciones de trabajo, por consiguiente el diseño es correcto.

### b.3 Vigas Transversales

Graficar el diagrama de cuerpo libre

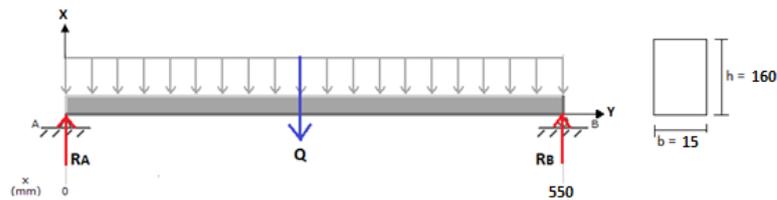


Figura 2. 56: Diagrama de cuerpo libre de la viga transversal.

$Q = \text{fuerza de trabajo} + \text{peso elementos}$

$R_B$  y  $R_C = \text{fuerzas de reacción [KN]}$

Fuerzas que intervienen en el diagrama de cuerpo libre

$$Q = 27985.9 \text{ [N]}$$

$$q = \frac{Q}{L} = \frac{27985.9}{550} = 50.8 \left[ \frac{\text{N}}{\text{mm}} \right]$$

Por los motivos antes indicados no se muestran todos los pasos de diseño. Del análisis realizado para el diseño de vigas transversales se obtuvo un factor de seguridad igual a:

$$FS = 7$$

Dicho valor indica que el espesor de la placa empleada para construir las vigas longitudinales es correcto.

## 2.8. SISTEMA NEUMÁTICO

La energía del aire comprimido es la mejor cuando se trata de velocidad de una acción o de producción.

Se hace uso de la presión de aire para: ejecutar la fuerza inicial para la prensa de palancas articuladas, la cámara de soplado, el desmolde, transportar la lámina de PVC a lo largo de cada estación y ejercer la fuerza necesaria para cortar los excesos de material.

Para efectos de cálculos se conoce que en condiciones normales de funcionamiento, la mayor parte de las herramientas y equipos neumáticos están contruidos para obtener su máximo rendimiento a una presión de trabajo comprendida entre 6 y 7 bar.

El sistema está conformado por los siguientes elementos:

- Dos cilindros en la estación de conformado, los que presentan las mismas características puesto que es un mecanismo simétrico. Cada uno de ellos desplazan tanto el molde y la cámara de soplado, respectivamente hasta el punto de ajuste para llevar a cabo la operación de formado de la lámina de PVC.
- Un cilindro en la estación de troquelado, el mismo que ejerce la fuerza necesaria para ejecutar el corte de los excesos de material.
- Dos cilindros en el sistema de transporte: uno de ellos permitirá desplazar la sección indicada de la lámina de PVC a través de cada una de las estaciones y el segundo es el encargado de enganchar la cadena para que se efectúe el desplazamiento.
- Electroválvulas 5/2 (5 vías, 2 posiciones), los mismos que se encargan de accionar cada uno de los cilindros detallados anteriormente.
- Unidades de mantenimiento, conformada por un filtro, reguladores de presión y lubricador, encargados de dar un tratamiento al aire en los puntos de utilización.
- Reguladores de caudal, con la finalidad de obtener un movimiento de los cilindros acorde a las necesidades de la máquina.

- Tuberías de servicio, son los que alimentan a los equipos neumáticos en el punto de operación.
- Acopladores que permiten unir la manguera con los cilindros y electroválvulas.

### 2.8.1. Selección de cilindros neumáticos para la estación de formado

La selección de los cilindros neumáticos requiere de ciertas consideraciones que se detallan a continuación:

- Los dos cilindros son de doble efecto y de idéntica longitud de carrera, debido a que el diseño así lo requiere. Longitud de carrera igual a 100 mm
- La presión de trabajo es 6 [bar]

Para hallar la fuerza de trabajo que va a ejecutar el cilindro neumático, se va a realizar el siguiente análisis de fuerzas partiendo desde la fuerza de cierre de la prensa que es  $R = 25[\text{KN}]$ .

Mediante la ecuación 2.9 que se obtiene del análisis de mecanismos de palancas articuladas y considerando un ángulo de tolerancia de  $\alpha = 10^\circ$ , obtener  $F_1$ :

$$F1_x = R \cdot 2 \tan \alpha$$

$$F1_x = 8.82[\text{KN}]$$

A continuación se debe hallar la componente en Y de  $F_1$ :

$$F1_y = F1_x \cdot \tan \beta$$

El ángulo  $\beta = 32^\circ$ , valor que se obtiene mediante el análisis gráfico mostrado en la figura 2.54.

Sabemos que  $F = F1_y$ , por consiguiente:

$$F = 5.5[\text{KN}]$$

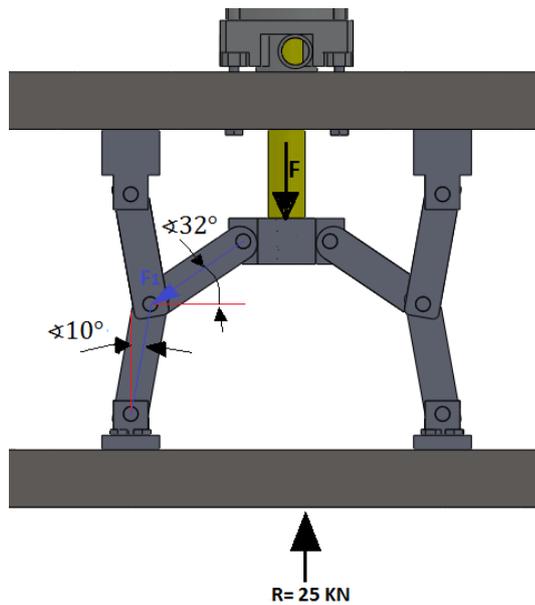


Figura 2. 57: Ángulos de los eslabones cuando  $\alpha = 10^\circ$

La fuerza de trabajo que debe realizar el cilindro neumático es 5.50 [kN].

A continuación se procede a calcular el diámetro del cilindro, para lo cual:

$$F = P_{aire} * \frac{\pi \cdot D^2}{40} \quad \text{Ec.2.40}$$

Dónde:

$F$  = fuerza [Newton]

$D$  = diámetro cilindro [mm]

$P_{aire}$  = presión de aire [bar]

De la ecuación 2.40 despejar  $D$

$$D = \sqrt{\frac{40 \cdot F}{\pi \cdot P_{aire}}}$$

$$D = 108 \text{ [mm]}$$

En el catalogo seleccionar un cilindro con un diámetro igual o mayor al obtenido, por consiguiente el cilindro neumático seleccionado es de  $D = 110 \text{ [mm]}$ .

**a. Verificación por pandeo del vástago**

El pandeo es un factor limitativo en la selección de cilindros cuyos vástagos estén sometidos a compresión, ya que sólo bajo dicha sollicitación es cuando aparece este fenómeno.

Este fenómeno no está exclusivamente ligado al material del vástago, su diámetro y su carrera, sino que intervienen también las condiciones de montaje del cilindro. Ciertos tipos de montaje o sus combinaciones resultan favorables para contrarrestar el efecto. Con fijación roscada del vástago la alineación es crítica, por lo tanto  $K=2$  y conocemos que la carrera real es  $100[mm]$ .

Para asegurarnos que el vástago no sufra pandeo debe verificarse lo siguiente:

$$K * \text{carrera real} < \text{carrera máxima} \tag{Ec.2.41}$$

Dónde:

$K$  = coeficiente de corrección según el tipo de montaje

Carrera real = carrera del cilindro

Carrera máxima = carrera máx. según su diámetro, Figura 2.58

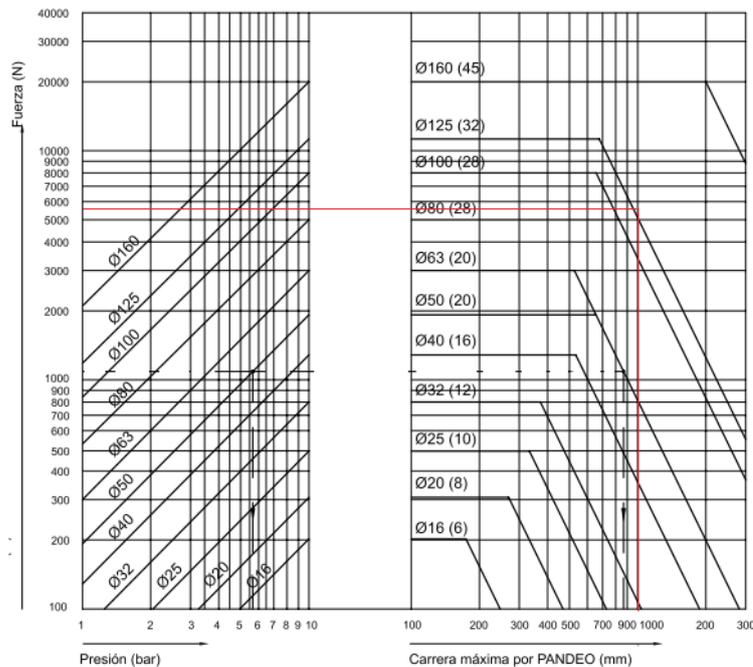


Figura 2. 58: Carrera máxima.

$$K * \text{carrera real} < \text{carrera máxima}$$

$$2 * 100 < 1000$$

$$200 < 1000$$

Por lo tanto, el vástago del cilindro resiste al pandeo

### b. Consumo de aire en cilindros neumáticos

Conocer el consumo de los cilindros neumáticos tiene su importancia desde dos puntos de vista. En primer lugar, si a raíz de esta nueva aplicación ha de adquirirse una unidad de generación de aire comprimido (compresor), los datos fundamentales para seleccionarla son precisamente el consumo o demanda y la presión de trabajo. Si en cambio, la aplicación es insertada en un medio en el que ya se dispone de aire comprimido, el cálculo del consumo servirá para verificar si el compresor instalado tiene capacidad suficiente.

Puede calcularse con la ecuación 2.42 o mediante el ábaco de la figura 2.59.

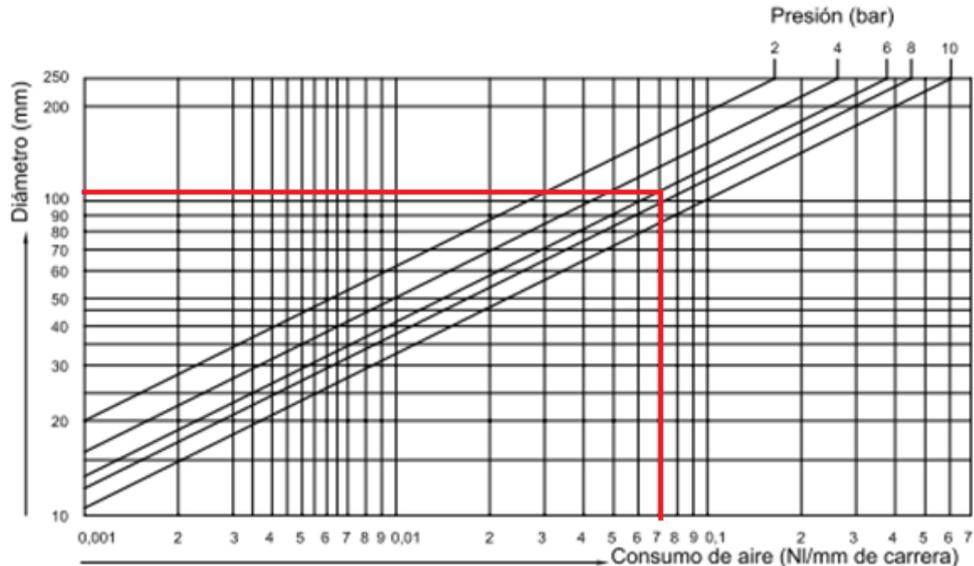


Figura 2. 59: Consumo de aire en cilindros neumáticos.

$$Q = \pi/4 * D^2 * c * n * p * N * 10^{-6} \quad \text{Ec.2.42}$$

Dónde:

$$Q = \text{consumo de aire [NL/mm]}$$

$D = \text{diámetro del cilindro [mm]}$

$c = \text{carrera del cilindro [mm]}$

$p = \text{presión relativa de trabajo} + 1\text{bar}$

$N = \text{número de efectos del cilindro (}N=1 \text{ para simple efecto, }N=2 \text{ para doble efecto)}$

Por lo tanto, el cilindro neumático empleado para la estación de formado consumirá 7 [NL/mm] litros normales por milímetro de carrera.

Con el mismo criterio realizar el análisis para la selección de los cilindros neumáticos de la estación de troquelado, el sistema de transporte y la estación de calefacción. Los resultados obtenidos se observan en la tabla 2.14.

Tabla 2. 14: Datos de los cilindros neumáticos seleccionados.

Uso	# unid.	Fuerza de trabajo [kN]	Diámetro cilindro [mm]	Carrera [mm]	Diámetro del vástago [mm]	Consumo de aire [NL]
Sistema de transporte	1	0.33	80	430	32	1720
Estación de formado	2	5.50	110	100	32	1400
Estación de corte	1	8.40	120	100	32	750

## CAPÍTULO 3

### SELECCIÓN DE ELEMENTOS PARA LA AUTOMATIZACIÓN

En el presente capítulo se hallan descritos los elementos seleccionados para conformar el sistema de control de la máquina termoformadora, entre ellos se encuentran: La referencia, el controlador, actuadores y sensores. Todos los elementos antes mencionados forman parte del Sistema de Control Automático cuyo esquema se presenta en la figura 3.1.

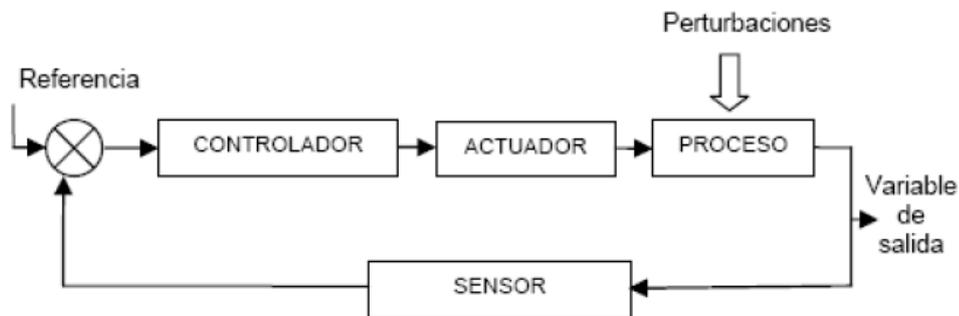


Figura 3. 1: Elementos de un Sistema de Control Automático.

### 3.1. ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO

#### 3.1.1. Referencia

El sistema de control actúa independiente del operario y determina por sí mismo los mejores valores para las señales de control. Para ello se cuenta con una referencia, que es un valor dado por el operario, este valor es fijo y depende del tipo de proceso y de las exigencias que este amerite; es conocido como set-point, este valor es el que se desea alcanzar y mantener. Para ingresar dicho valor se emplea un HMI (Interfaz Hombre – Máquina), el cual permite la comunicación entre el operario y el proceso, puede ser una interfaz gráfica de computadora, paneles de operario, paneles pulsadores, teclados, visualizadores, etc.

### **3.1.2. Controlador**

Es aquel instrumento que compara el valor medido con el valor deseado, en base a esta comparación calcula un error (diferencia entre valor medido y deseado), para luego actuar a fin de corregir este error. Tiene por objetivo elaborar la señal de control que permita que la variable controlada corresponda a la señal de referencia. Los controladores pueden ser de tipo manual, neumático, electrónico; los controladores electrónicos más usados son: computadoras con tarjetas de adquisición de datos, PLC (controladores lógicos programables), microcontroladores (PIC).

El tipo de controlador más común es el PLC, el cual es un equipo electrónico basado en microprocesadores, hace uso de memorias programables y regrabables (RAM), en donde se almacenan instrucciones a manera de algoritmos que van a permitir seguir una lógica de control. Contiene interfaces que le permiten manejar gran número de entradas y salidas tanto analógicas como digitales.

### **3.1.3. Actuador**

Son dispositivos capaces de generar una fuerza a partir de líquidos, energía eléctrica y gaseosa. Por ejemplo electroválvulas. El actuador recibe la orden de un regulador o controlador y da una salida necesaria para activar a un elemento final de control, por ejemplo cilindros neumáticos.

Los actuadores son los elementos que nos permiten controlar directa o indirectamente las variables del proceso. Tales dispositivos responden a la señal enviada por el controlador, a veces por intermedio de una interfaz que convierta la señal del controlador a una magnitud necesaria por el actuador.

### **3.1.4. Proceso**

Este referido al equipo que va a ser automatizado, por ejemplo: una bomba, tolva, tanque, compresor, molino, intercambiador de calor, horno, secador, caldera, etc.

### **3.1.5. Sensor**

Es un dispositivo capaz de transformar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación en magnitudes eléctricas.

Cumplen la función de captar las señales necesarias para conocer el estado del proceso, y luego enviarlas a la unidad de control.

## **3.2. SELECCIÓN DE LA PANTALLA HMI**

El panel HMI es seleccionado de la gama Simatic HMI Basic Paneles, puesto que estas pantallas han sido diseñadas para operar a la perfección con el nuevo controlador SIMATIC S7-1200.

### **3.2.1. Clasificación**

Clasificación de la gama SIMATIC HMI Basic Paneles.

- KP300 básica mono
- KTP400 básica mono
- KTP600 básica mono
- KTP600 color básico
- KTP1000 color básico
- kTP1500 color básico

### **3.2.2. Características de la pantalla HMI KTP600 color básico**

- *Hardware estándar para distintas aplicaciones:* permite controlar varias aplicaciones según el requerimiento del operador.
- *Posibilidad de modificaciones futuras sin parar el proceso:* mediante el software se puede modificar las condiciones de trabajo para la obtención del proceso deseado.

- *Posibilidades de ampliación:* se puede reemplazar y añadir dispositivos de acuerdo al crecimiento del proceso en la industria.
- *Interconexión y cableado exterior:* Es muy baja ya que sustituyen sistemas cableados (elementos físicos como botones, interruptores, equipos de relés, lámparas, leds) por sistemas programables compactos.
- *Tiempo de implementación:* es muy corto.
- *Mantenimiento:* es más fácil ya que se lo realiza mediante el programa que fue previamente cargado en el proceso que está siendo objeto de control.
- *Configuración:* permite definir el entorno de trabajo del SCADA, adaptándolo a la aplicación particular que se desea desarrollar.
- *Interfaz gráfica del operador:* proporciona al operador las funciones de control y supervisión de la planta.
- *Módulo de proceso:* ejecuta las acciones de mando preprogramadas a partir de los valores actuales de variables leídas.
- *Gestión y archivo de datos:* almacenamiento y procesado ordenado de datos, de forma que otra aplicación o dispositivo pueda tener acceso a ellos.
- *Comunicaciones:* transferencia de información entre la planta y la arquitectura hardware que soporta el SCADA.

### **3.2.3. Aspecto destacables de las HMI KTP600 color básico**

La gama SIMATIC HMI Basic Paneles para aplicaciones compactas ofrecen una solución que puede adaptarse a la perfección a las necesidades específicas de visualización: potencia y funcionalidad optimizada, gran variedad de tamaño de pantalla y un montaje sencillo que facilita la aplicación como se observa en la figura 3.2.

Una resolución de 320 x 240 píxeles permite la representación de las pantallas de operación compleja en un tamaño conveniente.



Figura 3. 2: SIMATIC HMI.

Al contar con protección PI65, es perfecto para el uso en entornos industriales duros. Su diseño compacto lo hace adecuado para aplicaciones con poco espacio de montaje. En los casos de espacios extremadamente reducidos, incluso pueden configurarse y montarse en vertical.

Está equipada con todas las funciones básicas necesarias, como sistema de alarmas, administración de recetas, diagramas de curvas y gráficos vectoriales. La herramienta de configuración incluye una librería con numerosos gráficos y otros objetos diversos. También es posible administrar los usuarios en función de las necesidades de los diferentes sectores, por ejemplo para la autenticación mediante nombre de usuario y contraseña.

#### **3.2.4. Interfaz PROFINET**

El nuevo modelo KTP600 de la gama SIMATIC HMI Basic Paneles lleva integrada una interfaz PROFINET como se muestra en la figura 3.3, que permite la visualización de máquinas y procesos de una manera sencilla e intuitiva, además de la comunicación con el controlador conectado y la transferencia de datos de parametrización y configuración. Esto es parte esencial de la interacción con SIMATIC S7-1200.

#### **3.2.5. Pantalla y gráficos**

Ofrece una pantalla táctil que proporciona un manejo intuitivo. El uso de pantallas gráficas abre nuevas perspectivas a la visualización: características como los gráficos vectoriales, los diagramas de curvas, barras, textos, mapas de bits y

campos de entrada y salida hacen posible una visualización clara y fácil de usar en las pantallas de control.



Figura 3. 3: Interfaz PROFINET.

### **3.2.6. Teclas de función**

Además del manejo táctil, el equipo está provisto de teclas de función configurables, a las que pueden asignarse funciones de manejo individuales. Además, estas teclas ofrecen un feedback táctil para una mayor comodidad de uso y seguridad.

### **3.3. SELECCIÓN DEL PLC**

Al seleccionar el controlador se debe evaluar la capacidad necesaria del PLC para controlar el proceso de manera eficiente, las características que se deben tomar en consideración son:

- La cantidad de entradas / salidas que se requieren así como la capacidad de expansión para necesidades futuras.
- El tipo de entradas / salidas que se requieren, fuente de alimentación incluida para entradas / salidas.
- La capacidad de memoria que se necesita. Esto tiene relación con la cantidad de entradas / salidas y la complejidad del programa utilizado.
- La velocidad y capacidad debe tener la unidad central del proceso (CPU). Esto tiene relación con cuántos tipos de instrucciones manejará el PLC. Así

mismo, cuanto mayor sea la cantidad de entradas / salidas que se manejen, más rápida tendrá que ser la CPU requerida.

- En este caso se realiza también un análisis de costos y calidad.

### **3.3.1. PLC SIMATIC S7-1200**

Tomando en cuenta los puntos antes mencionados, el PLC seleccionado es: SIMATIC S7-1200 CPU 1214C DC/DC/DC marca SIEMENS.

El S7-1200, es el último dentro de una gama de controladores SIMATIC de Siemens. El controlador compacto SIMATIC S7-1200 es el modelo modular y compacto para pequeños sistemas de automatización que requieran funciones simples o avanzadas para lógica, HMI o redes.

En el marco del compromiso SIMATIC crea el TIA portal (Totally Integrated Automation), para con la automatización plenamente integrada de la familia de productos S7-1200. La herramienta de programación STEP 7 Basic proporcionan la flexibilidad necesaria para cubrir las diferentes necesidades de automatización de cada caso.

El controlador S7-1200 ofrece la flexibilidad y potencia necesarias para controlar una gran variedad de dispositivos para las distintas necesidades de automatización. Gracias a su diseño compacto, configuración flexible y amplio juego de instrucciones, el S7-1200 es idóneo para controlar una gran variedad de aplicaciones.

La CPU incorpora un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, circuitos de entrada y salida, PROFINET integrado, E/S de control de movimiento de alta velocidad y entradas analógicas incorporadas, todo ello en una carcasa compacta, conformando así un potente controlador. Una vez descargado el programa, la CPU contiene la lógica necesaria para vigilar y controlar los dispositivos de la aplicación. La CPU vigila las entradas y cambia el estado de las salidas según la lógica del programa de usuario, que puede incluir lógica

booleana, instrucciones de conteo y temporización, funciones matemáticas complejas, así como comunicación con otros dispositivos inteligentes.

Para comunicarse con una programadora (PC), la CPU incorpora un puerto PROFINET integrado. La CPU puede comunicarse con paneles HMI o una CPU diferente en la red PROFINET.

Para garantizar seguridad en la aplicación, todas las CPUs S7-1200 disponen de protección por contraseña, que permite configurar el acceso a sus funciones.

Su campo de aplicación se extiende desde la sustitución de los relés y contactores hasta tareas complejas de la automatización en las redes y en las estructuras de distribución.

En la figura 3.5 Se muestran las partes externas principales del PLC:

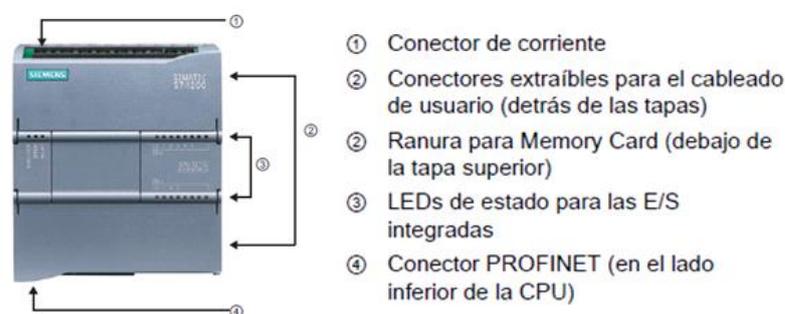


Figura 3. 4: Partes externas del PLC.

Los controladores S I M AT I C S7-1200 CPU 1214 presentan las siguientes ventajas:

- El controlador lógico programable (PLC) S7-1200 ofrece la flexibilidad y capacidad de controlar una gran variedad de dispositivos para las distintas tareas de automatización.
- La CPU incorpora un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, así como circuitos de 14 entradas y 10 salidas digitales a 24V y 2 entradas para voltaje en una carcasa compacta, conformando así un potente PLC.

- Capacidad de ampliación hasta un Signal Board (SB), 8 módulos de señal (SM) y 3 módulos de comunicación (CM)
- La CPU incorpora un puerto PROFINET para la comunicación en una red PROFINET.
- Una vez cargado el programa en la CPU, ésta contiene la lógica necesaria para vigilar y controlar los dispositivos de la aplicación. La CPU vigila las entradas y cambia el estado de las salidas según la lógica del programa de usuario, que puede incluir lógica booleana, instrucciones de contaje y temporización, funciones matemáticas complejas, así como comunicación con otros dispositivos inteligentes.
- Otros datos de operación del PLC S7 1200 se observan en el ANEXO - H. La información más detallada acerca del PLC se halla en el manual de sistema del controlador programable S7 1200.

**a. Señales integradas, módulos de señales y módulos de comunicación**

A la CPU puede añadirse un módulo de señales integradas para ampliar el número E/S digitales o lógicas sin necesidad de aumentar el tamaño físico del controlador.

A la derecha de la CPU pueden colocarse los Módulos de Señales que se requieran para aumentar la capacidad de E / S digitales o analógicas. A la CPU 1214C pueden añadirseles ocho Módulos de Señales y pueden equiparse hasta con tres Módulos de Comunicación a la izquierda del controlador, lo que permite una comunicación serie punto a punto.

**b. Interfaz PROFINET integrada**

El nuevo SIMATIC S7-1200 dispone de una interfaz PROFINET integrada como se observa en la figura 3.6, que garantiza una comunicación perfecta con el sistema de ingeniería SIMATIC STEP 7 BASIC integrado. La interfaz PROFINET permite la programación y la comunicación con los paneles de la

gama SIMATIC HMI BASIC PANELS para la visualización, con controladores adicionales para la comunicación de CPU a CPU y con equipos de otros fabricantes para ampliar las posibilidades de integración mediante protocolos abiertos de Ethernet. La interfaz PROFINET integrada está a la altura de las grandes exigencias de la comunicación industrial.

Con estándares bien conocidos de TCP/IP, la interfaz PROFINET integrada puede usarse S I M AT I C S7-1200, tanto para programar como para la comunicación con equipos HMI y otros controladores. En el futuro será posible conectar SIMATIC S7-1200 con equipos de campo distribuidos mediante PROFINET. Además, el controlador podrá funcionar indistintamente como PROFINET I/O Device o como PROFINET I/O Controller. Esto hará posible en el futuro una comunicación unificada desde el nivel de campo hasta el nivel de control.



Figura 3. 5: Interfaz PROFINET integrada.

### c. Fácil interconexión

La interfaz de comunicación de SIMATIC S7-1200 se muestra en la figura 3.8, está formada por una conexión RJ45 inmune a perturbaciones, con función Autocrossing, que admite hasta 16 conexiones Ethernet y alcanza una velocidad de transferencia de datos hasta de 10/100 Mbits/s. Para reducir al mínimo las necesidades de cableado y permitir la máxima flexibilidad de red, puede usarse conjuntamente con SIMATIC S7-1200 el nuevo Compact Switch Module C SM 1277, a fin de configurar una red homogénea o mixta, con topologías de línea, árbol o estrella.

#### **d. Salidas de alta velocidad**

En el controlador SIMATIC S7-1200 se han integrados 2 salidas de alta velocidad que pueden funcionar como salidas de tren de pulsos (PTO) o como salidas con modulación de ancho de impulsos (PWM). Si se configuran como PTO, ofrecen una secuencia de impulsos con un factor de trabajo del 50 % y hasta 100 KHz, para la regulación controlada de la velocidad y posición de motores paso a paso y servomotores. La realimentación para las salidas de tren de pulsos proviene internamente de los dos contadores de alta velocidad. Si se configuran como salidas PWM, ofrecen un tiempo de ciclo fijo con punto de operación variable. Esto permite regular la velocidad de un motor, la posición de una válvula o el ciclo de trabajo de un calefactor.

#### **e. Funcionalidad PID para lazos de regulación**

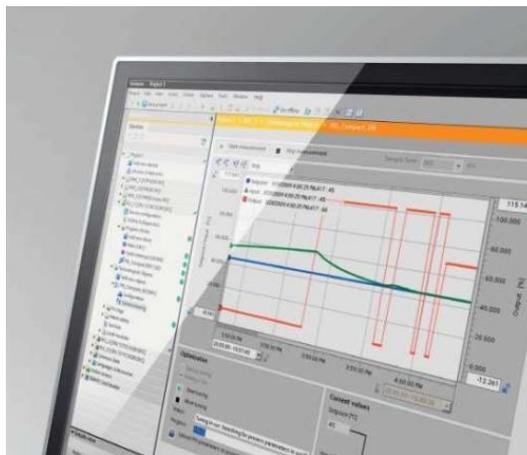


Figura 3. 6: Funcionalidad PID.

SIMATIC S7-1200 admite hasta 16 lazos de regulación PID como se detalla en la figura 3.7, para aplicaciones sencillas de control de proceso. Estos lazos de regulación pueden configurarse fácilmente con un objeto tecnológico de regulación PID en el sistema de ingeniería SIMATIC STEP 7 Basic. Además, SIMATIC S7-1200 admite PID Autotuning, para calcular automáticamente los valores de ajuste óptimos para las componentes proporcional, integral y derivativa.

#### **f. Panel de sintonía para puesta en marcha de PID.**

El panel de sintonía para la puesta en marcha de PID, integrado también en SIMATIC STEP 7 BASIC, simplifica la optimización del lazo de regulación. Ofrece funcionalidad Autotuning y ajuste manual para lazos de regulación sencillos y al mismo tiempo una presentación gráfica de la evolución de las variables del lazo de regulación.

Con el panel de sintonía para la puesta en marcha, incluido en SIMATIC STEP7 Basic a la optimización de lazos de regulación PID es rápida y precisa

### **3.4 SELECCIÓN DE SENSORES**

En la selección de los sensores se determinan las diferentes variables que se presentan en el proceso, siendo estas: temperatura y posición.

Dichas magnitudes serán controladas con los sensores que previamente fueron descritos en el capítulo 1 y se detallan a continuación.

#### **3.4.1 Sensor de temperatura**

El termopar seleccionado para determinar y controlar la variable de temperatura que se maneja en el proceso de calefacción es de Tipo K, hay que mencionar que este elemento viene incluido en dos de los calefactores eléctricos a emplear en el proceso.

#### **3.4.2 Sensor de posición**

La selección del sensor se debe realizar mediante el análisis de los siguientes puntos:

- Rango de detección
- Rango de voltaje
- Vida útil

- Facilidad de instalación
- Peso y tamaño

Tabla 3. 1: Datos técnicos del sensor UP18RLD-8PA.

<b>SENSOR DE PROXIMIDAD UP18RLD-8PA</b>	
Distancia de sensado	8 mm
Ajuste de distancia	0 - 6.4 mm
Respuesta de frecuencia	200 Hz
Objeto detectable estandar	Hierro (25 x 25 x 1)mm
Histéresis	Menos del 10% de la distancia de dección (o medición)
Fuente de suministro de voltaje	12 – 24 V d.c
Control de salida	Carga resistiva: 200mA Máx.
Voltaje residual	máx 1.5 V
Corriente de consumo	Máx 6 mA

En base al análisis anterior se selecciona un sensor inductivo tipo UP18RLD-8PA, la descripción del modelo se encuentra en la figura 3.8, para determinar y controlar la variable de posición, puesto que cumple con las características necesarias para la aplicación requerida, en la tabla 3.1, se indican los datos técnicos, mas detalles en el Anexo – I.

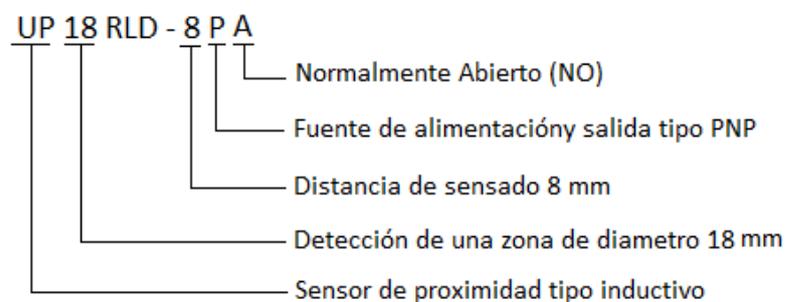


Figura 3. 7: Descripci3n del sensor de posici3n.

En la figura 3.9 se muestra el diagrama de conexi3n.

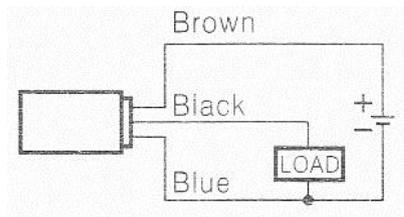


Figura 3. 8. Diagrama de conexión

### 3.5 AMPLIFICADOR AD595A

Debido al bajo nivel de tensión y baja impedancia los termopares requieren de una etapa de acondicionamiento, para tal efecto se selecciona un circuito integrado AD595A que es un Amplificador para termocuplas Tipo K.

El AD595 está disponible en dos grados de participación, la C y las versiones de A tienen una precisión de calibración de  $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , respectivamente.

Un amplificador diferencial es un circuito que constituye la parte fundamental en el acondicionamiento de señales. Estos se basan en dispositivos bipolares y FET. Para el acondicionamiento de los datos proporcionados por la termocupla (tipo k) se utiliza un integrado diseñado para ese fin, fabricado por Analog Device, su función es elevar la señal de la termocupla de  $50\text{ }\mu\text{V} / ^{\circ}\text{C}$  a  $10\text{ mV} / ^{\circ}\text{C}$ , mejorando a la vez la linealidad del sensor.

Combina un punto de referencia de hielo con un amplificador de precalibrado para producir un nivel alto ( $10\text{ mV} / ^{\circ}\text{C}$ ) de salida directamente de la señal de un termopar. Pin-robusto le permiten la opción de ser utilizado como un amplificador lineal-compensador, o como una consigna de salida del interruptor controlador utilizando el control remoto o consigna fija. Puede ser usado para amplificar la tensión de compensación directa.

Cualquier tensión de alimentación conveniente de  $+5\text{ V}$  a  $30\text{ V}$  puede ser usada. Si se alimenta con una tensión  $+5\text{ V}$ , el circuito integrado puede trabajar hasta con una temperatura máxima de  $300^{\circ}\text{C}$  y si su alimentación es  $+15\text{ V}$ , puede trabajar hasta un máximo de  $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ . En el ANEXO – J se observan los

voltajes que se obtienen a la salida al trabajar con los distintos valores de temperatura.

Se conecta el positivo de la alimentación al pin 11 y el negativo o común al pin 7 y al pin 4. Las entradas de cable del termopar conectar con los bornes 1 y 14, bien directamente desde el punto de medición o a través de conexiones intermedias de termopar de cables similares. Cuando la salida de alarma, el pin 13, no se utiliza debe estar conectada a común o -V. La realimentación de red precalibrada del pin 8 está ligada a la salida en la patilla 9 para proporcionar una señal de transferencia de  $10\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ . La conexión antes descrita se observa en la figura 3.10.

