

ESTUDIO PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE APOYO Y
SECCIÓN DE ACOPLAMIENTO DEL MOLDE Y DEL CILINDRO DE EXTRUSIÓN
PARA UNA MÁQUINA EXTRUSORA - SOPLADORA DE ENVASES PLÁSTICOS

NELSON ENRIQUE FUENTES

MARIO FERNANDO GUSTÍN

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
PROGRAMA DE INGENIERÍA FÍSICA
POPAYÁN
2009

ESTUDIO PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE APOYO Y
SECCIÓN DE ACOPLAMIENTO DEL MOLDE Y DEL CILINDRO DE EXTRUSIÓN
PARA UNA MÁQUINA EXTRUSORA - SOPLADORA DE ENVASES PLÁSTICOS

NELSON ENRIQUE FUENTES

MARIO FERNANDO GUSTÍN

Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero Físico

Director

M.Sc. LUIS FERNANDO ECHEVERRI

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
PROGRAMA DE INGENIERÍA FÍSICA
POPAYÁN
2009

NOTA DE ACEPTACIÓN

Director

MSc. Luís Fernando Echeverri

Jurado

Dr. Claudia Fernanda Villaquirán

Jurado

Dr. Carlos Alberto Rincón

Fecha de sustentación: Marzo 6 de 2009

CONTENIDO

	Pág.
ÍNDICE DE FIGURAS.....	10
ÍNDICE DE TABLAS.....	13
INTRODUCCION.....	14
1. PROCESO DE EXTRUSIÓN SOPLADO.....	17
1.1 Máquina extrusora sopladora.....	18
1.1.1 Etapa de alimentación.....	20
1.1.1.1 Tolva.....	20
1.1.2 Etapa de extrusión.....	20
1.1.2.1 Motor de la extrusora.....	20
1.1.2.2 Regulador de velocidad.....	20
1.1.2.3 Cilindro y tornillo de la extrusora.....	20
1.1.2.4 Elementos calefactores.....	21
1.1.2.5 Cabezal.....	21
1.1.3 Etapa de soplado.....	21
1.1.3.1 Pin de soplado.....	21
1.1.3.2 Molde.....	22
1.1.3.3 Sistema de apoyo y sección de acoplamiento del molde.....	22
1.1.4 Etapa de expulsión.....	22
1.2 Secciones de la máquina que se desean automatizar.....	22

2. REQUERIMIENTOS.....	24
2.1 Requerimientos de la empresa SISTAMCOL Ltda.....	24
2.2 Requerimientos de los sistemas mecánicos.....	25
2.2.1 Sistema del cilindro de extrusión.....	25
2.2.2 Sistema de apoyo y sección de acoplamiento del molde.....	27
3. VERIFICACIÓN DEL TORNILLO PARA POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (PEAD).....	39
4. IDENTIFICACIÓN DE COMPONENTES Y SELECCIÓN.....	33
4.1 Sistema del cilindro de extrusión.....	34
4.1.1 Sensor de temperatura.....	34
4.1.2 Controlador de temperatura.....	35
4.1.3 Actuadores.....	36
4.2 Sistema de movimiento para el sistema de apoyo y sección de acoplamiento del molde.....	38
4.2.1 Sistema de movimiento.....	38
4.2.2 Sensores de proximidad.....	40
4.3 Argumentos para la selección de los componentes opcionales.....	41
4.4 Funcionamiento básico de los componentes seleccionados.....	44
4.4.1 Resistencias eléctricas.....	44
4.4.2 Termopar.....	44
4.4.3 Pirómetros controladores digitales de temperatura.....	45
4.4.4 Sistema hidráulico.....	46
4.4.5 Sensor de proximidad inductivo.....	46

5. DISEÑO DEL SISTEMA HIDRÁULICO.....	48
5.1 Elementos necesarios para el diseño de un sistema hidráulico.....	48
5.1.1 Componentes de un sistema hidráulico.....	49
5.2 Diseño.....	50
5.2.1 Definición de los elementos de impulsión y accionadores.....	50
5.2.1.1 Motor eléctrico.....	51
5.2.1.2 Bomba hidráulica.....	51
5.2.1.3 Cilindro hidráulico.....	51
5.2.2 Definición de los elementos direccionales.....	52
5.2.2.1 Válvulas unidireccionales.....	52
5.2.2.1.1 Válvula antirretorno.....	52
5.2.2.2 Válvulas direccionales de varias vías.....	53
5.2.2.2.1 Válvulas 2/2 vías.....	53
5.2.2.2.2 Válvula 3/2 vías.....	54
5.2.2.2.3 Válvula 4/3 vías.....	54
5.2.3 Definición de los elementos de regulación y control.....	55
5.2.3.1 Válvula antirretorno-estranguladora (reguladora de caudal)....	55
5.2.3.2 Válvula limitadora de presión.....	56
5.2.4 Definición del resto de los componentes necesarios para el funcionamiento.....	56
5.2.4.1 Filtros.....	56
5.2.4.2 Tanque.....	57

5.2.4.3	Termómetro.....	57
5.2.4.4	Acumulador.....	58
5.2.4.5	Bloque de seguridad para acumulador.....	58
5.2.4.6	Manómetro.....	59
5.2.4.7	Intercambiador de calor.....	59
5.3	Cálculos hidráulicos.....	59
5.3.1	Presión máxima.....	62
5.3.2	Caudales.....	62
5.3.3	Cilindrada de la bomba.....	63
5.3.4	Potencia hidráulica.....	64
5.3.5	Potencia del motor eléctrico.....	64
5.3.6	Calculo del volumen del depósito hidráulico.....	65
5.4	Diagrama circuital del sistema hidráulico.....	66
6.	DISEÑO DE LOS CIRCUITOS ELÉCTRICOS.....	70
6.1	Cálculo de la potencia de las resistencias y de los elementos de protección y accionadores.....	71
6.1.1	Cálculo de la potencia de las resistencias calefactoras.....	71
6.1.2	Características de elección de un interruptor magnetotérmico.....	73
6.1.2.1	Curva de funcionamiento.....	73
6.1.2.2	Calibre.....	76
6.1.2.3	Poder de corte.....	78
6.1.3	Características de elección de un contactor trifásico tripolar.....	79
6.1.3.1	Categoría de servicio.....	79
6.1.3.2	Corriente de servicio.....	80
6.1.3.3	Corriente cortada.....	80

6.1.4 Características de elección de un relé térmico.....	81
6.1.5 Características de elección de un relé industrial.....	81
6.1.6 Características de elección de los sensores inductivos.....	81
6.2 Simbología eléctrica.....	82
6.2.1 Conductor.....	82
6.2.2 Interruptor automático magnetotérmico.....	82
6.2.3 Objeto.....	83
6.2.4 Termómetro o pirómetro.....	83
6.2.5 Termopar.....	84
6.2.6 Sensor de proximidad inductivo.....	84
6.2.7 Contacto principal de cierre.....	85
6.2.8 Bobina de relé o de un contactor.....	85
6.2.9 Motor.....	85
6.2.10 Relé electrotérmico.....	86
6.2.11 Resistencia.....	86
6.2.12 Amperímetro.....	87
6.2.13 Unión de símbolos.....	87
6.3 Diagramas del sistema eléctrico para el calentamiento del cilindro de extrusión.....	88
6.4 Diagrama del sistema eléctrico para el accionamiento del motor de la bomba hidráulica.....	99
6.5 Diagrama de conexión de los sensores de proximidad inductivos.....	90

7. UBICACIÓN DE LOS COMPONENTES EN LA MÁQUINA.....	92
7.1 Estructura de la máquina.....	92
7.2 Ubicación de la extrusora, las resistencias calefactoras, los termopares y la unidad hidráulica.....	94
7.3 Gabinete eléctrico.....	95
7.4 Sistema de apoyo y sección de acoplamiento del molde.....	96
8. ANÁLISIS DE COSTOS.....	101
8.1 Costos de los componentes para el control de temperatura del cilindro de extrusión.....	103
8.2 Costos de los componentes para el sistema hidráulico.....	104
8.3 Costos generales.....	106
9. CONCLUSIONES.....	107
10. REFERENCIAS.....	109

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁG.
1.1 Esquema general del proceso de extrusión-soplado.....	17
1.2 Equipo típico de extrusión soplado.....	18
1.3 Agarre del párison, insuflado de aire y expulsión.....	19
3.1 Tornillo proporcionado por la empresa.....	31
4.1 Circuito de un termopar.....	45
4.2 Funcionamiento general de un sistema hidráulico.....	46
4.3 Campo magnético y corrientes parásitas inducidas.....	47
5.1 Sistema de transmisión de energía.....	49
5.2 Motor eléctrico.....	51
5.3 Bomba hidráulica.....	51
5.4 Cilindro de doble efecto.....	52
5.5 Válvula antiretorno.....	53
5.6 Válvula 2/2 vías.....	53
5.7 Válvula 3/2 vías.....	54
5.8 Válvula 4/3 vías.....	54
5.9 Válvula antiretorno estranguladora.....	55
5.10 Válvula limitadora de presión.....	56
5.11 Filtro.....	57
5.12 Tanque.....	57
5.13 Termómetro.....	57
5.14 Acumulador de vejiga.....	58
5.15 Bloque de seguridad para el acumulador.....	58

5.16 Manómetro.....	59
5.17 Intercambiador de calor.....	59
5.18 Diagrama del sistema hidráulico.....	66
5.19 Conjunto de accionamiento.....	67
5.20 Conjunto hidráulico para la sección de acoplamiento del molde.....	68
5.21 Conjunto hidráulico para la sección de transporte del molde.....	69
6.1 Curva de funcionamiento de un interruptor magnetotérmico.....	74
6.2 Conductores eléctricos.....	82
6.3 Símbolo de un interruptor automático magnetotérmico.....	83
6.4 Símbolo de un objeto.....	83
6.5 Símbolo de un pirómetro.....	84
6.6 Símbolo de un termopar.....	84
6.7 Símbolo de un sensor inductivo.....	84
6.8 Símbolo de un contacto.....	85
6.9 Símbolo de una bobina de relé o contactor.....	85
6.10 Símbolo para un motor.....	86
6.11 Símbolo de un relé térmico.....	86
6.12 Símbolo de una resistencia.....	87
6.13 Símbolo de un amperímetro.....	87
6.14 Símbolo de un pirómetro controlador de temperatura.....	87
6.15 Símbolo de un relé o contactor.....	88
6.16 Diagrama del sistema eléctrico para el calentamiento del cilindro de extrusión.....	89
6.17 Diagrama del sistema eléctrico para el accionamiento de la bomba hidráulica.....	90
6.18 Diagrama de conexión de los sensores de proximidad inductivos.....	91
7.1 Estructura de la máquina.....	93

7.2 Ubicación de la extrusora y la unidad hidráulica.....	94
7.3 Inclusión de las resistencias y termopares.....	95
7.4 Gabinete para los componentes eléctricos.....	96
7.5 Apertura y cierre de las mitades del molde.....	97
7.6 Perspectiva del sistema de apoyo y sección de acoplamiento del molde.....	98
7.7 Ubicación de los sensores inductivos y movimiento del sistema en el riel.....	99
7.8 Detección de la apertura del molde.....	100
7.9 Instalación del sensor inductivo en una pletina de montaje o superficie de acero.....	100

ÍNDICE DE TABLAS

	PÁG.
2.1 Características del cilindro de extrusión.....	26
2.2 Datos proporcionados por la empresa para los cilindros.....	27
3.1 Ejemplos de tipos de tornillos.....	32
4.1 Sensor de temperatura.....	35
4.2 Controlador de temperatura.....	36
4.3 Calentamiento del cilindro de extrusión.....	37
4.4 Sistemas para el movimiento del molde.....	39
4.5 Sensores de proximidad.....	40
5.1 Ciclo de soplado de la máquina.....	61
6.1 Características de motores AC trifásicos de 1800 rpm.....	77
8.1 Costos de los componentes para el calentamiento del cilindro de extrusión.....	103
8.2 Costos de los componentes para el sistema hidráulico.....	104
8.3 Costos generales.....	106

INTRODUCCIÓN

Actualmente muchos empresarios del Cauca han incursionado en la creación de nuevas industrias entre las cuales aparece la producción de envases plásticos y otros cuerpos huecos. Para poder entrar en estos mercados y ser competitivos se hace necesario contar con maquinaria de nivel industrial para una buena capacidad de producción.

El proceso de moldeo por extrusión-soplado permite la transformación de polímeros como el Polietileno (PE), Polipropileno (PP), Polietileno Tereftalato (PET) etc, en envases plásticos u otros cuerpos huecos diseñados para el empaque de muchos de los productos que se utilizan a diario. Para este propósito generalmente se recurre a una máquina extrusora – sopladora, en la cual el material a transformar debe pasar por varias etapas que son: Alimentación, extrusión, soplado y expulsión.

Dos de las etapas más importantes cuando se desea obtener buenos resultados en el producto final son **la extrusión y el soplado**. Dentro de estas etapas están presentes variables como la temperatura, la velocidad de posicionamiento y fuerzas de cierre de interés para este estudio que influyen en el proceso y son parámetros específicos, que dependen de las características del diseño mecánico y de los componentes de automatización que se adecuen al tipo de producto que se desea obtener.

En este documento se encuentra la información del estudio técnico - económico para la selección de los componentes que permitan la automatización de los sistemas de apoyo y sección de acoplamiento del molde y cilindro de extrusión para una máquina extrusora - sopladora de envases plásticos. Éste estudio se realiza basado en los diseños de los sistemas mecánicos de la máquina, los

cuales fueron aportados por la empresa SISTAMCOL, en la cual se realizó el trabajo de grado en la modalidad de pasantía. Además parte del proyecto contó con la asesoría técnica del SENA ASTIN ubicado en la ciudad de Cali.

En el primer capítulo se expone el proceso de extrusión – soplado, se identifican las partes de la máquina extrusora - sopladora que son objeto de éste estudio, así como las variables que influyen en el proceso y que se deben tener en cuenta para el análisis.

En el segundo capítulo se presentan los requerimientos tanto de la empresa SISTAMCOL interesada en la máquina, como de los sistemas mecánicos de las secciones que son de interés para el estudio.

En el tercer capítulo se realiza la comprobación del tornillo de extrusión otorgado por la empresa SISTAMCOL de manera que cumpla con los requerimientos del proceso.

En el cuarto capítulo se realiza un proceso de toma de decisiones utilizando tablas morfológicas, las cuales permitirán una mejor elección entre los componentes opcionales para cada uno de los sistemas involucrados.

En el quinto capítulo se presenta el diseño del circuito hidráulico para el sistema de apoyo y sección de acoplamiento del molde. En el diseño se incluyen los cálculos efectuados para obtener los valores de las diferentes variables que influyen en el proceso y los diagramas respectivos. Ésta información es la que permite una toma de decisiones más concreta respecto a los componentes a utilizar.

En el sexto capítulo se presenta el diseño de los circuitos eléctricos. Éste diseño incluye los cálculos de los diferentes parámetros que sean necesarios, y los diagramas del sistema eléctrico para el calentamiento del cilindro de extrusión, del sistema eléctrico para el accionamiento del motor de la bomba hidráulica y de conexión de los sensores de proximidad inductivos.

En el séptimo capítulo se muestra la ubicación de los componentes elegidos en el esquema general de la máquina, basándose en los diseños mecánicos aportados por la empresa SISTAMCOL LTDA.

En el octavo capítulo se presentan las tablas con los componentes finalmente elegidos junto con la cotización respectiva.

Finalmente en el noveno capítulo se enuncian las conclusiones correspondientes a lo presentado en este estudio.

1. PROCESO DE EXTRUSIÓN SOPLADO

El proceso de extrusión soplado consiste básicamente en la transformación de polímeros en forma de pellets (pequeñas porciones de material aglomerado) en un envase u otro cuerpo hueco.

Dentro de éste proceso se distinguen cuatro etapas principales que son: Etapa de alimentación, etapa de extrusión, etapa de soplado y etapa de expulsión.

A continuación se muestra el esquema general del proceso de extrusión – soplado:

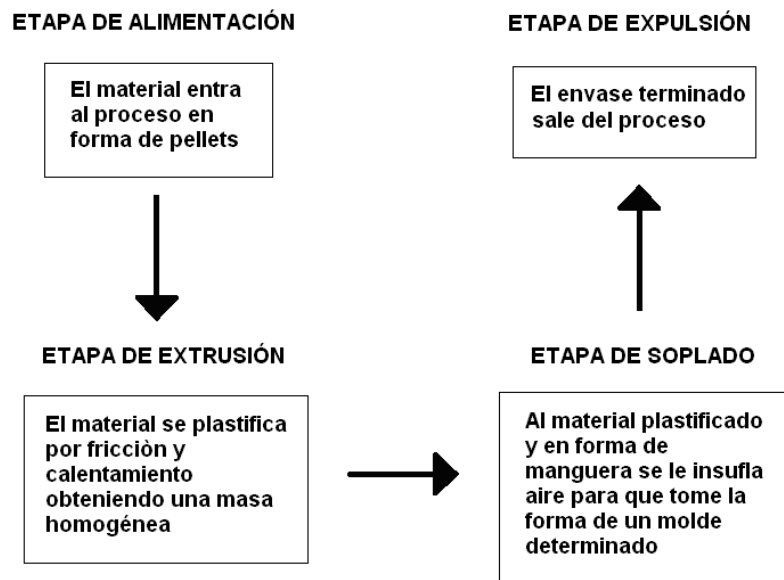


Fig. 1.1 Esquema general del proceso de extrusión - soplado

El polímero que entra al proceso en forma de pellets, ingresa en la cámara de extrusión dentro de la cual es sometido a fricción y calentamiento externo con el objetivo de transformarlo en una pasta homogénea, tanto térmica como físicamente, en forma de “manguera”. Una vez el material se encuentra en ésta forma es tomado por las dos mitades del molde y llevado a la unidad de soplado la

cual insufla aire expandiendo el material para conseguir el cuerpo hueco deseado. Finalmente el producto terminado sale del proceso.

1.1 Máquina extrusora - sopladora

Uno de los conjuntos más comunes por medio del cual se puede transformar los plásticos en cuerpos huecos es una máquina extrusora - sopladora. A continuación se presentan tres diagramas que representan una máquina extrusora-sopladora:

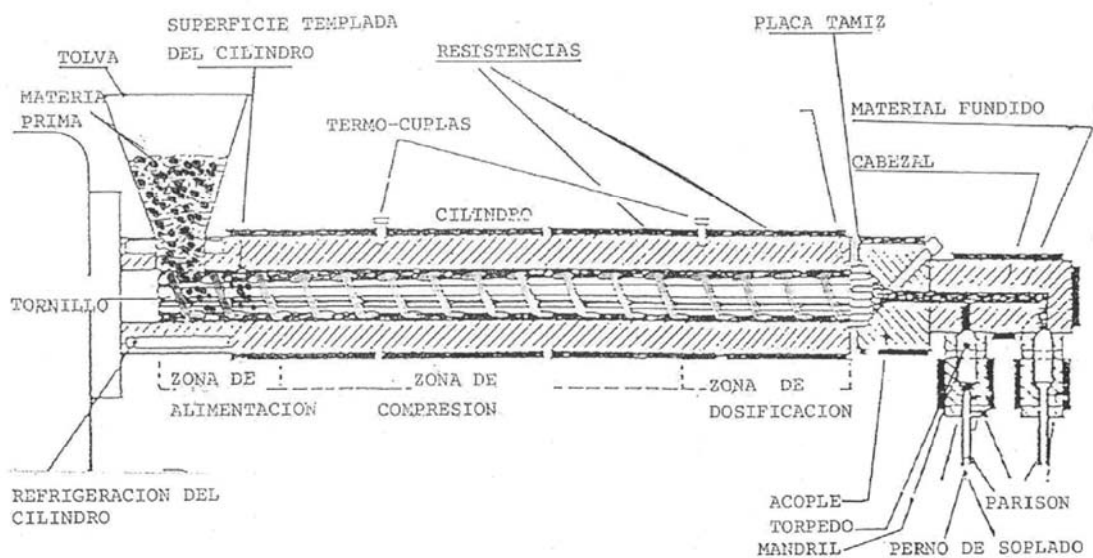


Fig. 1.2 Equipo típico de extrusión - soplado

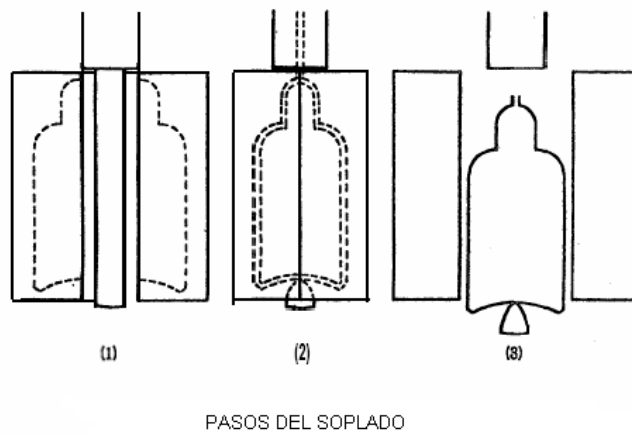
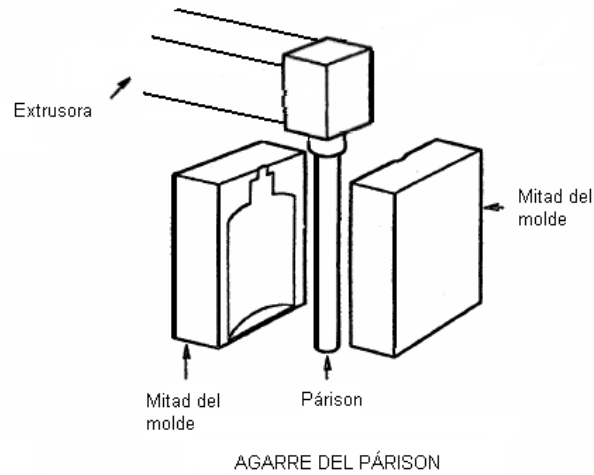


Fig. 1.3 Agarre del párison, insuflado de aire y expulsión

Como se mencionó anteriormente, el proceso de extrusión soplado se puede dividir en cuatro etapas. Cada una de las etapas involucra determinadas partes de la máquina extrusora - sopladora las cuales se detallan a continuación.

1.1.1 Etapa de alimentación

1.1.1.1 Tolva

La tolva es el elemento encargado de almacenar y canalizar el material en forma de pellets. Está colocada en la entrada del proceso donde se ingresa el polímero, y permite la alimentación de la cámara de extrusión.

1.1.2 Etapa de extrusión

1.1.2.1 Motor de la extrusora

El motor de la extrusora es el encargado de generar el movimiento necesario al tornillo sin fin, por medio de un regulador de velocidad.

1.1.2.2 Regulador de velocidad

El regulador de velocidad se encarga de mantener una velocidad adecuada de desplazamiento del material por la cámara de extrusión.

1.1.2.3 Cilindro y tornillo de la extrusora

El cilindro y el tornillo sin fin de extrusión conforman la cámara de extrusión donde el material es plastificado. El cilindro envuelve al tornillo el cual va desplazando el material.

El tornillo a su vez se divide en tres zonas:

- Zona de alimentación: Transporta el material de la zona de la tolva al centro del cilindro.

- Zona de compresión: Es donde el calor generado por la fricción y las resistencias calefactoras hace que inicie la fusión.
- Zona de dosificación: Es donde aumenta la fricción y la fusión del material, con el incremento de presión al pasar por un tamiz. [1]

1.1.2.4 Elementos calefactores

Los elementos calefactores son los encargados de suministrar el calor adicional a la cámara de extrusión para conseguir una plastificación homogénea del material. Se encargan de mantener rangos de temperatura establecidos para cada una de las zonas de la cámara de extrusión, consiguiendo así un gradiente de temperatura adecuado, desde que el material entra hasta que sale de la extrusora. Generalmente se utilizan resistencias eléctricas para éste fin.

1.1.2.5 Cabezal

El cabezal es el elemento mecánico que permite cambiar la dirección de desplazamiento del material de horizontal a vertical. Además, se encarga de darle forma al material que sale. En éste momento es cuando el material transformado recibe el nombre de Párison, y tiene la forma de un tubo o manguera vertical.

1.1.3 Etapa de soplado

1.1.3.1 Pin de soplado

El pin de soplado es el encargado de insuflar el aire a presión por un orificio del molde, logrando así que el material se expanda y se adhiera a sus paredes tomando la forma de éste.

1.1.3.2 Molde

El molde es el encargado de darle la forma al producto terminado, éste se encuentra dividido en dos partes. Las dos mitades del molde toman y aprietan al párison y enseguida se dirigen al pin de soplado el cual insufla el aire a presión. Las paredes del molde se encuentran refrigeradas a través de conductos en su interior, esto para lograr un choque térmico que solidifique el material al momento del soplado.

1.1.3.3 Sistema de apoyo y sección de acoplamiento del molde

Éste sistema es el encargado de realizar determinados movimientos con el fin de conseguir que las dos mitades del molde atrapen al párison y posteriormente que el molde se desplace hacia el pin de soplado para completar el proceso.

1.1.4 Etapa de expulsión

La etapa de expulsión es básicamente la liberación por parte de los moldes del cuerpo hueco endurecido. Generalmente hay operadores que se encargan de cortar los bordes o excesos de material que hayan quedado en el producto.

1.2 Secciones de la máquina que se desean automatizar

El objeto de nuestro estudio es la selección de los componentes necesarios para automatizar dos de las partes más importantes de la máquina. La primera es el cilindro de extrusión y la segunda es el sistema de apoyo y sección de acoplamiento del molde.

Como se ha dicho anteriormente, dentro del cilindro de extrusión el material se plastifica debido a la fricción de éste con el tornillo y las paredes del cilindro y adicionalmente, por el calentamiento externo. Para que la máquina funcione correctamente se necesita que estos dos aspectos trabajen adecuadamente. Si es así, se disminuye el consumo de potencia por parte del motor de la extrusora y se

obtienen otros beneficios como son: una mejor plastificación del material y un mejoramiento evidente en las propiedades mecánicas de los productos terminados.

Se hace necesario por lo tanto verificar que el tornillo sea el indicado para trabajar con el material y bajo los requerimientos adecuados, situación que se expone más adelante. Además se necesita que haya un buen control del calentamiento externo producido por actuadores adecuados.

El control del calentamiento externo, es básicamente un control en lazo cerrado donde se requiere que se sense la temperatura y se realicen acciones que permitan mantenerla en un valor de referencia establecido.

En algunas máquinas el sistema de apoyo y sección de acoplamiento es manual, pero la automatización de éste permite mejorar la cantidad de producción diaria de forma muy significativa. Como aspectos generales a tener en cuenta con la automatización de éste sistema se incluye que: el sistema debe cumplir con los tiempos que se asignen para el ciclo de soplado y se deben incluir elementos de control que eviten que las mitades del molde se golpeen cuando se cierren.

2. REQUERIMIENTOS

2.1 Requerimientos de la empresa SISTAMCOL Ltda

A continuación se presentan las características que busca la empresa SISTAMCOL, las cuales deben ser tenidas muy en cuenta para un correcto estudio:

- Se desea construir una máquina extrusora – sopladora para producir envases utilizando como materia prima pellets de polietileno de alta densidad (PEAD).