El circuito de la compensación desarrolla un voltaje igual a la deficiencia que se da en la temperatura local de la termocupla referenciada. Este voltaje se aplica entonces a un segundo preamplificador cuyo rendimiento se suma con el rendimiento del amplificador de la entrada. El rendimiento resultante se aplica entonces a la entrada de un amplificador de rendimiento principal con la regeneración para poner la ganancia de los signos combinados.

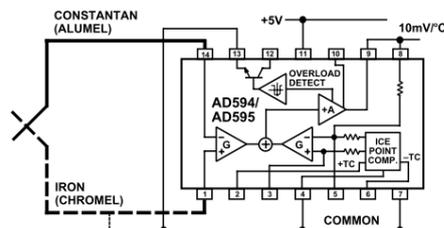


Figura 3. 9. Conexión básica del amplificador AD595A.

A través del camino de la regeneración, el amplificador principal mantiene un equilibrio en sus entradas. En caso de que la termocupla este rota o el circuito este abierto a la entrada del dispositivo, estas entradas se desequilibran, la falta se descubre, y el circuito de descubrimiento de carga excesiva maneja un transistor del n-p-n actualmente limitado que puede unirse como una alarma.

Aunque estos circuitos integrados se calibran específicamente para un Tipo J o termocupla de K, pueden usarse otros tipos de recalibración con la termocupla.

Para producir una temperatura el rendimiento proporcional de  $10 \text{ mV}/^\circ\text{C}$  proporciona una unión de la referencia exacta, el AD594/AD595 tiene una ganancia fijada por el fabricante para emparejar las características del traslado de Tipo J y termocuplas tipo K a los  $+25^\circ\text{C}$ . Esta es la temperatura óptima para la calibración de las termocuplas siendo los voltajes correctos recomendados por el fabricante de  $51.70 \text{ mV}/^\circ\text{C}$  para una del tipo J y  $40.44 \text{ mV}/^\circ\text{C}$  para un Tipo K. Esto corresponde a una ganancia de 193.4 para los AD594 y 247.3 para el AD595 por lo tanto comprende un rendimiento  $10 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ . Aunque el dispositivo se arregla para un 250 rendimiento del mV a los  $+25^\circ\text{C}$ , un error de desplazamiento de entrada es inducido en el amplificador del rendimiento que produce desplazamientos de  $16 \text{ mV}$  y  $11 \text{ mV}$  para el AD594 / AD595 respectivamente.

### **3.6 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
- Aislación del circuito de control
- Larga vida útil
- Disponibilidad en el mercado del producto

#### **3.6.1. Relé de estado sólido**

El relé de estado sólido (SSR) es un elemento que permite aislar eléctricamente el circuito de entrada o mando y el circuito de salida o potencia.

En base a los puntos antes mencionados se opta por los relés de estado sólido, puesto que ofrecen más ventajas en relación a los relés electromagnéticos, observe la tabla 3.3.

**a. Relé de estado sólido de 40A**

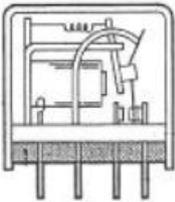
La conexión y desconexión de los paneles calefactores eléctricos se realiza mediante la utilización de relés de estado sólido de 40A modelo HSR-2D40Z2Z marca HANYOUNG NUX. En la figura 3.11, se encuentra la descripción del modelo:

MODEL	Suffix code	Description
<b>HSR</b>	2   D   40   2   Z	
Control Phase	2	Single Phase
Input control voltage	D	4 - 32 V d.c
Rated load current	40	40 A
Rated load voltage	2	90 - 264 V a.c
Operation method (Switching Mode)	Z	Zero Cross Switching

Figura 3. 10: Relés de estado sólido HSR-2D40Z2Z.

Tabla 3. 2: Ventajas de los relés de estado sólido en relación a los relés electromagnéticos.

ELEMENTO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p><b>Relé de estado sólido</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Conexión con función de paso por cero</li> <li>- Detección cuando <math>I=0</math></li> <li>- Gran resistencia a choques y vibraciones</li> <li>- No ocasiona arcos ni rebotes al no existir partes móviles.</li> <li>- Vida de trabajo optima</li> <li>- Frecuencia de conmutación elevada</li> <li>- Facilidad de mantenimiento</li> <li>- Funcionamiento silencioso</li> <li>- Control de baja tensión, compatible TTL/CMOS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Circuito de entrada muy sensible a perturbaciones.</li> <li>- Necesidad de elementos de protección externos: disipadores de calor, redes de protección</li> <li>- Muy sensible a la temperatura y sobretensiones.</li> <li>- Tecnología y conceptualmente más complejos y abstractos.</li> </ul>

<p><b>Relé electromagnético</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Economicos en consumo</li> <li>- Reducción de dimensiones en aplicaciones de conmutación a baja potencia.</li> <li>- Gran números de contactos</li> <li>- Control indistinto de CA/CC</li> <li>- Tecnológica y conceptualmente muy evidentes.</li> <li>- Defectos desconocidos así como sus soluciones.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ruido</li> <li>- Dimensiones considerables en aplicaciones de control de potencia</li> <li>- Presencia de chispas, arco y rebotes.</li> <li>- Más lento en la maniobra.</li> <li>- Vida útil menor.</li> </ul>
---	---	---

### a.2 Circuito de conexión

En la figura 3.15 se aprecia el esquema de conexión del relé de estado sólido (SSR), más información se encuentra en el Anexo – L.

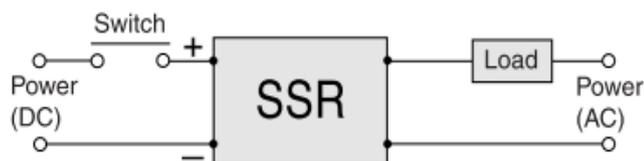


Figura 3. 11: Esquema de conexión del relé de estado sólido.

### b. Cálculo de corriente de la carga

A este SSR se conectará 7 resistencias eléctricas calefactoras. Cada resistencia tiene una potencia de 1000W y 220V.

$$I = 7 * \frac{P}{V}$$

$$I = 7 * \frac{1000[W]}{220[V]}$$

$$I = 31.82[A]$$

### 3.7 SELECCIÓN DE ELECTROVÁLVULAS NEUMÁTICAS

Las electroválvulas NUMATICS serie 11SAD4 110, son utilizadas puesto que la empresa dispone de este tipo de electroválvulas y además cumple con las características que requiere el presente proyecto.

Las electroválvulas son monoestables con retorno mecánico, tipo 5/2, es decir 5 vías y 2 posiciones, lo cual permite controlar un cilindro de doble efecto. En la tabla 3.2, se indican los datos de operación principales. Más información sobre las electroválvulas NEUMATIC se encuentran en el Anexo-K.

Tabla 3. 3: Electroválvulas NUMATICS serie 11SAD4 110.

<b>ELECTROVÁLVULAS NUMATICS 11SAD4 110</b>	
Presión mínima	150 Psi
Presión máxima	300Psi
Rango de temperatura	-10°F a 115 °F ambiente
<b>DATOS DEL SOLENOIDE</b>	
Voltaje (Voltios)	100-115/50 Hz A.C 110-120/60Hz A.C
Corriente de entrada (Amperios)	0.40
Corriente de retención (Amperios)	0.12
Tiempo de energización (segundos)	0.012
Tiempo de desenergización (segundos)	0.018

## CAPÍTULO 4

### CONSTRUCCIÓN, IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS

#### 4.1. CONSTRUCCIÓN MECÁNICA

Una vez realizado el diseño de los elementos o partes de la máquina se proceden a la adquisición, construcción y mecanizado del material en bruto, enumerando y detallando para el proceso de obtención de los elementos mecánicos.

Para la obtención de los elementos de la máquina se utilizó maquinaria y demás herramientas mostradas en la Tabla 4.1.

Tabla 4. 1: Máquinas y herramientas empleadas.

<b>Equipo Extra</b>	<b>Máquina</b>	<b>Instrumentos de calibración y medida.</b>	<b>Soldadura</b>
<b>Sierra manual</b>	Torno	Calibrador	Soldadura SMAW
<b>Escuadra</b>	Fresadora	Flexómetro	Oxicorte
<b>Rayador</b>	Rectificadora	Compas	
<b>Punto</b>	Esmeril		
<b>Machuelos</b>	Taladro vertical		
<b>Martillo</b>	Taladro de mano		
<b>Broca de centros</b>	Moladora		
<b>Lijas</b>	Pantógrafo		
<b>Entenalla</b>	Sierra mecánica		
<b>Brocas</b>	Cizalla		
<b>Disco de corte</b>	Dobladora		

##### 4.1.1. Diagramas de procesos de los elementos mecánicos

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

**a. Diagramas de la estación de calentamiento**

En la Tabla 4.2 se muestra un listado de los elementos constitutivos del sistema de calentamiento.

Tabla 4. 2: Elementos constitutivos del sistema de calentamiento.

Cantidad	Elementos del sistema de calentamiento	Material
1	Placa de Acero inoxidable	Acero inoxidable ASI 340
1	Paredes del sistema de calefacción	Acero ASTM A-36

**a.1 Diagrama de proceso de la placa de acero inoxidable**

**Acero inoxidable ASI 340**

Referirse al plano:

Placa de acero inoxidable



Trazar perímetro (1) de 166,5x594 [mm] y cortar dos piezas.



Trazar perímetro (2) de 361x560 [mm] y cortar la pieza



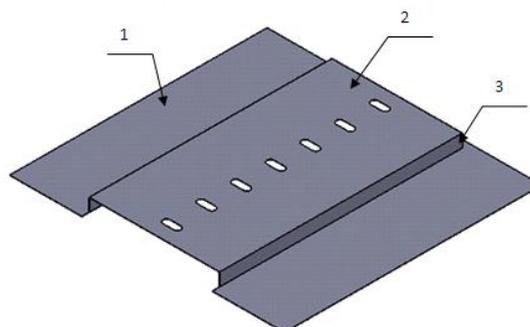
Colocar la pieza (2) en la dobladora y realizar un dobles a 90 grados en (3) (Referirse al plano placa de acero inoxidable)



Soldar las pieza (1) con (2) a una distancia de 17mm de cada extremo (Referirse al plano placa de acero



Almacenamiento en bodega



## a.2 Diagrama de proceso paredes del sistema de calefacción

Acero ASTM A-36

Referirse al plano:  
Paredes del sistema de  
Calefacción

1

Trazar perímetro (1) de 600 x 120 [mm] y cortar dos piezas.

2

Trazar perímetro (2) de 640 x 120 [mm] y cortar dos piezas.

3

Ubicar las piezas (1) y (2) en la dobladora y realizar dobles a 90 grados (3) de 20mm en cada una de las mismas (Referencia plano de paredes del sistema de calefacción)

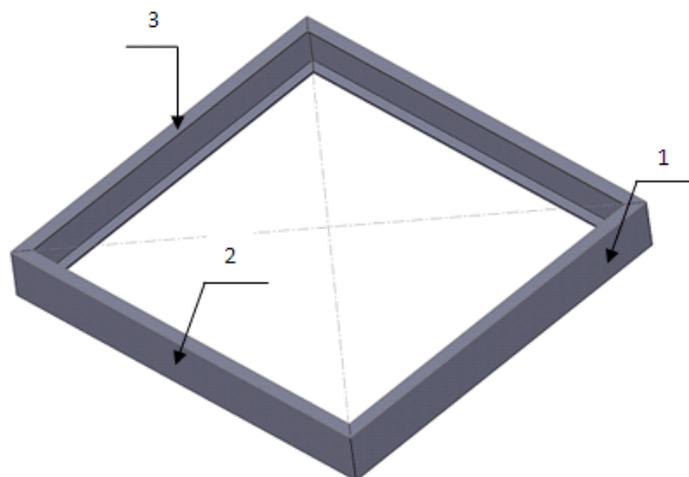
4

Soldar las 4 piezas formando un perímetro de 600 x 640 [mm]

INSP.



Almacenamiento en bodega



## b. Diagramas de la estación de formado

En la Tabla 4.3 se muestra un listado de los elementos constitutivos del sistema de formado.

Tabla 4. 3: Elementos constitutivos del sistema de formado.

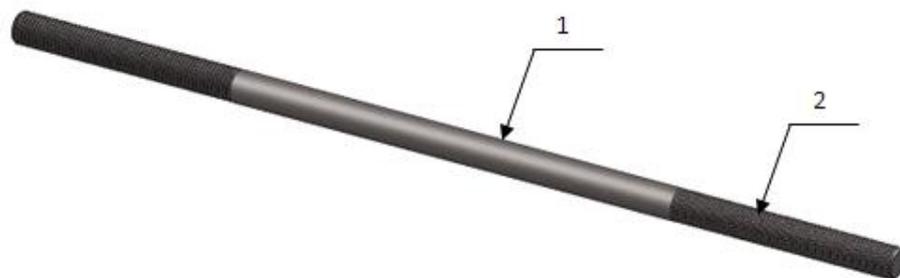
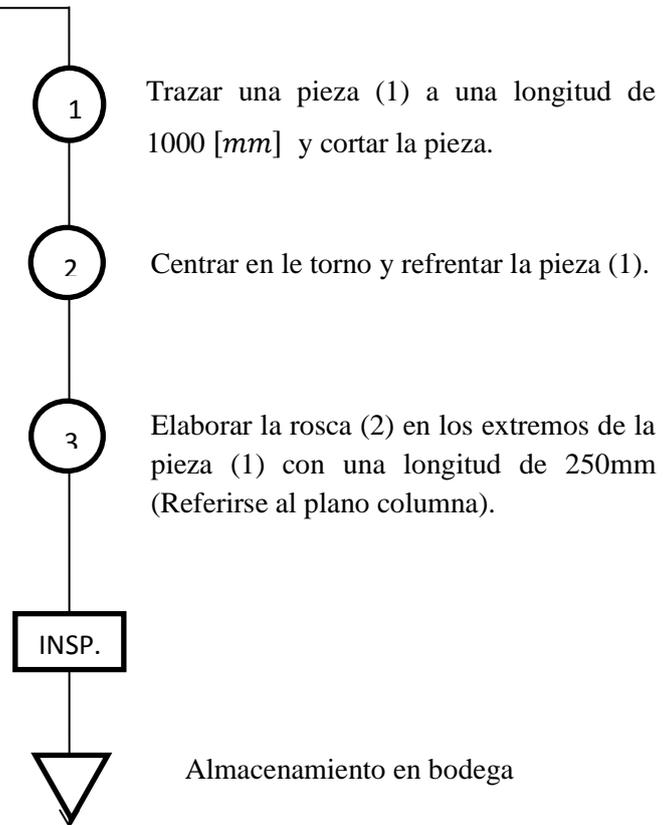
<b>Cantidad</b>	<b>Elementos del sistema de formado</b>	<b>Material</b>
4	Columnas	Acero SAE 1018
4	Eslabón (3) acoplador	Acero ASTM A-36
8	Eslabón (4) conducido	Acero ASTM A-36
4	Eslabón (5) conducido	Acero ASTM A-36
2	Pasador 1	Acero ASTM A-36
2	Pasador 2	Acero ASTM A-36
2	Pasador 3	Acero ASTM A-36
2	Pasador 4	Acero ASTM A-36
2	Sujetadores de la mesa móvil	Acero ASTM A-36
2	Sujetadores de la mesa fija	Acero ASTM A-36
2	Base de sujeción de émbolo del pistón	Acero ASTM A-36
2	Mesa móvil	Acero ASTM A-36
2	Mesa fija	Acero ASTM A-36

### *b.1 Diagrama de proceso de columnas*

#### **Acero SAE 1018**

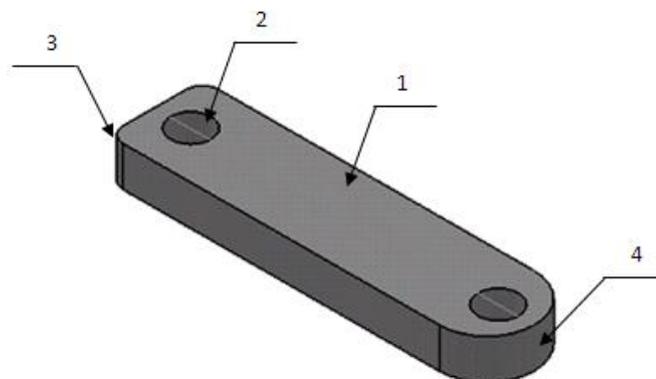
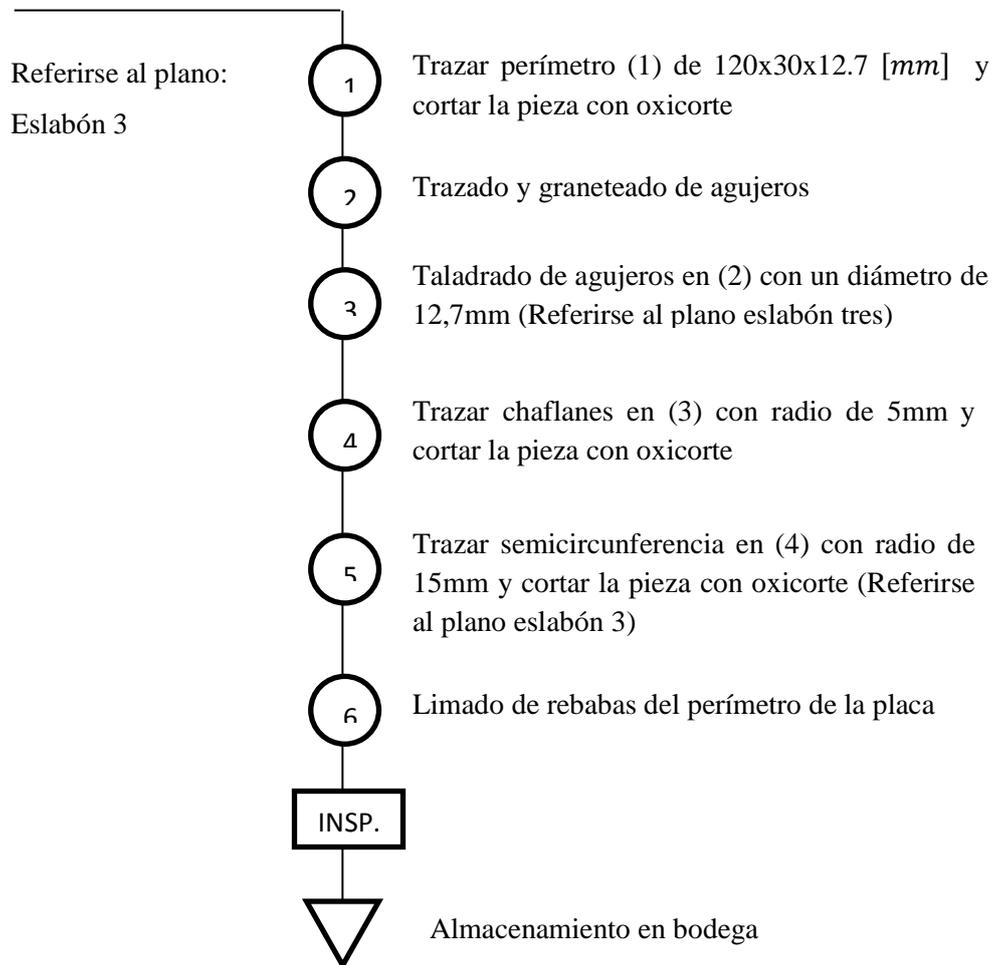
Referirse al plano:

Columna



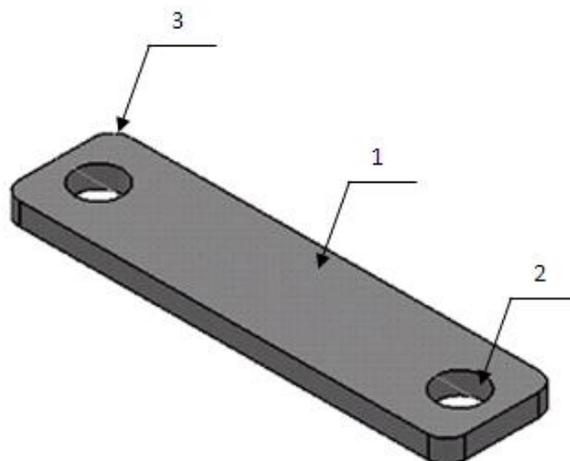
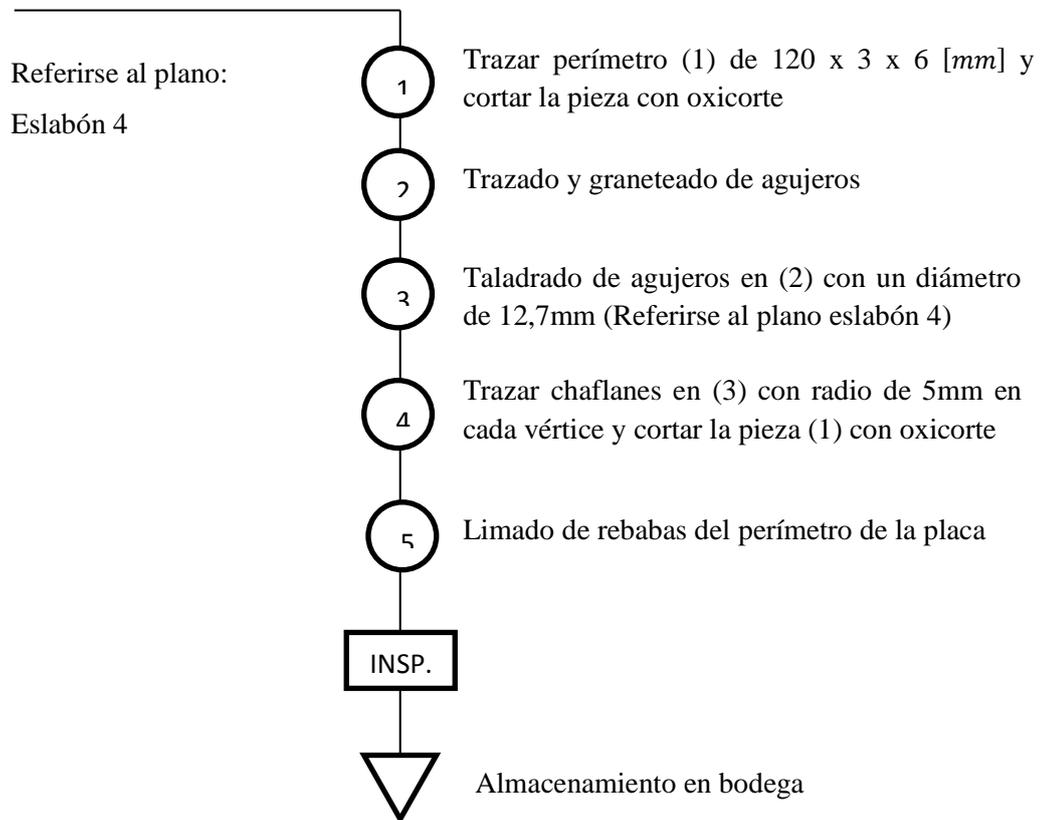
## b.2 Diagrama de proceso de eslabón (3) acoplador

Acero ASTM A-36



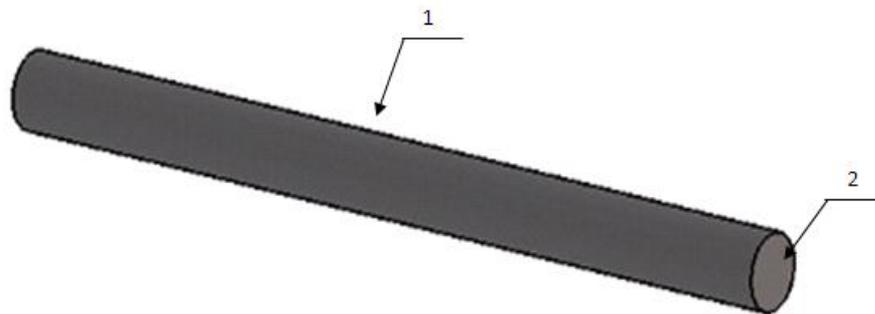
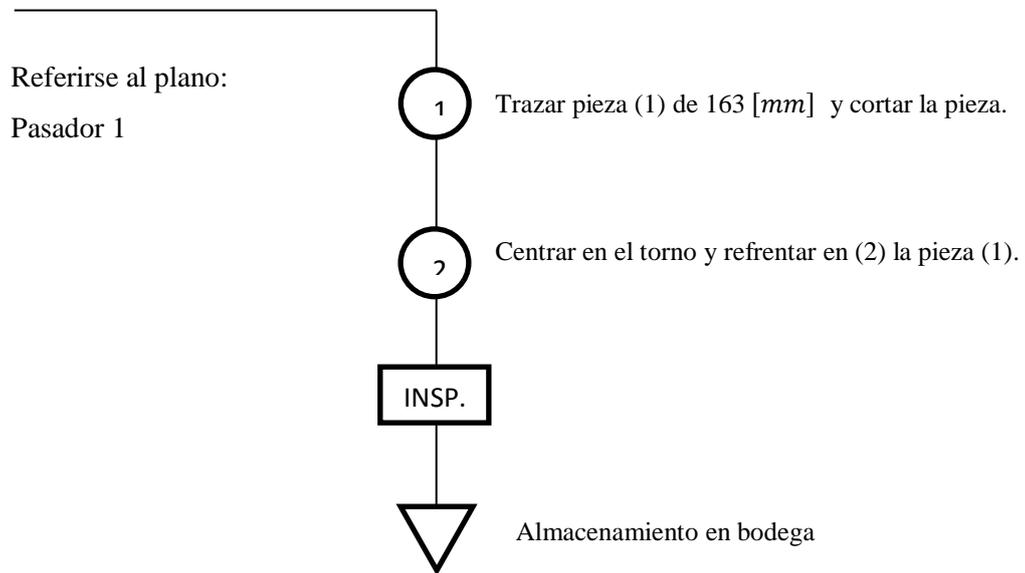
### ***b.3 Diagrama de proceso de eslabón (4) y (5) conducido***

**Acero ASTM A-36**



#### ***b.4 Diagrama de proceso del pasador 1***

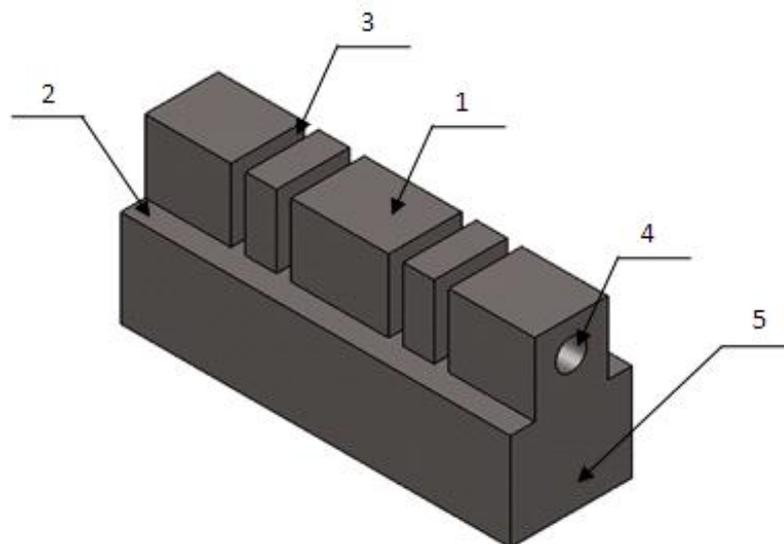
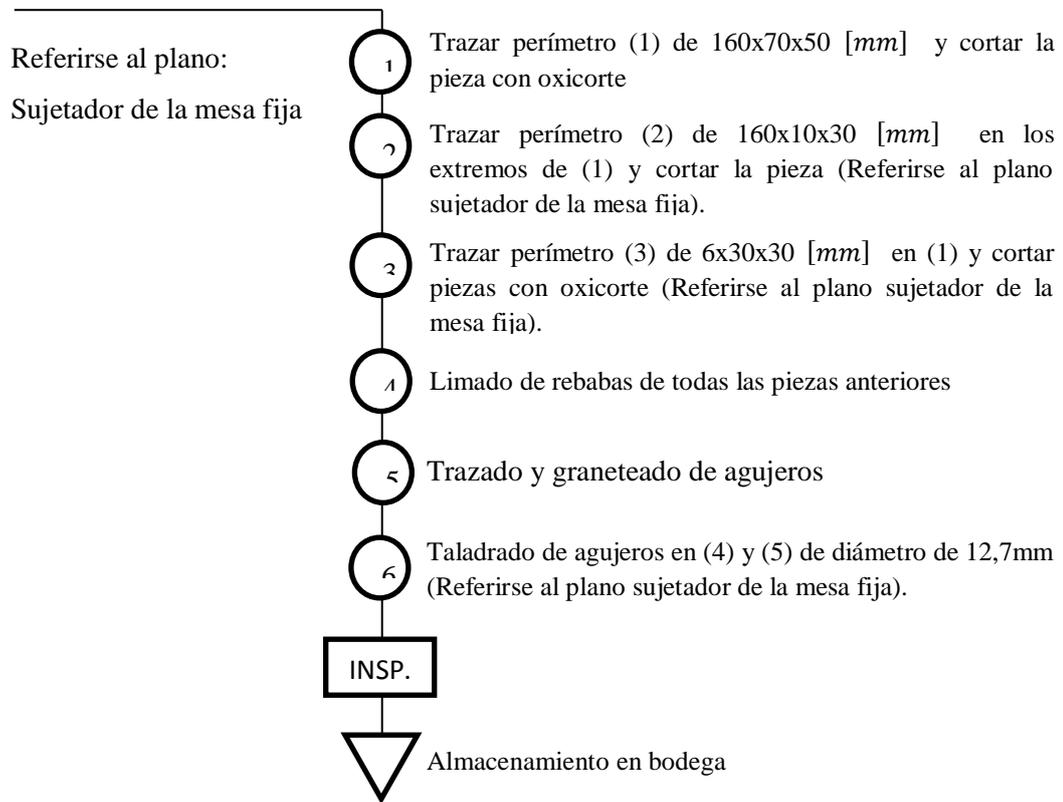
**Acero ASTM A-36**



**Nota:** El proceso de construcción de los pasadores 2, 3 y 4 se realiza con el mismo diagrama de proceso del pasador 1 pero haciendo referencia a las medidas indicadas en sus respectivos planos.

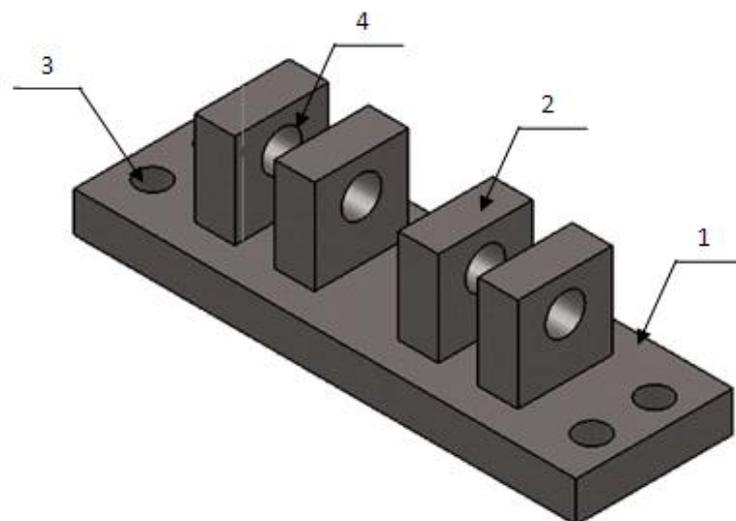
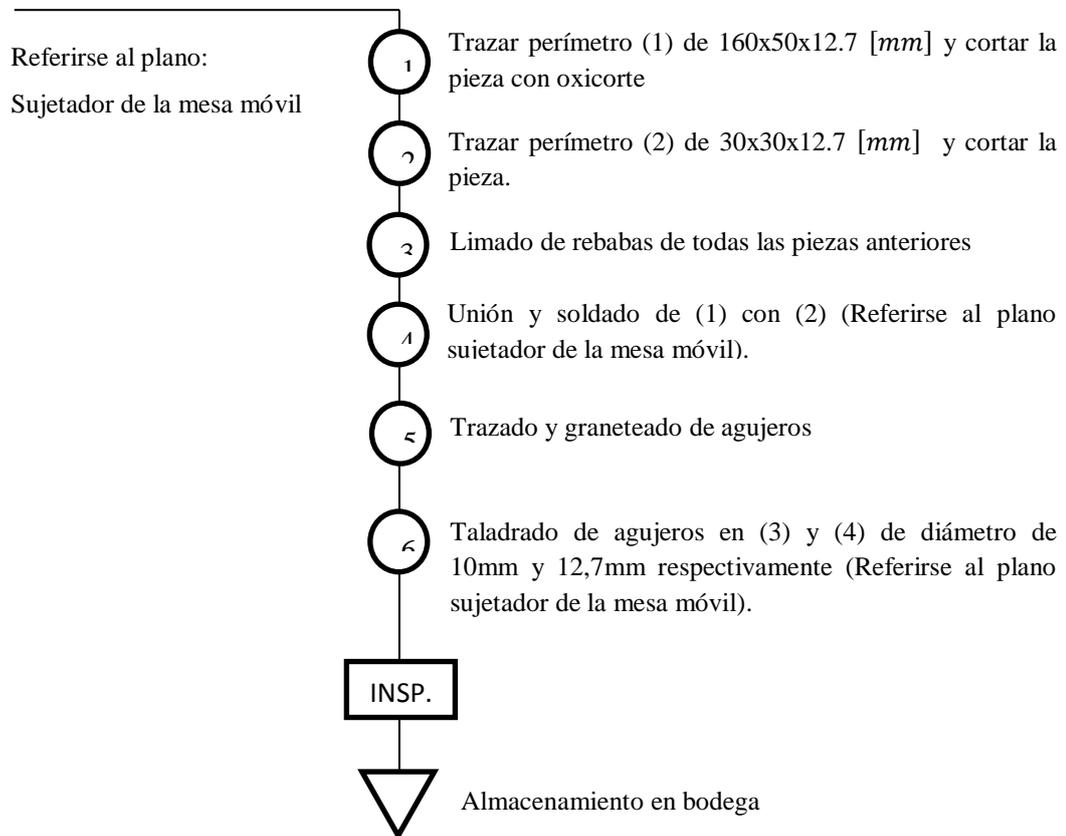
### b.5 Diagrama de proceso del sujetador de la mesa fija

#### Acero ASTM A-36



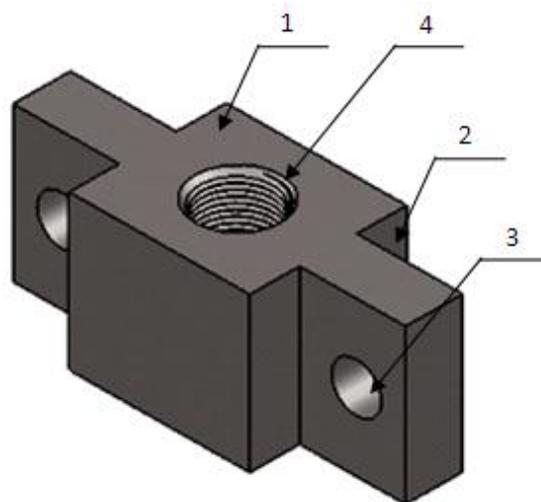
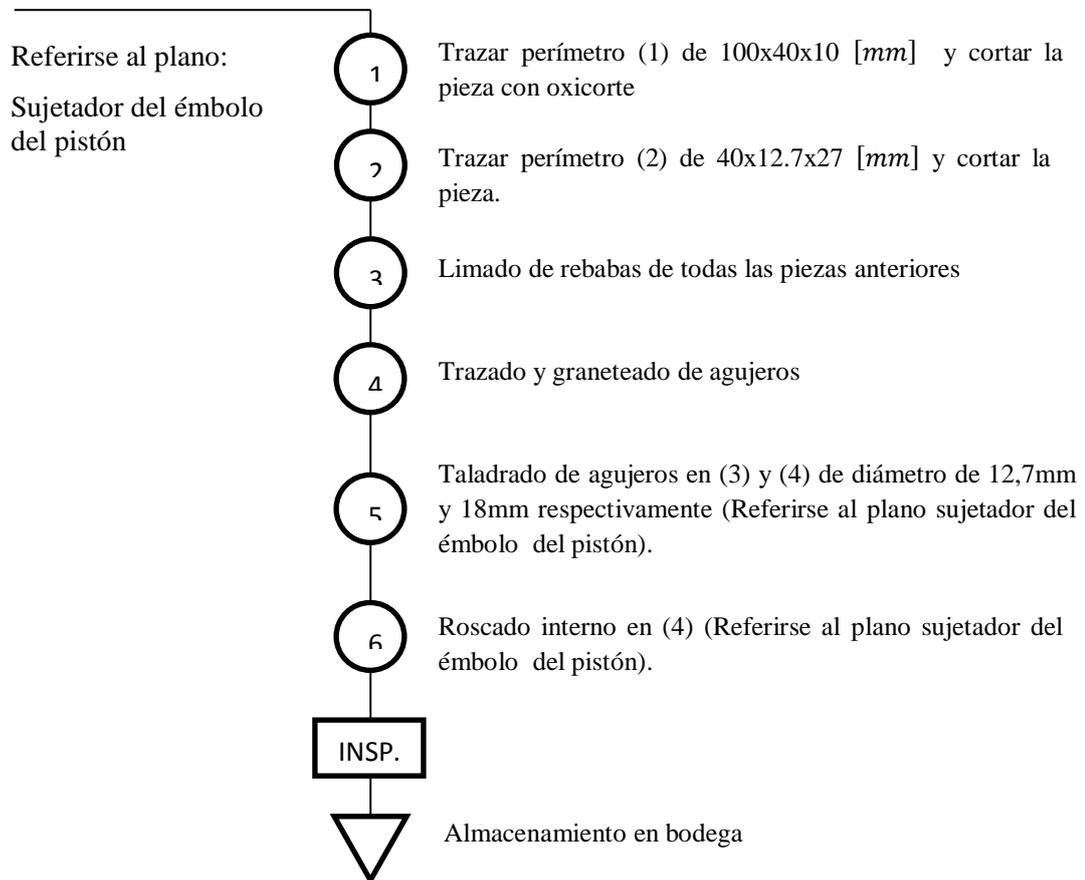
### ***b.6 Diagrama de proceso del sujetador de la mesa móvil***