Para explicar el ítem anterior, se puede comenzar por mencionar que la empresa SISTAMCOL se dedica a fabricar productos de aseo. Éstos necesitan ser envasados en un material apropiado para este tipo de producto, como lo es el polietileno de alta densidad, el cual es muy utilizado actualmente en aplicaciones como: bolsas para mercancía, bolsas para basura, botellas para leche y yogurt, cajas para transporte de botellas, envases para productos químicos, envases para jardinería, detergentes y limpiadores, frascos para productos cosméticos y capilares, aislante de cable y alambre, contenedores de gasolina, entre otros. Para lograr lo anteriormente mencionado se necesita de una máquina extrusora - sopladora apropiada para la conformación del elemento contenedor del producto la cual utilice PEAD como materia prima.

- Los envases a producir serán inicialmente de un litro de capacidad.

Este segundo ítem, indica que la empresa necesita envasar su producto con una capacidad específica (un litro), dicho envase debe ser conformado por la máquina extrusora – sopladora.

- La empresa necesita que la máquina realice un ciclo de trabajo continuo lo que hace necesario tener componentes robustos y confiables.

El ítem anterior, significa que se debe tener en cuenta que los componentes tengan la robustez necesaria y una calidad óptima para trabajar en las condiciones industriales en las que van a ver sometidos; condiciones que son bastante exigentes por el trabajo continuo que desea la empresa, y por las condiciones que se puedan presentar en el ambiente donde se encontrarán los componentes a elegir.

- Se necesita que los costos se minimicen en la medida de lo posible sin perjudicar el correcto funcionamiento de los sistemas.

Este último ítem, es importante porque la idea general es tratar de minimizar los costos de los componentes de automatización, pero teniendo en cuenta que la máquina no vaya a resultar afectada por este motivo, ya que pensar en un ahorro en la automatización puede resultar mucho mas costoso a largo plazo debido al constante mantenimiento, mal funcionamiento y al desgaste que puede surgir los componentes si no son los adecuados.

2.2 Requerimientos de los sistemas mecánicos

2.2.1 Sistema del cilindro de extrusión

- Las zonas de calentamiento en el cilindro deben mantenerse a una temperatura de 140°C para la zona de alimentación, 160°C para la zona de compresión y 165 °C para la zona de dosificación.

Para explicar el ítem anterior, se debe recordar que el cilindro de extrusión posee tres zonas: la zona de alimentación, la zona de compresión y la zona de dosificación. Cada una de las zonas debe tener una temperatura específica para que cumplan satisfactoriamente su función. Dichas temperaturas dependen del tipo de material que se vaya a procesar. Para este caso, se utilizará el polietileno de alta densidad para el cual se hace necesario que las temperaturas indicadas anteriormente sean lo más constantes posible y lograr así que las características del material al conformar el envase sean óptimas.

- El cilindro de extrusión presenta las siguientes características de diseño:

Tabla 2.1 Características del cilindro de extrusión

Diámetro interno	50 mm
Diámetro externo	87 mm
Largo total	950 mm
Material	SAE4340

Este segundo ítem, indica las características en cuanto a medidas y material del cilindro extrusión, medidas que fueron proporcionadas por la empresa y que son las óptimas para el tornillo anteriormente descrito.

2.2.2 Sistema de apoyo y sección de acoplamiento del molde

- El sistema mecánico está diseñado para ser accionado por un sistema hidráulico.

Lo que significa el ítem anterior, es que por información de la empresa, el sistema mecánico que proporcionará el movimiento a los moldes está hecho de tal forma que sea desplazado con un sistema hidráulico, que puede tener cilindros con las siguientes medidas proporcionadas por la empresa:

Tabla 2.2 Datos proporcionados por la empresa para los cilindros

DATOS DEL CILINDRO	DIÁMETRO DEL PISTÓN (m)	DESPLAZAMIENTO (m)
SECCIONES		
SECCIÓN DE ACOPLAMIENTO	0.050	0.120
SECCIÓN DE TRANSPORTE	0.050	0.225

Sin embargo también se hará el análisis de la posibilidad de utilizar un actuador eléctrico o neumático debido a las aplicaciones similares que estos tienen.

- El sistema mecánico está diseñado para soportar una fuerza máxima de cerrado de las mitades del molde de hasta 19.6 kN.

Este último ítem, indica que el valor de la máxima fuerza que debe soportar el sistema para que no ocurra una fuga del aire dentro del molde es de 19.6 kN. Por lo tanto los cálculos que se realicen para los componentes, deben corresponder con su función, de tal forma que no se sobrepase el valor límite estipulado.

3. VERIFICACIÓN DEL TORNILLO PARA POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD

Como se había planteado, es necesaria una verificación del diseño del tornillo proporcionado por la empresa con unos cálculos especiales, ya que es posible que sus medidas no sean las apropiadas para la plastificación del polietileno de alta densidad lo que conllevaría a posibles errores en la conformación de los envases.

Como referencia de medida para los cálculos se tiene el diámetro del tornillo proporcionado por la empresa el cual coincide con el valor más recomendado para la plastificación del PEAD, y mediante esta medida se procederá a realizar a continuación los cálculos de las demás características:

Para el caso del polietileno de alta densidad y polímeros similares, los tornillos de extrusión utilizados para su transformación suelen tener las siguientes características geométricas:

$$S = 1 \times D$$

$$B = 0,1 \times D$$

$$L = 20 \times D$$

Donde:

S= Paso

D= Diámetro

B= Ancho del filete

L= Longitud del tornillo

Por lo tanto si se reemplaza el diámetro del tornillo por el valor recomendado de $D=50\text{mm}$ se tiene:

$$S = 1 \times 50\text{mm} = 50\text{mm}$$

$$B = 0.1 \times 50\text{mm} = 5\text{mm}$$

$$L = 20 \times 50\text{mm} = 1000\text{mm}$$

Ahora se calcula la **relación de compresión** para saber si el sistema será capaz de comprimir el plástico y evitar que tenga burbujas de aire. Esta se calcula de la división de la profundidad del canal de alimentación (h_1) entre la profundidad del canal de dosificación (h_2), cantidades mostradas en la figura 3.1.

$$RC = \frac{h_1}{h_2} = \frac{11\text{mm}}{4,6\text{mm}} = 2.4$$

En la figura 3.1 se aprecian las medidas del diseño proporcionado por la empresa, que al ser comparadas con los cálculos anteriormente realizados se confirman. Además, la relación de compresión tiene el valor adecuado como se puede verificar en la tabla 3.1 [11], lo que conlleva a ratificar el diseño para la plastificación del polietileno de alta densidad (PEAD) y como el cilindro está diseñado para este tornillo, no hay inconveniente alguno para la elección de los componentes adecuados para su calefacción.

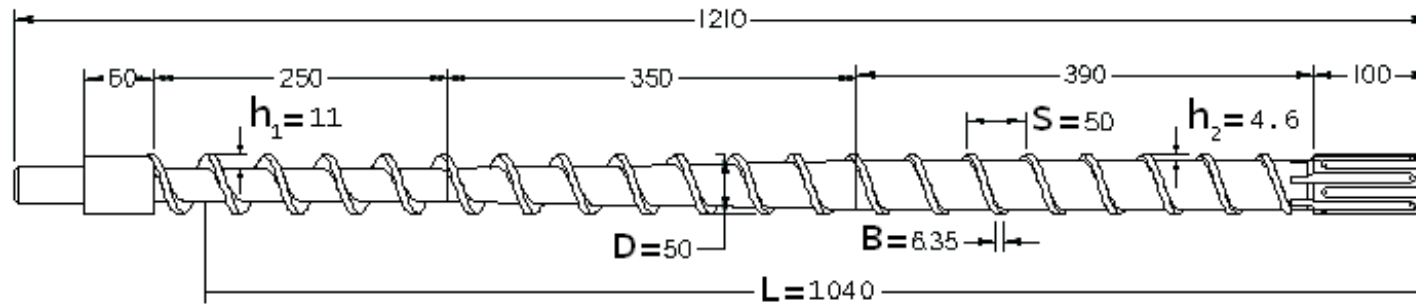


Fig. 3.1 Tornillo proporcionado por la empresa

Tabla 3.1 Ejemplos de tipos de tornillos

Propósito	Polímero	Relación de Compresión
Composición de alta producción	PEBD	2.1:1
<u>Propósito general</u>	PEBD	2.4:1
	<u>PEAD</u>	<u>2.4:1</u>
	PS	2.4:1
Película	PEBD	4.3:1
Composición de alta producción	Polvo de PP	1.8:1
Propósito general	PP	2.2:1
Propósito general	PP	2.1:1
Propósito general	POM	2.7:1
Propósito general	PMMA	3.3:1
Composición	Nailon 66	3.6:1
Película	PET	4.3:1
Película	PCV rígido	1.9:1
Composición de baja producción	PCV rígido	1.5:1

4. IDENTIFICACIÓN DE COMPONENTES Y SELECCIÓN

Debido a que en el mercado es posible encontrar varios componentes que realicen la misma función para cada una de las aplicaciones en las diferentes etapas de la máquina, se hace necesaria una identificación por medio de la cual se seleccionen los componentes que sean más adecuados según los requerimientos anteriormente establecidos.

Existe una forma para la toma de decisiones y realización de los procesos de selección y es utilizar una generación de combinaciones mediante lo que se llama un análisis morfológico [7], que básicamente son unas tablas las cuales tendrán en las columnas las opciones a utilizarse para el sistema que se esté analizando y en los renglones diferentes consideraciones que se deben tener en cuenta para comparar las ventajas y desventajas entre las diferentes opciones. Posteriormente, se asigna un valor numérico o calificación que corresponda a los argumentos logrados a través de la investigación de las características técnicas de las opciones y de los conocimientos que se tienen de los sistemas mecánicos involucrados.

La calificación mayor que puede obtener una opción es el número de opciones en cada tabla, es decir si en una tabla hay tres opciones (por ejemplo de algunos componentes funcionalmente similares para lo que sean requeridos), la mayor calificación que puede tener una opción será tres. Esto es para evitar que haya grandes escalones de calificación para diferentes consideraciones, y así evitar errores en el peso de cada consideración.

Lo que sí podrá haber en las tablas es igual calificación para diferentes opciones y con eso podrá haber también calificaciones que no aparezcan en una

consideración, es decir que en una consideración para el ejemplo de tres opciones podrá haber calificaciones: 2, 2, 3 faltando la calificación 1. Esto servirá para lograr que si una opción es realmente ventajosa ó desventajosa sobre otra, se pueda evaluar; siendo la mejor opción la que mayor calificación obtenga.

A continuación se muestra el análisis morfológico realizado para los componentes a identificar en los sistemas de interés:

4.1 Sistema del cilindro de extrusión

Para este sistema que tiene como función lograr que el material se encuentre a determinadas temperaturas en cada una de las zonas del cilindro, se requiere que haya un control en lazo cerrado en el cual haya un sensado de la temperatura de cada una de las zonas y efectuar una acción de control por medio de actuadores colocados directamente sobre el cilindro.

Para lograr el control del sistema se deben tener en cuenta los siguientes elementos:

4.1.1 Sensor de temperatura

El sensor de temperatura nos permite saber a que temperatura se encuentra cada una de las zonas del cilindro de extrusión. Éste debe ser el adecuado para poder medir las temperaturas que se requieren para el material y que sea un sensor de tipo industrial.

A continuación se muestra la tabla morfológica para la selección del sensor de temperatura.

Tabla 4.1 Sensor de temperatura

OPCIONES CONSIDERACIONES	TERMOPAR	SONDA DE RESISTENCIA	TERMISTOR
Mayor Robustez	3	2	2
Menor Costo	3	2	3
Mayor rango De Temperatura	3	2	1
Mayor Intercambiabilidad	2	3	3
Mejor Linealidad	2	3	1
Menor Inversión Adicional	3	1	1
Mayor Estabilidad	1	3	2
TOTAL	19	17	16

4.1.2 Controlador de temperatura

El controlador de temperatura es el encargado de recibir la señal proveniente del sensor, analizarla y generar una acción de control por medio de una señal que vaya al actuador. A continuación se muestra la tabla morfológica para la selección del controlador de temperatura.

Tabla 4.2 Controlador de temperatura

OPCIONES CONSIDERACIONES	CONTROL POR PIROMETROS ANALOGOS	CONTROL POR PIROMETROS DIGITALES
Mejor Rango De Temperaturas	2	2
Mejor Precisión Del Controlador	1	2
Menores Costos	2	1
Mejor Visualización	1	2
Menor Inversión Adicional En La Instalación	1	2
Mejor Resolución	1	2
TOTAL	8	11

4.1.3 Actuadores

Los actuadores son los encargados de realizar la acción de control sobre el proceso. En éste caso en particular su función es la de calentar las diferentes zonas del cilindro de extrusión para lograr así mantener un gradiente de temperatura que garantice la correcta plastificación del material. A continuación se muestra la tabla morfológica para la selección del actuador.

Tabla 4.3 Calentamiento del cilindro de extrusión

OPCIONES	CALENTAMIENTO CON GAS	CALENTAMIENTO CON VAPOR	CALENTAMIENTO ELÉCTRICO
CONSIDERACIONES			
Menor Inversión Adicional	2	1	3
Menor Dependencia Externa	2	1	3
Menor Costo De Instalación	2	1	3
Menor Costo De Mantenimiento	1	2	3
Mayor Uniformidad De Temperatura	1	3	1
Menor Riesgo De Operación	2	1	3
TOTAL	10	9	16

4.2 Sistema de movimiento para el sistema de apoyo y sección de acoplamiento del molde

Este sistema es el encargado de realizar los movimientos necesarios para que la etapa de soplado se lleve a cabo. Para este propósito se necesita de un sistema que aporte el movimiento a los sistemas mecánicos, específicamente a las mitades del molde y sensores que detecten la posición de éstas.