#### **Acero ASTM A-36**



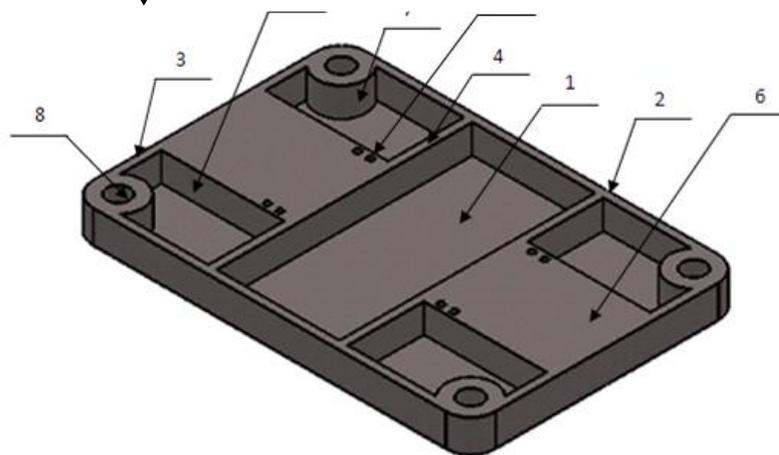
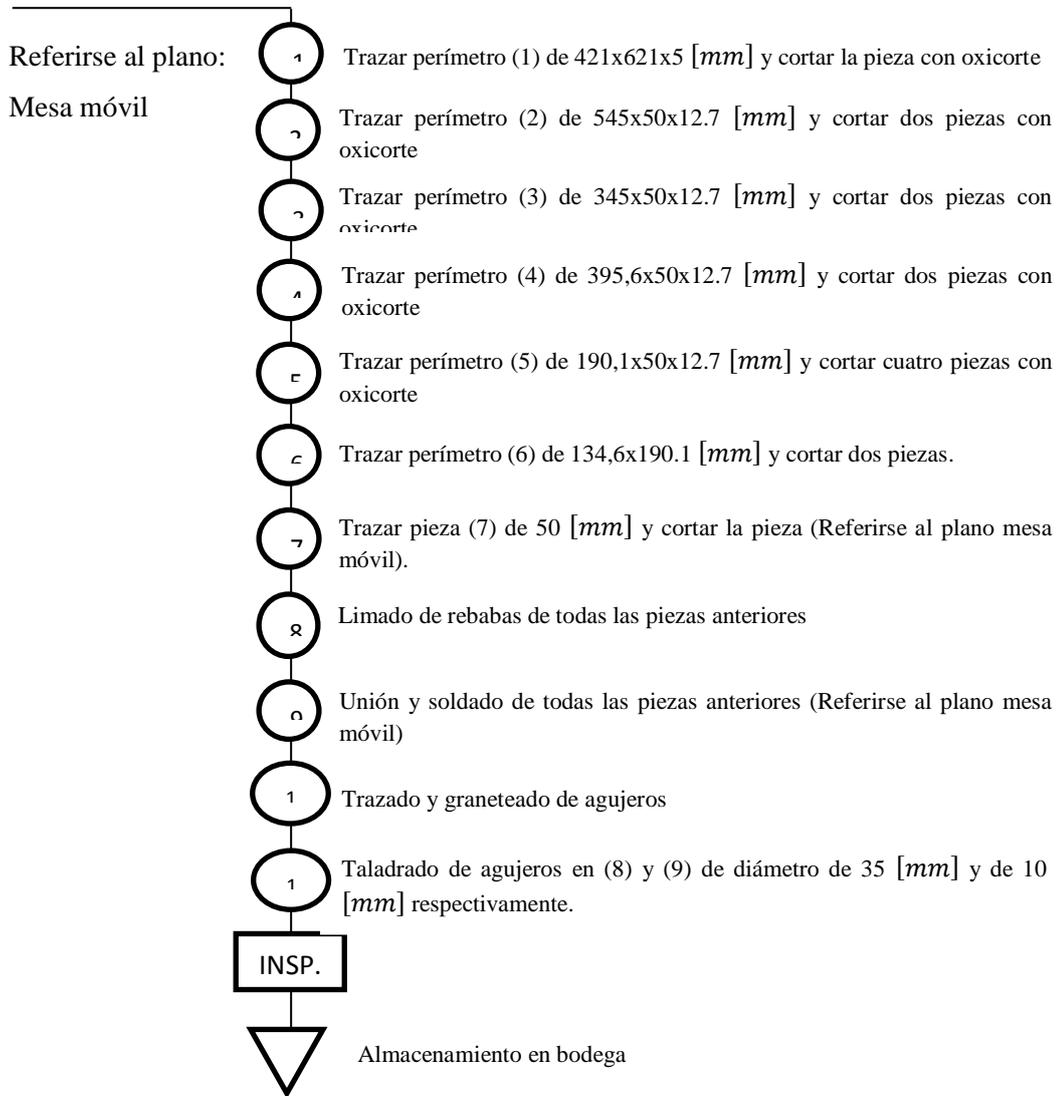
### ***b.7 Diagrama de proceso del sujetador del émbolo del pistón***

**Acero ASTM A-36**



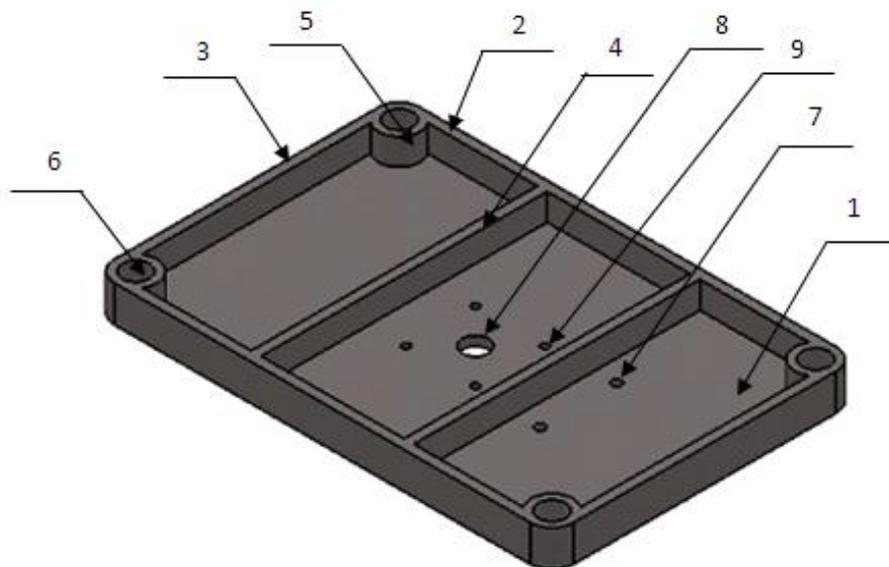
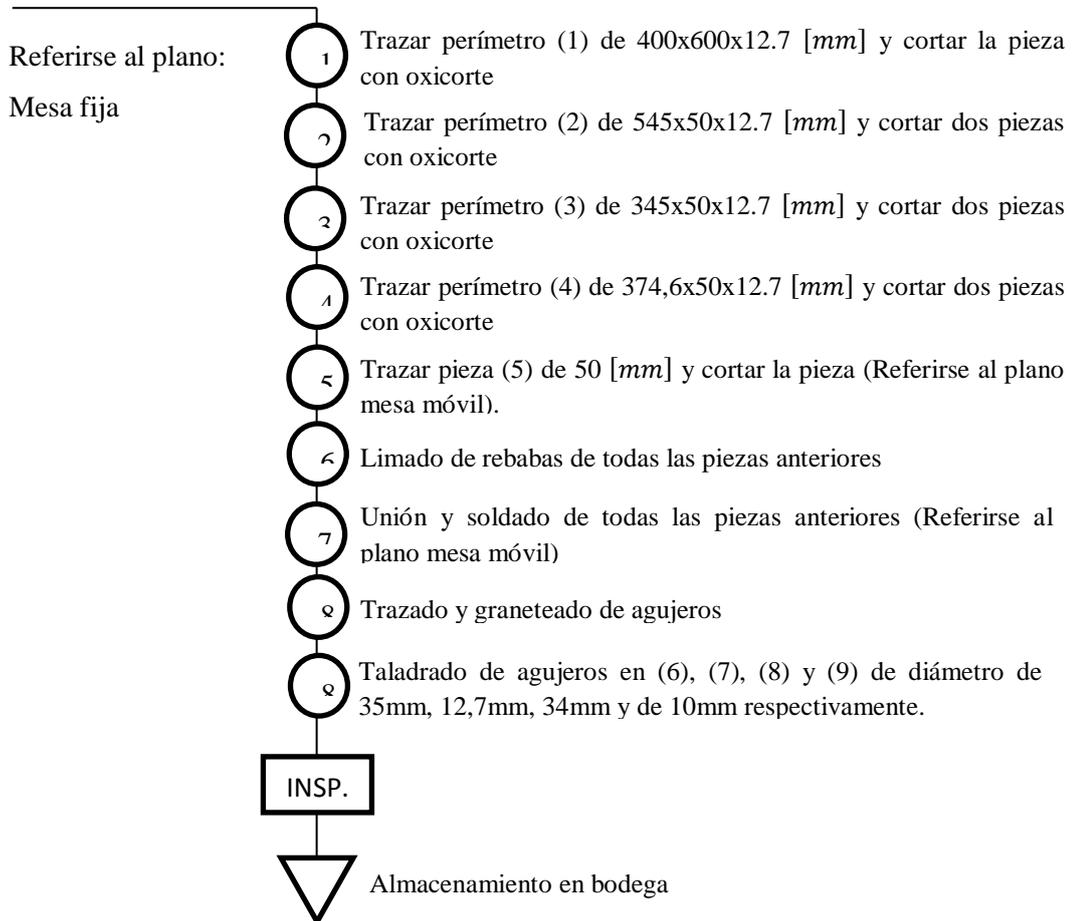
### b.8 Diagrama de proceso de la mesa móvil

#### Acero ASTM A-36



### b.9 Diagrama de proceso de la mesa fija

Acero ASTM A-36



### c. Diagramas de la estación de troquelado

En la Tabla 4.3 se muestra el listado de los elementos constitutivos del sistema de corte o troquelado.

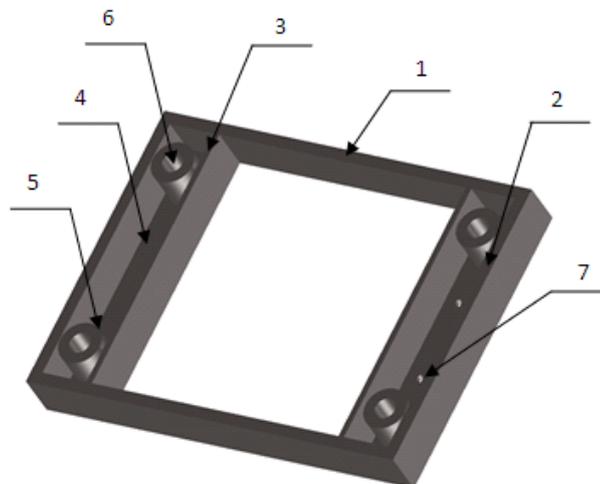
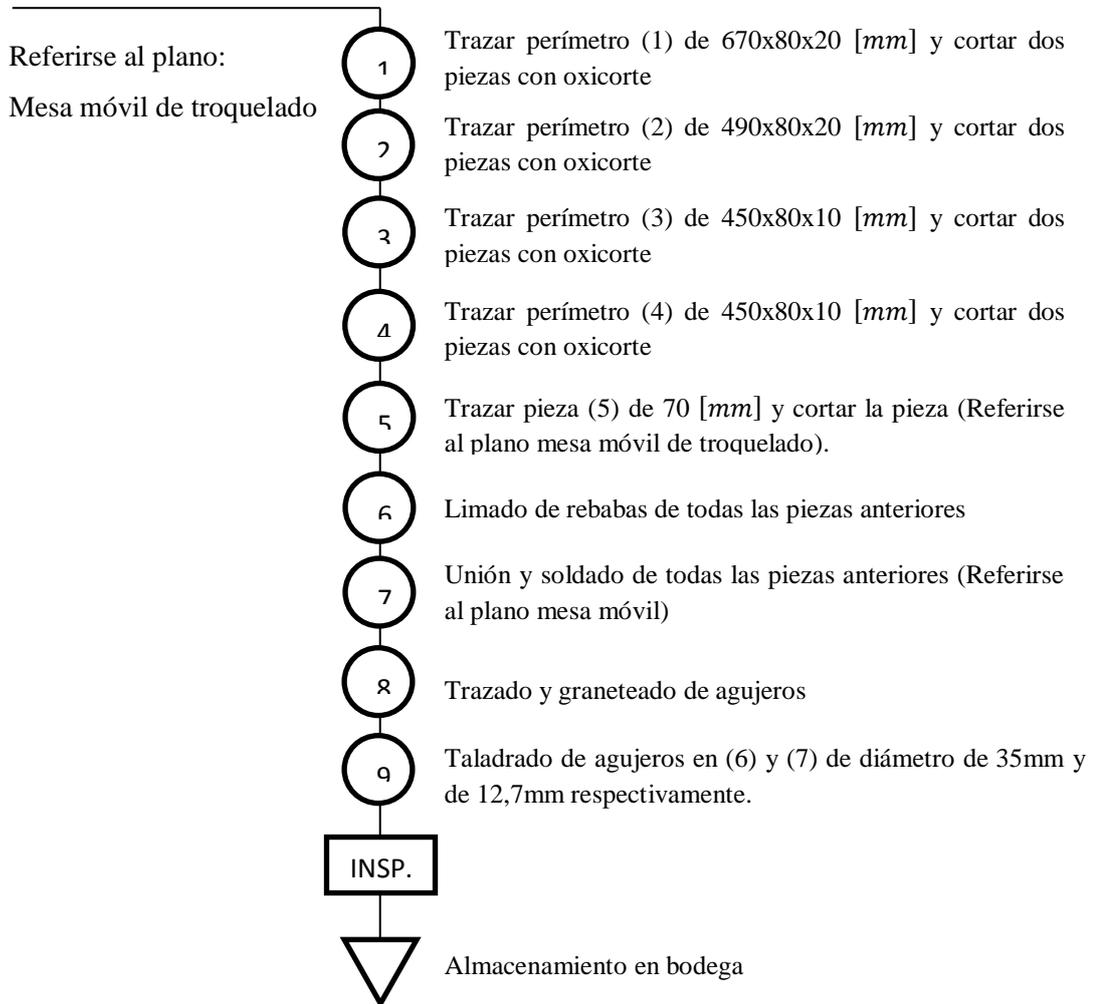
Tabla 4. 4: Elementos constitutivos del sistema de corte.

<b>Cantidad</b>	<b>Elementos del sistema de corte</b>	<b>Material</b>
<b>4</b>	Columnas	Acero SAE 1018
<b>2</b>	Eslabón (3) acoplador	Acero ASTM A-36
<b>4</b>	Eslabón (4) conducido	Acero ASTM A-36
<b>2</b>	Eslabón (5) conducido	Acero ASTM A-36
<b>1</b>	Pasador 1	Acero ASTM A-36
<b>1</b>	Pasador 2	Acero ASTM A-36
<b>1</b>	Pasador 3	Acero ASTM A-36
<b>1</b>	Pasador 4	Acero ASTM A-36
<b>1</b>	Sujetadores de la mesa móvil	Acero ASTM A-36
<b>1</b>	Sujetadores de la mesa fija	Acero ASTM A-36
<b>1</b>	Sujetador móvil de troquelado	Acero ASTM A-36
<b>1</b>	Mesa fija superior	Acero ASTM A-36
<b>1</b>	Mesa fija inferior	Acero ASTM A-36
<b>1</b>	Mesa móvil	Acero ASTM A-36

**Nota:** La elaboración de las columnas, eslabones y pasadores se realiza en base a los diagramas de proceso empleados en el sistema de formado respectivamente, puesto que el proceso es el mismo variando únicamente sus medidas, las mismas que se detallan en sus respectivos planos.

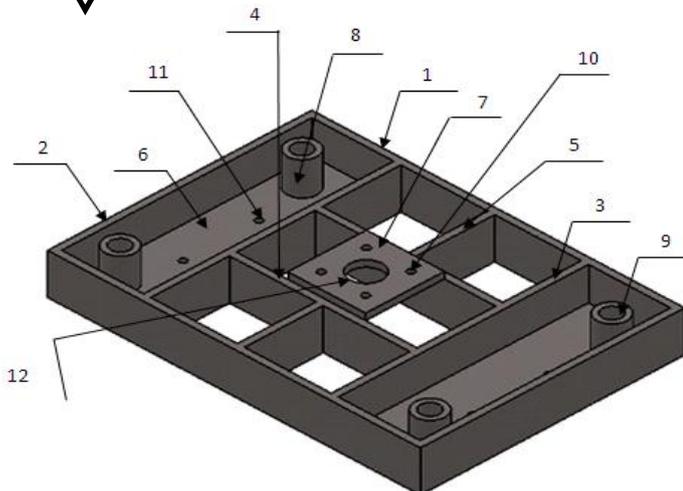
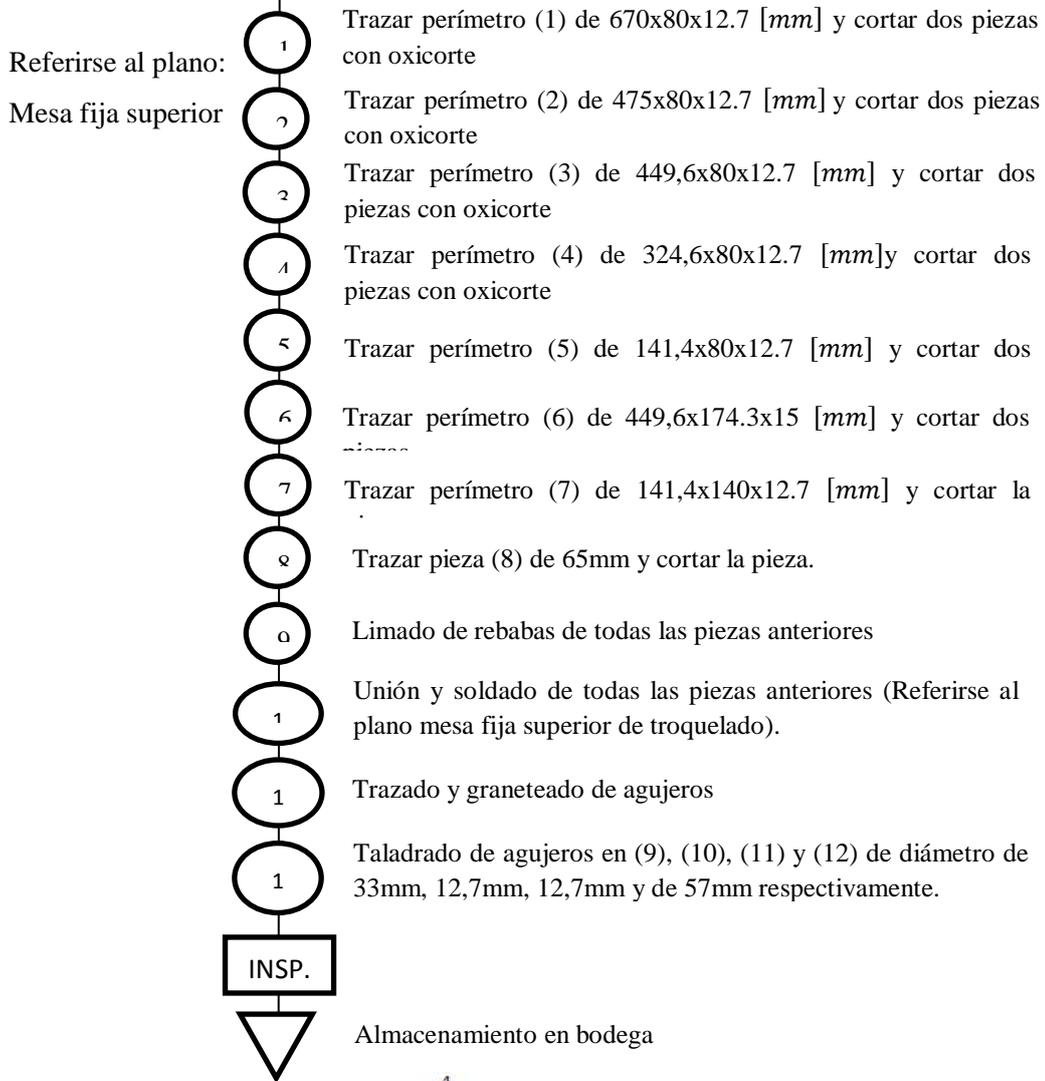
#### c.4 Diagrama de proceso de la mesa móvil de troquelado

Acero ASTM A-36



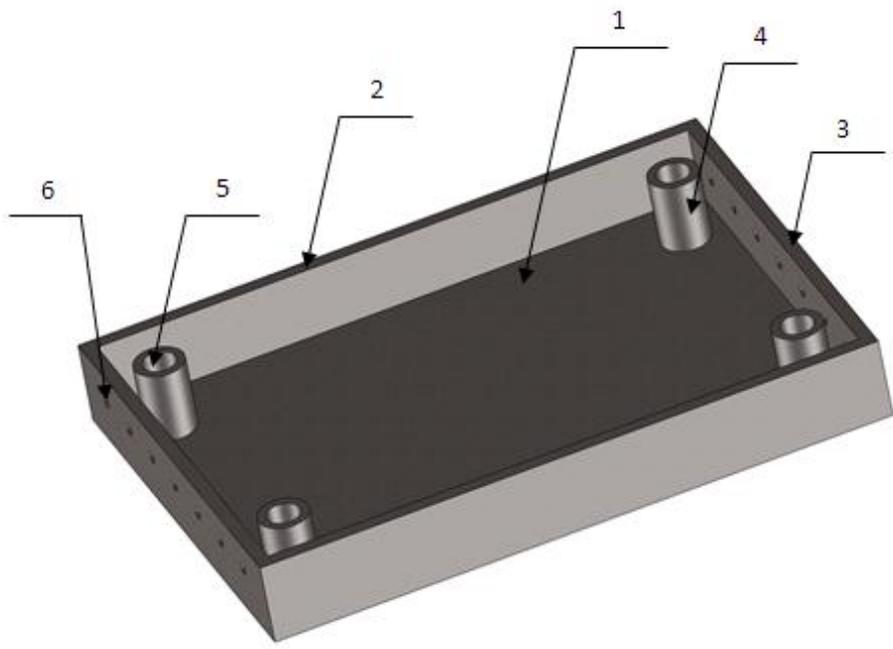
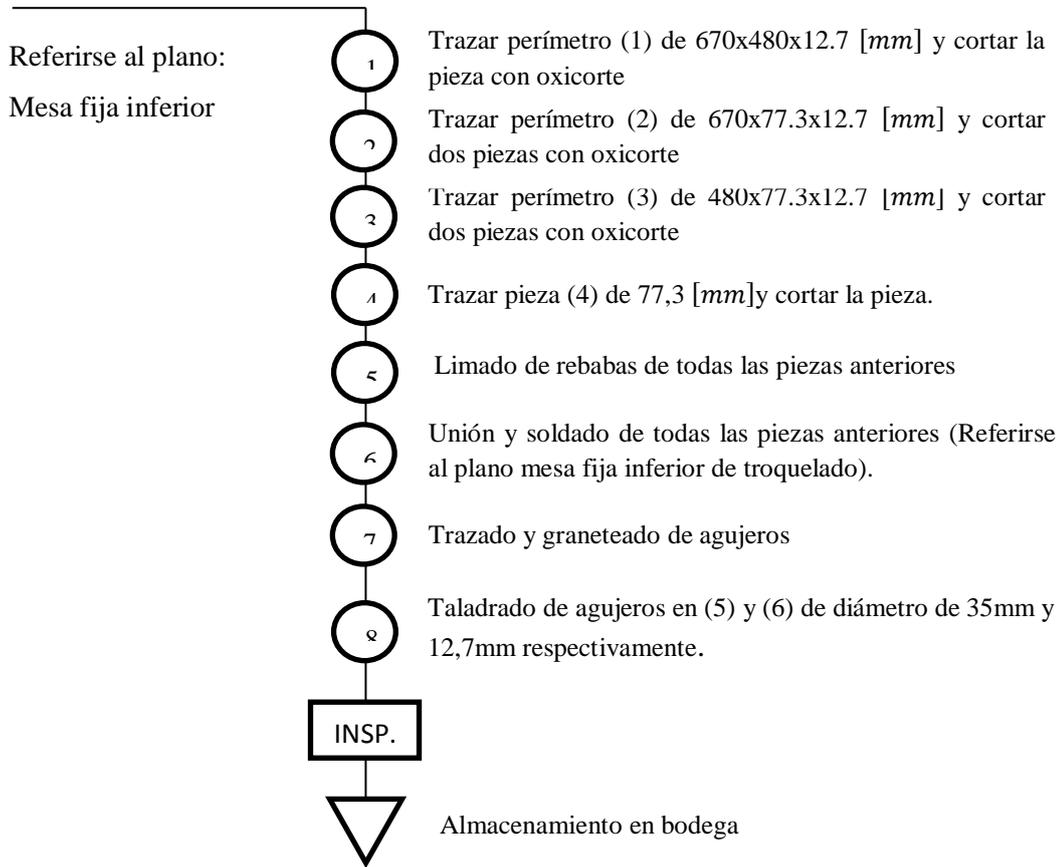
**c.5 Diagrama de proceso de la mesa fija superior**

**Acero ASTM A-36**



**c.6 Diagrama de proceso de la mesa fija inferior**

**Acero ASTM A-36**



#### **d. Diagramas del sistema de transporte**

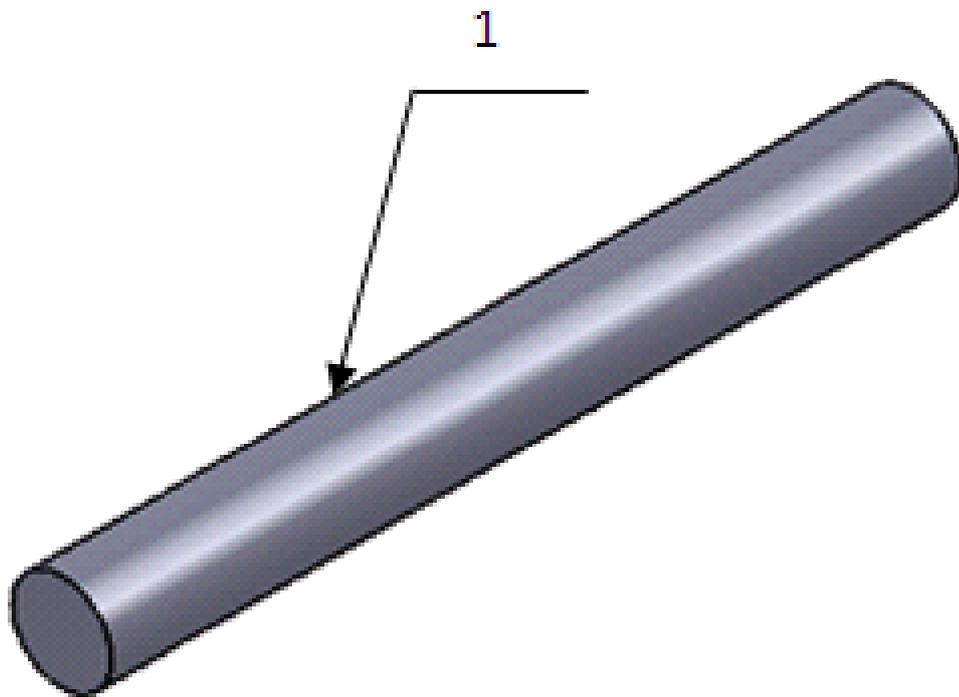
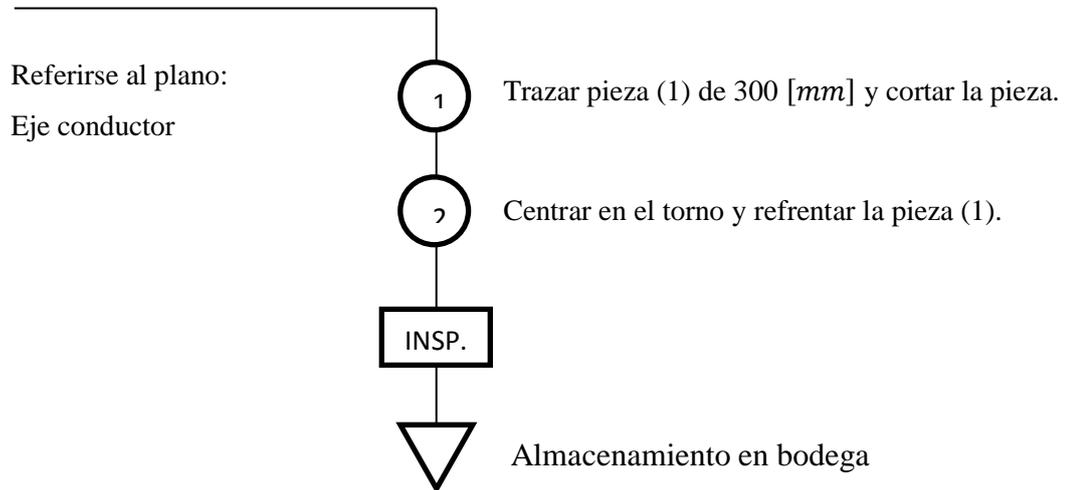
En la Tabla 4.5 se muestra el listado de los elementos constitutivos del sistema de transporte.

Tabla 4. 5. Elementos constitutivos del sistema de transporte.