4.2.1 Sistema de movimiento

En general se trata de dos movimientos: el de abrir y cerrar las dos mitades del molde y el de transportarlas desde la salida de la extrusora donde se encuentra el párison hasta el pin de soplado donde se termina de realizar el proceso. A continuación se muestra la tabla morfológica para la selección del sistema de movimiento para el sistema de apoyo y sección de acoplamiento del molde.

Tabla 4.4 Sistemas para el movimiento del molde

OPCIONES CONSIDERACIONES	SISTEMA NEUMÁTICO	SERVOMOTORES AC	SERVOMOTORES DC	SISTEMA HIDRÁULICO
Mayor Fuerza	1	3	3	4
Mejor Control De La Velocidad	2	4	4	4
Mayor Potencia	3	3	3	4
Volumen	4	3	3	4
Mayor Precisión	2	4	4	4
Mayor Velocidad	4	4	4	4
Menor Mantenimiento	2	3	2	1
Mejor Adaptabilidad Al Diseño Mecánico	4	2	2	4
TOTAL	22	26	25	29

4.2.2 Sensores de proximidad

Los sensores de proximidad se encargan de detectar en que lugar se encuentra el sistema mecánico; si se encuentra en el pin de soplado o en la salida del cabezal. También detecta si las mitades del molde están abiertas o cerradas.

Tabla 4.5 Sensores de proximidad

OPCIONES CONSIDERACIONES	INDUCTIVO	CAPACITIVO	ÓPTICO	MECÁNICO	MAGNÉTICO
Mayor Robustez,	5	5	5	4	5
Mejor Precisión,	5	5	5	4	5
Mejor Facilidad De Uso	5	5	3	5	5
Dimensiones más Compactas	5	5	3	4	5
Mejor Opción De Colocación En La Máquina	5	5	3	4	5
Mejor Opción Por Objetivo Elegido A Detectar	5	1	4	4	1
TOTAL	30	26	23	25	26

4.3 Argumentos para la selección de los componentes opcionales

Teniendo como base las tablas con sus resultados se pueden seleccionar los componentes más adecuados por concepto ventajoso sobre otros. Ahora se procederá a dar la argumentación de los componentes seleccionados.

De la tabla 4.1 se puede ver la calificación para el sensor de temperatura. El termopar en este caso tiene la calificación más significativa debido a su alta robustez, lo que lo hace uno de los principales sensores de temperatura para diferentes aplicaciones industriales; además, su bajo costo lo hace muy atractivo cuando se necesitan sensores para varias instalaciones de control de temperatura y también por que es útil para sensar temperaturas muy altas, hasta 1700 °C y asimismo muy bajas hasta -40° C. Su aplicabilidad en la industria de lo plásticos ha sido considerada en la mayoría de máquinas donde se necesita un sensado confiable y seguro [2] y [3].

De la tabla 4.2 la mayor calificación es obtenida por el pirómetro digital, ya que este tiene ventajas bastante significativas con respecto al pirómetro analógico. Una de sus principales características es la buena resolución que posee, ya que para la aplicación que se requiere en este estudio, esto se traduce en un aumento de la calidad del producto terminado debido a que hay menos probabilidad de que el plástico tienda a quemarse y a formar puntos negros; además tiene mejor precisión, visualización, menor inversión adicional, comunicaciones y algoritmos de control que lo hacen mucho más sofisticado, por lo tanto es más costoso pero vale la pena su instalación por la cantidad de ventajas y porque las máquinas de este tipo las utilizan actualmente [2].

De la tabla 4.3 se puede notar que la mayor calificación la obtuvo el calentamiento eléctrico. Generalmente, en las máquinas de extrusión-soplado, para el calentamiento del cilindro de extrusión se utilizan una serie de resistencias eléctricas que van a lo largo de cada zona cubriendo el cilindro de extrusión, sin

embargo, se tuvieron en cuenta algunas opciones posibles para el calentamiento como calentamiento con gas y calentamiento con vapor las cuales podrían ser otra alternativa. Esto debido a que se obtuvo información de una tesis [10] en la cual hay un sistema de calentamiento que aunque no es igual, posee algunas similitudes en cuanto a lo que se refiere a la conducción a través de un cilindro. Hay que mencionar que se encontraron inconvenientes con las otras dos formas de calentamiento, debido principalmente a su alto costo de instalación y mantenimiento lo cual confirma que las resistencias calefactoras son la opción más apropiada. Esto era de esperarse ya que como se dijo anteriormente son muy utilizadas para este tipo de aplicación.

De la tabla 4.4 se ve que con un total de 29 en la calificación, que el sistema hidráulico es el más apropiado para la máquina de extrusión – soplado.

Como es conocido, los sistemas hidráulicos se caracterizan por su fuerza y su excelente desempeño para el control de la velocidad y el posicionamiento. Estas características hacen que sea muy apropiado en este caso ya que la fuerza que debe hacer el sistema para mantener las mitades del molde juntas, debe ser suficiente para que la presión que ejerce el aire de soplado no las abra y el envase se insufla correctamente; además la velocidad y posicionamiento correcto mejoran la producción y permiten que los moldes y el sistema mecánico en general no sufran daños.

Una de las consideraciones que se ha tenido en cuenta es que el esquema mecánico está diseñado para ser ajustado de manera apropiada a un sistema hidráulico, información que ha sido obtenida por parte del ingeniero mecánico de la empresa SISTAMCOL para la cual se realiza este estudio.

De la tabla número 4.5, se puede mencionar que los detectores de proximidad indicados en ésta, son de los más utilizados en la industria debido a su robustez. En la tabla se puede notar que prácticamente todos recibieron la más alta

calificación en cuanto a esta característica. Pero el detector mecánico aunque es bastante robusto, recibió una calificación menor, debido al desgaste que éste tiene, lo que puede contribuir a un deterioro en la señal, y como consecuencia disminuiría también su precisión.

Con respecto a la facilidad de uso, se puede notar que el óptico tiene una menor calificación debido a que su instalación requiere de dos componentes para su funcionamiento, que son el emisor y el receptor, lo que hace que dependan uno del otro y sea más tediosa la instalación de los componentes en la máquina y el reemplazo en caso de alguna avería.

En cuanto a las dimensiones, todos pueden tener opciones muy válidas, pero se ha asignado una calificación más alta a los que por su no dependencia de otro dispositivo mejoran su tamaño.

Por último una de las características fundamentales para la elección del sensor de proximidad es el hecho de que la mayor parte de la máquina está hecha de metal. Esto hace que sea muy conveniente colocar sensores inductivos ya que éstos pueden detectar partes móviles de la máquina que sean metálicas, logrando así evitar inconvenientes como: la necesidad de colocar otro material en el caso del sensor capacitivo o la necesidad de adquirir un cilindro hidráulico especial con propiedades magnéticas detectables en el caso de un sensor magnético. Debido a los argumentos anteriores el sensor inductivo posee en la tabla 4.5 la mayor calificación.

4.4 Funcionamiento básico de los componentes seleccionados

4.4.1 Resistencias eléctricas

Las resistencias eléctricas se basan en un modelo elemental de lo que sucede en un conductor que supone que las cargas móviles del conductor responden a la aplicación de un campo eléctrico externo \vec{E} acelerándose. Esta situación involucra una continua ganancia de energía cinética que es compensada por una pérdida equivalente de energía debida a las continuas interacciones que sufren las cargas móviles (generalmente electrones) en el interior del material conductor, ya sea con fonones o con imperfecciones de la red. Este continua disipación de energía se hace en forma de calor, proceso al que se le denomina efecto joule, y explica porqué el paso de la corriente eléctrica a través de un material conductor está acompañado de una generación de calor. Este proceso simultaneo de aceleración debido al campo eléctrico y desaceleración debido a interacciones es equivalente a un movimiento promedio en el que la velocidad de los portadores de carga permanece constante [14].

4.4.2 Termopar

Los termopares se forman cuando se unen dos metales diferentes para formar una junta. Un circuito eléctrico se completa uniendo los otros extremos de los metales para formar una segunda junta. Una corriente fluirá en el circuito si las dos uniones están a temperaturas diferentes como se muestra en la figura 4.1.

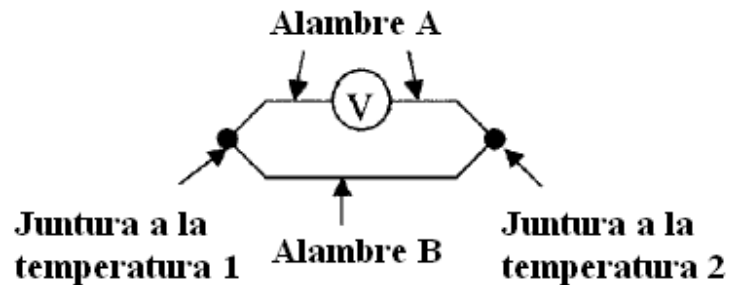


Fig. 4.1 Circuito de un termopar

La corriente fluyendo es el resultado de la diferencia en la fuerza electromotriz desarrollada en las dos juntas debido a su diferencia de temperatura. En la práctica, la diferencia de voltaje entre las dos juntas es medida; ésta diferencia es proporcional a la diferencia de temperatura entre las dos juntas. Note que el termopar sólo puede usarse para medir diferencias de temperatura. Sin embargo, si una junta se mantiene en una temperatura de referencia el voltaje entre los termopares da una medida de la temperatura de la segunda junta. [5]

4.4.3 Pirómetros controladores digitales de temperatura

Un pirómetro controlador de temperatura digital funciona mediante un microprocesador recibiendo un voltaje que le llega del sensor de temperatura (en este caso un termopar), comparándolo con un voltaje de referencia, y así enviando otro voltaje hacia un relé o contactor para que cierre o abra el circuito y mantener una temperatura elegida. [9]

4.4.4 Sistema hidráulico

Un motor proporciona una determinada energía mecánica a una bomba, y ésta, según la energía que recibe, suministra una determinada energía hidráulica, la cual se transfiere, bajo forma de caudal y presión, y mediante un fluido hidráulico, a un pistón donde se vuelve a transformar en la energía mecánica necesaria para realizar un trabajo.

El esquema siguiente muestra como se realiza la transmisión de energía:

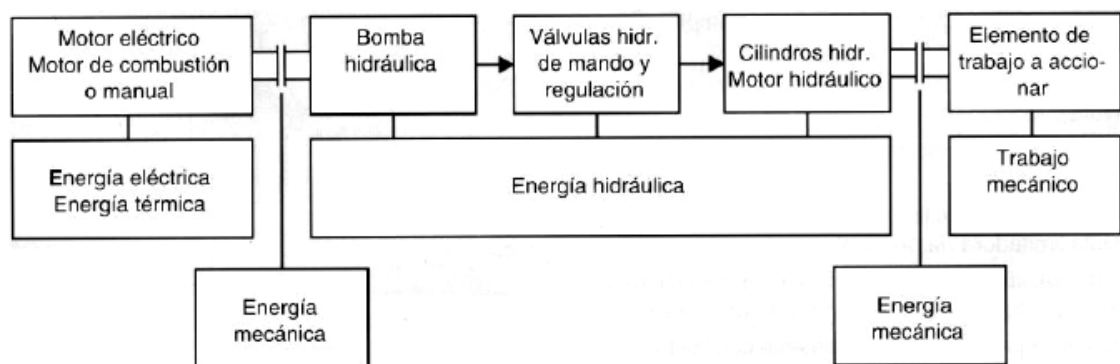


Fig. 4.2 Funcionamiento general de un sistema hidráulico

4.4.5 Sensor de proximidad inductivo

Un sensor inductivo utiliza un oscilador para enviar un campo magnético de alta frecuencia y de corto alcance desde el extremo de la unidad. Si un objeto de metal conductor entra en su alcance, se inducen corrientes parásitas en el metal, el cual reacciona para cambiar el voltaje en el oscilador. Esto es percibido y amplificado para encender el dispositivo de salida. La distancia de detección puede ir de 0.5 a 20mm dependiendo del modelo seleccionado [6]. En la figura 4.3 se puede

observar como las líneas de campo magnético atraviesan el material metálico y originan las corrientes de Eddy o de Foucault.

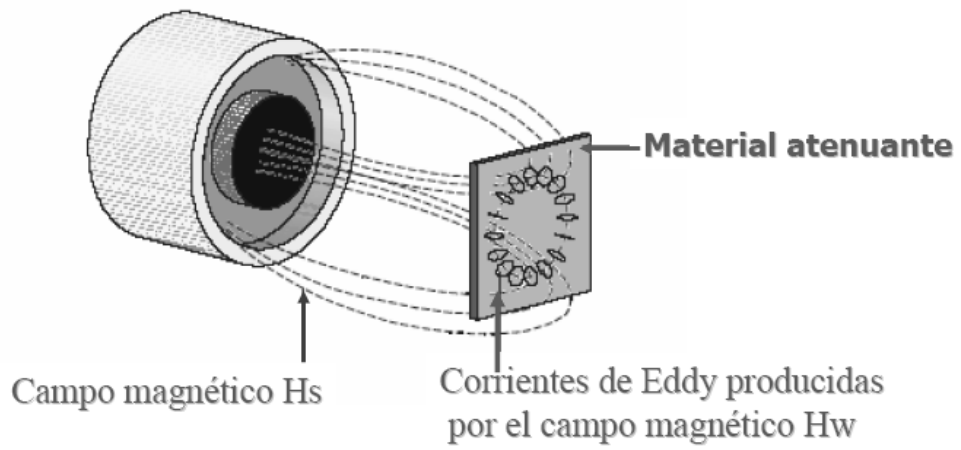


Fig. 4.3 Campo magnético y corrientes parásitas inducidas [8].

5. DISEÑO DEL SISTEMA HIDRÁULICO

En este capítulo se muestra el proceso que se llevó a cabo para el diseño del circuito hidráulico el cual es el encargado de accionar el sistema de apoyo y sección de acoplamiento del molde en la máquina.

El diseño del circuito se divide en dos partes fundamentales: primero el cálculo y la definición concreta de los componentes en función de sus necesidades (presión, caudal, etc.) y segundo el dibujo o croquis del circuito.