<b>Cantidad</b>	<b>Elementos del sistema de troquelado</b>	<b>Material</b>
<b>1</b>	Eje conductor	Acero SAE 1018
<b>1</b>	Eje conducido principal	Acero SAE 1018
<b>1</b>	Eje uno de rueda dentada	Acero SAE 1018
<b>1</b>	Eje del rollo de plástico	Acero SAE 1018
<b>1</b>	Eje tensor	Acero SAE 1018
<b>1</b>	Eje fijo	Acero SAE 1018
<b>1</b>	Placa final de transporte	Acero ASTM A-36
<b>1</b>	Placa fija de inicio de transporte	Acero ASTM A-36
<b>1</b>	Placa de sujeción de chumaceras	Acero ASTM A-36
<b>1</b>	Placa tensor	Acero ASTM A-36

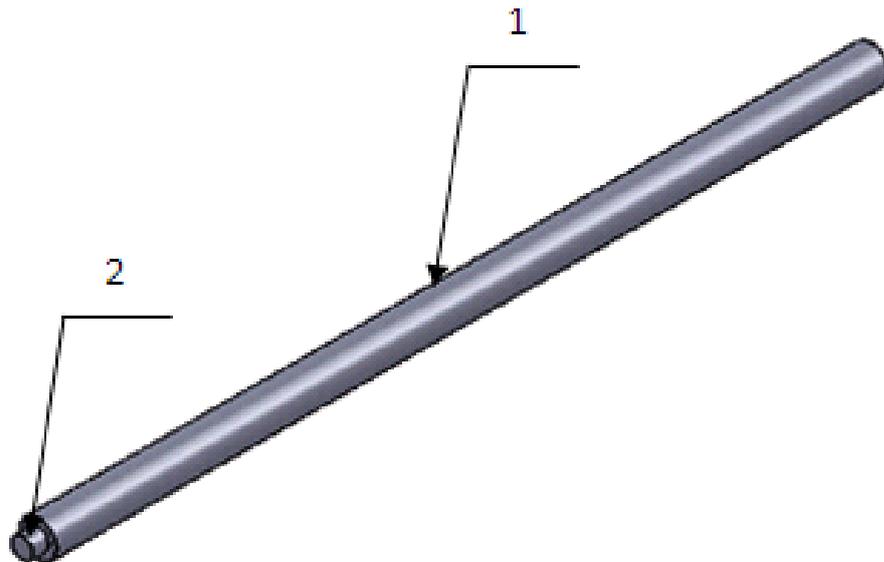
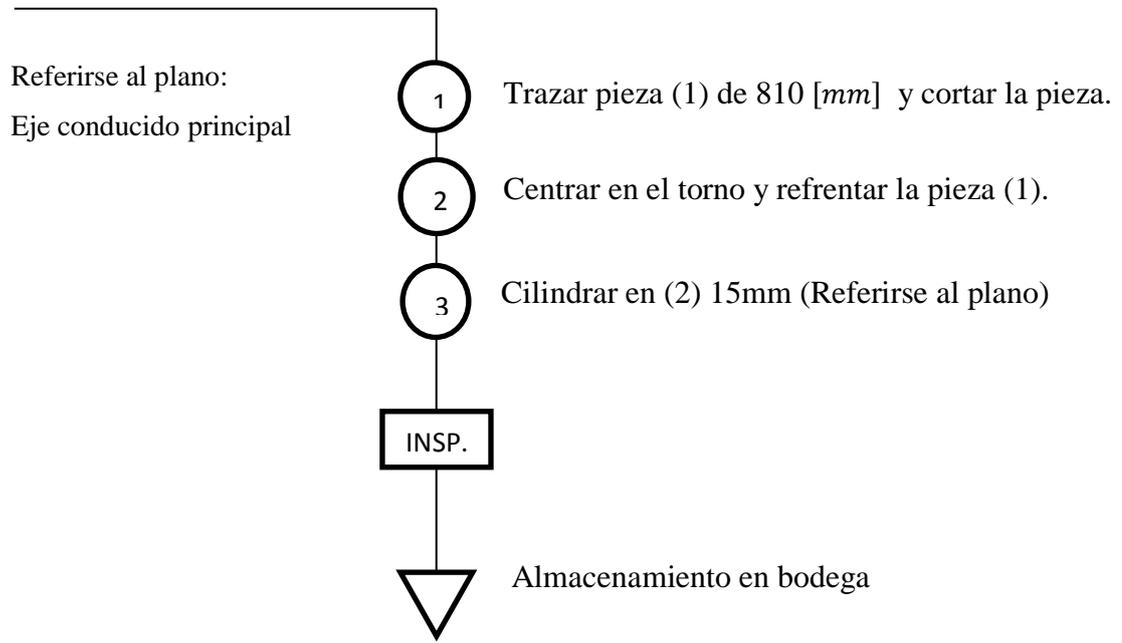
*d.1 Diagrama de proceso de eje conductor*

**Acero ASTM A-36**



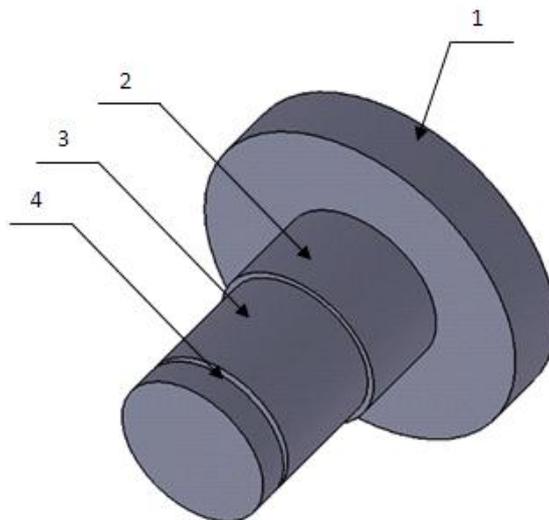
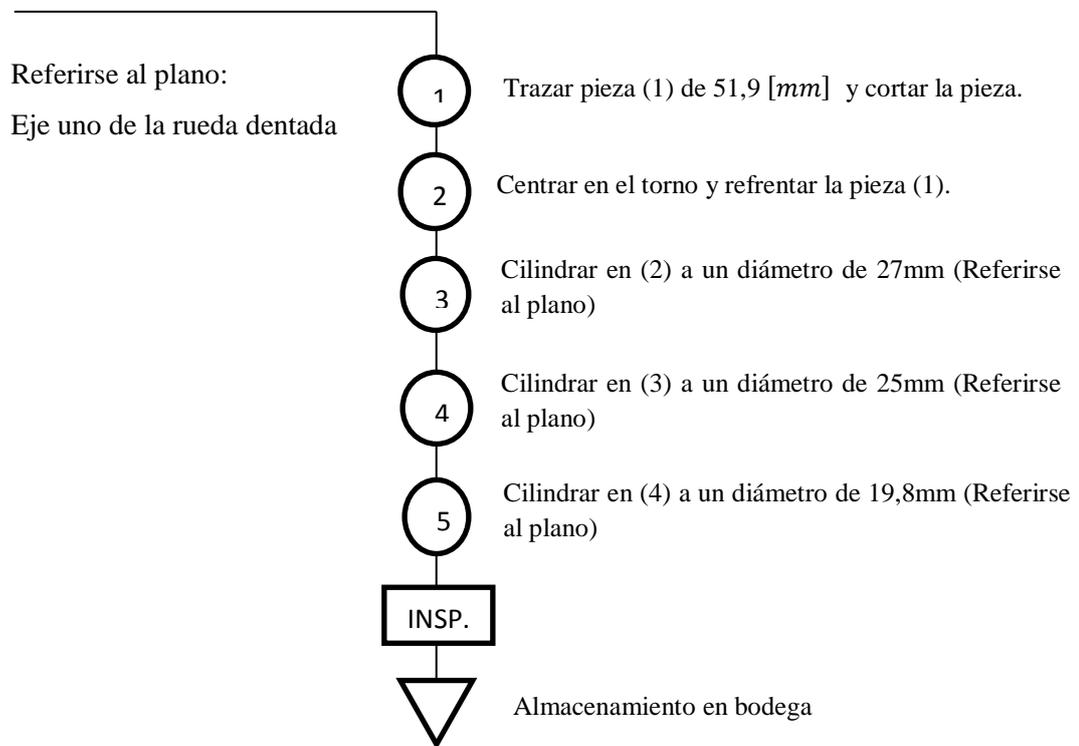
*d.2 Diagrama de proceso de eje conducido principal*

**Acero SAE 1018**



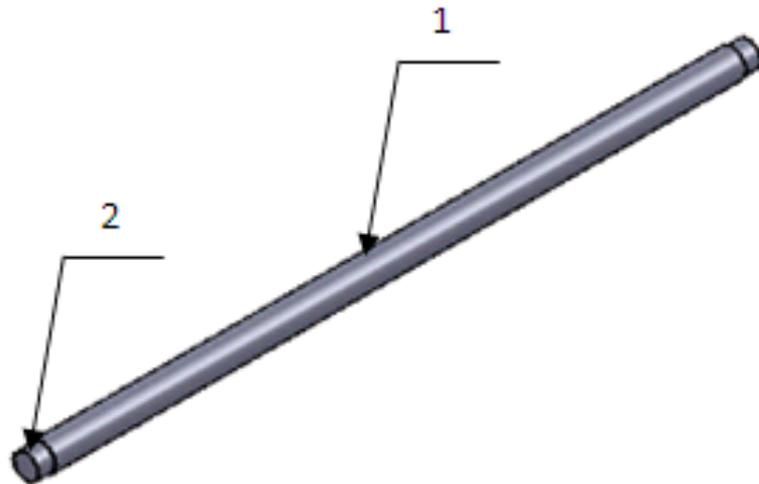
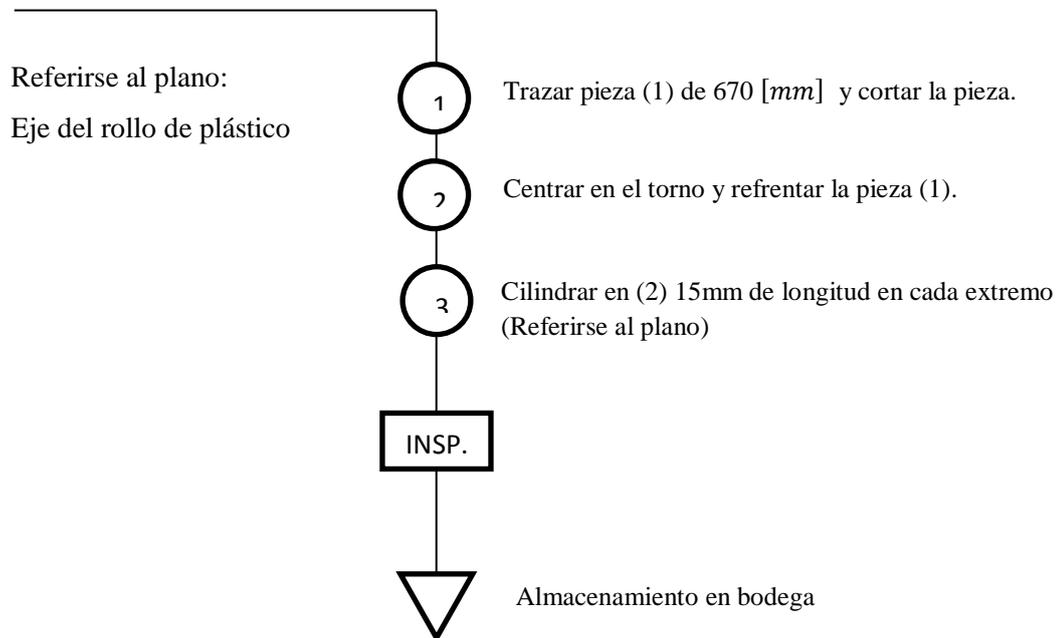
### d.3. Diagrama de proceso de eje uno de rueda dentada

Acero SAE 1018



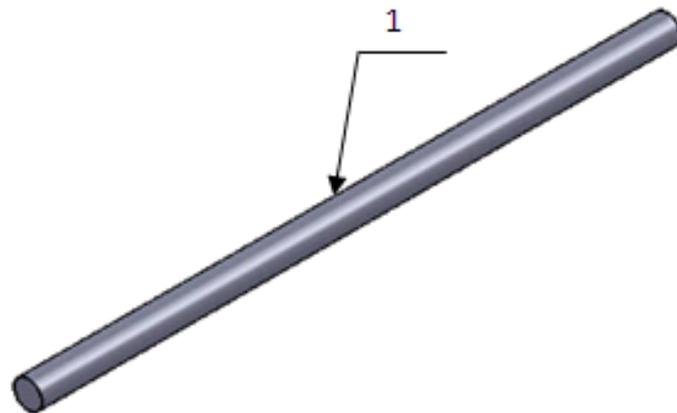
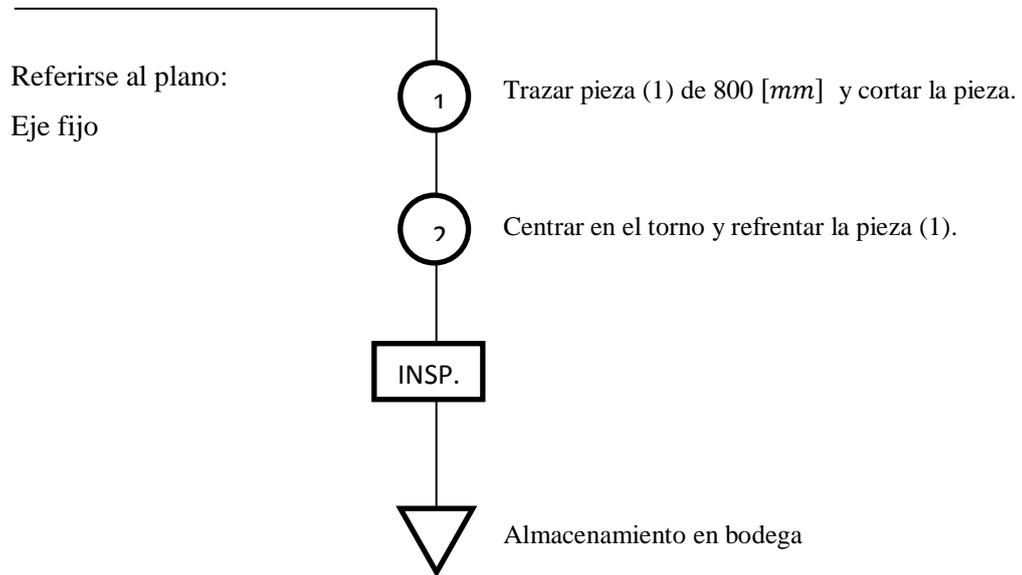
#### *d.4 Diagrama de proceso de eje del rollo de plástico*

**Acero SAE 1018**



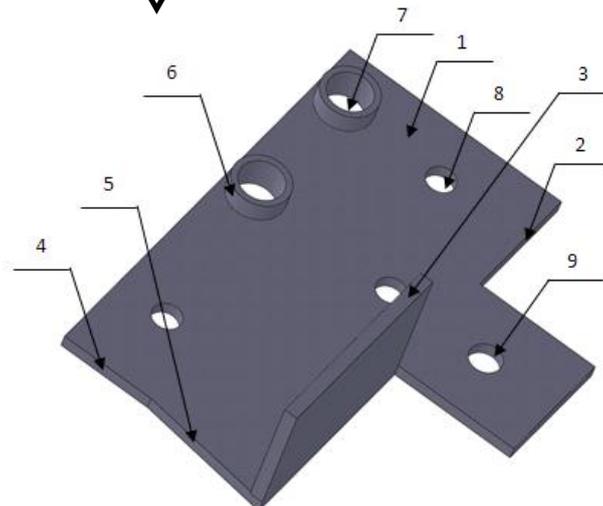
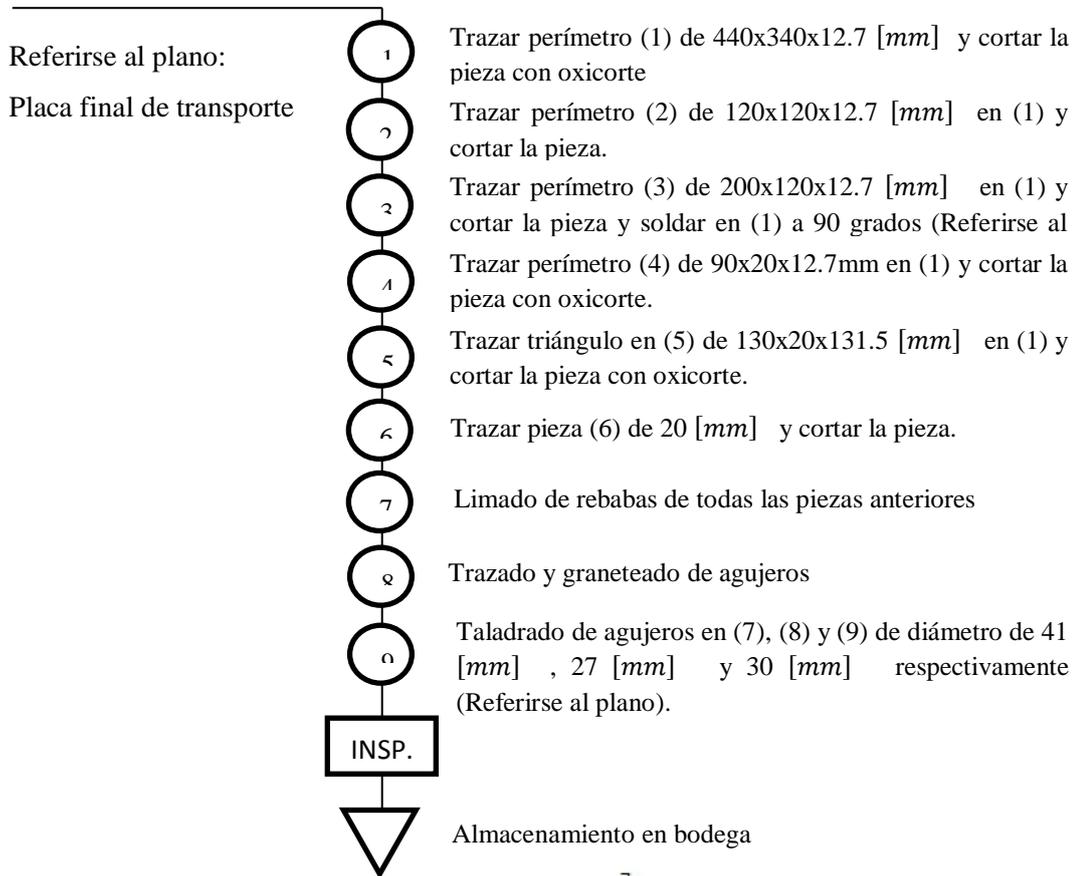
*d.5 Diagrama de proceso de eje fijo*

**Acero SAE 1018**



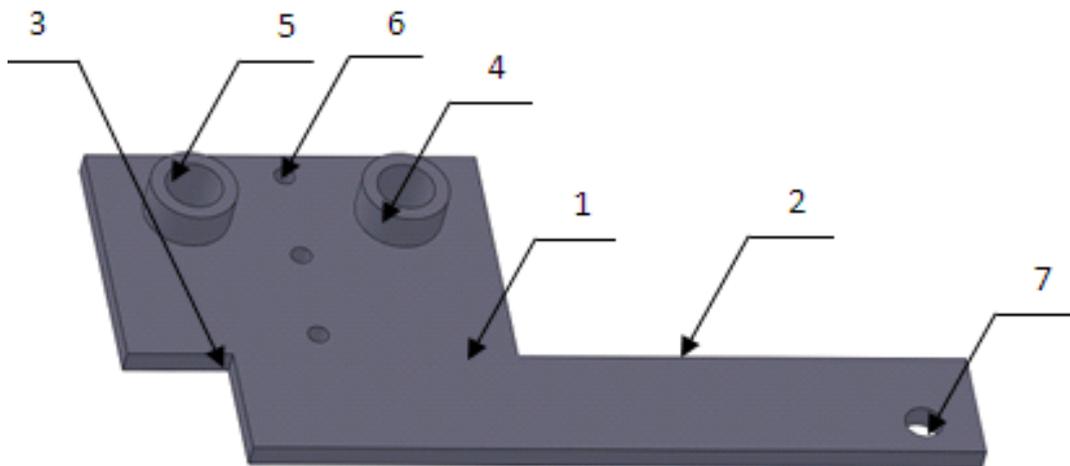
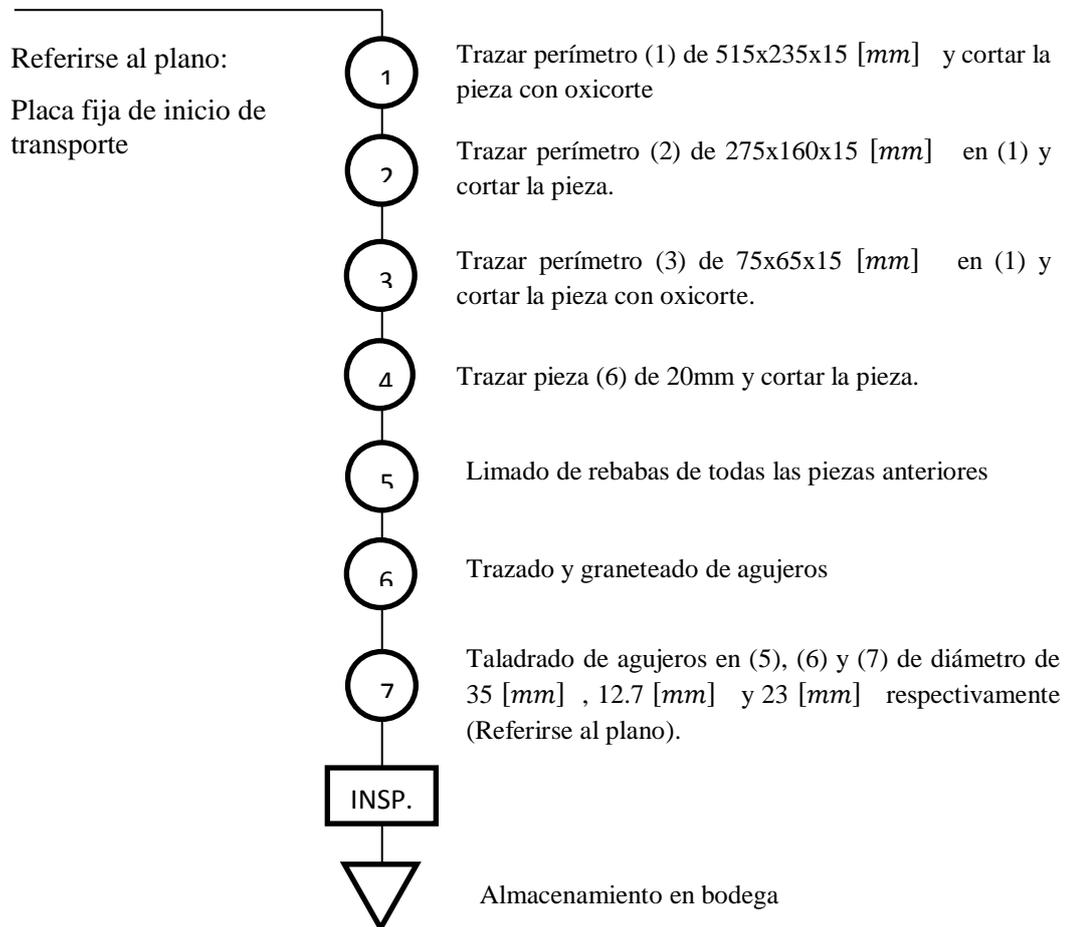
### d.6 Diagrama de proceso placa final de transporte

#### Acero ASTM A-36



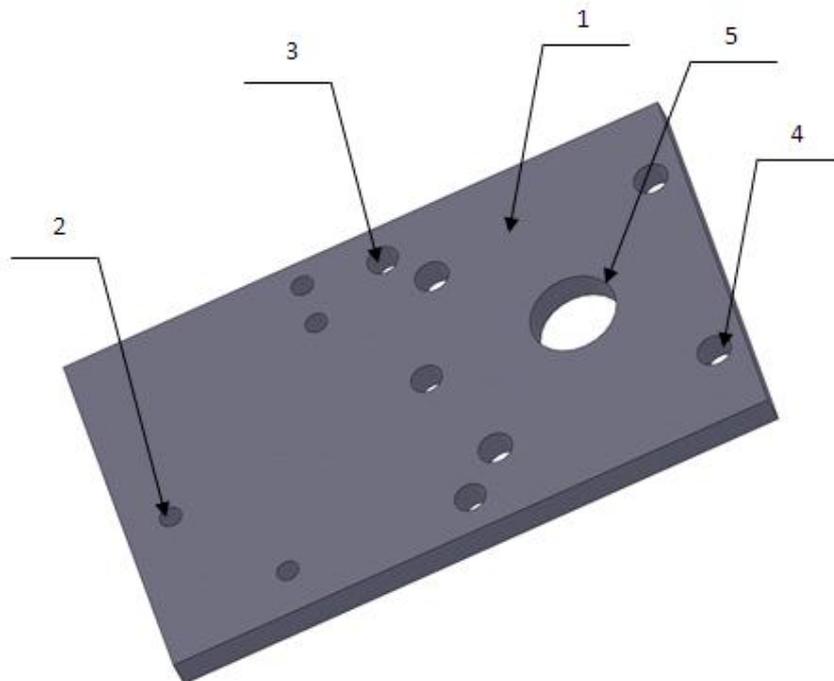
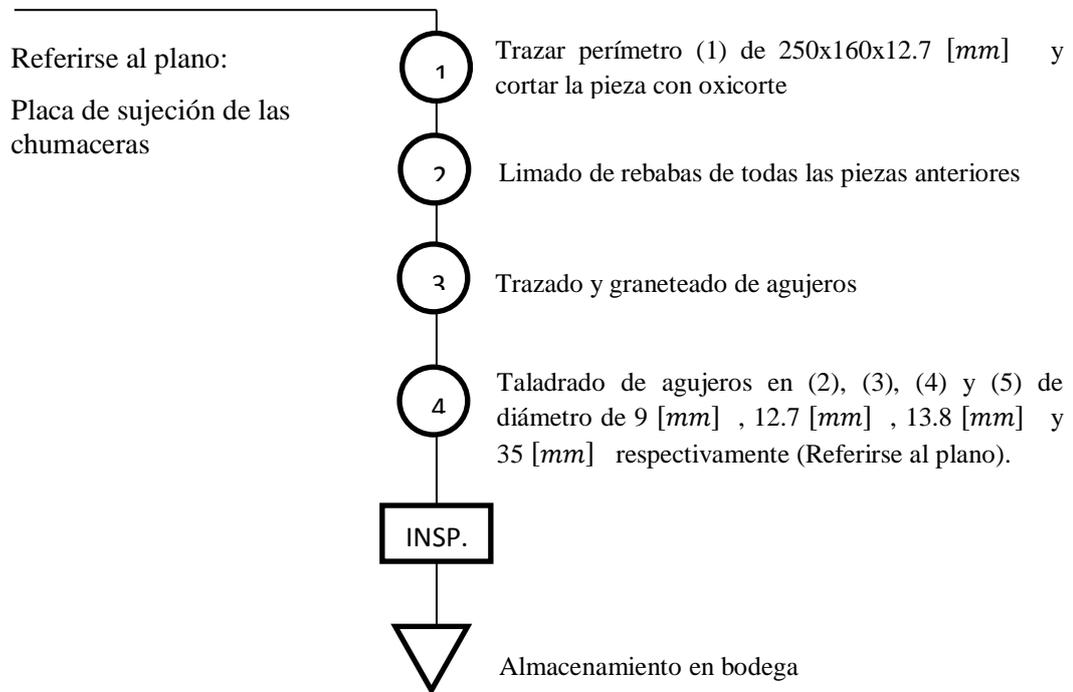
### d.7 Diagrama de proceso placa fija de inicio de transporte

Acero ASTM A-36



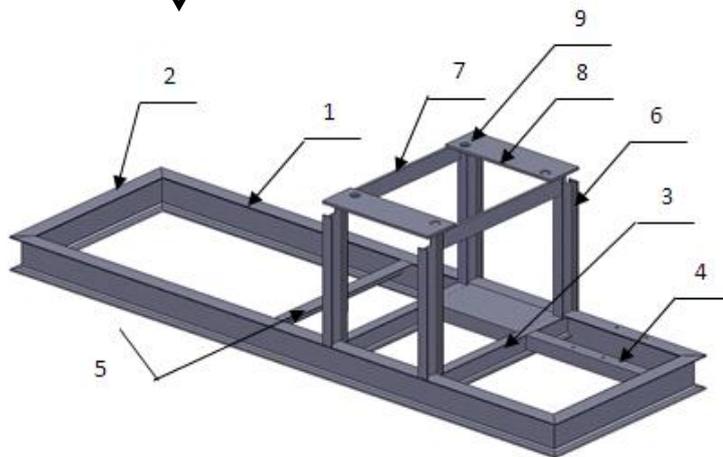
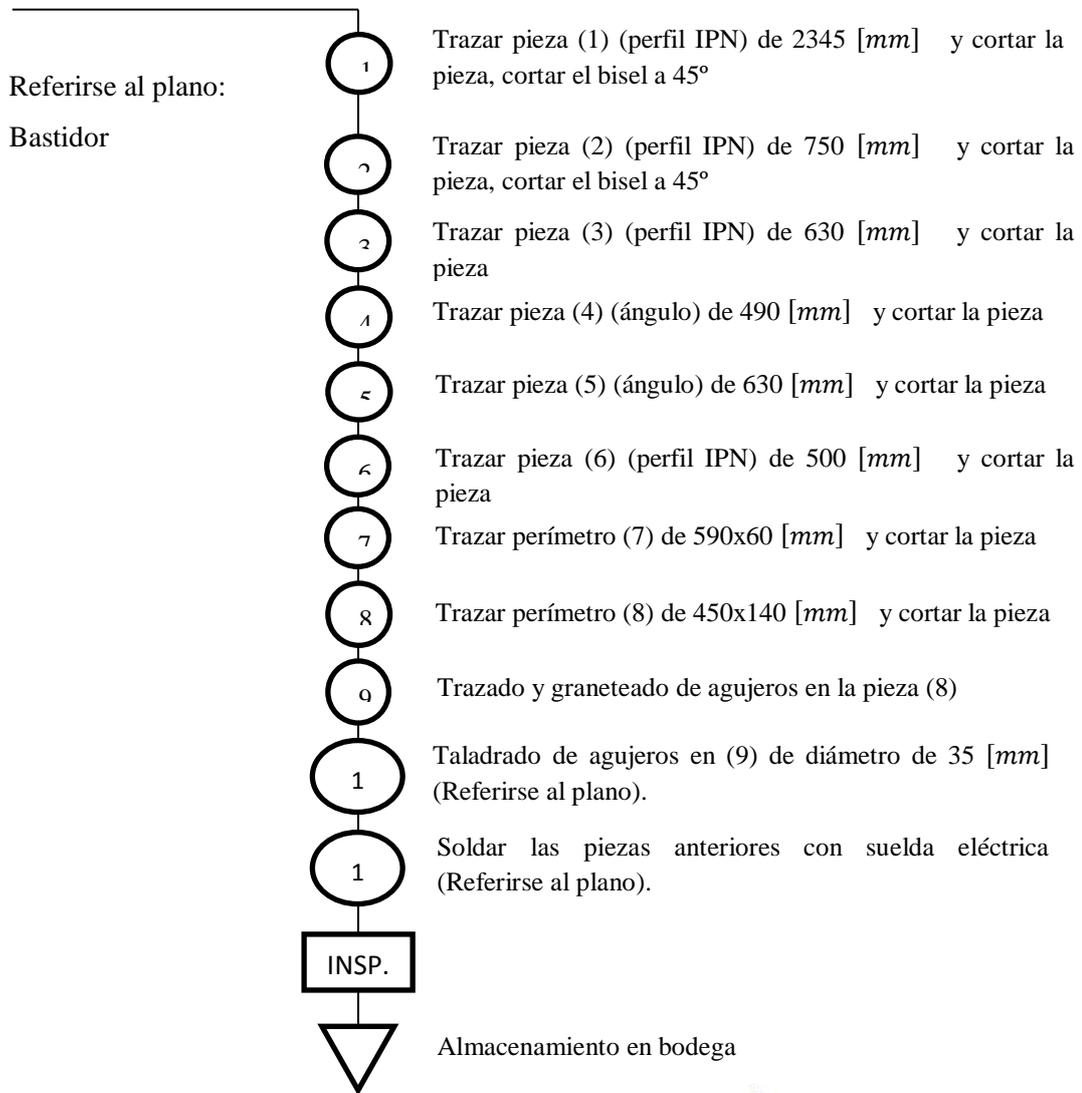
### d.8 Diagrama de proceso placa de sujeción de las chumaceras

Acero ASTM A-36

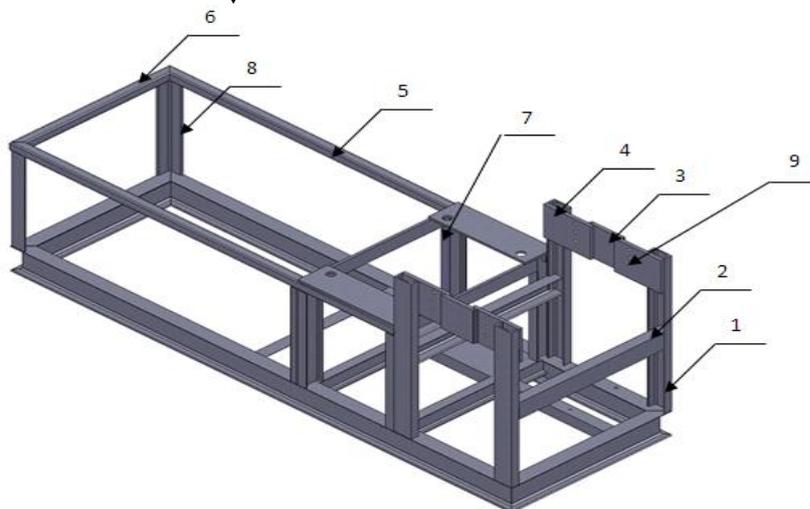
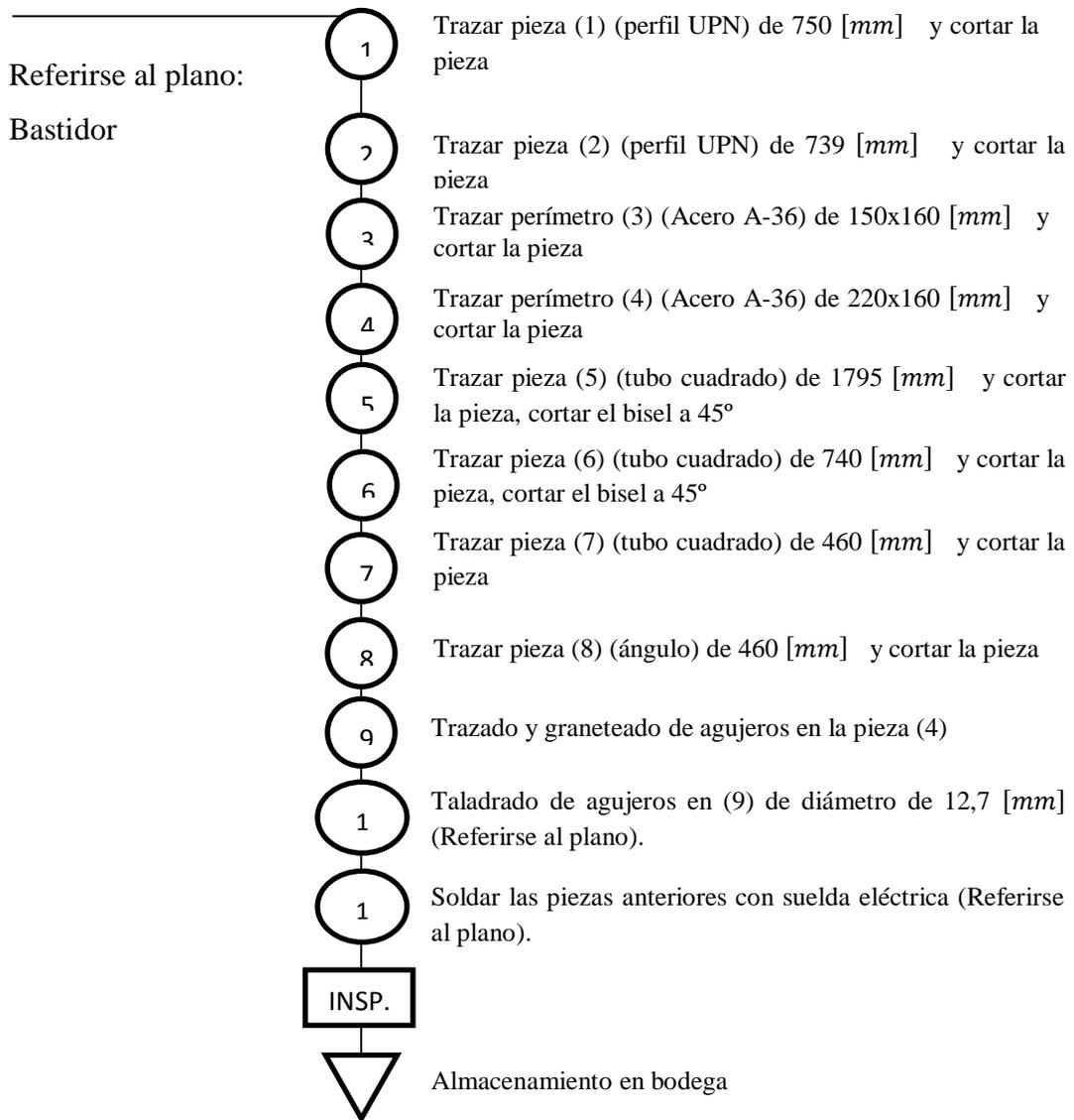


## e. Diagramas del bastidor

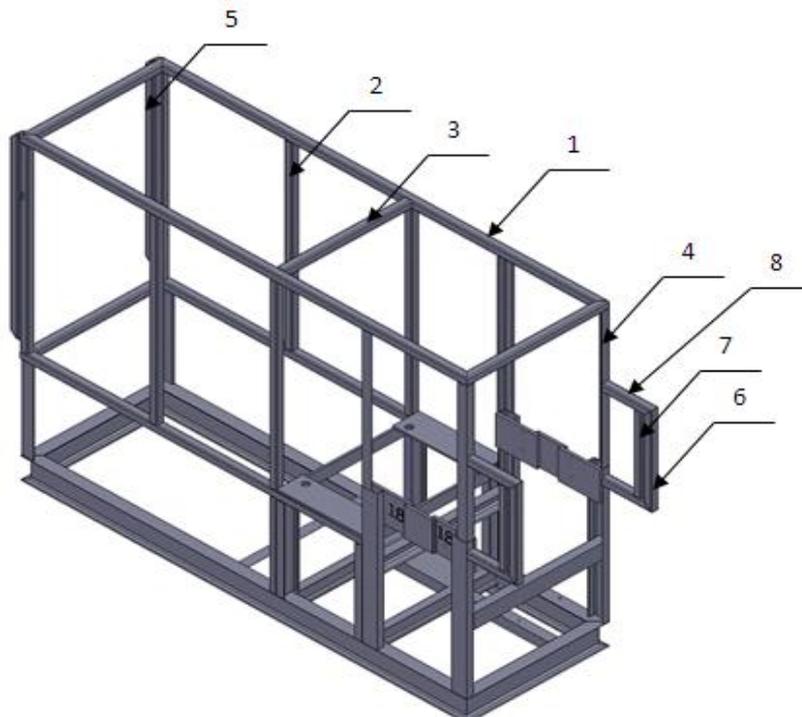
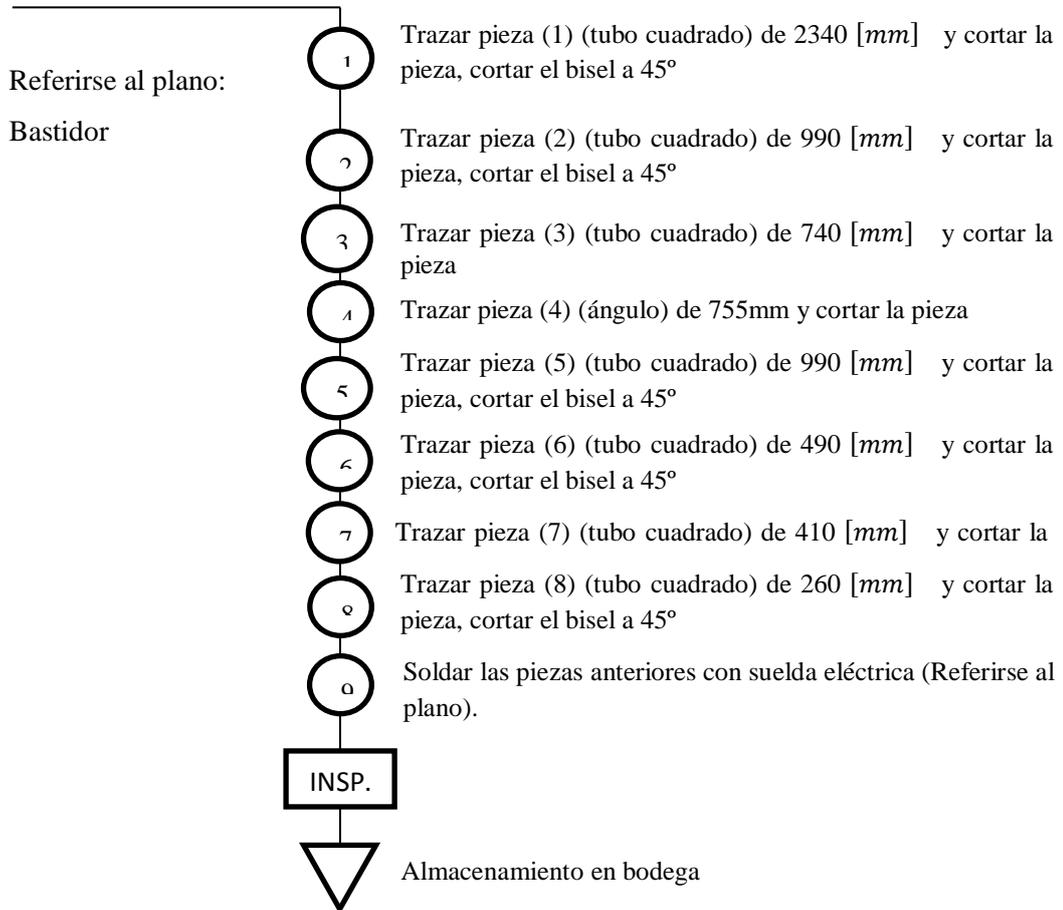
### e.1 Diagrama de proceso del bastidor (estación de formado)



**e.2 Diagrama de proceso del bastidor (estación de corte)**



**e.3 Diagrama de proceso del bastidor (vigas transversales y longitudinales)**



## **4.2 MONTAJE MECÁNICO DE LA MÁQUINA**

Una vez construidas las partes mecánicas se procedió al ensamblaje de la máquina.