Para el diseño se tuvo en cuenta también el aspecto económico ya que algunos componentes que aparecen en el circuito del sistema hidráulico pueden ser reemplazados por otros que presenten un mejor comportamiento pero que son mucho más costosos, sin embargo no siempre es necesario hacerlo, depende de la magnitud de las variables que maneje el sistema (presión, caudales, etc).

5.1 Elementos necesarios para el diseño de un sistema hidráulico

En los sistemas hidráulicos básicamente se transforma energía mecánica en energía hidráulica. El fluido es solo un medio de transporte en el cual se puede regular y comandar la energía, para que sea nuevamente transformada en energía mecánica.

A continuación se presenta el esquema de un sistema de transmisión de energía:

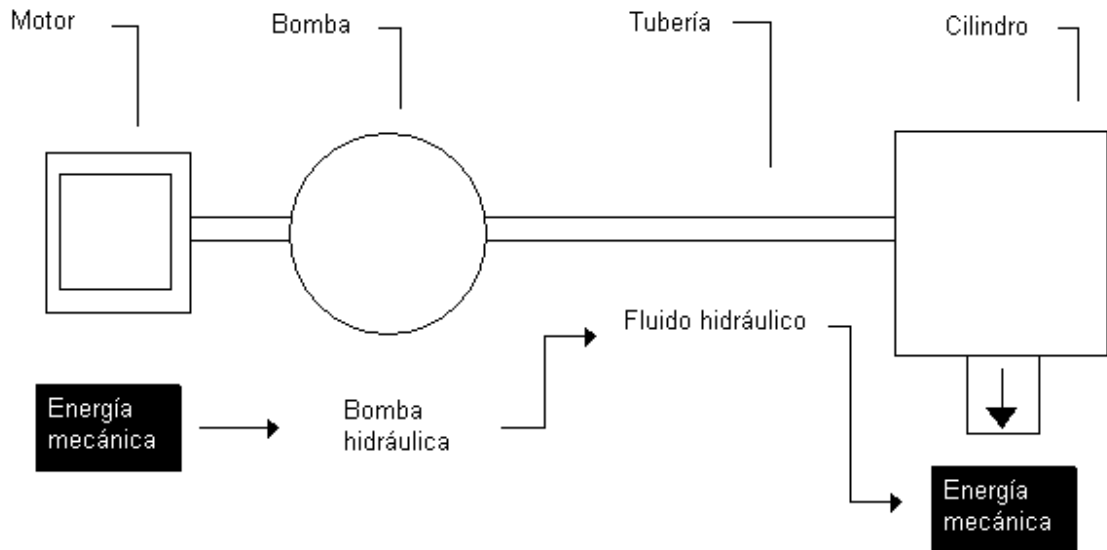


Fig. 5.1 Sistema de transmisión de energía

5.1.1 Componentes de un sistema hidráulico

Los componentes de un sistema hidráulico son todos aquellos elementos que incorpora el sistema para su correcto funcionamiento, mantenimiento y control, y pueden organizarse en cinco grupos:

- *Bombas* o elementos de impulsión, que transforman la energía mecánica en hidráulica.
- *Elementos de regulación y control*, encargados de regular y controlar los parámetros del sistema (presión, caudal, temperatura, dirección, etc).
- *Elementos direccionales*, como su nombre lo indica, encargados de darle determinadas direcciones al flujo del líquido hidráulico, según las necesidades del sistema.

- *Accionadores*, que son los elementos que vuelven a transformar la energía hidráulica en mecánica.
- *Acondicionadores y accesorios*, que son el resto de los elementos que configuran el sistema (filtros, intercambiadores de calor, depósitos, acumuladores de presión, manómetros, presostatos, etc.)

En éste capítulo se profundizará en las definiciones de los componentes de un sistema hidráulico necesarios para el diseño.

5.2 Diseño

Para el diseño de un circuito es necesario un conocimiento exacto del proceso, es decir, de las necesidades y trabajo a realizar (velocidades, fuerzas, tiempos, etc), así como de las limitaciones (espacio, potencia disponible, etc). Con los datos obtenidos y con la ayuda de símbolos se hace un diagrama circuital en el que se dibujan los elementos accionadores, impulsores y demás necesarios para el funcionamiento del sistema.

Primero se definirán los elementos necesarios para armar el sistema, luego se realizarán los cálculos que permitan dimensionar el sistema en general y los diferentes componentes involucrados, y por último se realiza el diagrama general del sistema hidráulico.

5.2.1 Definición de elementos de impulsión y accionadores

En primer lugar se necesita de un elemento impulsor que en la práctica es una bomba accionada por un motor eléctrico y de uno o varios elementos accionadores para transformar la energía hidráulica en mecánica y realizar los movimientos.

5.2.1.1 Motor eléctrico

Es el encargado de suministrar la energía para darle movimiento a la bomba hidráulica.

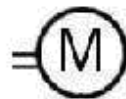


Fig. 5.2 Motor eléctrico

5.2.1.2 Bomba hidráulica

Provee de aceite al sistema. Es la encargada de generar el caudal al circuito. Se pretende trabajar con una bomba de caudal constante la cual genera un flujo constante del líquido al sistema. Éste tipo de bomba presenta la ventaja de sus costos accesibles y trabaja de forma adecuada en sistemas donde las fuerzas y las presiones no son excesivamente grandes.

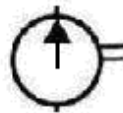


Fig. 5.3 Bomba hidráulica

5.2.1.3 Cilindro hidráulico

Son los actuadores que hacen que las mitades del molde se abran o se cierren en el caso de la sección de acoplamiento y que el conjunto de las dos mitades del molde se mueva a la derecha o izquierda en el caso de la sección de transporte.

Existen diferentes clases de cilindros hidráulicos, pero se decidió usar el cilindro de doble efecto ya que es el mas útil para la aplicación. En un cilindro de doble efecto el desplazamiento es en uno y otro sentido del vástago de éste. Esto permite que se pueda abrir y cerrar el molde y transportarlo de la salida del cabezal al pin de soplado.



Fig. 5.4 Cilindro de doble efecto

5.2.2 Definición de elementos direccionales

Los elementos direccionales se refieren a válvulas que abren y cierran el paso y dirigen el fluido en un sentido o en otro a través de las distintas líneas de conexión.

5.2.2.1 Válvulas unidireccionales

Las válvulas unidireccionales son, como su nombre lo indica, válvulas que permiten que el flujo del fluido sea en un solo sentido, y evitan el flujo en sentido inverso

5.2.2.1.1 Válvula antirretorno

En el sistema, ésta válvula es la encargada de impedir que el aceite que circula regrese a la bomba. Estas válvulas se utilizan en casi todos los sistemas hidráulicos, son un componente de seguridad.



Fig. 5.5 Válvula antirretorno

5.2.2.2 Válvulas direccionales de varias vías

Las válvulas direccionales de varias vías permiten el paso del fluido desde la entrada hacia las diferentes vías en que debe realizar sus funciones.

A continuación se definirán las válvulas direccionales de varias vías a utilizar. En éste tipo de válvulas se debe definir las vías, las posiciones y el tipo de accionamiento. En cuanto al accionamiento, debe ser en la mayoría eléctrico para que las válvulas puedan ser controladas automáticamente.

5.2.2.2.1 Válvulas 2/2 vías

La válvula de dos vías es la más sencilla de todas, funciona como una llave de paso que permite que el caudal pase o no. Además en éste caso la válvula es de dos posiciones, en una bloquea el flujo y en la otra permite el paso. Ésta válvula cumple la función de evitar que las mitades del molde se golpeen al regreso.

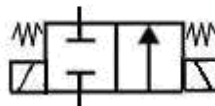


Fig. 5.6 Válvula 2/2 vías

5.2.2.2.2 Válvula 3/2 vías

Ésta válvula no es accionada eléctricamente sino por medio de un pulsador. La función de ésta válvula en el sistema es sencilla, al accionar el pulsador permite realizar la medición de la presión del sistema.

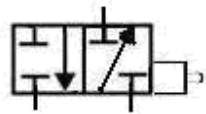


Fig. 5.7 Válvula 3/2 vías

5.2.2.2.3 Válvula 4/3 vías

Puesto que los accionadores del sistema son dos cilindros de doble efecto, se requiere de dos válvulas direccionales que permitan guiar el flujo en diferentes direcciones y así lograr los movimientos de ida y regreso. Esto se consigue con válvulas de 4 vías.

Las válvulas de 4 vías pueden tener 2 posiciones (avance y retroceso) o 3 posiciones (avance, reposo y retroceso). Las más apropiadas para el sistema son las de 3 posiciones, debido a que la posición central permite mantener el cilindro en determinada posición fija, especialmente durante el ciclo de soplado.



Fig. 5.8 Válvula 4/3 vías

5.2.3 Definición de elementos de regulación y control

Una vez que, gracias a la bomba, se ha conseguido introducir el fluido en la tubería del sistema hidráulico, se precisan una serie de componentes para regular y controlar los parámetros de presión y caudal de éste flujo de fluido dentro del sistema.

5.2.3.1 Válvula antirretorno-estranguladora (reguladora de caudal)

Este tipo de válvulas delimitan el volumen de líquido por unidad de tiempo que pasa a través del sistema. Ésta característica es útil para lograr variar la velocidad de los movimientos de los cilindros. Para el sistema se utilizarán 4 de éstas válvulas compensadas, dos para cada cilindro (avance y retroceso). Se trabaja con válvulas compensadas para evitar calentamiento del aceite y para que el caudal permanezca constante así se presenten variaciones en la presión.

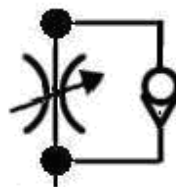


Fig. 5.9 Válvula antirretorno-estranguladora

5.2.3.2 Válvula limitadora de presión

Cuando el sistema excede una presión de seguridad establecida, ésta válvula envía el aceite al tanque. Es necesaria como protección de la bomba y del sistema en general.

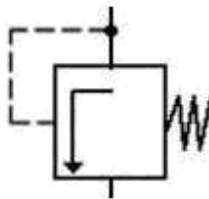


Fig. 5.10 Válvula limitadora de presión

5.2.4 Definición del resto de los componentes necesarios para el funcionamiento

5.2.4.1 Filtros

Son elementos acondicionadores del fluido que tienen como misión la de eliminar los contaminantes que éste arrastra.

Para el sistema son necesarios dos filtros: el filtro de aspiración o succión y el filtro de retorno.

El filtro de succión se coloca en la aspiración de la bomba para protegerla de partículas de gran tamaño procedentes del depósito.

El filtro de retorno se instala en casi todos los sistemas hidráulicos. Su misión es la filtración del fluido una vez ya haya circulado por los elementos y teóricamente arrastra consigo los contaminantes generados por el propio circuito.



Fig. 5.11 Filtro

5.2.4.2 Tanque

Es donde se almacena el fluido a utilizar. Pero además, también debe realizar otras funciones como la de facilitar la disipación del calor del fluido, o la separación del aire que éste pueda contener.

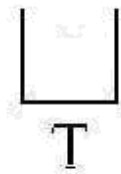


Fig. 5.12 Tanque

5.2.4.3 Termómetro

Mide la temperatura del aceite dentro del tanque.



Fig. 5.13 Termómetro

5.2.4.4 Acumulador

Almacena una cierta cantidad de fluido con presión para auxiliar al circuito hidráulico en alguna necesidad. Es necesario ya que en sistemas donde se accionen cilindros, es muy probable que se necesite proporcionar potencia auxiliar, proporcionar potencia en caso de alguna avería, compensar las fugas en situaciones estáticas o reducir las puntas de presión.

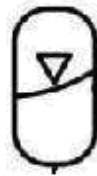


Fig. 5.14 Acumulador de vejiga

5.2.4.5 Bloque de seguridad para acumulador

El bloque de seguridad para acumulador sirve para asegurar, bloquear y descargar acumuladores hidráulicos.

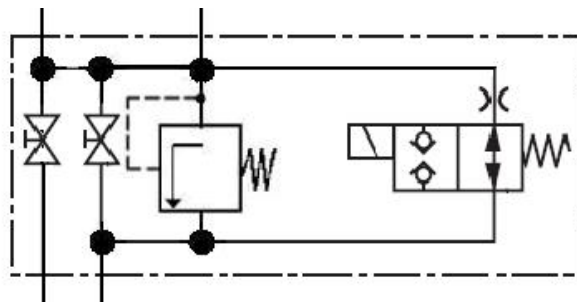


Fig. 5.15 Bloque de seguridad para el acumulador

5.2.4.6 Manómetro

Es el encargado de realizar la medición de la presión del sistema.



Fig. 5.16 Manómetro

5.2.4.7 Intercambiador de calor

Es el encargado de transferir el calor del aceite que ha circulado por el sistema a otro líquido. Ayuda a mantener una temperatura de operación adecuada del fluido hidráulico en el sistema.

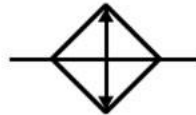


Fig. 5.17 Intercambiador de calor

5.3 Cálculos hidráulicos

Para la realización de los cálculos hidráulicos se cuenta con los tiempos del ciclo de soplado y con información aportada por la empresa SISTAMCOL junto con el diseño de los sistemas mecánicos:

- Como uno de los requerimientos es que los envases de PEAD sean de un litro, se pesó un envase terminado con esta capacidad y se obtuvo un valor de aproximadamente 50 gramos. Si se tiene en cuenta que el envase tiene un material sobrante, el peso puede aumentar a unos 55 gramos; además le aumentamos 5 gramos más por seguridad, entonces serían aproximadamente 60 gramos los que se deben producir en cada ciclo. Se desea que el ciclo de soplado dure menos de 13 segundos, así que para los cálculos se tomará 10 segundos por lo que el número de ciclos en una hora sería de 360 ciclos hora. Con este dato se puede calcular la cantidad de material por hora que la extrusora debe procesar.

$$\text{Material/Hora} = (60\text{g})(360\text{h}^{-1}) = 21.6\text{kg/h}$$

En la siguiente tabla se presentan los tiempos definidos para el ciclo de soplado teniendo en cuenta la forma en que trabaja la máquina del SENA ASTIN:

Tabla 5.1 Ciclo de soplado de la máquina

SECCIÓN	MOVIMIENTO	TIEMPO (s)
ACOPLE DEL MOLDE	Cierra	0.5
	Abre	0.5
	Reposo	0.1
TRANSPORTE DEL MOLDE	Al Párison	0.5
	A Soplado	0.5
	Reposo	0.1
PIN DE SOPLADO	Baja	0.25
	Sube	0.25
	Reposo	0.1
SOPLADO	Sopla	7.0
	Desfogue	1.0
CUCHILLA	Corta	0.1
TIEMPO TOTAL DEL CICLO DE SOPLADO		10.9

Como se puede observar en la tabla anterior el tiempo total es muy cercano a los 10s el cual se utilizó para los cálculos anteriores y menor que 13s que son los de la proyección. Por lo tanto, para que se pueda esperar que este tiempo se cumpla, el diseño de todas las partes que se necesitan automatizar en toda la máquina debe tenerlos en cuenta. Los tiempos que corresponden a este estudio y con los

cuales se trabajará más adelante, tienen que ver con el acople del molde y el transporte del molde que se muestran en la tabla.

- El motor eléctrico que mueve la bomba hidráulica debe ser de aproximadamente de 1800 r.p.m por definición.
- La fuerza máxima que el sistema tendrá que ejercer es de 19.6kN.

Basándose en la información anterior, es posible conocer las diferentes magnitudes que permitirán dimensionar los diferentes componentes del sistema hidráulico.

Para seleccionar adecuadamente el sistema de accionamiento se hace necesario conocer los siguientes parámetros:

5.3.1 Presión máxima

La presión máxima que debe ejercer la bomba hidráulica es:

$$P = \frac{F}{A} = \frac{19.6kN}{(\pi \times 2.5^2 cm^2)} = 10^7 Pa = 100bar = 1450.4 \frac{lb}{p1g^2} (PSI)$$

La bomba deberá ser capaz de llevar al sistema a una presión de 1450.4 PSI (mas pérdidas de trabajo) por lo que se debe usar una bomba de 1500 PSI aproximadamente de presión de trabajo.

5.3.2 Caudales

El caudal de cierre calculado a continuación es para el cilindro que ejerce la fuerza para el cierre del molde

$$Caudal_{cierre} = \frac{Desplazamiento \times \text{Área}}{tiempo} = \frac{(12cm)(\pi \times 2.5^2 cm^2 \times 60s / \text{min})}{0.5s}$$

$$Caudal_{cierre} = 28274.33 \frac{cm^3}{\text{min}} = 28.7 \frac{L}{\text{min}} = 7.46 \frac{Gal}{\text{min}}$$

El caudal de transporte calculado a continuación es para el cilindro que ejerce la fuerza para el transporte del molde desde el pin de soplado al párison y viceversa.

$$Caudal_{transporte} = \frac{(22.5cm)(\pi \times 2.5^2 cm^2 \times 60s / \text{min})}{0.5s}$$

$$Caudal_{transporte} = 53.01 \frac{L}{\text{min}} = 14 \frac{Gal}{\text{min}}$$

La bomba que se va a utilizar debe satisfacer las necesidades del caudal máximo. En las fases del ciclo donde no se necesite dicho caudal se utilizan las válvulas reguladoras para reducirlo.

5.3.3 Cilindrada de la bomba

Sea cual sea el tipo de bomba que se utilice, ésta será accionada por un motor eléctrico de 1800 r.p.m, por lo que tomando el caudal máximo calculado anteriormente se calcula la cilindrada de la bomba.

$$Cilindrada_{teórica} = \frac{Caudal_{máximo}}{velocidad_{motor}} = \frac{53014.37cm^3}{1800rev} = 29.5 \frac{cm^3}{rev}$$

Sin embargo las bombas tienen un rendimiento volumétrico que se puede estimar en 90% por lo tanto la cilindrada necesaria para suministrar el caudal requerido es:

$$Cilindrada_{Bomba} = \frac{29.5}{0.9} = 32.7 \frac{cm^3}{rev}$$

5.3.4 Potencia hidráulica

Para la potencia hidráulica que se genera se tienen los siguientes cálculos:

$$Potencia_{Hidráulica} = Pr esión_{max} \times Caudal_{max} = 10^7 \frac{N}{m^2} \times 8835 \times 10^{-7} \frac{m^3}{seg} = 8835W$$

pero 1HP =746W entonces:

$$Potencia_{Hidráulica} = \frac{(8835W)(1HP)}{746W} = 11.8HP$$

5.3.5 Potencia del motor eléctrico

La potencia del motor eléctrico necesario para el accionamiento de la bomba se calcula de la siguiente manera:

$$Potencia_{motoreléctrico} = \frac{Potencia_{Hidráulica}}{Rendimiento_{total}}$$

Sabiendo que el rendimiento total se lo puede estimar en 90%, se tiene por lo tanto que la potencia del motor es:

$$Potencia_{motoreléctrico} = \frac{11.8HP}{0.9} = 13.1HP$$

5.3.6 Cálculo del volumen del depósito hidráulico

Para que cumpla sus funciones de manera correcta el depósito debe tener un volumen adecuado que se halla de la siguiente manera:

$$Volumen = 4 \times Caudal_{m\acute{a}x} = 4 \times 53L = 212L = 56Gal$$

Para hallar las dimensiones del depósito hay que tener en cuenta el volumen calculado anteriormente y las dimensiones del lugar donde quedará ubicado, dimensiones que se obtienen de los planos otorgados por la empresa SISTAMCOL.

Ahora, 212Litros son $212000cm^3$ entonces se puede dar las medidas al ancho y al alto para obtener el largo despejando de la siguiente formula:

$$Volumen_{dep\acute{o}sito} = ancho \times alto \times largo$$

Entonces:

$$largo = \frac{Volumen_{dep\acute{o}sito}}{ancho \times alto}$$

Si le damos un valor de 60cm al ancho y de 53cm al alto entonces:

$$largo = \frac{212000cm^3}{60cm \times 53cm} = 66.7cm$$

Lo cual se puede aproximar sin problema a 67cm.

5.4 Diagrama circuital del sistema hidráulico

Para realizar el diagrama del sistema hidráulico, se utilizan símbolos industriales [12] y se representa cada una de las partes que han sido tenidas en cuenta anteriormente para un adecuado funcionamiento del sistema. A continuación se muestra el diagrama del sistema hidráulico:

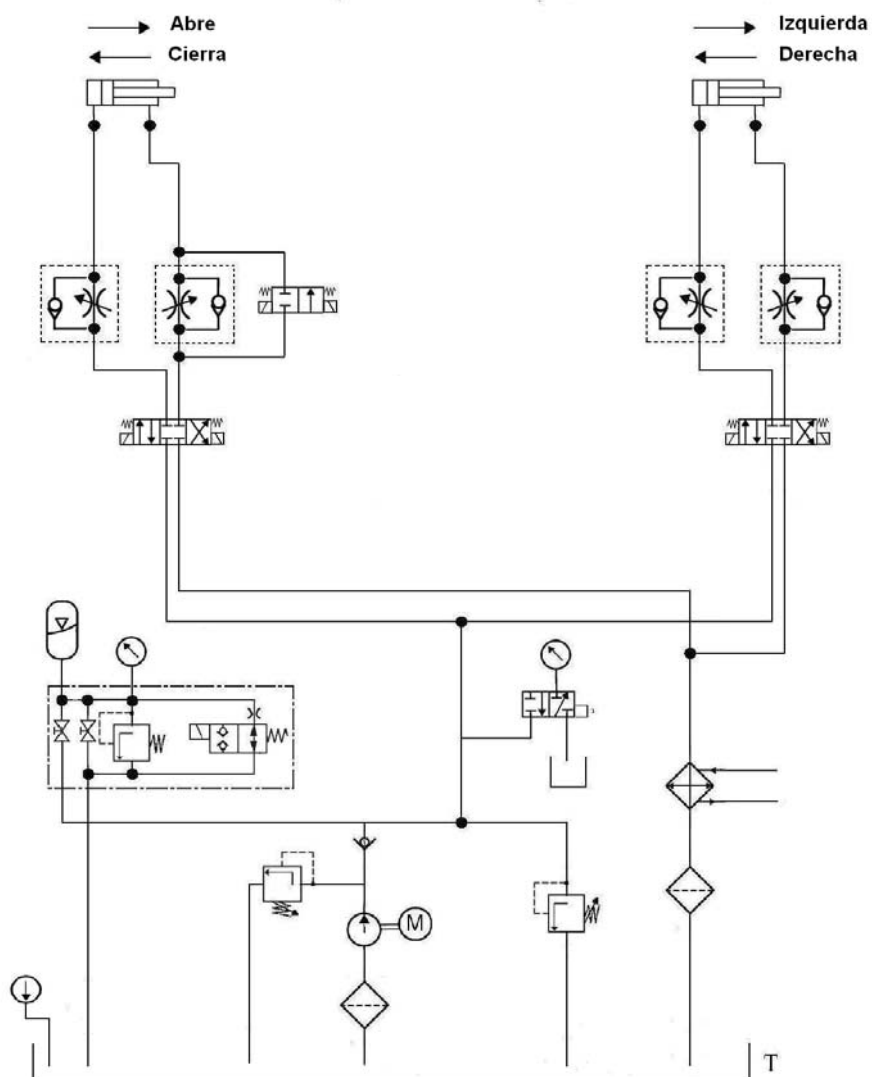


Fig. 5.18 Diagrama del sistema hidráulico

El diagrama del sistema hidráulico de la máquina se puede dividir en 3 secciones que son: la sección de accionamiento, la sección de acoplamiento del molde y la sección de transporte.

En el conjunto de accionamiento se encuentran: el depósito del fluido de circulación hidráulico, los elementos impulsores de este fluido que son el motor y la bomba hidráulica y los elementos adicionales expuestos en éste capítulo que mejoran el funcionamiento del sistema y que permiten medir parámetros como la presión y la temperatura. En la figura 5.18 se puede apreciar el conjunto de accionamiento.

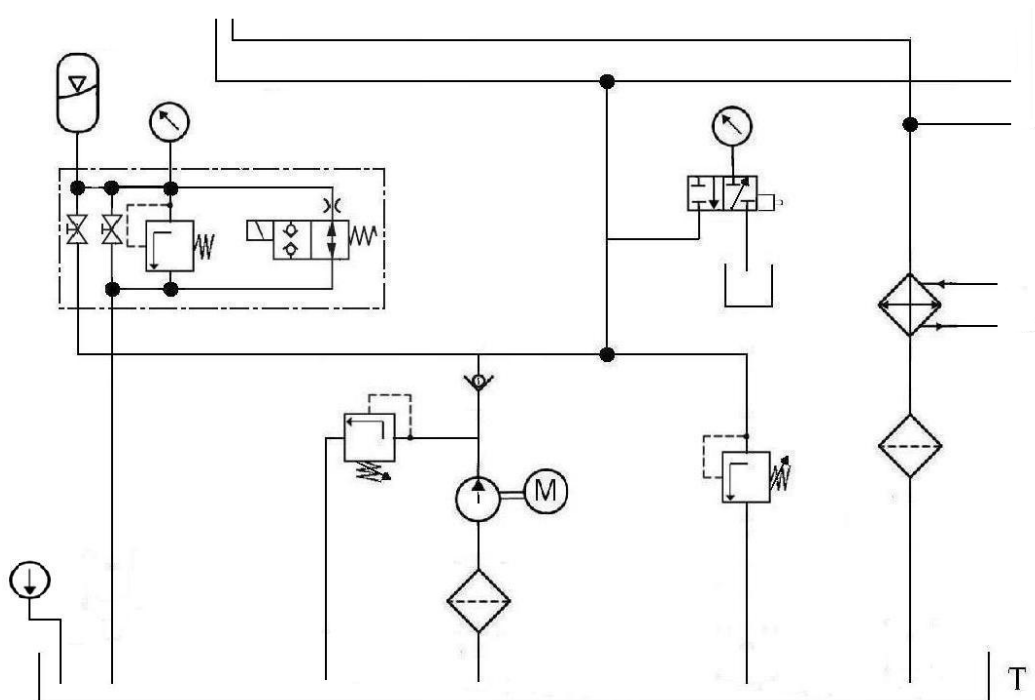


Fig. 5.19 Conjunto de accionamiento

Tanto la sección de acoplamiento, como la sección de transporte, contienen los actuadores, las válvulas para la regulación del caudal y la válvula de 4/3 vías que se encarga de direccionar el flujo. Adicionalmente, la sección de acoplamiento incluye una válvula de 2/2 vías encargada de dirigir el flujo para obtener dos velocidades de cierre, la del inicio del cierre y la velocidad reducida al final que evita que las mitades del molde se golpeen. En las figuras 5.19 y 5.20 se pueden apreciar las secciones de acoplamiento y de cierre respectivamente.