### **4.2.1 Montaje del sistema de calefacción**

Se coloca las resistencias calefactoras en la placa de acero inoxidable mediante vinchas de sujeción, esta placa se introduce en las paredes laterales del horno de calentamiento y son recubiertas por lana de vidrio.

El sistema de calefacción se une al bastidor con la tornillería adecuada para su sujeción. (Figura 4.1)

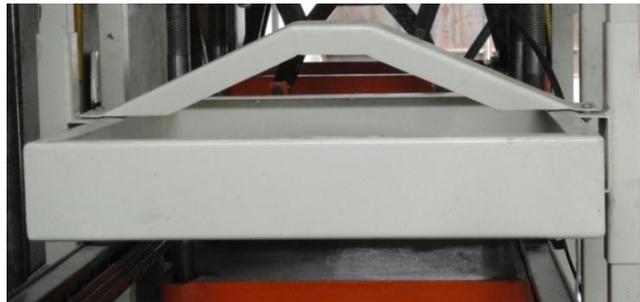


Figura 4. 1. Montaje del sistema de calefacción

### **4.2.2 Montaje del sistema de formado**

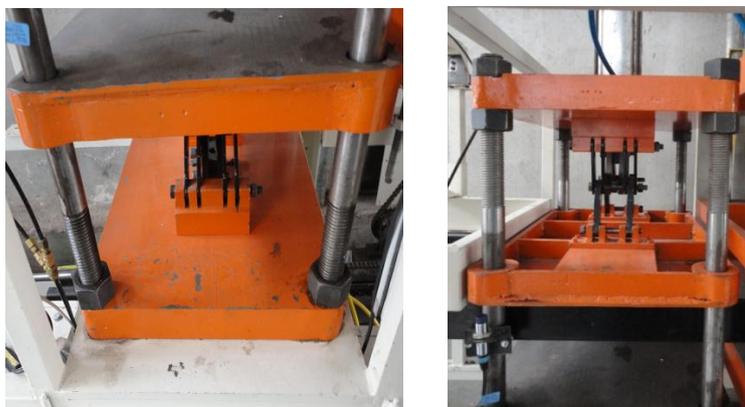


Figura 4. 2. Montaje del sistema de formado

Colocar sobre el bastidor las bases que dan el debido soporte al sistema de formado. Seguidamente instalar las columnas asegurándolas a dichas bases mediante tuercas de sujeción, para proceder con el montaje de las mesas fijas y móviles. Sobre las mesas se procede a acoplar los pasadores y eslabones para formar los mecanismos de palancas articuladas. (Figura 4.2)

#### **4.2.3 Montaje del sistema de corte**

El montaje del sistema de corte se realiza mediante el procediendo descrito para el montaje del sistema de formado, puesto que su estructura y mecanismo son similares.



Figura 4. 3: Montaje del sistema de corte

#### **4.2.4 Montaje del sistema de transporte**

##### **a. Montaje de ejes**

Introducir las chumaceras en los dos extremos del eje, verificar la distancia entre las mismas para obtener una alineación adecuada con la cadena y proporcionar ajuste entre estos elementos mediante los prisioneros que poseen las chumaceras, dicha maniobra se realiza con una llave hexagonal. (Figura 4.4)

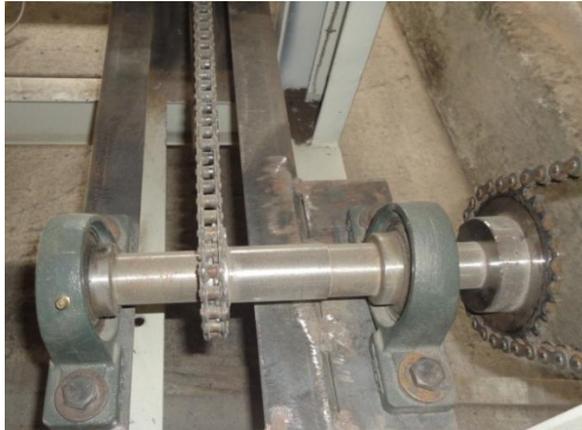


Figura 4. 4: Montaje de ejes.

**b. Montaje de las ruedas dentadas y cadena de tracción**

Realizar el montaje de las bases que sujetaran las ruedas dentadas sobre el bastidor. Posicionar las ruedas dentadas en el lugar correspondiente comprobando las distancias entre las mismas para lograr una correcta movilidad y ajuste entre dichos elementos y la cadena de tracción. Seguidamente se coloca la cadena teniendo en cuenta la tensión de la misma para evitar posibles rupturas de las mismas. (Figura 4.5)



Figura 4. 5: Montaje de las ruedas dentadas y cadena de tracción.

### **4.3 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.

### **4.3.1 Circuito de fuerza y control**

#### **a. Diseño del circuito de fuerza**

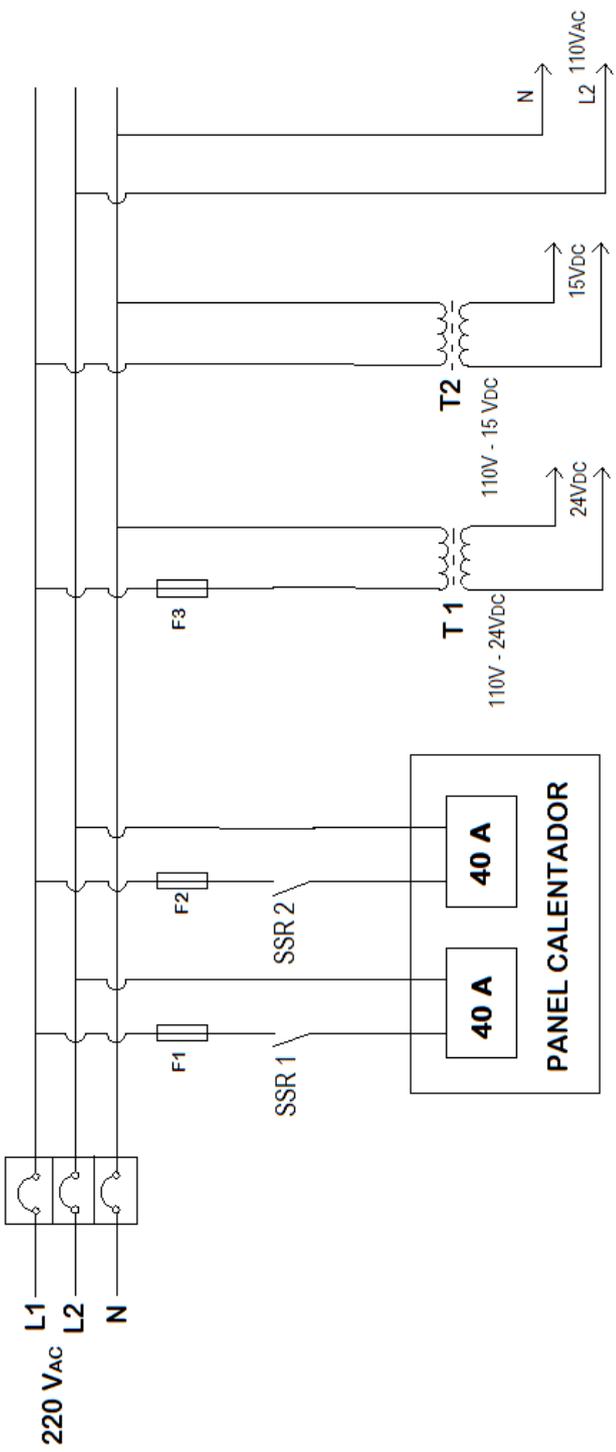


Figura 4. 6: Circuito de fuerza.

**b. Diseño del circuito de control**

En la figura 4.7 se presenta el circuito de entradas para el PLC como son:

- Entradas digitales: tres sensores inductivos, un final de carrera, dos selectores y dos pulsadores.
- Entradas análogas: un sensor de temperatura.

Todos estos conectados hacia la línea de 24VDC.

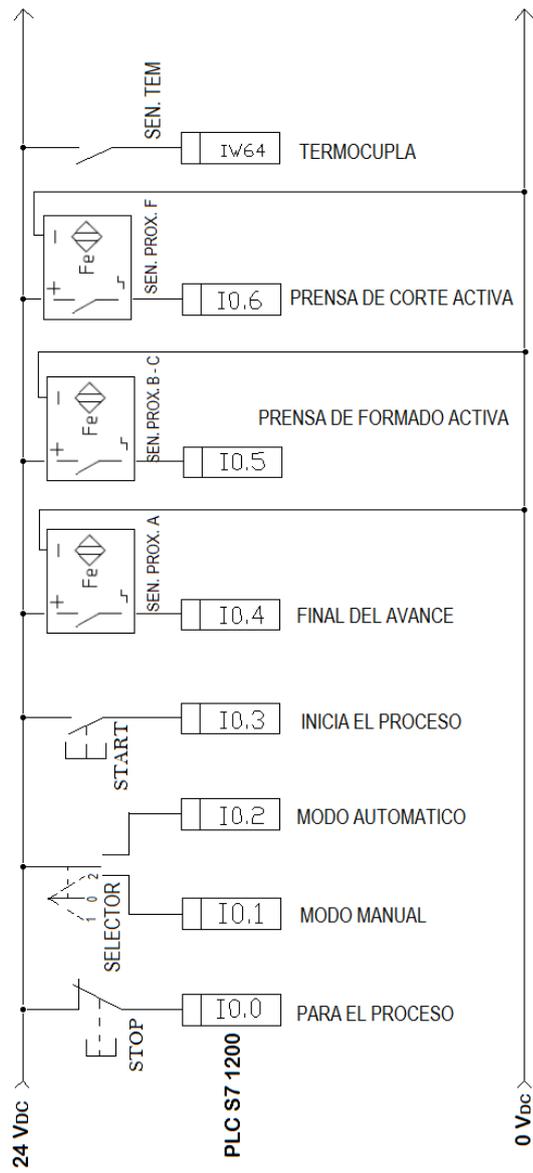


Figura 4. 7: Entradas digitales y análogas al PLC.

En la figura 4.8 se muestra las conexiones para las salidas del PLC, como son:

- Salidas digitales: 6 relés para las electroválvulas, 1 relé para la luz piloto de emergencia.
- Salidas PWM: 2 relés de estado sólido para los calentadores eléctricos.

Todos estos conectados hacia la línea de 24VDC.

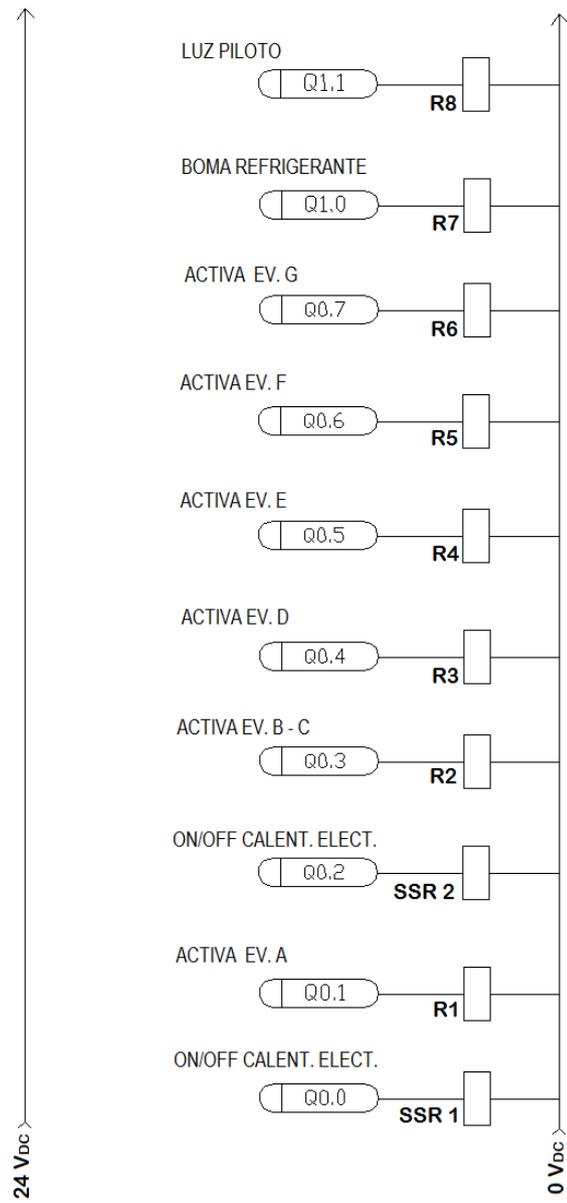


Figura 4. 8: Salidas digitales y PWM del PLC.

### 4.3.2 Diagrama de flujo

En la figura 4.9 se muestra el diagrama de flujo principal del sistema de control diseñado para la máquina Termoformadora. Se puede ver que el programa principal y en si todo el control de la máquina puede ser comandado desde la interfaz HMI conectada al PLC, inicialmente se presenta una pantalla la misma que permite que el operario seleccione una de las opciones. En todo momento si el operario así lo desea puede retornar hacia la pantalla anterior o a la pantalla inicial.

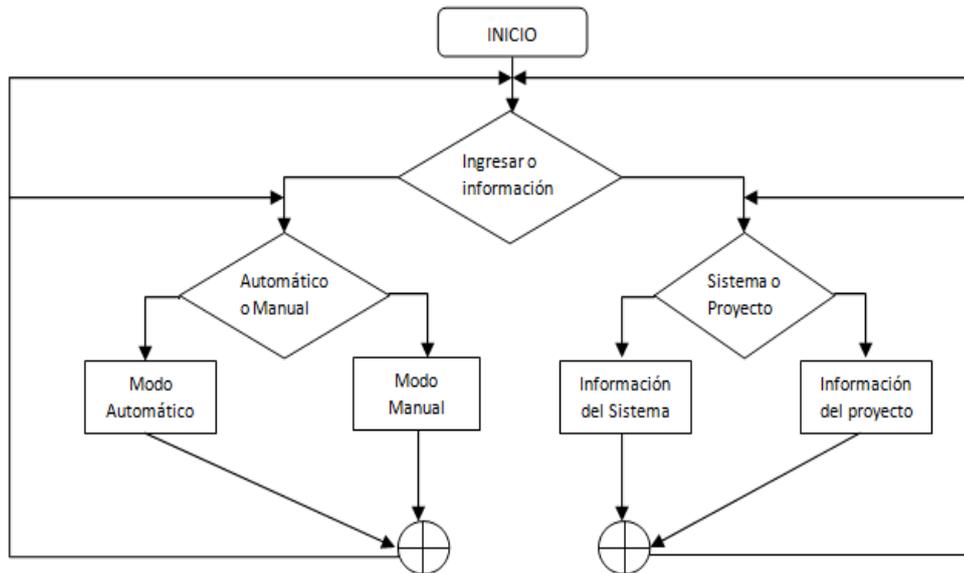


Figura 4. 9: Diagrama de flujo principal.

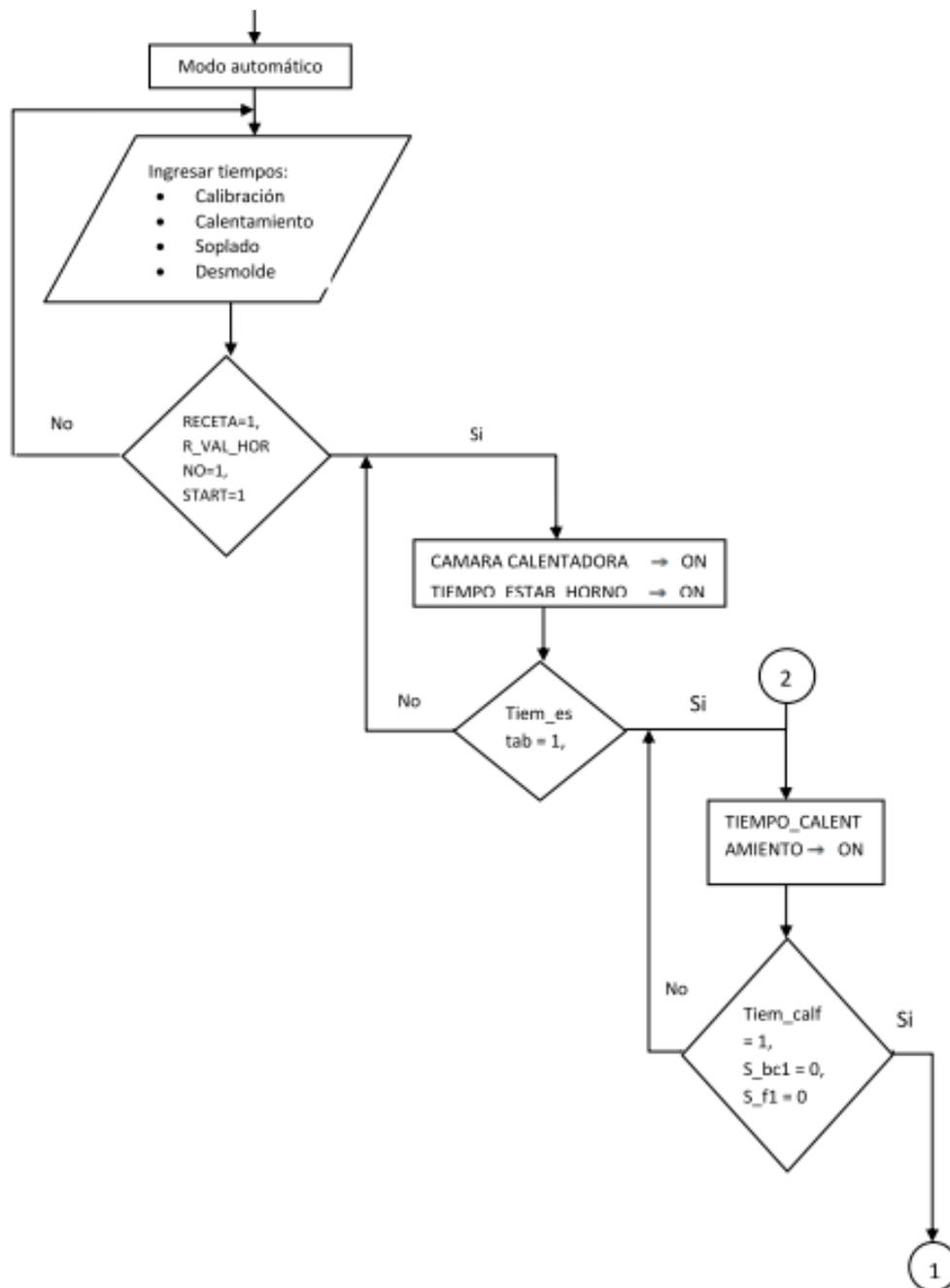
En la figura 4.10 se muestra el diagrama de flujo cuando se ha seleccionado el modo automático.

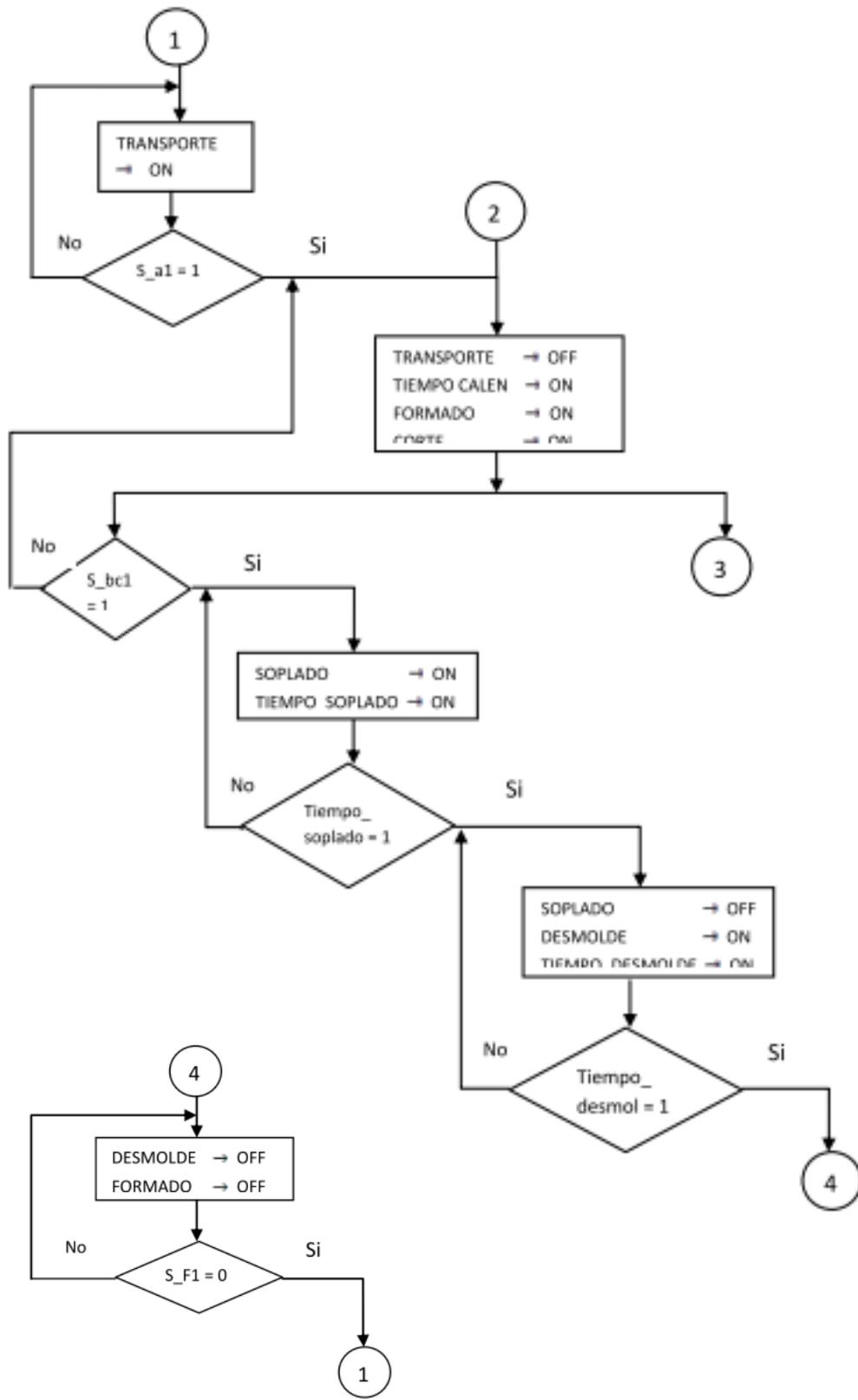
### 4.3.3 Desarrollo del programa para el sistema de control

El programa que controla la máquina Termoformadora se lo ha realizado en el software Step 7 Basic que integra el paquete TIA, en el cual tomando todas las condiciones establecidas para el funcionamiento se ha desarrollado la lógica de control.

Una solución de automatización típica abarca los siguientes procesos:

- El PLC controla la máquina con ayuda de un programa de usuario.
- El usuario controla y visualiza el proceso mediante el dispositivo HMI





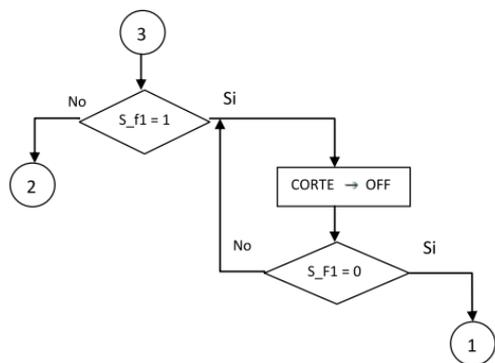


Figura 4. 10: Diagrama de flujo modo automático.

#### 4.3.4 Tabla de variables definidas en el PLC

La tabla de variables del PLC contiene la definición de las variables y constantes válidas para un controlador. Para cada controlador que se crea en el proyecto se genera automáticamente una tabla de variables PLC.

Las tablas 4.6 y 4.7 ofrecen un resumen de todas las variables definidas de entrada y salida respectivamente.

Tabla 4. 6: Variables de entrada.

Nombre	Tipo de Dato	Dirección	Función
Sensor_temp	Word	IW66	Sensor de temperatura para vigilar la temperatura de la cámara de calefacción.
STOP	Bool	%I0.0	Detiene el proceso
MANUAL	Bool	%I0.1	Modo Manual
AUTOMÁTICO	Bool	%I0.2	Modo Automático
START	Bool	%I0.3	Inicia el proceso
sensor_posicion_a1	Bool	%I0.4	Final de carrera del cilindro A (transporte del plástico)
sensor_posicion_bc1	Bool	%I0.5	Final de carrera de los cilindros B y C (Prensa para formado)
sensor_posicion_f1	Bool	%I0.6	Final de carrera del cilindro F (Prensa para troquelado)
sensor_posicion_g1	Bool	%I0.7	Final de carrera del cilindro G (Subir y bajar el panel calentador)

Tabla 4. 7: Variables de salida.

Nombre	Tipo de Dato	Dirección	Función
RESISTENCIAS_TERMICAS_1	Bool	%Q0.0	Salida PWM para controlar la temperatura de las niquelinas.
RESISTENCIAS_TERMICAS_2	Bool	%Q0.2	Salida PWM para controlar la temperatura de las niquelinas.
SSR_VAL_A	Bool	%Q0.1	Relé para electroválvula del cilindro A
SSR_VAL_BC	Bool	%Q0.3	Relé para electroválvula del cilindro B y C
SSR_VAL_D	Bool	%Q0.4	Relé para electroválvula del soplado
SSR_VAL_E	Bool	%Q0.5	Relé para electroválvula del desmolde
SSR_VAL_F	Bool	%Q0.6	Relé para electroválvula del cilindro F
SSR_VAL_G	Bool	%Q0.7	Relé para electroválvula del cilindro G

#### 4.3.5 Programación principal

Las líneas de programación para el modo automático y manual se observan en el Anexo-M.

#### 4.3.6 Control de temperatura

El transductor utilizado en la cámara de calefacción es el termopar o termocupla Tipo K, el cual es un dispositivo ampliamente utilizado en la industria debido a su robustez, bajo precio y que puede operar en un rango de temperaturas muy amplio. Tales características hacen de la termocupla el sensor ideal para esta aplicación, puesto que la temperatura de las resistencias eléctricas calefactoras puede superar los 180°C que la máquina se encuentra en un ambiente industrial.

Una desventaja de este sensor son las temperaturas parásitas (puntos fríos) que se crean cuando los cables del termopar entran en contacto con los terminales,

generalmente de cobre, de un sistema de adquisición de datos. Por dicho motivo se debe realizar una etapa de acondicionamiento.

Además se desea mantener estable la temperatura a 180°C de la cámara calefactora, para dicho efecto se decide emplear un controlador PID.

En la figura 4.11, se muestra un diagrama simplificado del lazo de regulación de temperatura.

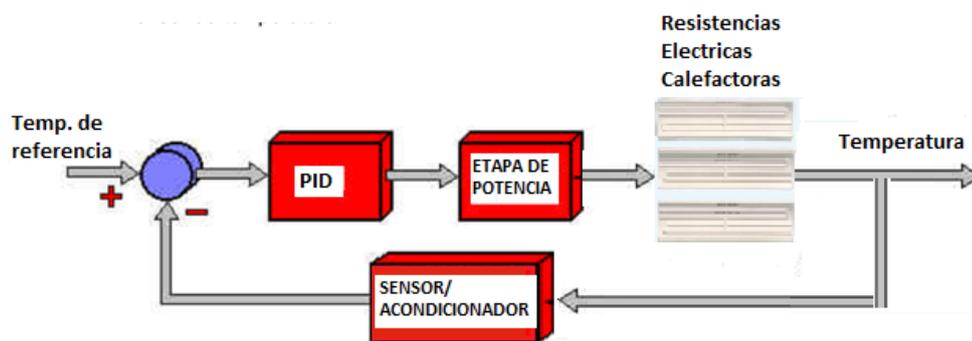


Figura 4. 11: Sistema de control de temperatura.

Un lazo de regulación se compone de un proceso regulado, el regulador, el elemento de medición (sensor) y un elemento de control final:

- En este proyecto se utiliza como regulador la regulación PID SIMATIC S7-1200.
- El elemento de medición es un sensor que mide la temperatura en el interior de la cámara de calefacción.
- El elemento de control final es el elemento calefactor que es activado directamente por el controlador.

#### a. Etapa de acondicionamiento

Existen módulos especiales de entradas análogas, compatibles con el PLC que se utiliza en el proyecto, que acondicionan las señales de la termocupla y pueden detectar los pequeños cambios de voltaje de este sensor. Siendo esta una opción que implica un costo muy elevado para la empresa.

Debido al costo elevado que representa un sistema de acondicionamiento basado en módulos de PLC para termocupla, se implementó una etapa de acondicionamiento de señales que permite utilizar los módulos de entradas análogas estándares (0-10 voltios) de la CPU, para lo cual se amplificó la señal de la termocupla antes de que ingrese al módulo.

En el diseño del acondicionamiento se utiliza el amplificador AD595AQ para termocupla Tipo K, el cual además de ser un amplificador de instrumentación elimina de la medición el error introducido por temperaturas parásitas.

La figura 4.12 muestra la placa del circuito empleado para acondicionar la señal del termopar tipo K, mediante la utilización del amplificador AD595AQ. A la entrada del circuito se tiene una señal de voltaje de aproximadamente  $41\mu V/^{\circ}C$  proveniente del termopar y a la salida se obtiene un voltaje igual a  $10mV/^{\circ}C$  con un error de  $\pm 3^{\circ}C$ .

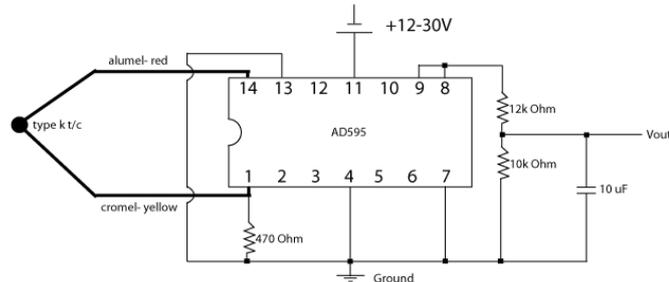


Figura 4. 12: Circuito de conexión del CI. AD595.

## b. Etapa de potencia

Para reducir el consumo promedio de potencia de la carga en un sistema de corriente alterna, además de los circuitos de control de fase, también se puede utilizar el control de paquetes de oscilaciones.

### *b.1 Control de paquetes de oscilaciones (control de onda completa)*

Aquí, durante el tiempo normal de operación de la carga conectada, continuamente se conmuta al estado “encendido” y “apagado” a un interruptor electrónico de tensión cero. La duración del encendido y los intervalos pueden

variarse de forma que, en el caso ideal, la potencia promedio absorbida por la carga se puede graduar desde 0% hasta 100%.

El control de paquetes de oscilación frecuentemente se utiliza en el control sin contacto de calefactores. Se ofrecen las siguientes ventajas:<sup>33</sup>

- Baja interferencia de radio frecuencia, gracias a la utilización de un interruptor de tensión cero.
- Factor de potencia  $\cos \varphi = 1$ , porque la potencia reactiva que en otro caso podría ocurrir cuando se utiliza control de fase ya no es aplicable.
- Casi no hay armónicos que carguen al sistema, debido a que la corriente de carga en estado de encendido del interruptor es prácticamente sinusoidal.

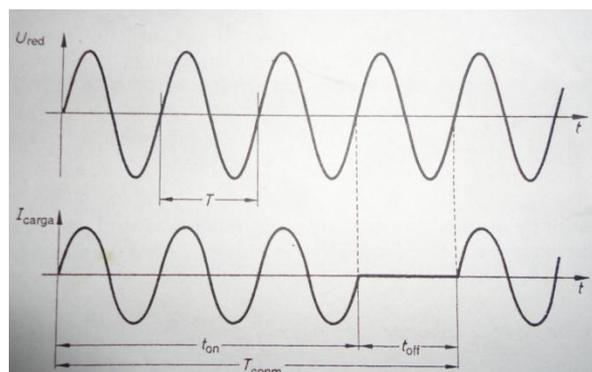


Figura 4. 13: Principio básico de control de paquetes de oscilaciones.

Básicamente, un control de paquetes de oscilaciones se puede construir utilizando un interruptor de tensión cero disparado mediante un generador de onda rectangular con un periodo constante pero con una relación pulso/no-pulso variable dentro de amplios límites. La figura 4.13 muestra el principio básico.

Como resultado del control de paquetes de oscilaciones es posible determinar directamente, a partir de la relación  $t_{on}/T_{conm}$  el factor por el cual la potencia es menor que

$$P_{m\acute{a}x} \leq 100\%$$

<sup>33</sup> DZIEIA W., Electrónica de Potencia, 1999, Pág. 148.

$$P = \frac{t_{on}}{T_{conm}} \cdot P_{m\acute{a}x} \quad Ec. 4.1$$

En sistemas de regulación de temperatura, la duración del periodo de conmutación  $T_{conm}$  se gobierna por las constantes de tiempo térmicas de la instalación de calefacción controlada  $T_{conm}$  siempre debería ser algunos segundos, de forma que incluso con el tiempo de encendido  $t_{on}$  más corto, es decir, el menor consumo promedio de potencia la carga siempre permanezca conectada por algunos periodos. Por el contrario, incluso con el tiempo de apagado  $t_{off}$  más corto, es decir, el mayor consumo promedio de potencia, la carga debería permanecer desconectada unos pocos periodos.

Si el consumo promedio de potencia de una aplicación debe incrementarse desde  $P = 1\%$  hasta  $P = 99\%$  utilizando control de paquetes de oscilaciones, entonces con un periodo de  $T_{conm} = 4s \geq 240$  oscilaciones ( $f = 60$  Hz), el mínimo tiempo de encendido debe ser  $t_{on\ min} = 40$  ms y el máximo  $t_{on\ máx} = 3960$  ms. Por lo tanto, para el disparo del interruptor cero se requiere un generador de onda rectangular cuya duración de pulso o no-pulso es variable continuamente desde 40ms hasta 3960 ms pero cuyo periodo  $T_{conm} = 4s$  debe permanecer invariable.

### c. Regulación del PID

Una regulación es necesaria siempre que una magnitud física determinada, como la temperatura, presión o velocidad, deba tener un valor determinado en el proceso y dicho valor pueda cambiar debido a condiciones externas imprevisibles.

#### c.1 Utilización del regulador PID

El regulador PID se utiliza para alcanzar lo antes posible la temperatura deseada de 350°C y mantener la consigna lo más constante posible.

Puede producirse un rebase de la consigna porque el elemento calefactor sigue irradiando calor una vez desconectado. Este efecto se denomina sobre oscilación y

aparece cuando entre la regulación y la medición del valor real se produce un retardo.

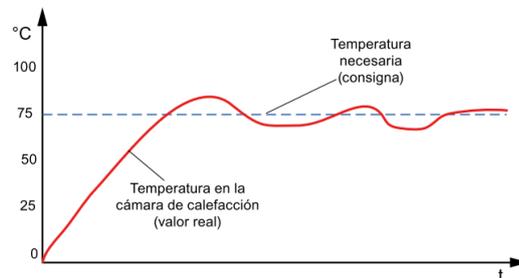


Figura 4. 14: Evolución de la curva de temperatura.

La figura 4.14 muestra la posible evolución de la curva de temperatura después de conectar la instalación por primera vez.

#### *Pasos a seguir*

Para crear un objeto tecnológico hay que llevar a cabo los pasos siguientes:

- Crear un bloque de organización de alarma cíclica [OB200] en el que se llamarán los bloques del regulador PID.
- Crear el objeto tecnológico "PID\_Compact".
- Configurar el objeto tecnológico "PID\_Compact":
- Cargar el programa de usuario y optimizar el regulador en la ventana de puesta en servicio del objeto tecnológico.
- Cargar parámetros PID en el proyecto y cargar al PLC

#### ***c.2 Optimización del regulador PID en modo online***

La optimización permite adaptar el regulador al proceso regulado.

- ***Autoajuste en el punto de operación***

El autoajuste en el punto de operación utiliza el método de oscilación (Figura 4.15) para optimizar los parámetros del regulador. Este procedimiento se utiliza para determinar el comportamiento del proceso regulado de forma indirecta. El

factor de ganancia se aumenta hasta que se alcanza el límite de estabilidad y la magnitud regulada oscila homogéneamente. Los parámetros del regulador se calculan a partir de la duración de la oscilación.

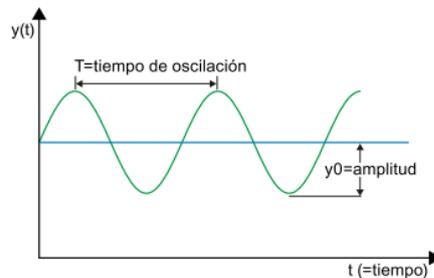


Figura 4. 15: Método de oscilación.

#### 4.3.7 Diseño de imágenes HMI en WINCC BASIC

El diseño de imágenes HMI se realiza en WinCC Basic instalado dentro del paquete TIA Portal. WinCC Basic permite crear imágenes para manejar y observar máquinas e instalaciones. Para crear imágenes se dispone de objetos predefinidos que permiten reproducir la instalación, visualizar los distintos procesos y preseleccionar valores de proceso. Las funciones del panel de operador determinan la representación del proyecto en HMI y el volumen de funciones de los objetos gráficos.

Para iniciar con la creación de una imagen HMI primero se debe agregar un dispositivo en la vista del árbol de proyecto y seleccionar el panel de operador correspondiente, en este caso la KTP 600 color figura 4.16.

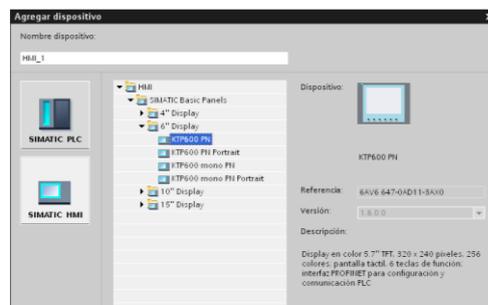


Figura 4. 16: Programación para el HMI.

Seguidamente se inicia el asistente de dispositivos, aquí se debe seleccionar la conexión con el PLC que se realizará el intercambio de datos como se observa en la figura 4.17.

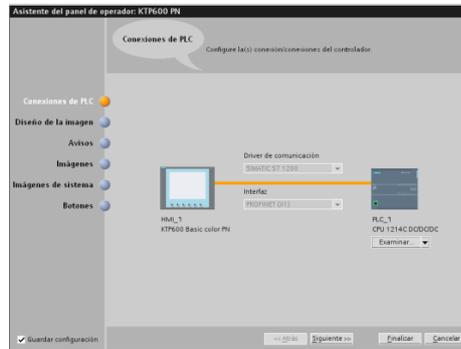


Figura 4. 17: Conexión del HMI con el PLC.

Realizada la conexión se inicia con el diseño de la plantilla y las imágenes. En el Anexo-N se detallan las imágenes o pantallas que se emplean en el HMI.

#### a. Crear y configurar objetos gráficos

Los objetos gráficos son todos los elementos que se utilizan para representar el proyecto en HMI. Entre ellos se incluyen, por ejemplo, textos, botones, diagramas o gráficos para representar unidades de proceso.

Los pasos siguientes muestran cómo crear el botón "AVANCE" y conectarlo con la variable PLC "AVANCE-MANUAL" a través de una variable HMI externa. De este modo es posible controlar los valores de proceso de la variable PLC desde la imagen HMI.

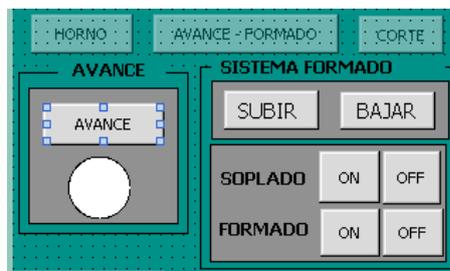


Figura 4. 18: Crear botón "AVANCE"

### Procedimiento

Para conectar el botón "AVANCE" con la variable PLC " AVANCE-MANUAL ", proceda del siguiente modo:

1. Crear un botón.
2. Rotular el botón con el texto "AVANCE".

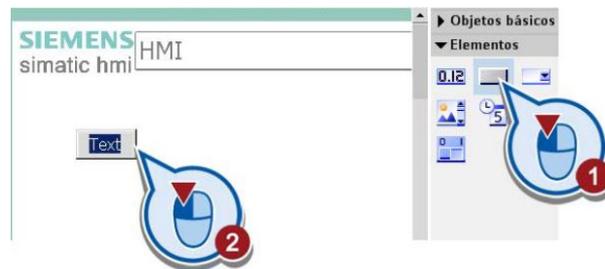


Figura 4. 19: Crear un botón.

3. Asigne la función "ActivarBitMientrasTeclaPulsada" al evento "Pulsar" del botón.

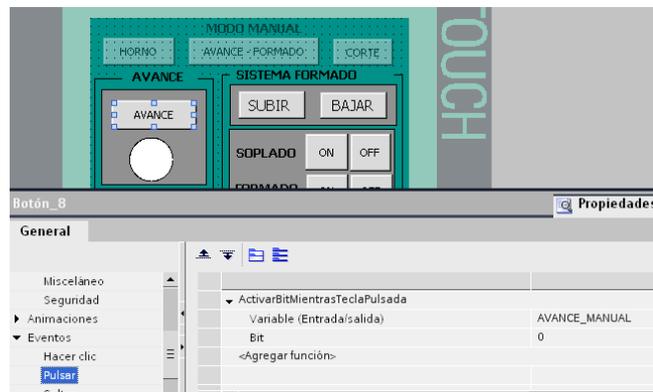


Figura 4. 20: Asignar función al evento "Pulsar".

4. Enlace la función " ActivarBitMientrasTeclaPulsada " con la variable PLC "AVANCE\_MANUAL"

### 4.3.8 Comunicación PC con el PLC

Una PG o PC se comunica con el PLC s7-1200 a través de la interfaz PROFINET que dispone este dispositivo, por medio del protocolo Ethernet. Esta es una de las grandes ventajas ya que se puede cargar un programa definido por el usuario con un cable Ethernet, el mismo que puede ser adquirido o fabricado.

Para el caso se ha utilizado un cable de par trenzado directo CAT5e. Al realizar la configuración del hardware se puede modificar la dirección IP que se asigna al PLC, por defecto se tiene 192.168.0.1 con máscara de subred 255.255.255.0.

La modificación de la dirección IP se la realiza en la ventana propiedades en la opción "Direcciones Ethernet" de la ventana de inspección de la configuración de dispositivos como se muestra en la figura 4.21



Figura 4. 21: Dirección IP del PLC.

#### 4.3.9 Comunicación PROFINET S7-1200 con la pantalla KTP600

La pantalla HMI KTP600 se comunica con una PG o con una PC o también con el PLC a través de su interfaz Ethernet, por lo mismo necesita una dirección IP la cual debe pertenecer a la misma red en la que está la computadora y el dispositivo PLC. Pero se debe tener muy en cuenta que al momento de programar la pantalla no se asigne la misma dirección que anteriormente se ha asignado al PLC, ya que esto traerá conflictos cuando se comuniquen el PLC con la pantalla HMI.

En este caso se ha asignado la dirección 192.168.0.2 a la pantalla KTP600. Esto se lo puede visualizar haciendo clic en la pestaña vista de redes figura 4.22

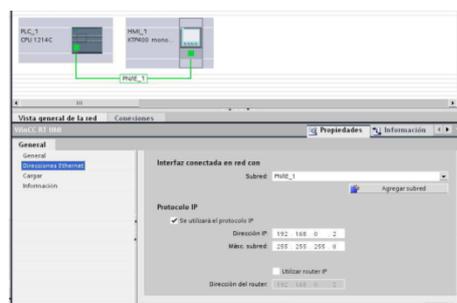


Figura 4. 22: Dirección IP del HMI.

#### 4.4 PUEBAS Y RESULTADOS

Una vez construida la máquina de termoformado para la elaboración de empaques tipo blíster se debe desarrollar pruebas con el objetivo de regular los elementos móviles y calibrar las variables de control de la máquina hasta obtener piezas termoformadas acorde a las exigencias de la empresa METAL ARTE GUILCAMAIGUA.

Para iniciar el proceso de pruebas se debe cumplir con los siguientes requisitos:

- La máquina termoformadora debe estar encendida y en modo manual.
- La cámara de calentamiento debe estar encendida.
- El rollo de PVC debe estar colocado sobre los ejes ubicados a la izquierda de la máquina (inicio del proceso).
- La lámina de PVC debe estar sujeta en sus dos costados por las cadenas de tracción y posicionada antes de la etapa de calentamiento.
- Los moldes de formado y corte deben estar ubicados y alineados en las mesas de formado y corte respectivamente.
- Todos los elementos se encuentran en posición inicial.

##### 4.4.1 Primera Prueba

En la primera prueba se realiza con los siguientes parámetros de calibración que se observan en la tabla 4.8.

Tabla 4. 8: Parámetros de calibración de la primera prueba.

Temperatura	Tiempo de exposición	Tiempo de formado	Tiempo de desmolde
250°C	15 Seg.	10 Seg.	10 Seg.

Durante esta prueba se realizan las siguientes observaciones como se muestra en la figura 4.23



Figura 4. 23: Resultado de la primera prueba.

- Existe escape de aire en la estación de formado lo cual se corrige con el ajuste de las tuercas de presión.
- Se observa que el empaque no toma la profundidad requerida por la empresa, se incrementara la temperatura y el tiempo de exposición para obtener un mejor acabo de los mismos.
- Existe aplastamientos en las secciones más profundas del molde, para lo cual se bajara el tiempo de desmolde.

#### 4.4.2 Segunda Prueba

En la segunda prueba se realiza con los siguientes parámetros de calibración que se observan en la tabla 4.9.

Tabla 4. 9: Parámetros de calibración de la segunda prueba.

Temperatura	Tiempo de exposición	Tiempo de formado	Tiempo de desmolde
300°C	20 Seg.	10 Seg.	5 Seg.



Figura 4. 24: Resultados de la segunda prueba.

Durante esta prueba se realizan las siguientes observaciones como se muestra en la figura 4.24

- En esta prueba se presenta arrugas en el acabado del empaque, debido al exceso de altura del molde macho, para ello se realizará un cambio en dicho molde.
- La profundidad no es la correcta en los acabados del empaque, por falta de presión de aire en la etapa de formado.
- La sección de doblado no aparece en los empaques por causa de tiempo de exposición muy corto y temperatura baja.

#### 4.4.3 Tercera Prueba

En la tercera prueba se realiza con los siguientes parámetros de calibración que se observan en la tabla 4.10

Tabla 4. 10: Parámetros de calibración de la segunda prueba.

Temperatura	Tiempo de exposición	Tiempo de formado	Tiempo de desmolde
350°C	25 Seg.	5 Seg.	3 Seg.

Durante esta prueba se realizan las siguientes observaciones como se muestra en la figura 4.25



Figura 4. 25: Resultados de la tercera prueba.

- En esta prueba se observó que los empaques tomaron la profundidad adecuada, debido al incremento de la presión de aire en la etapa de formado.
- Que la sección de doblado se formó correctamente.
- Ya no existe hundimiento en las secciones más blandas por el tiempo de desmolde.
- La temperatura es la adecuada ya que no se produjo blanqueamiento de la lámina de PVC

Los resultados obtenidos de los parámetros de calibración de la máquina para que pueda funcionar correctamente en forma automática y manual se observa en la tabla 4.11

La estabilización del control de temperatura PID se demorara alrededor de 30 minutos, el monitoreo del mismo se observa en el panel operador de la máquina.

Tabla 4. 11: Parámetros de calibración.

Temperatura	Tiempo de exposición	Tiempo de formado	Tiempo de desmolde
350°C	25 seg.	5 seg.	3 seg.

## **CAPÍTULO 5**

### **ANÁLISIS FINANCIERO**

En este capítulo se explican los costos de diseño así como los costos para la posterior construcción y montaje del proyecto.

El análisis se basa principalmente en la determinación de los costos que conlleva la realización de este proyecto, para esto se realiza un estudio detallado de los costos directos e indirectos, como se indica a continuación:

- Costos directos :
  - Materia prima
  - Elementos normalizados
  - Costos de maquinado
  
- Costos indirectos:
  - Materiales indirectos
  - Costos de ingeniería
  - Gastos varios.

El costo total del proyecto se obtiene mediante la suma de los costos directos e indirectos.

#### **5.1. ANÁLISIS DE COSTOS DIRECTOS**

##### **5.1.1. Costos de materia prima**

Los costos de materia prima (Tabla 5.1) son aquellos materiales fundamentales y necesarios para la construcción de los elementos constitutivos de la Termoformadora.

Tabla 5. 1: Costos de materia prima.

<b>MATERIALES</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>V. UNITARIO</b>	<b>V. TOTAL</b>
Tubo Cuadrado 1 1/2 x 2	4	23,00	92,00
Acero SAE 1018 1.3/8	8	16,00	128,00
IPN 120	1	90,00	90,00
Plancha de media (kg)	200	0,99	198,00
Plancha acero inoxidable	1	18,44	18,44
Tubo Cuadrado 3/4 x 1	5	5,50	27,50
Eje de Transmisión 1 1/8"	3	2,63	7,89
Láminas de Tol negro 0.9mm	2	17,55	35,10
Bronce Fosf. Perforado 2 1/4"x1 1/4" (kg)	2	20,64	41,28
<b>TOTAL</b>			<b>718,21</b>

Tabla 5. 2: Costos de materiales normalizados.

<b>MATERIALES</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>V. UNITARIO</b>	<b>V. TOTAL</b>
Pantalla táctil 5,7" Ethernet KTP600	1	1.088,64	1.088,64
SIMATIC S7-1200 CPU 1214C	1	549,36	549,36
Relé de estado sólido 40AMP	2	28,22	56,44
Sensor inductivo. 3 WIRE 24VDC	5	45,36	226,80
Relé electromecánicos	8	15,34	122,72
Fuente poder LOGO POWER	1	88,70	88,70
Cable de extensión termocupla K	2	4,65	9,30
Cable de alta temperatura 12 AWG	3	4,78	14,34
Cable flexible # 18	100	0,21	21,00
Calentador 245mmx60mm, 1000W	6	62,61	375,66
Calentador 245mmx60mm, 1000W. CON T/C TIPO K	1	86,26	86,26
Cadena de tracción	1	700,00	700,00
Cilindros neumáticos	5	80,00	400,00
Rodamiento 69052	10	2,56	25,60
Chumaceras de pared	2	7,75	15,50
Tuerca G.8 HG 1.3/8-6 2H	32	2,53	80,96
Chumaceras de piso	4	5,5	22,00
Varios	1	300,00	300,00
<b>TOTAL</b>			<b>4.183,28</b>

### 5.1.2. Costos de elementos normalizados

Son elementos que se adquieren en el mercado y no se alteran sus dimensiones para su uso, estos elementos se detallan en la Tabla 5.2.

### 5.1.3. Costos de maquinado

Este costo está relacionado directamente con la mano de obra empleada al ejecutar las distintas operaciones de maquinado para fabricar los elementos mecánicos de la Termoformadora. El cálculo se realiza en base al tiempo que implica la fabricación de cada uno de los elementos. Los costos se detallan en la tabla 5.3.

Tabla 5. 3: Costos de mecanizado.

<b>Procedimiento</b>	<b>Costos por máquina (incluye mano de obra)</b>	<b>Tiempo [h]</b>	<b>Costo Total</b>
Torno	6,00	20	120,00
Rectificadora	7,00	15	105,00
Fresadora	7,00	30	210,00
Soldadura	5,00	30	150,00
Taladrado	5,00	5	25,00
Pintura	5,00	5	25,00
<b>TOTAL</b>			<b>635,00</b>

### 5.1.4. Costo total directo

El costo total directo es la suma del costo de materia prima más el costo de elementos normalizados y más el costo de maquinado. Ver tabla 5.4.

Tabla 5. 4: Costo total directo.

<b>COSTOS</b>	<b>TOTAL</b>
Materia prima	718,21
Elemento normalizados	4.183,28
Costos de maquinado	635,00
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>5.536,49</b>

## 5.2. ANÁLISIS DE COSTOS INDIRECTOS

Los costos indirectos de fabricación detallan la inversión realizada en actividades varias, sin embargo las mismas incurren en la fabricación de la máquina de termoformado.

### 5.2.1. Costos de materiales indirectos

Estos costos son generados por los materiales complementarios empleados en la construcción de la Termoformadora, ver tabla 5.5.

Tabla 5. 5: Costos de materiales indirectos.

<b>MATERIAL</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>V. UNITARIO</b>	<b>V. TOTAL</b>
Discos de corte	5	1,25	6,25
Discos de desbaste	3	1,80	5,4
Pintura de resistencia a la temperatura	1	25,00	25
Pintura anticorrosiva	1	20,00	20
Varios	1	300,00	300
<b>TOTAL</b>			<b>356,65</b>

### 5.2.2. Costos de ingeniería

Son costos que se derivan del conocimiento y de la experiencia que tiene un ingeniero para el diseño y la posterior construcción de una máquina, para el desarrollo de este proyecto se requiere la participación de dos personas las cuales desarrollan las siguientes funciones:

- Definición de problema
- Presentación de alternativas.
- Selección de alternativas.
- Diseño de la alternativa seleccionada.

Después de un análisis se establece que el tiempo empleados en la ejecución de las funciones anteriormente descritas es de aproximadamente 200 horas.

El valor por hora es de USD 2,00 lo que da un valor total de USD 800.

### 5.2.3. Costos de imprevistos

Son aquellos gastos que no se tienen en cuenta al inicio y que se van mostrando conforme se va desarrollando el proyecto, estos se detallan a continuación en la tabla 5.6.

Tabla 5. 6: Costos de imprevistos.

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>VALOR [USD]</b>
Internet	75,00
Utilización de computadores	100,00
Logística y transporte	50,00
Varios	100,00
<b>TOTAL</b>	<b>325,00</b>

### 5.2.4. Costo indirecto total

Es la suma del costo de materiales indirectos más el costo de ingeniería y más el costo de imprevistos. En la tabla 5.7 se observan dichos costos.

Tabla 5. 7: Costo indirecto total.

<b>COSTOS</b>	<b>TOTAL [USD]</b>
Materiales indirectos	356,65
Costos de ingeniería	800,00
Costos de imprevistos	325,00
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>1.481,65</b>

## 5.3. COSTO TOTAL DE LA MÁQUINA

Tabla 5. 8: Costo total de la máquina.

<b>COSTOS</b>	<b>TOTAL [USD]</b>
Costos directos	5.536,49
Costos indirectos	1.481,65
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>7.018,14</b>

Es la suma de los costos directos e indirectos como se observa en la tabla 5.8.

La inversión total es de **7 018,14 DÓLARES AMERICANOS**.

#### 5.4. FLUJO DE CAJA

El flujo de caja se realiza con una proyección estimada de 5 años, considerando una inversión inicial de 7 918,14 [USD] y una inversión de operación de 4 200,00 proyectada para un año, el mismo que se detalla en la tabla 5.9.

Tabla 5. 9: Costo total de la máquina.

<b>COSTOS</b>	<b>TOTAL [USD]</b>
Materiales directos	5000,00
Mano de obra directa	600,00
Otros costos indirectos	400,00
<b>INVERSIÓN AÑO 1</b>	<b>6000,00</b>

Se consideran los siguientes aspectos para realizar el flujo de caja:

- Se estiman ventas de **11.000,00 USD** para el primer año, dicho valor se obtiene basándose en datos históricos de la empresa.
- Se estima un incremento del 10% en la inversión de operación para los años siguientes.
- La meta de la empresa es incrementar sus ventas un 15% anualmente.

En base a los puntos mencionados se realiza el flujo de caja indicado en la figura 5.10.

Tabla 5. 10: Flujo de Caja.

<b>DETALLES</b>	<b>AÑO 0</b>	<b>AÑO 1</b>	<b>AÑO 2</b>	<b>AÑO 3</b>	<b>AÑO 4</b>	<b>AÑO 5</b>
INVERSIÓN	7.018,14	6.000,00	6.600,00	7.260,00	7.986,00	8.784,60
VENTAS	0	11.000,00	12.650,00	14.547,50	16.729,63	19.239,07
FLUJO NETO	(7.018,14)	5.000,00	6.050,00	7.287,50	8.743,62	10.454,47

## 5.5. VALOR PRESENTE NETO (VPN)

La idea del VPN es actualizar todos los flujos futuros al período inicial (o periodo cero) y compararlos para verificar si los beneficios son mayores que los costos. Si los beneficios actualizados son mayores que los costos actualizados, significa que la rentabilidad del proyecto es mayor que la tasa de descuento, se dice por tanto, que "es conveniente invertir" en esa alternativa.

Según este criterio, se recomienda realizar aquellas inversiones cuyo valor actual neto sea positivo.

$$VPN = -K_0 + \sum_{i=1}^n \frac{Fc_i}{(1 + D)^i} \quad \text{Ec. 5.1}$$

Dónde:

$K_0 =$  Inversión de capital inicial.

$Fc_i =$  Flujo de caja en el año  $i$ .

$D =$  Tasa de descuento real utilizada.

$i =$  Número de periodos de vida del proyecto.

Cuando se quiere pasar cantidades futuras al presente, se usa una tasa de descuento, llamada así porque descuenta el valor del dinero en el futuro a su equivalente en el presente, y a los flujos traídos al tiempo cero se les llama flujos descontados. Cabe indicar que para calcular el Valor Presente Neto se debe determinar una tasa de descuento, llamada también costo de capital o TMAR.

$$TMAR = \% \text{ riesgo país} + \% \text{ inflación anual} + \% \text{ tasa de interés pasiva} \quad \text{Ec. 5.2}$$

$$TMAR = (8,92 + 4,85 + 4,53)\%$$

$$TMAR = 18,3 \%$$

Los valores de los indicadores fueron tomados del Banco Central del Ecuador.

Tabla 5. 11: Flujo de caja.

PERIODOS	FLUJOS
Inversión inicial	-7.018,14
AÑO 1	5.000,00
AÑO 2	6.050,00
AÑO 3	7.287,50
AÑO 4	8.743,62
AÑO 5	10.454,47

*Evaluación financiera*

$$VPN = \$ 14.009,54$$

De una inversión inicial de 7.018,14 dólares americanos al final del periodo tendremos un flujo acumulado de 14.009,54 dólares americanos. Es un resultado positivo mayor que cero por tal motivo el proyecto puede aceptarse.

### 5.6. TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

Es la tasa que iguala el valor presente neto a cero. Si la Tasa Interna de Retorno es mayor que la tasa de descuento, el proyecto se debe aceptar pues estima un rendimiento mayor al mínimo requerido, siempre y cuando se reinviertan los flujos netos de efectivo. Por el contrario, si la Tasa Interna de Retorno es menor que la tasa de descuento, el proyecto se debe rechazar pues estima un rendimiento menor al mínimo requerido. Analíticamente la TIR se determina como:

$$VPN = 0 = -K_0 + \sum_{i=1}^n \frac{Fc_i}{(1 + TIR)^i} \quad Ec. 5.3$$

Empleando el software EXCEL calculamos la TIR ingresando el valor total de la inversión y los flujos netos de efectivos.

*Evaluación financiera*

$$TIR = 73 \%$$

Dado que la tasa interna de retorno es de un 73% y mayor que la tasa de descuento el proyecto puede ser aceptado, pues estima un rendimiento mayor al mínimo requerido.

### **5.7. PERIODO REAL DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN (PRI)**

Es un instrumento que permite medir el plazo de tiempo que se requiere para que los flujos netos de efectivo de una inversión recuperen su costo o inversión inicial. Se calcula como el momento para el cual el VPN se hace cero.

El cálculo del PRI se realiza mediante la suma gradual de los flujos de caja a la inversión inicial hasta que el resultado sea cero, en ese momento se ha recuperado la inversión.

De acuerdo al flujo de caja mostrado en la figura 5.10 se concluye que la empresa METAL ARTE recuperará su inversión inicial en un periodo de **1 año y 4 meses**.

### **5.8. RELACIÓN COSTO BENEFICIO**

La relación costo beneficio toma los ingresos y egresos presentes netos del estado de resultado, para determinar cuáles son los beneficios por cada dólar invertido que se sacrifica en el proyecto.

Cuando se menciona los ingresos netos, se hace referencia a los ingresos que efectivamente se recibirán en los años proyectados. Al mencionar los egresos presente neto se toman aquellas partidas que efectivamente generarán salidas de efectivo durante los diferentes periodos, horizonte del proyecto. Como se puede apreciar en la tabla 5.10, el estado de flujo neto de efectivo es la herramienta que suministra los datos necesarios para el cálculo de este indicador.

$$B/C = \frac{VPNB}{VPNC} = \frac{14.009,54}{7.018,14} = 1,99 \quad \text{Ec. 5.4}$$

Es decir que por cada dólar invertido en la construcción de la máquina se tendrán 1,99 dólares de retorno.

## CAPITULO 6

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 CONCLUSIONES

- Se diseñó y construyó una máquina semiautomática termoformadora mediante la combinación de los métodos mecánico y a presión positiva, para la fabricación de empaques tipo blíster para la empresa METAL ARTE GUILCAMAIGUA.
- Se diseñó y construyó un molde acorde a las características y requerimientos del producto a ser empacado por la empresa, mediante el uso de acero ASTM A-36 por ser este un material de fácil adquisición en el mercado local.
- La estructura y mecanismos que conforman la máquina de termoformado fueron fabricadas en su totalidad en aceros ASTM A-36 y SAE 1018, en base a los parámetros planteados en el diseño.
- Los mecanismos de transporte, formado y corte se diseñaron para trabajar con un sistema neumático debido a los altos torques y presiones que se obtienen y por ser económico.
- Para obtener una temperatura uniforme de 300 °C en el sistema de calentamiento, se adquirió calefactores eléctricos infrarrojos de cerámica marca Elstein de la serie FSR, que opera a 220 Voltios, 1000 Watts de potencia y alcanza temperaturas hasta 750 ° C.
- El trabajo continuo y automático del sistema de transporte y las estaciones de calentamiento, formado y corte, son controladas mediante un PLC S7 1200 marca SIMENS.
- METAL ARTE es una empresa que trabaja con obreros de nivel académico secundario, tomando en consideración dicho aspecto se implementó una

Interface Hombre Máquina (HMI) para la calibración y visualización de los parámetros del proceso, mediante el empleo de un panel operador de la gama Basic Panel KTP600 color básico

- La comunicación entre el PLC S7 1200 y el panel operador KTP 600 emplea un protocolo Ethernet, puesto que los dos equipos llevan integrada una interfaz PROFINET, la misma que permite la transferencia de datos de entrada y salida.
- Para estabilizar la temperatura de la cámara calentadora se empleó un controlador PID que genera señales PWM que son receptadas por los relés de estado sólido con cruce por cero (SSRs), para ejecutar un control de onda completa.
- En base a parámetros como son el número de empaques que la empresa requiere obtener en una hora y el espesor de lámina de PVC de 360 [ $\mu\text{m}$ ] utilizada en las pruebas, se establecieron los siguientes datos de calibración: temperatura del horno en 300 °C, tiempo de exposición al calor 25 segundos y tiempo de formado 4 segundos.
- El PVC laminado transparente, es el material plástico mayormente empleado en la elaboración de empaques tipo blíster, debido a sus características térmicas y bajos costos de adquisición.
- Debido a la tolerancia de 1 [ $\text{mm}$ ] que existe entre los moldes hembra y macho, la máquina termoformadora en condiciones normales podrá trabajar con láminas de PVC que se encuentre dentro del rango de 360 [ $\mu\text{m}$ ] hasta un máximo de 900 [ $\mu\text{m}$ ] de espesor.
- Los empaque obtenidos juegan un papel muy importante puesto que le permitirá a la empresa METAL ARTE recuperar la cadena de valor, es decir que existirá una relación directa entre productor - distribuidor - cliente.

## 6.2 RECOMENDACIONES

- Emplear de forma adecuada el manual de funcionamiento para evitar posibles errores en el momento de manipular la máquina.
- Para obtener un mejor acabado de los empaques se recomienda a la empresa incrementar el espesor de la lámina de PVC a 400 [ $\mu m$ ].
- Optimizar el diseño de los moldes con la finalidad de emplear un 100% de la lámina plástica de PVC para que el proceso sea más rentable.
- Aplicar las temperaturas que se encuentran dentro del rango permisible del material a emplearse, así se evitará que el plástico transparente tome un color blanco en ciertas áreas.
- Emplear el modo manual para realizar la calibración de tiempos y temperatura, cada vez que se sustituya elementos como los moldes y materia prima y así reducir el consumo excesivo de material.
- Realizar pruebas en modo manual cada vez que se cambie el rollo de lámina plástica, puesto que no siempre el material contara con características exactamente iguales, lo mismo que implicara un aumento o disminución leve de la temperatura.
- Utilizar las recetas que tiene disponible el panel de operador para guardar los distintos parámetros para evitar la calibración continúa de trabajos frecuentes.
- Incrementar mínimo 2 HP en el abastecimiento de aire comprimido para un mejor funcionamiento de la máquina.
- Realizar el mantenimiento en base a los periodos, indicaciones y el personal de capacitado que se establece en el manual.
- Reciclar los desperdicios obtenidos del proceso de termoformado.

## BIBLIOGRAFÍA Y ENLACES

- Budynas.: “Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley”, Editorial Mc Graw Hill, Octava edición, México, 2008.
- Creus A.: “Neumática e Hidráulica”. Primera Edición, Editorial Alfaomega, México, 2007.
- Dzieia: “Electrónica de potencia”. Editorial Edibosco, Alemania, 1999.
- Hamilton: “Mecanismos y Dinámica de Maquinaria” , Editorial Cimusa, 1985
- Incropera F.: “Fundamentos de Transferencia de Calor”. Editorial Prentice Hall, Cuarta Ed.
- Mott R.: “Resistencia de Materiales”. Quinta edición
- Mott R.: “Diseño de Elementos de Máquinas”. Editorial Pearson Educación, Cuarta Edición, México, 2006.
- Plastigas S.A: “Manual Técnico Termoformado”. México,
- Cadenas  
<http://es.scribd.com/doc/8945948/cadenas>
- Diseño y fabricación de un molde de termoformado  
<http://www.slideshare.net/centenodaniel/diseo-y-fabricacin-de-un-molde-de-termoformado-utilizando-herramientas-cadcaecam>
- El blog del plástico  
<http://elblogdelplastico.blogs.upv.es/2011/12/21/procesado-de-polimeros-10/>

## Ceramic Infrared Panel Radiators

## FSR



Figure 31: Elstein FSR series

Elstein FSR panel radiators are ceramic infrared radiators, which are designed for operating temperatures up to 720 °C. Surface ratings of up to 64 kW/m<sup>2</sup> can be installed.

FSR series radiators are made using a full-pour casting ceramic process and are characterised by their concave design. Due to the design of this type, there is a space between the radiator and mounting plate, which reduces the heat absorbed by the wiring space.

FSR panel radiators can be used universally and are suitable for assembling radiation areas with any geometry required. They are available in three designs and cover the power range from 60 W to 1000 W.

With its FSR panel radiators, the company Elstein-Werk has been setting design, type, power and quality standards, recognised worldwide since 1952, for ceramic infrared panel radiators.

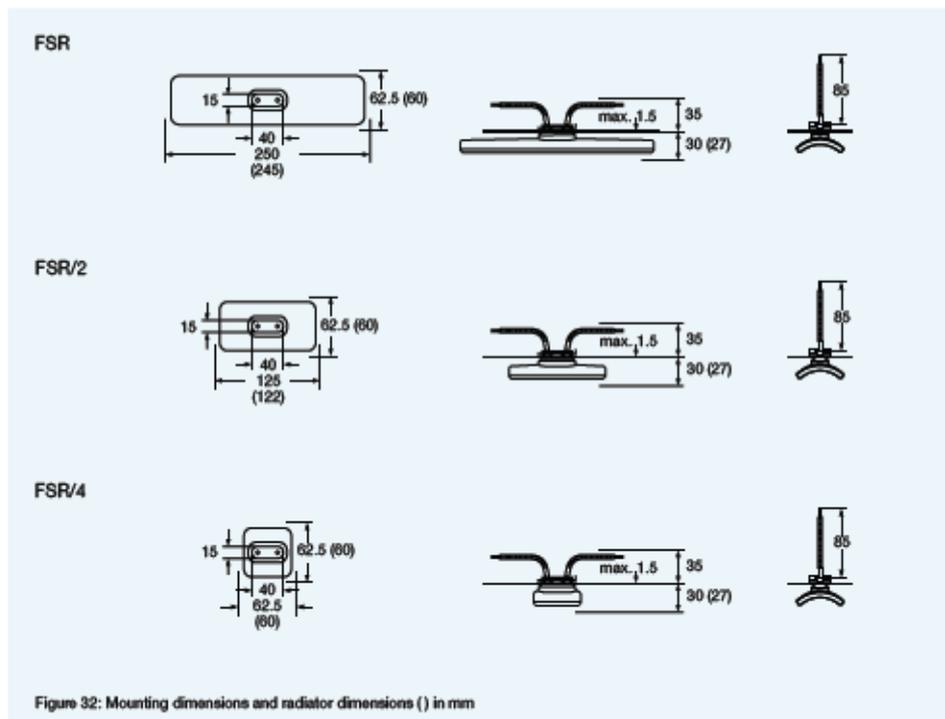


Figure 32: Mounting dimensions and radiator dimensions ( ) in mm

**FSR**

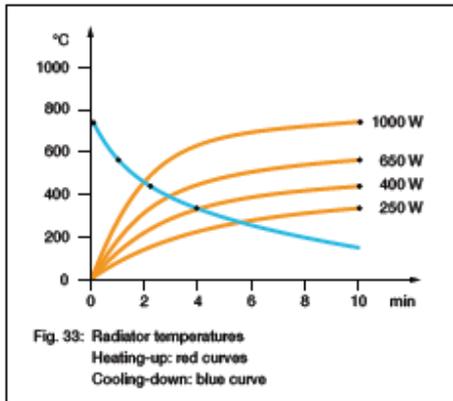


Fig. 33: Radiator temperatures  
Heating-up: red curves  
Cooling-down: blue curve

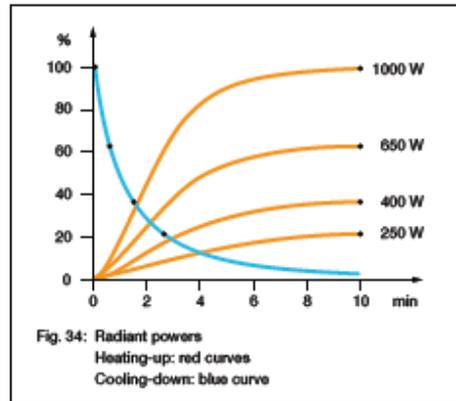


Fig. 34: Radiant powers  
Heating-up: red curves  
Cooling-down: blue curve

Type, weight, wattage	FSR	220 g	250	400	650	1000	W
	FSR/2	125 g	125	200	325	500	W
	FSR/4	75 g	60	100	200	250	W
Surface rating			16.0	25.6	41.6	64.0	kW/m <sup>2</sup>
Typical operating temperature			400	500	620	720	°C
Maximum permissible temperature			750	750	750	750	°C
Wavelength range			2 - 10				µm

<p><b>Standard design</b></p> <p>Operating voltage 230 V Ceramic full-pour casting Leads 85 mm Elstein standard socket Mounting set</p>	<p><b>Thermocouple radiators</b></p> <p>Designation T-FSR, T-FSR/2, T-FSR/4 Integrated thermocouple Type K (NiCr-Ni) TC leads 100 mm</p> 	<p><b>Variants</b></p> <p>Special wattages Special voltages Extended leads Leads with ring terminals</p>
---	--	--

The power can be controlled using thermocouple radiators together with TRD 1 temperature controllers, TSE thyristor switching units and other accessories.