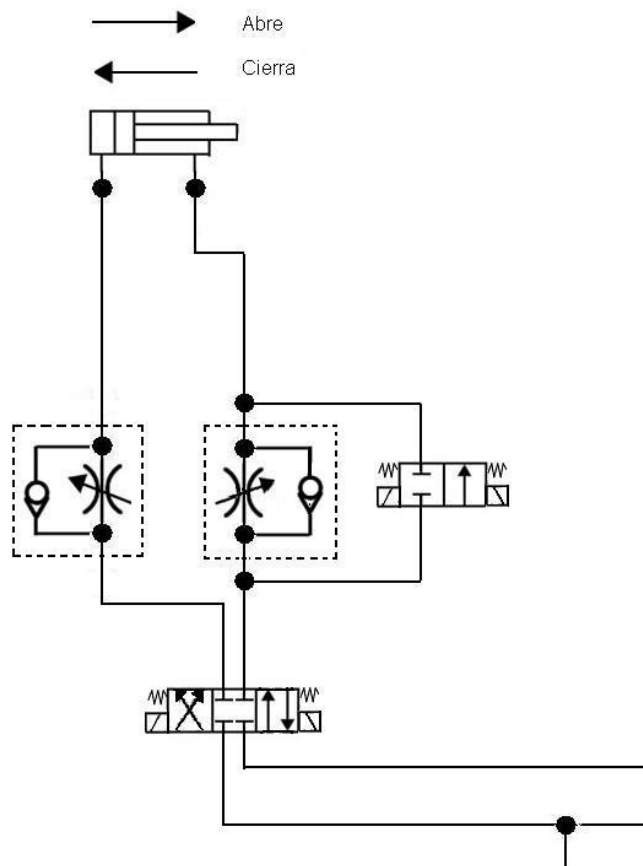


Fig. 5.20 Conjunto hidráulico para la sección de acoplamiento del molde

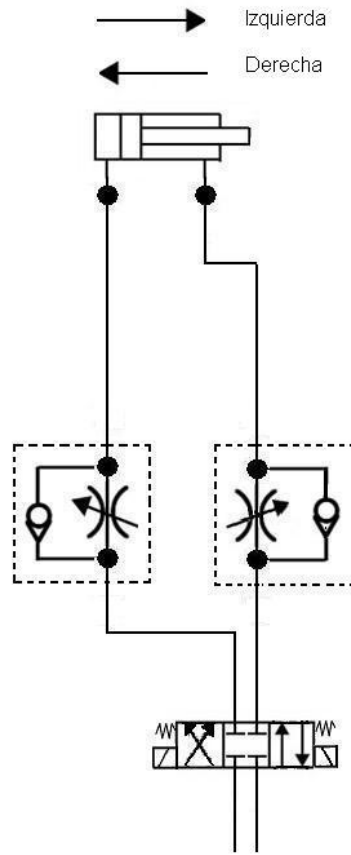


Fig. 5.21 Conjunto hidráulico para la sección de transporte del molde

6. DISEÑO DE LOS CIRCUITOS ELÉCTRICOS

En este capítulo se muestra el proceso que se llevó a cabo para el diseño del circuito eléctrico para el calentamiento del cilindro de extrusión, el cual es el encargado de controlar la temperatura para que en cada zona del cilindro se proporcione la energía térmica adecuada al material que se está utilizando para una plastificación que le de propiedades útiles para el producto terminado. Además, se presenta el esquema eléctrico para el movimiento del sistema mecánico del molde y de los sensores.

El diseño de los circuitos se divide en dos partes fundamentales: primero el cálculo con datos que se tienen del estudio del proceso y a partir de éstos, se define concretamente los componentes que se deben utilizar y segundo los esquemas circuitales.

Hay que aclarar que en los diagramas circuitales existen nuevos componentes que fueron definidos sin formar parte de una tabla morfológica, debido a que son necesarios y en algunos como lo son los componentes de protección, no existe un conjunto que pueda sustituir a estos componentes. Además, también se ha decidido que el mejor controlador para una máquina industrial como ésta es un PLC, que es un controlador robusto que puede ser utilizado no solo para controlar los sistemas estudiados, sino también para controlar de forma muy adecuada toda la máquina. Además se tiene que decir que este controlador no se tendrá en cuenta en la cotización, debido a que para elegirlo es necesario que se tenga la información de todo lo que éste va a controlar en la máquina, información que hace parte del estudio de las otras partes que la conforman y que no hacen parte de lo desarrollado en este documento.

6.1 Cálculo de la potencia de las resistencias y de los elementos de protección y accionadores

6.1.1 Cálculo de la potencia de las resistencias calefactoras

La temperatura que se obtendrá viene por parte del calentamiento de una resistencia calefactora que debe tener una cierta potencia.

Ya que las temperaturas con las que se trabaja para la plastificación del PEAD no son suficientes si se quisiera trabajar con otros materiales, entonces se ha decidido incrementar los valores máximos para cada zona, como se verá mas adelante en los cálculos.

La cantidad de calor Q requerida para cambiar la temperatura de un material dado es proporcional a la masa m del material y al cambio de temperatura ΔT . Esta notable simplicidad en la naturaleza se expresa en la siguiente ecuación:

$$Q = mc\Delta T$$

donde c es una cantidad característica del material llamada calor específico.[4]

Para hallar la cantidad de calor que cambia la temperatura de cilindro, primero necesitamos conocer el valor del volumen de la sección de cilindro que será calentada, teniendo como datos el radio exterior $r_e = 4.35\text{cm}$, el radio interior $r_i = 2.5\text{cm}$ y la longitud de la zona cilíndrica $L = 25\text{cm}$, mediante la siguiente ecuación:

$$V = \pi(r_e^2 - r_i^2)L$$

$$V = 995.3\text{cm}^3$$

Ahora, se tiene también como datos que la densidad del acero SAE4340 es $\rho = 7.84\text{g/cm}^3$ y el calor específico del mismo es $c = 0.46\text{J/g.K}$, entonces:

$$m = \rho V$$

$$m = 7803.152g$$

Entonces si la temperatura ambiente se toma como 20°C y para la zona de alimentación la temperatura máxima 200°C se tiene:

$$Q_1 = 646100.99J$$

Para la zona de compresión la temperatura máxima es 230°C entonces se tiene:

$$Q_2 = 753784.48J$$

Y para la zona de dosificación la temperatura máxima es de 250°C entonces se tiene:

$$Q_3 = 835573.48J$$

Entonces el calor aportado por las resistencias al cilindro será aproximadamente la suma de los calores aportados debido a que las temperaturas máximas son cercanas, entonces:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 2235458.95J$$

Como el cilindro debe calentarse desde la temperatura ambiente hasta tener las temperaturas adecuadas en cada zona, en un tiempo de una hora (3600s) tomado como referencia una máquina ubicada en SENA ASTIN; entonces se obtiene la potencia de las resistencias dividiendo el calor total obtenido entre el tiempo, por lo tanto:

$$P = 620.96W$$

Este resultado es bastante bueno, ya que por información de SENA ASTIN la potencia de las resistencias de la máquina mencionada anteriormente es de más o menos 500W con medidas algo similares.

Para no tener inconvenientes, ya que el valor obtenido de potencia es una aproximación y además, si se considera que la temperatura ambiente en otros lugares puede llegar a ser menor entonces se ha optado por darle un factor de ajuste de 20% más al valor ya obtenido con lo cual se obtiene una potencia de:

$$P \cong 750W$$

Con este dato se procederá en la cotización de una resistencia que tenga esta potencia o una un poco mayor teniendo en cuenta también el material de fabricación y las medidas específicas.

6.1.2 Características de elección de un interruptor magnetotérmico

Para elegir un interruptor magnetotérmico hay que analizar tres características básicas:

- 1) Curva de funcionamiento
- 2) Calibre
- 3) Poder de corte

6.1.2.1 Curva de funcionamiento

Representa el tiempo de desconexión del interruptor, en función de la intensidad detectada. En el eje de abcisas se indican los valores relativos a la intensidad nominal del magnetotérmico (I/I_n), en lugar de los valores absolutos de intensidad. La intensidad nominal es la corriente que se debe suministrar para que el dispositivo funcione en su punto óptimo de rendimiento.

Se distinguen tres zonas de funcionamiento:

Zona A: Disparo TÉRMICO, por sobrecarga.

Zona B: disparo ELECTROMAGNÉTICO, por cortocircuitos.

Zona C: Transición entre ambas zonas.

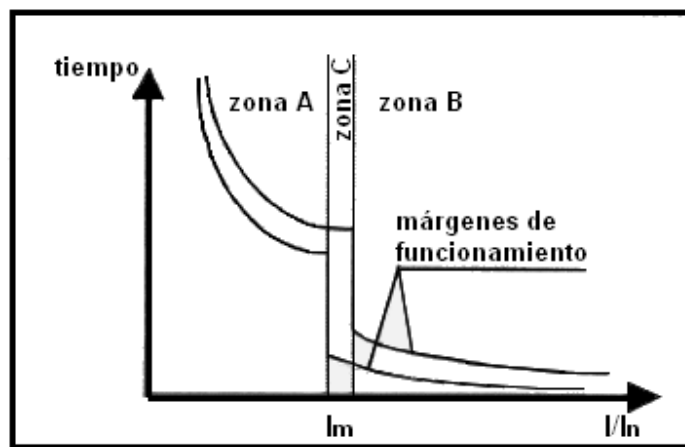


Fig. 6.1 Curva de funcionamiento de un interruptor magnetotérmico.

Para un magnetotérmico con unas características dadas, la zona de disparo térmico es siempre igual. Sin embargo, los límites de disparo por efecto electromagnético pueden ser distintos y esto da lugar a que existan distintos tipos de curvas. Las curvas más usuales y sus aplicaciones son:

TIPO A: Protección de líneas que alimentan a semiconductores (no contemplada aún en la norma). $I_m =$ (Corriente máxima) entre 2 y 3 veces el valor del calibre ($I_n =$ Corriente nominal del interruptor).

TIPO B (antes L): Protección de receptores sin sobrecargas importantes en el funcionamiento. Protección de líneas de gran longitud, generadores y personas. El valor de I_m está entre 3 y 5 veces el I_n (UNE-EN-60898).

TIPO C (antes U-UNE 20.347): protección de líneas en instalaciones domésticas donde existan distintos tipos de receptores, incluso iluminación.

Una vez en servicio, soportan puntas de corriente de cierta consideración. La intensidad de disparo magnético (I_m) es entre 5 y 10 I_n (UNE-EN-60898).

TIPO D: Receptores con fuertes puntas de arranque como los motores, transformadores, etc. I_m entre 10 y 14 I_n (UNE-EN-60898).

TIPO G: Uso general. Cuando las sobrecargas son mínimas, desconectan más rápido que los anteriores. I_m entre 5 y 8 I_n (UNE-20.347).

TIPO H: Uso general. Cuando las sobrecargas son excesivas, desconectan más rápido que los anteriores.

TIPO K: Protección de receptores como en la curva D, pero detectan sobrecargas por efecto térmico menores. Protección de semiconductores entre 10 y 14 I_n (EN-60947.2).

TIPO S: I_m en 15 veces I_n (CEI 947).

TIPO Z: Protección de circuitos electrónicos. I_m entre 2,4 y 3,6 I_n (UNE-EN-60947.2).

TIPO ICP-M: Protección de instalaciones como interruptor de control de potencia (ICP) o uso general, como la curva C (UNE-20317). I_m entre 5 y 8 I_n .

La elección del tipo de curva más apropiado se hará en función de las características de los receptores o de la línea que se pretende proteger.

Por lo dicho anteriormente, la curva que favorece a nuestra elección y cotización es la de tipo D, ya que se utilizará un motor para la impulsión de la bomba hidráulica.

6.1.2.2 Calibre

El calibre de un magnetotérmico es la intensidad nominal (I_n), a partir de la cual se interrumpirá el circuito.

Una vez que el magnetotérmico detecta una intensidad superior al calibre, la interrupción puede ser por efecto térmico o electromagnético dependiendo del tipo de curva y del valor de la intensidad que atraviesa el interruptor.

En la siguiente tabla se muestra características de motores trifásicos de 1800 rpm de donde se tomará el valor de la corriente I_n del motor con la potencia mayor o igual a la necesitada:

Tabla 6.1 Características de motores AC trifásicos de 1800 rpm [16]

Código	Tipo	Frame IEC	HP	kW	F.S.	I _n a		rpm	Eficiencia %	Torque nominal (Nm)	Momento de inercia (Kg m ²)	Torque de arranque de T _n (Nm)	Intensidad como fac de I _n (A)	Peso aprox (Kg)
						220 V (A)	440 V (A)							
01110	1LA7 071 4YA60	71	0.60	0.45	1.05	2.2	1.10	1645	69.0	2.60	0.0008	1.8	3.4	6.0
01111	1LA7 073 4YA60	71	0.75	0.56	1.15	2.9	1.45	1650	65.0	3.30	0.0008	1.9	3.7	6.0
01112	1LA7 080 4YC60	80	0.90	0.67	1.05	3.1	1.55	1675	68.0	3.83	0.0015	2.3	4.4	8.1
01113	1LA 080 4YA60	80	1.00	0.75	1.15	3.5	1.75	1660	69.7	4.29	0.0015	1.9	3.7	8.1
01114	1LA7 081 4YA60	80	1.20	0.90	1.05	4.0	2.00	1675	70.0	5.10	0.0018	2.2	3.7	9.3
01115	1LA7 083 4YA60	80	1.50	1.12	1.15	5.0	2.5	1650	72.0	6.48	0.0018	1.8	3.0	9.3
01116	1LA7 090 4YC60	90	1.80	1.34	1.05	6.4	3.2	1700	77.0	7.54	0.0028	2.4	5.2	11.9
01117	1LA 090 4YA60	90	2.00	1.50	1.15	7.0	3.5	1700	77.0	8.38	0.0028	2.2	4.4	12.1
01118	1LA7 094 4YA60	90	2.40	1.79	1.05	7.4	3.7	1690	77.0	10.12	0.0035	2.0	4.5	14.9
01119	1LA7 096 4YA60	90	3.00	2.20	1.15	9.6	4.8	1708	79.0	12.51	0.0035	1.8	3.6	14.9
01120	1LA7 111 4YA60	112	4.00	3.00	1.15	13.0	6.5	1750	76.3	16.28	0.0048	2.2	5.6	27.1
01121	1LA7 112 4YA60	112	5.00	3.73	1.15	15.8	7.9	1750	80.5	20.36	0.0058	2.3	6.5	28.7
01122	1LA7 113 4YA60	112	6.60	4.92	1.05	19.6	9.8	1745	78.0	26.95	0.011	2.0	6.0	31.0
01123	1LA7 114 4YA60	112	7.50	5.60	1.15	23.2	11.6	1740	80.0	30.7	0.011	2.2	5.6	32.7
01124	1LA7 131 4YA70	132S/M	10.00	7.50	1.15	28.8	14.4	1750	81.0	41.50	0.018	2.5	6.0	46.5
01125	1LA7 133 4YA70	132S/M	12.00	9.00	1.05	34.0	17.0	1750	81.2	49.50	0.024	2.5	6.6	49.0
01126	1LA7 134 4YA70	132S/M	15.00	11.2	1.15	43.0	21.5	1750	82.5	62.00	0.024	1.8	5.0	62.0
01127	1LA7 164 4YB70	160M/L	20.00	14.9	1.15	53.0	26.5	1760	85.0	80.69	0.040	1.8	6.3	77.5
01128	1LA5 167 4YC70	160M/L	25.00	18.7	1.15	64.0	32.0	1755	89.0	101.5	0.052	1.8	5.4	85.5

Como se puede observar en la tabla, la potencia de 13.1HP no aparece por lo tanto se tomará una mayor que es la de 15HP con una corriente nominal de $I_n = 43A$.