IR radiation areas can be assembled using REO reflectors, REF construction sets, EBF and EBI construction elements as well as MBO mounting sheets.

The national safety regulations must be complied with for the respective application, for example, the IEC or EN standard 60519-1, Safety in electrical heating installations.

Our instructions for mounting, operation and safety must be observed.

Tabla 8-2

Diámetros y área de roscas unificadas de tornillo UNC y UNF\*

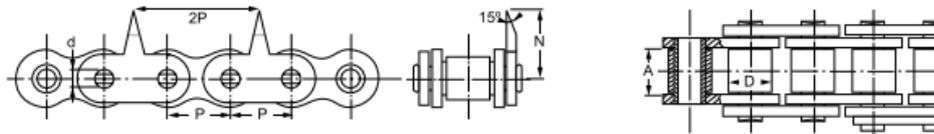
Designación de tamaño	Diámetro mayor nominal pulg	Serie gruesa-UNC			Serie fina-UNF		
		Roscas por pulgada, N	Área de esfuerzo de tensión $A_s$ , pulg <sup>2</sup>	Área del diámetro menor $A_r$ , pulg <sup>2</sup>	Roscas por pulgada, N	Área de esfuerzo de tensión $A_s$ , pulg <sup>2</sup>	Área del diámetro menor $A_r$ , pulg <sup>2</sup>
0	0.0600				80	0.001 80	0.001 51
1	0.0730	64	0.002 63	0.002 18	72	0.002 78	0.002 37
2	0.0860	56	0.003 70	0.003 10	64	0.003 94	0.003 39
3	0.0990	48	0.004 87	0.004 06	56	0.005 23	0.004 51
4	0.1120	40	0.006 04	0.004 96	48	0.006 61	0.005 66
5	0.1250	40	0.007 96	0.006 72	44	0.008 80	0.007 16
6	0.1380	32	0.009 09	0.007 45	40	0.010 15	0.008 74
8	0.1640	32	0.014 0	0.011 96	36	0.014 74	0.012 85
10	0.1900	24	0.017 5	0.014 50	32	0.020 0	0.017 5
12	0.2160	24	0.024 2	0.020 6	28	0.025 8	0.022 6
$\frac{1}{4}$	0.2500	20	0.031 8	0.026 9	28	0.036 4	0.032 6
$\frac{5}{16}$	0.3125	18	0.052 4	0.045 4	24	0.058 0	0.052 4
$\frac{3}{8}$	0.3750	16	0.077 5	0.067 8	24	0.087 8	0.080 9
$\frac{7}{16}$	0.4375	14	0.106 3	0.093 3	20	0.118 7	0.109 0
$\frac{1}{2}$	0.5000	13	0.141 9	0.125 7	20	0.159 9	0.148 6
$\frac{9}{16}$	0.5625	12	0.182	0.162	18	0.203	0.189
$\frac{5}{8}$	0.6250	11	0.226	0.202	18	0.256	0.240
$\frac{3}{4}$	0.7500	10	0.334	0.302	16	0.373	0.351
$\frac{7}{8}$	0.8750	9	0.462	0.419	14	0.509	0.480
1	1.0000	8	0.606	0.551	12	0.663	0.625
$1\frac{1}{4}$	1.2500	7	0.969	0.890	12	1.073	1.024
$1\frac{1}{2}$	1.5000	6	1.405	1.294	12	1.581	1.521

\*Esta tabla se compiló de la norma ANSI B1.1-1974. El diámetro menor se determinó mediante la ecuación  $d_r = d - 1.299\ 038p$  y el diámetro de paso a partir de  $d_p = d - 0.649\ 519p$ . Para calcular el área de esfuerzo de tensión se usaron la media del diámetro de paso y el diámetro menor.



*Cadenas especiales para  
manutención ligera*

*Cadenas de púas  
Cadenas con puente de caucho*



*Cadenas de púas*

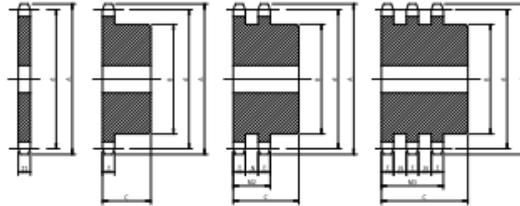
*Cadenas de púas para transporte de láminas de plástico*

Referencia	Norma	Paso P	Ancho interior	Diámetro del rodillo	Ancho sobre ejes	Altura	
JORESA	ISO	mm	pulg.	A mm	D mm	H mm	N mm
42 PU	08 B-1	12,7	1/2	7,75	8,51	16,40	14,5

*Estas cadenas se fabrican también en versión doble.  
Las púas para esta cadena pueden suministrarse afiladas según muestra el dibujo, o simplemente tr*

**ANGEL LARREINA S.A.**  
elementos de transmision

**Discos, Piñones y Ruedas de Acero  
para Transmisiones de Cadenas**  
Sprockets and Plate Wheels  
for Roller Chain



- Macizo  
Solid
- Cubo soldado  
Welded Hub
- Pieza soldada  
Welded Piece

Z	Paso - Pitch 1/2" ASA 40 12,7 mm BS 08		ØRodillo - Roller 7,925 mm ØRodillo - Roller 8,51 mm					
	Diámetro Primitivo(d) Pitch Circle Diameter(d)	Diámetro Exterior(A) Top Diameter(A)	Diámetro Cubo(B) Hub Diameter(B)			Largo Total(C) Total Length(C)		
			S	D	T	S	D	T
9	37.13	42.51	24	24	24	28	35	50
10	41.10	46.71	26	28	28	28	35	50
11	45.08	50.87	29	32	32	28	35	50
12	49.07	55.02	33	35	35	28	35	50
13	53.07	59.15	37	38	38	28	35	50
14	57.07	63.26	41	42	42	28	35	50
15	61.08	67.37	45	46	46	28	35	50
16	65.10	71.47	50	50	50	28	38	50
17	69.12	75.56	52	54	54	28	38	50
18	73.14	79.65	56	58	58	28	38	50
19	77.16	83.73	60	62	62	28	38	50
20	81.18	87.80	64	66	66	28	38	50
21	85.21	91.88	68	70	70	28	40	55
22	89.24	95.95	70	70	70	28	40	55
23	93.27	100.02	70	70	70	28	40	55
24	97.30	104.09	70	75	75	28	40	55
25	101.33	108.15	70	80	80	28	40	55
26	105.36	112.21	70	85	85	30	40	55
27	109.40	116.28	70	85	85	30	40	55
28	113.43	120.34	70	90	90	30	40	55
29	117.46	124.39	80	95	95	30	40	55
30	121.50	128.45	80	100	100	30	40	55
35	141.68	148.73	70	100	100	40	50	60
38	153.79	160.89	70	90	100	40	50	60
40	161.87	168.99	70	90	100	40	50	60
45	182.06	189.24	70	90	100	40	50	60
50	202.26	209.48	70	90	100	40	50	60
57	230.54	237.81	70	90	100	40	50	60
60	242.66	249.95	80	100	100	40	50	60
76	307.32	314.68	80	100	100	40	56	60
95	384.11	391.52	80	100	120	45	56	67
114	460.91	468.35	80	100	120	45	63	67

Dimensiones para tipo Americano - (ASA - ANSI) Measurement for American type (ASA - ANSI)					
PASO/Pitch	T	N	M2	M3	T1
ASA40 (1/2)	7	7.4	21.4	35.8	7.2

Dimensiones para tipo Europeo - (BS - ISO) Measurement for European type (BS - ISO)					
PASO/Pitch	T	N	M2	M3	T1
08 - 1/2	7.1	6.8	21	34.9	7.1

Los diámetros y largos están sujetos a modificación sin previo aviso por razones de fabricación.  
Diameters and lengths can be modified without any previous advise due to production reasons.



**DIPAC**<sup>®</sup>  
PRODUCTOS DE ACERO

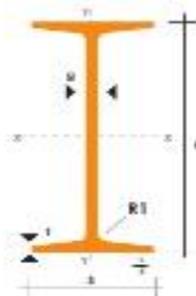
## PERFILES LAMINADOS IPN

### Especificaciones Generales

Calidad	A510M A 36
Otras calidades	Previa Consulta
Largo normal	6,00m y 12,00m
Otros largos	Previa Consulta
Acabado	Natural
Otro acabado	Previa Consulta



Designación	DIMENSIONES						SECCION PESOS		PROPIEDADES			
	h	s	b	t	R	R1	cm <sup>2</sup>	Kg/m	I <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	W <sub>x</sub>	W <sub>y</sub>
	mm	mm	mm	mm	mm	mm			cm <sup>4</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>
IPN 80	80	42	3.90	5.90	30.90	2.30	7.58	5.95	77	6.29	19.50	3.00
IPN 100	100	50	4.50	6.80	4.50	2.70	10.60	8.32	171	12.20	34.20	4.88
IPN 120	120	58	5.10	7.70	5.10	3.10	14.20	11.20	328	21.50	54.70	7.41
IPN 140	140	66	5.70	8.60	5.70	3.40	18.30	14.40	573	35.20	81.90	10.70
IPN 160	160	74	6.30	9.50	6.30	3.80	22.80	17.90	935	54.70	117.00	14.80
IPN 180	180	82	6.90	10.40	6.90	4.10	27.90	21.90	1450	81.30	161.00	19.80
IPN 200	200	90	7.50	11.30	7.50	4.50	33.50	26.30	2140	117.00	214.00	26.00
IPN 220	220	98	8.10	12.20	8.10	4.90	39.60	31.10	3060	162.00	278.00	33.10
IPN 240	240	106	8.70	13.10	8.70	5.20	46.10	36.20	4250	221.00	354.00	41.70
IPN 260	260	113	9.40	14.10	9.40	5.60	53.40	41.90	5740	288.00	442.00	51.00
IPN 300	300	125	10.80	16.20	10.80	6.50	69.10	54.20	9800	451.00	653.00	72.20
IPN 340	340	137	12.20	18.30	12.20	7.30	86.80	68.10	15700	647.00	923.00	98.40
IPN 360	360	143	13.00	19.50	13.00	7.80	97.10	76.20	19610	818.00	1090.00	114.00
IPN 400	400	155	14.40	21.80	14.40	8.80	118.00	92.80	29210	1160.00	1460.00	149.00
IPN 450	450	170	16.20	24.30	16.20	9.70	147.00	115.00	45850	1730.00	2040.00	203.00
IPN 500	500	185	18.00	27.00	18.00	10.80	180.00	141.00	68740	2480.00	2750.00	268.00
IPN 550	550	200	19.00	30.00	19.00	11.90	213.00	167.00	99180	3490.00	3610.00	349.00



**Table C-36**  
**Allowable Stress**  
**For Compression Members of 36-ksi Specified Yield Stress Steel<sup>a</sup>**

$F_y = 36 \text{ ksi}$	$\frac{Kl}{r}$	$F_a$ (ksi)								
	1	21.56	41	19.11	81	15.24	121	10.14	161	5.76
2	21.52	42	19.03	82	15.13	122	9.99	162	5.69	
3	21.48	43	18.95	83	15.02	123	9.85	163	5.62	
4	21.44	44	18.86	84	14.90	124	9.70	164	5.55	
5	21.39	45	18.78	85	14.79	125	9.55	165	5.49	
6	21.35	46	18.70	86	14.67	126	9.41	166	5.42	
7	21.30	47	18.61	87	14.56	127	9.26	167	5.35	
8	21.25	48	18.53	88	14.44	128	9.11	168	5.29	
9	21.21	49	18.44	89	14.32	129	8.97	169	5.23	
10	21.16	50	18.35	90	14.20	130	8.84	170	5.17	
11	21.10	51	18.26	91	14.09	131	8.70	171	5.11	
12	21.05	52	18.17	92	13.97	132	8.57	172	5.05	
13	21.00	53	18.08	93	13.84	133	8.44	173	4.99	
14	20.95	54	17.99	94	13.72	134	8.32	174	4.93	
15	20.89	55	17.90	95	13.60	135	8.19	175	4.88	
16	20.83	56	17.81	96	13.48	136	8.07	176	4.82	
17	20.78	57	17.71	97	13.35	137	7.96	177	4.77	
18	20.72	58	17.62	98	13.23	138	7.84	178	4.71	
19	20.66	59	17.53	99	13.10	139	7.73	179	4.66	
20	20.60	60	17.43	100	12.98	140	7.62	180	4.61	
21	20.54	61	17.33	101	12.85	141	7.51	181	4.56	
22	20.48	62	17.24	102	12.72	142	7.41	182	4.51	
23	20.41	63	17.14	103	12.59	143	7.30	183	4.46	
24	20.35	64	17.04	104	12.47	144	7.20	184	4.41	
25	20.28	65	16.94	105	12.33	145	7.10	185	4.36	
26	20.22	66	16.84	106	12.20	146	7.01	186	4.32	
27	20.15	67	16.74	107	12.07	147	6.91	187	4.27	
28	20.08	68	16.64	108	11.94	148	6.82	188	4.23	
29	20.01	69	16.53	109	11.81	149	6.73	189	4.18	
30	19.94	70	16.43	110	11.67	150	6.64	190	4.14	
31	19.87	71	16.33	111	11.54	151	6.55	191	4.09	
32	19.80	72	16.22	112	11.40	152	6.46	192	4.05	
33	19.73	73	16.12	113	11.26	153	6.38	193	4.01	
34	19.65	74	16.01	114	11.13	154	6.30	194	3.97	
35	19.58	75	15.90	115	10.99	155	6.22	195	3.93	
36	19.50	76	15.79	116	10.85	156	6.14	196	3.89	
37	19.42	77	15.69	117	10.71	157	6.06	197	3.85	
38	19.35	78	15.58	118	10.57	158	5.98	198	3.81	
39	19.27	79	15.47	119	10.43	159	5.91	199	3.77	
40	19.19	80	15.36	120	10.28	160	5.83	200	3.73	

<sup>a</sup>When element width-to-thickness ratio exceeds noncompact section limits of Sect. B5.1, see Appendix B5.  
 Note:  $C_b = 126.1$



## PERFILES LAMINADOS UPN

### Especificaciones Generales

<b>Calidad</b>	ASTM A 36
<b>Otras calidades</b>	Previa Consulta
<b>Largo normal</b>	6,00 mts. Y 12,00 mts.
<b>Otros largos</b>	Previa Consulta
<b>Acabado</b>	Natural
<b>Otro acabado</b>	Previa Consulta



DENOMINACION	DIMENSIONES							TIPOS				
	h	s	g	t	R	R1	seccion	pesos	Ix	Iy	Wx	Wy
	mm	mm	mm	mm	mm	cm4	cm2	kg/mt	cm4	cm4	cm3	cm3
UPN 50	50	38	5.00	7.00	7.00	3.50	7.12	5.58	26.40	9.12	10.60	3.75
UPN 65	65	42	5.50	7.50	7.50	4.00	9.03	7.09	57.50	14.10	17.70	5.07
UPN 80	80	45	6.00	8.00	8.00	4.00	1.10	8.64	108.00	19.40	25.50	8.36
UPN 100	100	50	6.00	8.50	8.50	4.50	13.50	10.60	206.00	29.30	41.20	8.48
UPN 120	120	55	7.00	9.00	9.00	4.50	17.00	13.40	364.00	43.20	60.70	11.10
UPN 140	140	60	7.00	10.00	10.00	5.00	20.40	16.00	605.00	62.70	86.40	14.80
UPN 160	160	65	7.50	10.50	10.50	5.50	24.00	18.80	905.00	85.30	116.00	18.30
UPN 180	180	70	8.00	11.00	11.00	5.50	28.00	22.00	1350.00	114.00	150.00	22.40
UPN 200	200	75	8.50	11.50	11.50	6.00	32.20	25.30	1910.00	148.00	191.00	27.00
UPN 220	220	80	9.00	12.50	12.50	6.50	37.40	29.40	2680.00	197.00	245.00	33.60
UPN 240	240	85	9.50	13.00	13.00	6.50	42.30	33.20	3600.00	248.00	300.00	39.60
UPN 260	260	90	10.00	14.00	14.00	7.00	48.30	37.90	4820.00	317.00	371.00	47.70
UPN 300	300	100	10.00	16.00	16.00	8.00	58.80	46.20	8030.00	495.00	535.00	67.80



*Sinopsis del producto**1.1 Introducción al PLC S7-1200*

Función	CPU 1211C	CPU 1212C	CPU 1214C
Dimensiones físicas (mm)	90 x 100 x 75		110 x 100 x 75
Memoria de usuario	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Memoria de trabajo</li> <li>• Memoria de carga</li> <li>• Memoria remanente</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 50 KB</li> <li>• 2 MB</li> <li>• 2 KB</li> </ul>
E/S integradas locales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Digitales</li> <li>• Analógicas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 6 entradas/4 salidas</li> <li>• 2 entradas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 8 entradas/6 salidas</li> <li>• 2 entradas</li> <li>• 14 entradas/10 salidas</li> <li>• 2 entradas</li> </ul>
Tamaño de la memoria imagen de proceso	1024 bytes para entradas (I) y 1024 bytes para salidas (Q)		
Área de marcas (M)	4096 bytes		8192 bytes
Ampliación con módulos de señales	Ninguna	2	8
Signal Board	1		
Módulos de comunicación	3 (ampliación en el lado izquierdo)		
Contadores rápidos	3	4	6
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fase simple</li> <li>• Fase en cuadratura</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3 a 100 kHz</li> <li>• 3 a 80 kHz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3 a 100 kHz</li> <li>• 1 a 30 kHz</li> <li>• 3 a 80 kHz</li> <li>• 1 a 20 kHz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3 a 100 kHz</li> <li>• 3 a 30 kHz</li> <li>• 3 a 80 kHz</li> <li>• 3 a 20 kHz</li> </ul>
Salidas de impulsos	2		
Memory Card	SIMATIC Memory Card (opcional)		
Tiempo de respaldo del reloj de tiempo real	Típico: 10 días / Mínimo: 6 días a 40 °C		
PROFINET	1 puerto de comunicación Ethernet		
Velocidad de ejecución de funciones matemáticas con números reales	18 µs/instrucción		
Velocidad de ejecución booleana	0,1 µs/instrucción		

**Inductive type proximity sensor**

**UP  Round type**  
 **Square type**

**INSTRUCTION MANUAL**

Thank you for purchasing HANYOUNG product.  
Please check whether the product is the exactly same as you ordered. Before using the product, please read this instruction manual carefully.



**HANYOUNG NUX**

1381-3, Jwan-Dong, Nam-Gu Incheon, Korea  
**HEAD OFFICE** TEL : +82-32-676-4697 FAX : +82-32-676-4696 <http://www.hynux.net>

**Safety information**

**Warning**

- Since this product is not designed as a safety used device the user must install double safety equipment when this product is used for equipment with possible fatal accident or large property damage.

**Caution**

- Pay attention that it is possible to damage a proximity sensor by a short circuit when wiring load.
  - Wiring to an applicable device shall be certainly connected by using compressing terminals or soldering.
  - Do not use PNP type or NPN type indiscriminately.
  - Please wire after ensuring whether input conditions are accepted to an applicable device.
  - When there is a power or high voltage line close to the cord of the proximity sensor, wire the cord with shielding such as an independent metal conduit to prevent against proximity sensor's damage or malfunction.
  - Although the proximity sensor has a surge absorption circuit, if there is any machine that has a large surging one (e.g., a motor, welding machine, etc) near the proximity sensor, connect a varistor, surge absorber, noise filter to a surge generating area.
  - Effect of Consumption Current: When AC type of proximity sensor is OFF, the proximity sensor has little consumption current for an operation of the circuit. Because of this fact, the little voltage left in the load may be a cause of load reset defective, so please make sure this voltage is less than the load reset voltage before using.
  - In case of a load current is small: When a loaded current of AC type of proximity sensor is less than 5 mA, wire a bleeder resistor with the load in parallel so that make the residual voltage of the proximity sensor be less than the loaded reset voltage.
  - Make the ripple content of the rated voltage which supplied into DC (NPN, PNP) type of proximity sensor be less than the maximum  $\pm 10\%$  of the ripple content.
  - In case of using a condenser as a load, wire a current-limiting resistor in series so that set the peak current shall be within the loaded current of the proximity sensor.
  - In case of an inductive load (e.g., a motor, relay, magnet, etc), connect the load with surge absorbing diode in parallel.
  - Pay attention at a position of attachment, divergence, slack and distortion of a sensing surface or proximity sensor.
  - In the place of possibly occurring metal particles, make sure whether a sensing distance is properly working since it can be affected if metal particles stick to the sensing surface.
  - Pay attention on using or storing the proximity sensor outdoors.
  - Do not use the proximity sensor in an environment with chemical, solvent or corrosive.
  - Please avoid as much as possible to put the proximity sensor in hot water or to use them in a place where generates high pressure steam.
  - The contents of this manual may be changed without prior notification.
  - The maximum cable extension length shall be within 200 m.
- If you do not follow the contents described in the safety information then it is possible to be a cause of the product's malfunction so please follow them.

**Suffix code**

Model	Code	Information
UP	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Inductive type proximity sensor
Sensing area size	18	Sensing area diameter
Structure type	RM	Round type shield
	RD	Round type None shield
	RL	Long round type shield (M8 and M2 are excluded)
	RD	Long round type None shield (M8 and M2 are excluded)
Sensing distance	5	Sensing distance(mm)
Power Supply and Output	N	NPN type ■ Green body, (NO,NC)
	P	PNP type ■ Purple body, (NO,NC)
	A	A.C 2 wire type(NO : Green, NC : Purple)
	T	D.C 2 wire type(Polarity, (NO : Green, NC : Purple)
	U	D.C 2 wire type(polarity), (NO : Green, NC : Purple)
Output Type	A	Normal open (NO)
	C	Normal close (NC)
Connection structure		■ No indication (Cable type)
	CR	Relay connector type
	C	Connector type

**Specification**

■ D.C NPN/PNP Type

Code	UP 8RM-1.5□□	UP 12RM-2□□	UP 18RM-5□□	UP 30RM-10□□
Code	UP 8RD-2□□	UP 12RD-4□□	UP 18RD-8□□	UP 30RD-15□□
Code			UP 18RLM-5□□	UP 30RLM-10□□
Code			UP 18RLD-8□□	UP 30RLD-15□□
Shielding distance	1.5 mm, 2 mm	2 mm, 4 mm	5 mm, 8 mm, 5 mm, 8 mm	10 mm, 15 mm, 10 mm, 15 mm
Setting distance	0-1.2 mm, 0-1.6 mm	0-1.6 mm, 0-3.2 mm	0-4 mm, 0-6.4 mm	0-8 mm, 0-12 mm
Response frequency	800 Hz	800, 400 Hz	350, 200, 350, 200 Hz	250, 100, 250, 100 Hz
Standard sensing object (mm)	Iron 8×8×1	Iron 12×12×1	Iron 18×18×1 Iron 25×25×1 Iron 18×18×1 Iron 25×25×1	Iron 30×30×1 Iron 45×45×1 Iron 30×30×1 Iron 45×45×1
Hysteresis	Less than 10 % of sensing distance			
Power supply voltage	12 V - 24 V d.c (5-35 V d.c)			
Control output	Resistive load : 200 mA Max.			
Residual voltage	max 1.5 V			
Current consumption	max 8 mA			
Operation indication	Red LED			
Protective circuit	Power reversely connected protective circuit, surge protective circuit and over current protective circuit are built in			
Ambient temperature	-25 ~ 70 °C (Less than $\pm 10\%$ of sensing distance at temperature 20 °C)			
Ambient humidity	35 ~ 85 % R.H.			
Degree of protection	IP67 (IEC standard)			
Vibration resistance	10 ~ 55 Hz (cycle 1 min, double amplitude : 1.5 mm 2 hours for each of X, Y and Z directions)			
Dielectric strength	For 1 min at 2000 V a.c 50/60 Hz (between the recharging part and case)			
Shock resistance	500 % 3 times to each, X, Y and Z directions			
Insulation resistance	min 50 M $\Omega$ (500 V d.c mega standard)			
Material	CASE : Brass (Chrome plating), Sensing surface : PBT 8R CASE : Stainless, Sensing surface : PBT			

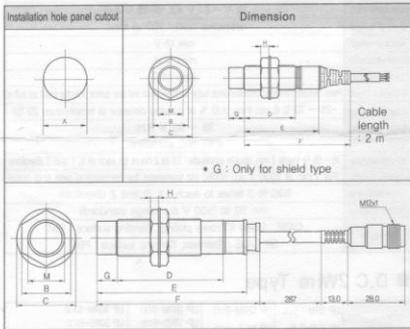
■ D.C 2Wire Type

Code	UP 8RM-1.5□□	UP 12RM-2□□	UP 18RM-5□□	UP 30RM-10□□
Code	UP 8RD-2□□	UP 12RD-4□□	UP 18RD-8□□	UP 30RD-15□□
Code			UP 18RLM-5□□	UP 30RLM-10□□
Code			UP 18RLD-8□□	UP 30RLD-15□□
Shielding distance	1.5 mm, 2 mm	2 mm, 4 mm	5 mm, 8 mm	10 mm, 15 mm, 10 mm, 15 mm
Setting distance	0-1.2 mm, 0-1.6 mm	0-1.6 mm, 0-3.2 mm	0-4 mm, 0-6.4 mm	0-8 mm, 0-12 mm, 0-8 mm, 0-12 mm
Response frequency	800 Hz	800, 400 Hz	800, 400 Hz	250, 100, 250, 100 Hz
Standard sensing object (mm)	Iron 8×8×1	Iron 12×12×1	Iron 18×18×1 Iron 25×25×1	Iron 30×30×1, Iron 45×45×1 Iron 30×30×1, Iron 45×45×1
Hysteresis	Less than 10 % of sensing distance			
Power supply voltage	12 V - 24 V d.c (10 - 30 V d.c)			
Control output	Resistive load : 100 mA Max.			
Residual voltage	T(Polarity) : max 3.5 V, U(No polarity) : max 5 V			
Leakage current	max 1 mA			
Operation indication	Red LED			
Protective circuit	Power reversely connected protective circuit, surge protective circuit and over current protective circuit are built in			
Ambient temperature	-25 ~ 70 °C (Less than $\pm 10\%$ of sensing distance at temperature 20 °C)			
Ambient humidity	35 ~ 85 % R.H.			
Degree of protection	IP67 (IEC standard)			
Vibration resistance	10 ~ 55 Hz (cycle 1 min, double amplitude : 1.5 mm 2 hours for each of X, Y and Z directions)			
Dielectric strength	For 1 min at 2000 V a.c 50/60 Hz (between the recharging part and case)			
Shock resistance	500 % 3 times to each, X, Y and Z directions			
Insulation resistance	min 50 M $\Omega$ (500 V d.c mega standard)			
Material	12R, 18R, 30R CASE : Brass (Chrome Plating), Sensing surface : PBT 8R CASE : Stainless, Sensing surface : PBT			

■ A.C 2Wire Type

Code	UP 12RM-2A□ UP 12RD-4A□	UP 18RM-5A□ UP 18RD-8A□ UP 18RLM-5A□ UP 18RLD-8A□	UP 30RM-10A□ UP 30RD-15A□ UP 30RLM-10A□ UP 30RLD-15A□
Sensing distance	2 mm, 4 mm	5 mm, 8 mm, 5 mm, 8 mm	10 mm, 15 mm, 10 mm, 15 mm
Setting distance	0-1.6 mm, 0-3.2 mm	0-4 mm, 0-6.4 mm, 0-4 mm, 0-6.4 mm	0-6 mm, 0-12 mm, 0-6 mm, 0-12 mm
Response frequency	20 Hz		
Standard sensing object (mm)	Iron 12x12x1	Iron 18x18x1, Iron 25x25x1 Iron 18x18x1, Iron 25x25x1	Iron 30x30x1, Iron 45x45x1 Iron 30x30x1, Iron 45x45x1
Hysteresis	Less than 10 % of sensing distance		
Power supply voltage	100 V ~ 240 V a.c (90 V ~ 250 V a.c)		
Control output	Resistive load : 200 mA Max.		
Residual voltage	max 10 V a.c		
Leakage current	max 2.2 mA		
Operation indicator	Red LED		
Protective circuit	Surge protective circuit built in.		
Ambient temperature	-25 ~ 70 °C (Less than ±10 % of sensing distance at temperature 20 °C)		
Ambient humidity	35 ~ 85 % R.H.		
Degree of protection	IP67 (IEC standard)		
Vibration resistance	10 ~ 55 Hz (cycle 1 min, double amplitude); 15 ms 2 hours for each of X, Y and Z directions		
Dielectric strength	For 1 min at 2000 V a.c 50/60 Hz (between the recharging part and case)		
Shock resistance	500 % 3 times to each, X, Y and Z directions		
Insulation resistance	min 50 MΩ (500 V d.c mega standard)		
Material	CASE : PBT resin		

Dimension



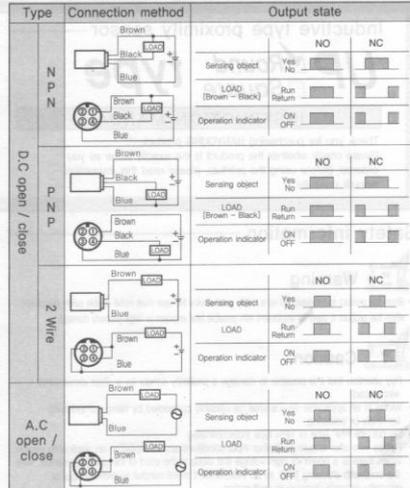
• D.C NPN/PNP/2Wire Type

Model	M	A	B	C	D	E	F	G	H
UP 8RM-1.5□	8	9	13	15	33	-	-	-	3.4
UP 8RD-2□	8	9	13	15	29	-	-	4	3.4
UP 12RM-2□	12	13	17	21	32	43.5	59	-	4
UP 12RD-4□	12	13	17	21	24.5	36	51.5	7.5	4
UP 18RM-5□	18	19	24	29	29	41	57.8	-	4
UP 18RD-8□	18	19	24	29	19	31	47.8	10	4
UP 18RLM-5□	18	19	24	29	62	74	90.8	-	4
UP 18RLD-8□	18	19	24	29	52	64	80.8	10	4
UP 30RM-10□	30	31	35	43	39	50	66.8	-	5
UP 30RD-15□	30	31	35	43	28	40	56.8	10	5
UP 30RLM-10□	30	31	35	43	60	72	88.8	-	5
UP 30RLD-15□	30	31	35	43	50	62	78.8	10	5

• A.C 2Wire Type

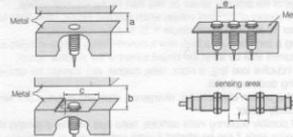
Model	M	A	B	C	D	E	F	G	H
UP 12RM-2A□	12	13	17	21	49	61	76	-	4
UP 12RD-4A□	12	13	17	21	42	53.5	68.5	7.5	4
UP 18RM-5A□	18	19	24	29	36	48	64.8	-	4
UP 18RD-8A□	18	19	24	29	26	38	54.8	10	4
UP 18RLM-5A□	18	19	24	29	62	74	90.8	-	4
UP 18RLD-8A□	18	19	24	29	52	64	80.8	10	4
UP 30RM-10A□	30	31	35	43	39	50	66.8	-	5
UP 30RD-15A□	30	31	35	43	28	40	56.8	10	5
UP 30RLM-10A□	30	31	35	43	60	72	88.8	-	5
UP 30RLD-15A□	30	31	35	43	50	62	78.8	10	5

Connection diagram



Mutual interference and effects of surrounding metals

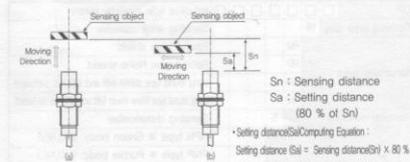
- When attaching more than 1 proximity sensors in parallel direction or facing each other, it can cause the malfunction. When there are metals around the proximity sensor, it can cause malfunctions such as abnormal return due to the existence of metals around the proximity sensor. In order to avoid the malfunction which caused by surrounding metals, please install it with sufficient gap from each other. (Wider than the values written in below chart)



[Unit : mm]

Model	UP8RM	UP8RD	UP12RM	UP12RD	UP18RM	UP18RD	UP30RM	UP30RD
List	-1.5	-2	-2	-4	-5	-8	-10	-15
a	4.5	6	6	12	15	24	30	45
b	8	6	6	12	15	24	30	45
c	8	24	12	36	18	54	30	90
d	0	8	0	11	0	14	0	15
e	16	24	24	36	36	54	60	90
f	9	12	12	24	30	48	60	90

How to set distance



- When a proximity sensor is operating as a sensing object is approaching, a distance between the sensing surface and the sensing object is the operating distance of the proximity sensor.
- After measuring a maximum value of a perpendicular direction of a sensing object, install it within 80 %.
- When testing a sensing distance of a proximity sensor, a standard sensing object was used so a sensing distance can be varied by its shape, form or material. Please, consider these facts.



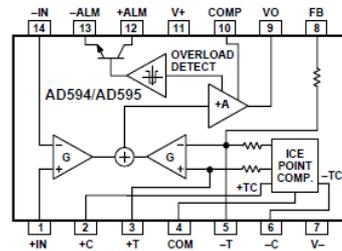
## Monolithic Thermocouple Amplifiers with Cold Junction Compensation

### AD594/AD595

#### FEATURES

Pretrimmed for Type J (AD594) or  
 Type K (AD595) Thermocouples  
 Can Be Used with Type T Thermocouple Inputs  
 Low Impedance Voltage Output: 10 mV/°C  
 Built-In Ice Point Compensation  
 Wide Power Supply Range: +5 V to ±15 V  
 Low Power: <1 mW typical  
 Thermocouple Failure Alarm  
 Laser Wafer Trimmed to 1°C Calibration Accuracy  
 Setpoint Mode Operation  
 Self-Contained Celsius Thermometer Operation  
 High Impedance Differential Input  
 Side-Brazed DIP or Low Cost Cerdip

#### FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



#### PRODUCT DESCRIPTION

The AD594/AD595 is a complete instrumentation amplifier and thermocouple cold junction compensator on a monolithic chip. It combines an ice point reference with a precalibrated amplifier to produce a high level (10 mV/°C) output directly from a thermocouple signal. Pin-strapping options allow it to be used as a linear amplifier-compensator or as a switched output setpoint controller using either fixed or remote setpoint control. It can be used to amplify its compensation voltage directly, thereby converting it to a stand-alone Celsius transducer with a low impedance voltage output.

The AD594/AD595 includes a thermocouple failure alarm that indicates if one or both thermocouple leads become open. The alarm output has a flexible format which includes TTL drive capability.

The AD594/AD595 can be powered from a single ended supply (including +5 V) and by including a negative supply, temperatures below 0°C can be measured. To minimize self-heating, an unloaded AD594/AD595 will typically operate with a total supply current 160 µA, but is also capable of delivering in excess of ±5 mA to a load.

The AD594 is precalibrated by laser wafer trimming to match the characteristic of type J (iron-constantan) thermocouples and the AD595 is laser trimmed for type K (chromel-alumel) inputs. The temperature transducer voltages and gain control resistors

are available at the package pins so that the circuit can be recalibrated for the thermocouple types by the addition of two or three resistors. These terminals also allow more precise calibration for both thermocouple and thermometer applications.

The AD594/AD595 is available in two performance grades. The C and the A versions have calibration accuracies of ±1°C and ±3°C, respectively. Both are designed to be used from 0°C to +50°C, and are available in 14-pin, hermetically sealed, side-brazed ceramic DIPs as well as low cost cerdip packages.

#### PRODUCT HIGHLIGHTS

1. The AD594/AD595 provides cold junction compensation, amplification, and an output buffer in a single IC package.
2. Compensation, zero, and scale factor are all precalibrated by laser wafer trimming (LWT) of each IC chip.
3. Flexible pinout provides for operation as a setpoint controller or a stand-alone temperature transducer calibrated in degrees Celsius.
4. Operation at remote application sites is facilitated by low quiescent current and a wide supply voltage range +5 V to dual supplies spanning 30 V.
5. Differential input rejects common-mode noise voltage on the thermocouple leads.

#### REV. C

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.  
 Tel: 781/329-4700 World Wide Web Site: <http://www.analog.com>  
 Fax: 781/326-8703 © Analog Devices, Inc., 1999

## AD594/AD595—SPECIFICATIONS (@ +25°C and $V_S = 5$ V, Type J (AD594), Type K (AD595) Thermocouple, unless otherwise noted)

Model	AD594A			AD594C			AD595A			AD595C			Units
	Min	Typ	Max										
<b>ABSOLUTE MAXIMUM RATING</b>													
$+V_S$ to $-V_S$		36			36			36			36		Volts
Common-Mode Input Voltage	$-V_S - 0.15$	$+V_S$		Volts									
Differential Input Voltage	$-V_S$	$+V_S$		Volts									
<b>Alarm Voltages</b>													
+ALM	$-V_S$	$-V_S + 36$		Volts									
-ALM	$-V_S$	$+V_S$		Volts									
Operating Temperature Range	-55	+125		-55	+125		-55	+125		-55	+125		°C
Output Short Circuit to Common	Indefinite			Indefinite			Indefinite			Indefinite			
<b>TEMPERATURE MEASUREMENT</b> (Specified Temperature Range 0°C to +50°C)													
Calibration Error at +25°C <sup>1</sup>		±3			±1			±3			±1		°C
Stability vs. Temperature <sup>2</sup>		±0.05			±0.025			±0.05			±0.025		°C/°C
Gain Error		±1.5			±0.75			±1.5			±0.75		%
Nominal Transfer Function		10			10			10			10		mV/°C
<b>AMPLIFIER CHARACTERISTICS</b>													
Closed Loop Gain <sup>3</sup>	193.4			193.4			247.3			247.3			
Input Offset Voltage	(Temperature in °C) × 51.70 μV/°C			(Temperature in °C) × 51.70 μV/°C			(Temperature in °C) × 40.44 μV/°C			(Temperature in °C) × 40.44 μV/°C			μV
Input Bias Current	0.1			0.1			0.1			0.1			μA
Differential Input Range	-10	+50		-10	+50		-10	+50		-10	+50		mV
Common-Mode Range	$-V_S - 0.15$	$-V_S - 4$		$-V_S - 0.15$	$-V_S - 4$		$-V_S - 0.15$	$-V_S - 4$		$-V_S - 0.15$	$-V_S - 4$		Volts
Common-Mode Sensitivity – RTO	10			10			10			10			mV/V
Power Supply Sensitivity – RTO	10			10			10			10			mV/V
Output Voltage Range													
Dual Supply	$-V_S + 2.5$	$+V_S - 2$		$-V_S + 2.5$	$+V_S - 2$		$-V_S + 2.5$	$+V_S - 2$		$-V_S + 2.5$	$+V_S - 2$		Volts
Single Supply	0	$+V_S - 2$		0	$+V_S - 2$		0	$+V_S + 2$		0	$+V_S - 2$		Volts
Usable Output Current <sup>4</sup>	±5			±5			±5			±5			mA
3 dB Bandwidth	15			15			15			15			kHz
<b>ALARM CHARACTERISTICS</b>													
$V_{CSAT}$ at 2 mA	0.3			0.3			0.3			0.3			Volts
Leakage Current	±1			±1			±1			±1			μA
Operating Voltage at -ALM	$+V_S - 4$			Volts									
Short Circuit Current	20			20			20			20			mA
<b>POWER REQUIREMENTS</b>													
Specified Performance	$+V_S = 5, -V_S = 0$			$+V_S = 5, -V_S = 0$			$+V_S = 5, -V_S = 0$			$+V_S = 5, -V_S = 0$			Volts
Operating <sup>5</sup>	$+V_S$ to $-V_S \leq 30$			Volts									
Quiescent Current (No Load)													
$+V_S$	160	300		160	300		160	300		160	300		μA
$-V_S$	100			100			100			100			μA
<b>PACKAGE OPTION</b>													
TO-116 (D-14)	AD594AD			AD594CD			AD595AD			AD595CD			
Cerdp (Q-14)	AD594AQ			AD594CQ			AD595AQ			AD595CQ			

**NOTES**

<sup>1</sup>Calibrated for minimum error at +25°C using a thermocouple sensitivity of 51.7 μV/°C. Since a J type thermocouple deviates from this straight line approximation, the AD594 will normally read 3.1 mV when the measuring junction is at 0°C. The AD595 will similarly read 2.7 mV at 0°C.

<sup>2</sup>Defined as the slope of the line connecting the AD594/AD595 errors measured at 0°C and 50°C ambient temperature.

<sup>3</sup>Pin 8 shorted to Pin 9.

<sup>4</sup>Current Sink Capability in single supply configuration is limited to current drawn to ground through a 50 kΩ resistor at output voltages below 2.5 V.

<sup>5</sup> $-V_S$  must not exceed -16.5 V.

Specifications shown in **boldface** are tested on all production units at final electrical test. Results from those tests are used to calculate outgoing quality levels. All min and max specifications are guaranteed, although only those shown in **boldface** are tested on all production units. Specifications subject to change without notice.

**INTERPRETING AD594/AD595 OUTPUT VOLTAGES**

To achieve a temperature proportional output of 10 mV/°C and accurately compensate for the reference junction over the rated operating range of the circuit, the AD594/AD595 is gain trimmed to match the transfer characteristic of J and K type thermocouples at 25°C. For a type J output in this temperature range the TC is 51.70 μV/°C, while for a type K it is 40.44 μV/°C. The resulting gain for the AD594 is 193.4 (10 mV/°C divided by 51.7 μV/°C) and for the AD595 is 247.3 (10 mV/°C divided by 40.44 μV/°C). In addition, an absolute accuracy trim induces an input offset to the output amplifier characteristic of 16 μV for the AD594 and 11 μV for the AD595. This offset arises because the AD594/AD595 is trimmed for a 250 mV output while applying a 25°C thermocouple input.

Because a thermocouple output voltage is nonlinear with respect to temperature, and the AD594/AD595 linearly amplifies the

compensated signal, the following transfer functions should be used to determine the actual output voltages:

$$AD594 \text{ output} = (\text{Type J Voltage} + 16 \mu\text{V}) \times 193.4$$

$$AD595 \text{ output} = (\text{Type K Voltage} + 11 \mu\text{V}) \times 247.3 \text{ or conversely:}$$

$$\text{Type J voltage} = (AD594 \text{ output}/193.4) - 16 \mu\text{V}$$

$$\text{Type K voltage} = (AD595 \text{ output}/247.3) - 11 \mu\text{V}$$

Table I lists the ideal AD594/AD595 output voltages as a function of Celsius temperature for type J and K ANSI standard thermocouples, with the package and reference junction at 25°C. As is normally the case, these outputs are subject to calibration, gain and temperature sensitivity errors. Output values for intermediate temperatures can be interpolated, or calculated using the output equations and ANSI thermocouple voltage tables referred to zero degrees Celsius. Due to a slight variation in alloy content between ANSI type J and DIN Fe-CUNI

## AD594/AD595

Table I. Output Voltage vs. Thermocouple Temperature (Ambient +25°C,  $V_S = -5\text{ V}, +15\text{ V}$ )

Thermocouple Temperature °C	Type J Voltage mV	AD594 Output mV	Type K Voltage mV	AD595 Output mV	Thermocouple Temperature °C	Type J Voltage mV	AD594 Output mV	Type K Voltage mV	AD595 Output mV
-200	-7.890	-1523	-5.891	-1454	500	27.388	5300	20.640	5107
-180	-7.402	-1428	-5.550	-1370	520	28.511	5517	21.493	5318
-160	-6.821	-1316	-5.141	-1269	540	29.642	5736	22.346	5529
-140	-6.159	-1188	-4.669	-1152	560	30.782	5956	23.198	5740
-120	-5.426	-1046	-4.138	-1021	580	31.933	6179	24.050	5950
-100	-4.632	-893	-3.553	-876	600	33.096	6404	24.902	6161
-80	-3.785	-729	-2.920	-719	620	34.273	6632	25.751	6371
-60	-2.892	-556	-2.243	-552	640	35.464	6862	26.599	6581
-40	-1.960	-376	-1.527	-375	660	36.671	7095	27.445	6790
-20	-0.995	-189	-0.777	-189	680	37.893	7332	28.288	6998
-10	-0.501	-94	-0.392	-94	700	39.130	7571	29.128	7206
0	0	3.1	0	2.7	720	40.382	7813	29.965	7413
10	.507	101	.397	101	740	41.647	8058	30.799	7619
20	1.019	200	.798	200	750	42.283	8181	31.214	7722
25	1.277	250	1.000	250	760	-	-	31.629	7825
30	1.536	300	1.203	300	780	-	-	32.455	8029
40	2.058	401	1.611	401	800	-	-	33.277	8232
50	2.585	503	2.022	503	820	-	-	34.095	8434
60	3.115	606	2.436	605	840	-	-	34.909	8636
80	4.186	813	3.266	810	860	-	-	35.718	8836
100	5.268	1022	4.095	1015	880	-	-	36.524	9035
120	6.359	1233	4.919	1219	900	-	-	37.325	9233
140	7.457	1445	5.733	1420	920	-	-	38.122	9430
160	8.560	1659	6.539	1620	940	-	-	38.915	9626
180	9.667	1873	7.338	1817	960	-	-	39.703	9821
200	10.777	2087	8.137	2015	980	-	-	40.488	10015
220	11.887	2302	8.938	2213	1000	-	-	41.269	10209
240	12.998	2517	9.745	2413	1020	-	-	42.045	10400
260	14.108	2732	10.560	2614	1040	-	-	42.817	10591
280	15.217	2946	11.381	2817	1060	-	-	43.585	10781
300	16.325	3160	12.207	3022	1080	-	-	44.339	10970
320	17.432	3374	13.039	3227	1100	-	-	45.108	11158
340	18.537	3588	13.874	3434	1120	-	-	45.863	11345
360	19.640	3801	14.712	3641	1140	-	-	46.612	11530
380	20.743	4015	15.552	3849	1160	-	-	47.356	11714
400	21.846	4228	16.395	4057	1180	-	-	48.095	11897
420	22.949	4441	17.241	4266	1200	-	-	48.828	12078
440	24.054	4655	18.088	4476	1220	-	-	49.555	12258
460	25.161	4869	18.938	4686	1240	-	-	50.276	12436
480	26.272	5084	19.788	4896	1250	-	-	50.633	12524

thermocouples Table I should not be used in conjunction with European standard thermocouples. Instead the transfer function given previously and a DIN thermocouple table should be used. ANSI type K and DIN NiCr-Ni thermocouples are composed

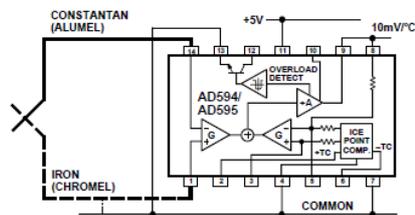


Figure 1. Basic Connection, Single Supply Operation of identical alloys and exhibit similar behavior. The upper temperature limits in Table I are those recommended for type J and type K thermocouples by the majority of vendors.

## SINGLE AND DUAL SUPPLY CONNECTIONS

The AD594/AD595 is a completely self-contained thermocouple conditioner. Using a single +5 V supply the interconnections shown in Figure 1 will provide a direct output from a type J thermocouple (AD594) or type K thermocouple (AD595) measuring from 0°C to +300°C.

Any convenient supply voltage from +5 V to +30 V may be used, with self-heating errors being minimized at lower supply levels. In the single supply configuration the +5 V supply connects to Pin 11 with the V- connection at Pin 7 strapped to power and signal common at Pin 4. The thermocouple wire inputs connect to Pins 1 and 14 either directly from the measuring point or through intervening connections of similar thermocouple wire type. When the alarm output at Pin 13 is not used it should be connected to common or -V. The precalibrated feedback network at Pin 8 is tied to the output at Pin 9 to provide a 10 mV/°C nominal temperature transfer characteristic.

By using a wider ranging dual supply, as shown in Figure 2, the AD594/AD595 can be interfaced to thermocouples measuring both negative and extended positive temperatures.



**SERIES 11SAD4  
1/8 AND 1/4 NPTF  
SINGLE SOLENOID, SPRING RETURN**

**SPECIFICATIONS**

11SAD4 series valves are 1/8" heavy duty, multi-purpose, 2-position, single solenoid operated, spring returned, 4-way air valves. They are of splash-proof construction and are, as standard, fitted with a recessed, nonlocking manual operator.

**APPLICATION**

These valves are used primarily for the control of small bore, short stroke air cylinders where part stroke stopping or inching of the cylinder is not required. They are genuine multi-purpose valves; that is, they may be used as normally open or closed 2- or 3-way valves, single or dual pressure 4-ways, or as selector or diverter valves, dependent only on how they are piped or plugged. Full back pressure at any port has no operating effect on the valve.

They are actuated by a "maintained" electrical signal. The spring returns the spool to the normal position when the solenoid is de-energized.

**MOUNTING MEANS**

11SAD4 model valves are available with either 1/8 or 1/4 NPTF bases or miniBLOK mounting, with or without speed control. 1/8 NPTF bases are shown on MK7-5, 1/4 NPTF bases on MK7-19, and miniBLOK on MK7-12-15. Mark 7 valves may be mounted in any position.

**OPTIONS**

Options are shown on pages MK7-18-19. Pressure regulators are shown on pages MK7-16/17.

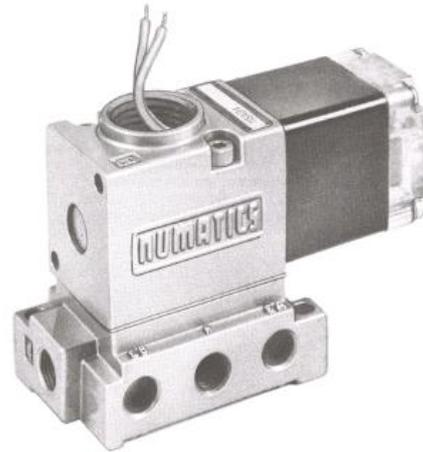
**OPERATING DATA**

**PRESSURE RANGE:** 28" Hg. vacuum to 300 PSIG (Specify pressure for operation over 150 PSIG).

**TEMPERATURE RANGE:** -10°F to +115°F ambient. High temperature coils are not available.

**SERVICE:** Valves can be used on properly filtered and lubricated air, dry air, vacuum or noncorrosive, nontoxic and nonflammable dry gases.

**FLOW CAPACITY:** MARK 7 Line 2-position valves have a Cv of .4. At 80 PSIG supply pressure, discharging to atmosphere, the flow is 18 SCFM. See Numatics' Engineering & Technical Data for complete flow chart.



**SOLENOID DATA**

All solenoids are continuous duty rated. Standard voltages are dual Hz 115/120 - 50/60 Hz, and 220/230 - 50/60 Hz A.C. and 12 or 24 volts D.C.

Special A.C. voltages 8 to 230, 50 or 60 hertz and D.C. voltages 6-250v D.C. are available on special order. Consult factory.

	120/60 A.C.	24v D.C.
Inrush current (amps.)	.40	.25
Holding current (amps.)	.12	.25
D.C. watts, inrush & holding, all voltages (max.)	—	6
Time to energize (secs.)	.012	.028
Time to de-energize (secs.)	.018	.012

**MODEL SELECTION CHART**

1/8 NPTF BASE	1/4 NPTF BASE	BASE DESCRIPTION	WIRING OPTION
11SAD400		Valve unit only, no base	Add one letter to any model number and specify voltage.  O = Std. A.C., hardwired B = Std. D.C., hardwired C = Std. A.C., plug-in E = Std. D.C., plug-in  Cord/plug assemblies for options C & E Order separately 4 ft., 230-213A 6 ft., 230-215A
41	11SAD44A	Side ports, individual exhaust	
43	11SAD44B	Side and bottom ports, individual exhaust	
44		Side ports, common exhaust	
54		Side and bottom ports, common exhaust	
46	11SAD44C	No. 41 or No. 4A base with speed control	
48	11SAD44D	No. 43 or No. 4B base with speed control	
49		No. 44 base with speed control	
55		No. 54 base with speed control	
For aluminum solenoid cover with pipe plug, add O11A to model number. For aluminum solenoid cover with override, add O11J to model number. For 48" solenoid leads, add O13A to model number.		See page MK7-18.	





**miniBLOK<sup>®</sup>**  
MANIFOLD MOUNTINGS

**SPECIFICATIONS**

miniBLOK<sup>®</sup> is a stackable method of manifold mounting which provides a large single supply gallery and two common exhaust galleries. These passages run the length of the manifold. The end plates are tapped at both ends. A single miniBLOK unit accepts either a single or double solenoid valve and is used most frequently to provide a standard single pressure, 4-way directional valve module with supply from the P gallery, exhausts into the EB and EA galleries, and the B and A ports as cylinder or outlet ports in the "B" side of the blok.

**APPLICATION**

miniBLOK assemblies can be mounted directly on machines or in panel enclosures. Bloks accept both MARK 7 Line valves and Numatics PA-7 Line air pilot actuated valves (see Catalog PA-7). Either basic or conduit end plates are available, depending on which wiring arrangement is selected. For out-in-the-open machine assembly, conduit covers fit over recesses on the conduit end plates to conceal all wiring, and are easily removable with just four screws. Basic end plates may be used in panel mounted assemblies where the enclosure protects the various electrical connections and eliminates the need for a conduit cover.

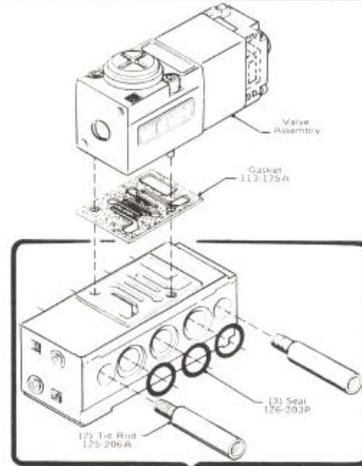
**PORTING AND BLOCKING**

The standard miniBLOK unit includes side cylinder ports only. Side and bottom porting is an optional extra. On the latter arrangement only, an additional port is tapped in the bottom of the blok which connects directly with the supply gallery. This port, labeled P, may be used as an auxiliary outlet or lubrication port for forced lubrication systems.

A blocking plug is available (see page MK7-14) which fits into any of the three main galleries of the miniBLOK units, permitting interruption of air pressure supply or exhaust between individual bloks in an assembly.

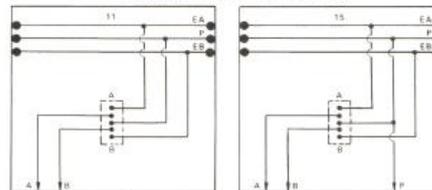
To assemble your own manifold, select stations from the chart below plus hardware from page MK7-14.

To order a factory assembled and tested manifold, see page MK7-15.



VALVE BLOK KIT NO.  
229-307A=Blok No. 11, side ports only  
229-308A=Blok No. 15, side and bottom ports

**MARK 7 miniBLOK DIAGRAMS**



No. 11 for side ported bloks; No. 15 for side and bottom ported bloks.

**MODEL SELECTION CHART**

VALVE TYPE	MODEL NUMBER	MOUNTING DESCRIPTION	WIRING OPTION
Single Solenoid 2-Position Spring Return	11SAD411 11SAD415 11SAD421 11SAD425	Side Cylinder Ports Side and Bottom Cylinder Ports Side Cylinder Ports with Speed Control Side and Bottom Cylinder Ports with Speed Control	Add one letter to any model number and specify voltage.  O = Std. A.C. Hardwired B = Std. D.C. Hardwired C = Std. A.C. Plug-in E = Std. D.C. Plug-in
Double Solenoid 2-Position Detented	11DSA411 11DSA415 11DSA421 11DSA425	Side Cylinder Ports Side and Bottom Cylinder Ports Side Cylinder Ports with Speed Control Side and Bottom Cylinder Ports with Speed Control	
Double Solenoid 3-Position Dual Pressures in Neutral	11DSA511 11DSA515 11DSA521 11DSA525	Side Cylinder Ports Side and Bottom Cylinder Ports Side Cylinder Ports with Speed Control Side and Bottom Cylinder Ports with Speed Control	Conduit/Plug Assemblies for Options C & E Order Separately  4 ft., 230-213A 6 ft., 230-215A
Double Solenoid 3-Position All Ports Blocked in Neutral	11DSA611 11DSA615 11DSA621 11DSA625	Side Cylinder Ports Side and Bottom Cylinder Ports Side Cylinder Ports with Speed Control Side and Bottom Cylinder Ports with Speed Control	

Specify Volts and Hz: 100-115/50; 110-120/60 or 200-240/50; 220-120/60  
For valve units only, see pages 4, 6, 8, 9. Speed Control, see page 19.

**Single-Phase Non-Contact Relay**  
**HSR-2D, HSR-2A**  
**Single-Phase Non-Contact Relay (For Low Voltage)**

We appreciate you for purchasing HanYoung Electronic Co., Ltd product. Before using the product you have purchased, check to make sure that it is exactly what you ordered. Then, please use it following the instructions below.

HanYoung Electronic Co., Ltd. Certification Status

**Headquarter/Factory**  
 1361-3, Jun 5-dong, Nam-gu, Incheon, Korea  
 TEL : (82-32)876-4531 FAX : (82-32)876-4596  
 http://www.hytlux.com E-mail : mkt@hytlux.co.kr

**Main Products**

- o Digital : Temperature controller, Tachometer, Panel Meter, Counter, Timer, Speedmeter
- o Sensor : Proximity Switch, Optical Fiber Sensor, Rotary Encoder, Photoelectric Sensor
- o Analog : Timer, Temperature Controller

**Warning** Since this product is not designed as a safety device, the user must install double safety equipment when this product is used for equipments with possible fatal accident or large property damages.

**1 Safety Precautions**

**Danger**  
Do not touch or contact the input/output terminals because they may cause electric shock.

**Warning**

1. Before you use, read safety precautions carefully, and use this product properly.
2. Do not touch or contact the input/output terminals because they may cause electric shock.
3. The user must install the external safety equipment when there are possible defect of this product or serious accidents.
4. To prevent deflection or malfunction of this product, supply proper power voltage in accordance with the rating.
5. To prevent electric shock or devise malfunction of this product, do not supply the power until the wiring is completed.
6. Reassemble this product while the power is off. Otherwise, it may cause malfunction or electric shock.
7. If the user use the product with methods other than specified by the manufacturer, there may be bodily injuries or property damages.
8. Due to the danger of electric shock, use this product installed onto a panel while an electric current is applied.

**Caution**

1. Before using the product you have purchased, check to make sure that it is exactly what you ordered.
2. Do not use this product at any place with corrosive (especially noxious gas or ammonia) or flammable gas.
3. Do not use this product at any place with liquid, oil, medical substances, dust, salt or iron contents.
4. Do not use this product at any place with excessive induction trouble, static electricity or magnetic noise.
5. Do not use this product at any place with possible thermal accumulation due to direct sunlight or heat radiation.
6. When the product gets wet, the inspection is essential because there is danger of an electric leakage or fire.
7. Do not connect anything to the unused terminals.
8. For DC types, connect wires at the correct position after checking polarity of terminal.
9. The rated heat sink must be used; otherwise, the product may be destroyed.
10. When product is disposed, treat as a industrial waste.

**3 Rated Specifications**

**Direct Current(DC) Input Type**

Model Name	HSR-2D10Z HSR-2D10R	HSR-2D20Z HSR-2D20R	HSR-2D30Z HSR-2D30R	HSR-2D40Z HSR-2D40R
Rated Voltage	5 - 24 V DC			
Applicable Voltage Range	4 - 32 V DC			
Impedance	Below 4 Ω			
Operation Voltage	Over 3 V DC			
Return Voltage	Below 1.5 V DC			
Input Current	Constant Current method : 10 mA (±3%)			
Rated Load Voltage	100 - 240 V AC			
Load Voltage Range	90 - 264 V AC			
Peak Voltage (non-repetition)	600 V			
Rated Load Current	10 A	20 A	30 A	40 A
Frequency	50 - 65 Hz			
In-flow Current	125 A	300 A	315 A	315 A
Out-flow Current	15 mA			
Output On Current	1.3 V	1.6 V	1.8 V	1.8 V
Minimum Operate Current	1 A			
Zero Cross Function	O	X	O	X
Response Time	150ms±10% (1.5ms)	100ms±10% (1.5ms)	100ms±10% (1.5ms)	100ms±10% (1.5ms)
Insulating Resistance	500 V D.C. 100 MΩ (Input/Output and between Cases)			
Dielectric strength	2500 V A.C. (50 Hz for one minute)			
Vibration	10 - 55 Hz, Double amplitude, 1.5 mm, Each X-Y-Z axis for 2 hours			
Impact	1000 N (about 100 G), Each X-Y-Z axis for 3 times			
Storage Temperature	-30 - 90 °C			
Ambient Temperature	-20 - 60 °C			
Ambient Humidity	45 - 85 % R.H.			
Weight	About 130 g			

Notes : The weight does not include package box.

**Alternating Current(AC) Input Type**

Model Name	HSR-2A10Z HSR-2A10R	HSR-2A20Z HSR-2A20R	HSR-2A30Z HSR-2A30R	HSR-2A40Z HSR-2A40R
Rated Voltage	100 - 240 V AC			
Applicable Voltage Range	90 - 264 V AC			
Impedance	Below 40 Ω			
Operation Voltage	Over 20 V D.C.			
Return Voltage	Below 40 V D.C.			
Input Current	300 V AC / 9 mA (±3%)			
Rated Load Voltage	100 - 240 V AC			
Load Voltage Range	90 - 264 V AC			
Peak Voltage (non-repetition)	600 V			
Rated Load Current	10 A	20 A	30 A	40 A
Frequency	50 - 65 Hz			
In-flow Current	125 A	300 A	315 A	315 A
Out-flow Current	15 mA			
Output On Current	1.3 V	1.6 V	1.8 V	1.8 V
Minimum Operate Current	1 A			
Zero Cross Function	O	X	O	X
Response Time	150ms±10% (1.5ms)	100ms±10% (1.5ms)	100ms±10% (1.5ms)	100ms±10% (1.5ms)
Insulating Resistance	500 V D.C. 100 MΩ (Input/Output and between Cases)			
Dielectric strength	2500 V A.C. (50 Hz for one minute)			
Vibration	10 - 55 Hz, Double amplitude, 1.5 mm, Each X-Y-Z axis for 2 hours			
Impact	1000 N (about 100 G), Each X-Y-Z axis for 3 times			
Storage Temperature	-30 - 90 °C			
Ambient Temperature	-20 - 60 °C			
Ambient Humidity	45 - 85 % R.H.			
Weight	About 130 g			

Notes : The weight does not include package box.

**2 Ordering Information**

**HSR-2 A 30 2 Z**

- Operation method : Z : Zero Cross Switching (Switching Mode) ; R : Random Switching
- Rated load voltage : 2 : 90 - 264 V AC ; 4 : 90 - 480 V AC
- Rated load current : 10 : 10 A ; 20 : 20 A ; 30 : 30 A ; 40 : 40 A
- Input control voltage : D : DC 4 - 32 V ; A : AC 90 - 264 V
- Control phase : 2 : Single Phase ; 3 : Three Phase

#### 4 External Dimension

[Unit: mm]

#### 5 Circuit

■ DC Input Type

■ AC Input Type

#### 6 Application Circuit

■ DC Input Type

■ AC Input Type

#### 7 Load Current Characteristics

■ Input Voltage / Current Characteristics

#### Load Current Characteristics

#### In-flow Current Characteristics

#### 8 Heat Sink

■ Model Name : HSP Series [Unit: mm]

Model	Applicable Model	Capacity(A)	Length(L)
HSP-10	HSR-2□10□□	10(A)	48 mm
HSP-20	HSR-2□20□□	20(A)	80 mm
HSP-40	HSR-2□30□□	30(A)	109 mm
	HSR-2□40□□	40(A)	

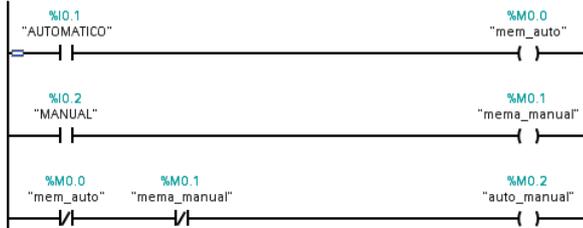
\* The contents above may change for performance improve without any prior notice

#### Precautions during the use of Heat Sink

- Using standard heat sink is mandatory for this product.
- Even the standard heat sink is used, SSR damage may occur if the environment temperature rises or if the ventilation does not work well. (Environment temperature: over 40°C)
- The normal SSR element is damaged at the maximum temperature of 125°C. When the temperature of heat sink is 80°C, the temperature of the element reaches around 125°C. Therefore, during operation, measure the temperature of heat sink.
- When you connect SSR onto the heat sink, heat-transmitting grease is needed for smooth heat transmission.
- To prevent separation by vibration, tighten up with bolts.
- Do not use any insulating materials such as wood, plastic or rubber. The standard heat sink must be greased on the bottom side as shown below and connected.
- The heatproof silicon grease must be applied thoroughly on the heat sink as well as the bottom of SSR. The case side of heat sink needs to be installed on up and down directions

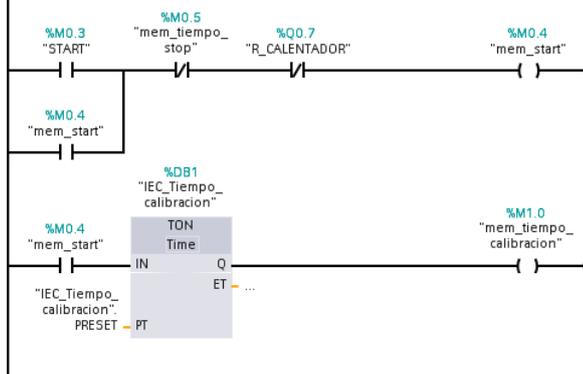
**Segmento 1:** .....

Comentario



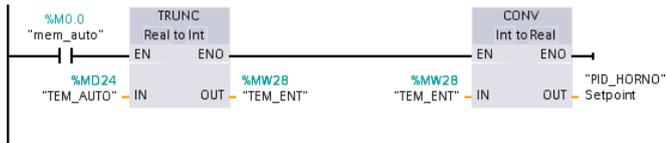
**Segmento 2:** .....

Comentario



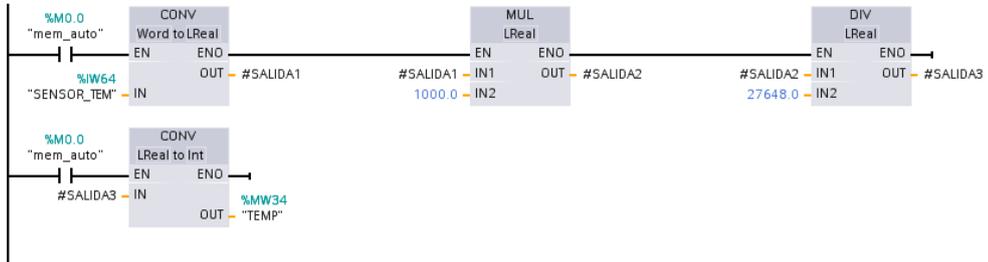
**Segmento 3:** .....

Comentario



**Segmento 4:** .....

Comentario



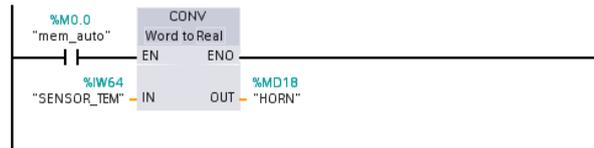
**Segmento 5:** .....

Comentario



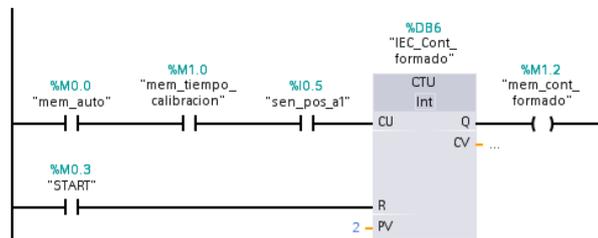
**Segmento 6:** .....

Comentario



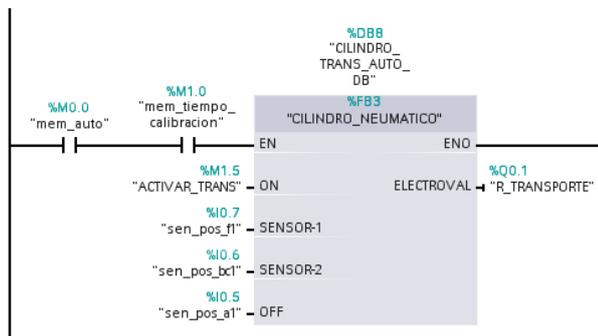
**Segmento 7:** .....

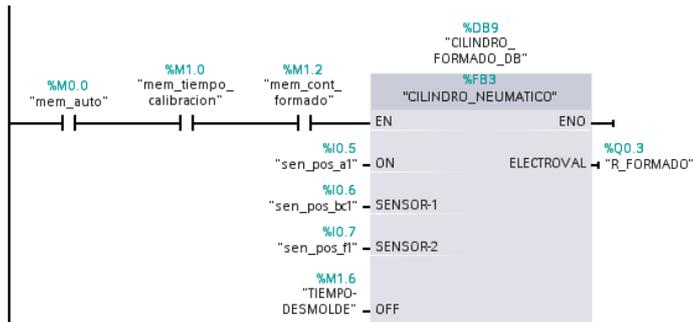
Comentario



**Segmento 8:** .....

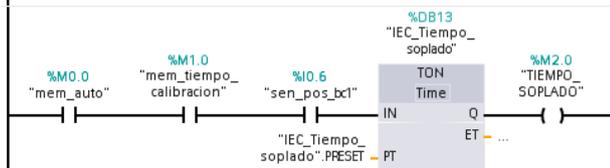
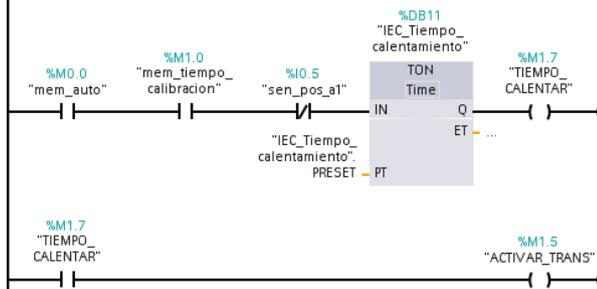
Comentario





**Segmento 9:** .....

Comentario



ANEXO - N	CONFIGURACIÓN PANEL BASIC KTP600	N - 1
-----------	-------------------------------------	-------

- **Pantalla Principal**

En la pantalla principal se presenta una carátula y dos opciones: El botón *Ingreso* y *Ayuda* activa la imagen del mismo nombre respectivamente.

- **Pantalla Ingresar**

En esta pantalla se debe seleccionar el modo de trabajo que ya se ha sido activado con anterioridad mediante el selector físico ubicado en el panel de control. El mismo se reconoce por el palpar de una luz verde que indica que está activado y una luz roja que indica el modo desactivado. La pantalla dispone de dos botones lógicos:

- Automático: Activa la imagen *Modo Automático*.
- Manual: Activa la imagen *Modo Manual*.



**Figura 4. 26. Imagen Ingresar**

- **Pantalla Modo Automático**

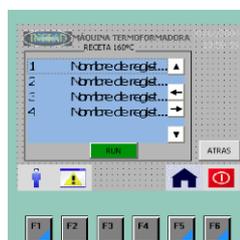
Esta pantalla contiene cuatro botones cada uno contiene una receta programada acorde a la temperatura que se requiera para realizar el termoformado. Los botones activan la imagen correspondiente con el mismo nombre.



**Figura 4. 27. Imagen Modo automático**

- **Pantalla Receta 160°C**

Esta pantalla contiene el visor de receta para la temperatura de 160°C. En dicho visor se puede seleccionar el registro correspondiente al molde que se utilizará. Contiene también un boton *Run* que pone en marcha el proceso y a su vez activa la imagen Menu Iniciar y un boton *Atrás* que retorna a la pantalla de modo automático.



# ANEXO Q: PLANOS

Latacunga, Febrero 2013

ELABORADO POR:

-----  
Jessy Guilcamaigua  
CI. 050323980-8

-----  
Wilmer Vaca  
CI. 050318782-5

APROBADO POR:

-----  
Ing. Wilson Sánchez  
**DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

CERTIFICADO POR:

-----  
Dr. Rodrigo Vaca Corrales  
**SECRETARIO ACADÉMICO**