6.1.2.3 Poder de corte (PdC)

Es la máxima intensidad que es capaz de interrumpir el magnetotérmico. Evidentemente, ese valor está referido a la actuación por efecto electromagnético, puesto que en un cortocircuito se darán los máximos valores de intensidad posibles. Según la norma UNE-EN-60898, su valor debe expresarse en amperios (A), dentro de un rectángulo. Para la elección del poder de corte (PdC), deben considerarse dos casos:

- Si el transformador de distribución no está en el mismo edificio o muy próximo a la instalación, no es necesario hacer el cálculo del poder de corte. El calibre escogido determina un PdC adecuado en la mayoría de los casos.

- Si el transformador de distribución está en el mismo edificio o suficientemente próximo. Sí se calcula. Debe ser mayor o igual que la intensidad de cortocircuito (I_{cc}). Este valor corresponde con el de la intensidad que existiría en el punto del circuito donde se instala el interruptor, si ahí se produjese el cortocircuito. Esta intensidad de cortocircuito (I_{cc}) se puede obtener mediante tablas, en las que intervienen los siguientes datos:
 - STRAFO: Potencia aparente nominal (VA) del transformador de distribución.
 - V: Tensión nominal de la salida del transformador.
 - U_{cc} : Tensión de cortocircuito del transformador.
 - Z_L : Impedancia de la línea de alimentación, hasta el punto de cálculo.

Como el transformador no se encuentra en el mismo edificio no es necesario realizar el cálculo del poder de corte [15].

6.1.3 Características de elección de un contactor trifásico tripolar

Para la elección del contactor trifásico tripolar se necesita realizar algunos cálculos para una elección apropiada según las siguientes características:

6.1.3.1 Categoría de servicio

Para elegir un contactor es necesario que éste sea el adecuado para el servicio, es decir, la naturaleza y la utilización del receptor, las cuales se denotan como sigue:

AC1: Cargas puramente resistivas para calefacción,.. etc.

AC2: Motores asíncronos para mezcladoras, centrífugas,...etc.

AC3: Motores asíncronos para aparatos de aire acondicionado, compresores, ventiladores,...etc.

AC4: Motores asíncronos para grúas, ascensores,..etc.

Para el caso de este estudio se elige la categoría AC3 que pertenece a motores como el utilizado por la bomba hidráulica [17].

6.1.3.2 Corriente de servicio

Corriente que consume un receptor (estufa eléctrica, lámpara, motor,...) de forma permanente.

Para calcularla utilizamos la siguiente ecuación:

$$I_c = \frac{P}{\sqrt{3}V \cos \varphi} = 39,15A$$

donde,

I_c : es la corriente de servicio

P : es la potencia en vatios del motor la cual convirtiendo los 13.1HP es igual a 9698W

V : es el voltaje que equivale a 220V_{AC}

$\cos \varphi$: es el factor de potencia que para nuestro caso equivale a 0,65 debido a que la categoría de servicio es AC3.

6.1.3.3 Corriente cortada

La máxima corriente que es capaz de cortar un contactor sin destruirse por sobrecalentamiento (soporta 1.000.000 de maniobras aprox.).

Podemos aproximar esta corriente a la de servicio por lo tanto el calibre del contactor a elegir es 40A.

6.1.4 Características de elección de un relé térmico

- El calibre del relé térmico debe ser de un valor normalizado inmediatamente superior al de la intensidad nominal de la máquina o circuito a proteger.

Por lo tanto para su cotización se buscará un relé que cumpla con lo dicho anteriormente [15].

6.1.5 Características de elección de un relé industrial

Para la elección de los relés industriales los cuales se encargarán de activar las resistencias calefactoras, se debe conocer la corriente que circulará por éstas. Teniendo en cuenta los valores de voltaje de operación y de la potencia calculada anteriormente, se puede decir que:

$$I = \frac{P}{V} = \frac{750W}{220V} = 3.41A$$

Entonces al tener una corriente de operación de 3.4A, podemos recurrir a relés industriales que operen en un rango estandarizado de 4-6A.

6.1.6 Características de elección de los sensores inductivos

Los sensores inductivos son los que detectan la ubicación de las dos mitades del molde cuando se abren y se cierran y del conjunto del molde cuando éste se mueve de la salida del párison al pin de soplado. Para la elección de éstos sensores se deben tener en cuenta las siguientes características:

- El voltaje de alimentación es de 220V y la frecuencia es de 60Hz.

- La función de conmutación debe ser normalmente abierto (NO por sus siglas en inglés) lo que significa que el sensor funciona como un interruptor que permanecerá abierto impidiendo que pase la corriente siempre y cuando no detecte ningún objeto metálico próximo.
- Se necesitan cuatro sensores inductivos. La ubicación de éstos se muestra más adelante en el capítulo 7. Tres de los sensores tienen una distancia de ubicación de 4 mm y el restante tiene una distancia de colocación de 8 mm.

6.2 Simbología eléctrica

Las definiciones de los símbolos de las normas IEC para el sistema eléctrico para el calentamiento del cilindro de extrusión se muestran a continuación:

6.2.1 Conductor

Este es el que transporta la energía eléctrica a los componentes que lo requieran. Si es necesario se coloca el conductor neutro, y más datos si se requiere.

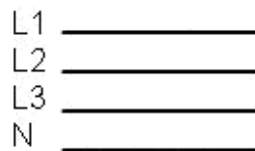


Fig. 6.2 Conductores eléctricos

6.2.2 Interruptor automático magnetotérmico

Este es un componente de protección contra cortocircuitos, donde se produce un aumento muy rápido y elevado de corriente.

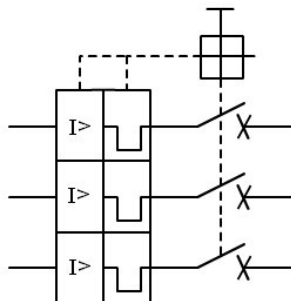


Fig. 6.3 Símbolo de un interruptor automático magnetotérmico

6.2.3 Objeto

Por ejemplo un equipo, dispositivo, unidad funcional, Componente o Función. Deben incorporarse al símbolo o situarse en su proximidad otros símbolos o descripciones apropiadas para precisar el tipo de objeto. Si la representación lo exige se puede utilizar un contorno de otra forma.



Fig. 6.4 Símbolo de objeto

6.2.4 Termómetro o pirómetro

Indicador de temperatura.

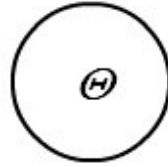


Fig. 6.5 Símbolo de Pirómetro

6.2.5 Termopar

La polaridad se indica con el trazo más grueso en uno de sus terminales (polo negativo)



Fig. 6.6 Símbolo de un termopar

6.2.6 Sensor de proximidad inductivo

Este símbolo indica un sensor de proximidad inductivo.



Fig. 6.7 Símbolo de un sensor inductivo

6.2.7 Contacto principal de cierre

Este símbolo indica el contacto que pertenece a un contactor.



Fig. 6.8 Símbolo de un Contacto

6.2.8 Bobina de relé o de un contactor

Símbolo de la bobina que es un arrollamiento de cable de cobre muy delgado con un gran número de espiras, que al aplicársele tensión genera un campo magnético que hace que cierre o abra un contacto.

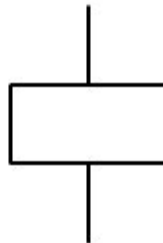


Fig. 6.9 Símbolo de una bobina de relé o contactor

6.2.9 Motor

Símbolo para un motor trifásico.

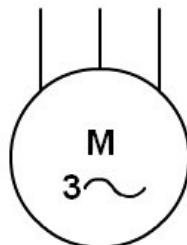


Fig. 6.10 Símbolo para un motor

6.2.10 Relé electrotérmico

Es un mecanismo que sirve como elemento de protección del motor. Su misión consiste en desconectar el circuito cuando la intensidad consumida por el motor, supera durante un tiempo corto, a la permitida por éste, evitando que el bobinado se queme. Su símbolo es el siguiente:

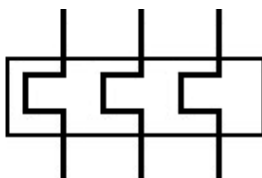


Fig. 6.11 Símbolo de un relé térmico

6.2.11 Resistencia

Para el caso de este estudio, el símbolo indica la resistencia calefactora utilizada en las zonas de extrusión y la resistencia adicional del sensor inductivo.



Fig. 6.12 Símbolo de una resistencia

6.2.12 Amperímetro

Sirve para medir la intensidad de corriente que está circulando por cada una de las líneas de entrada al circuito del sistema eléctrico para el calentamiento del cilindro de extrusión.

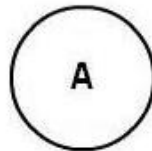


Fig. 6.13 Símbolo de un amperímetro

6.2.13 Unión de símbolos

La unión de algunos símbolos, conforma los dispositivos a utilizar para el circuito eléctrico de calentamiento del cilindro tales como el pirómetro controlador de temperatura y el relé industrial, como se ve en las siguientes figuras:



Fig. 6.14 Símbolo de un pirómetro controlador de temperatura



Fig. 6.15 Símbolo de un relé o contactor

6.3 Diagrama del sistema eléctrico para el calentamiento del cilindro de extrusión

Este diagrama está realizado con símbolos IEC los cuales son reconocidos internacionalmente y por lo tanto son muy importantes.

Para describir el circuito para el calentamiento del cilindro de extrusión (ver figura 6.16) se puede comenzar por las líneas de entrada de corriente eléctrica que pasa por unos amperímetros que funcionarán como indicadores de que esté circulando corriente o no hacia la resistencias, se tienen tres pirómetros controladores de temperatura quienes tendrán la función de mantener la temperatura en los rangos preestablecidos por el operario y que tienen unas salidas hacia los relés industriales que se activarán o desactivarán según el mando dado por el pirómetro.

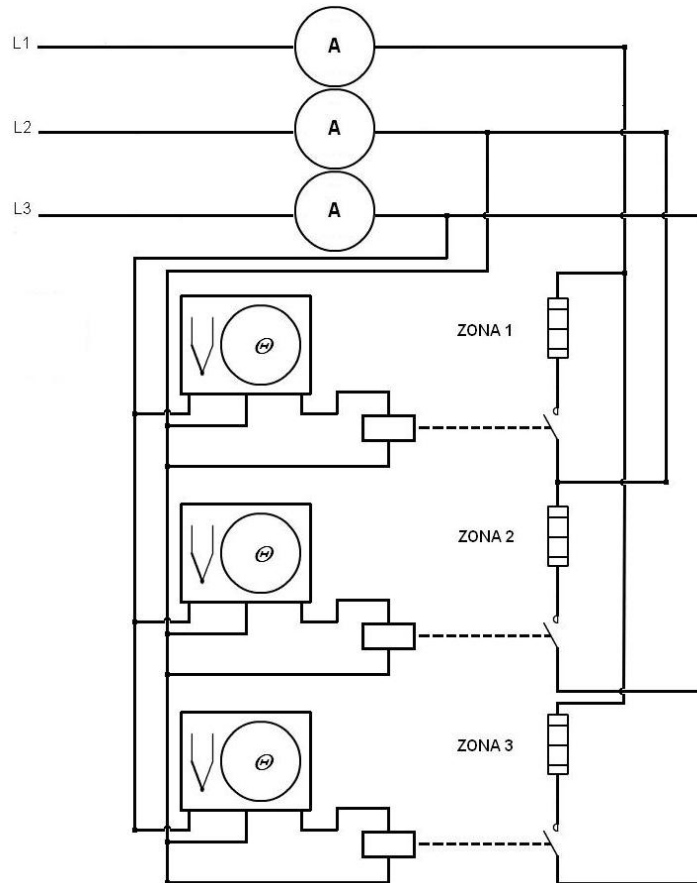


Fig.6.16 Diagrama del sistema eléctrico para el calentamiento del cilindro de extrusión

6.4 Diagrama del sistema eléctrico para el accionamiento del motor de la bomba hidráulica

En el circuito para el accionamiento de la bomba hidráulica (ver figura 6.17) se puede comenzar por la conexión que tiene el interruptor magnetotérmico con la líneas de entrada de energía eléctrica, luego la señal que viene del PLC hace que un contactor se active y cierre sus contactos para que se produzca una conducción de corriente eléctrica que pasará por un relé térmico que se encargará

de velar que no haya un sobrepaso excesivo de corriente, la cual por ultimo llega al motor, el cual proporcionará energía mecánica a la bomba hidráulica.

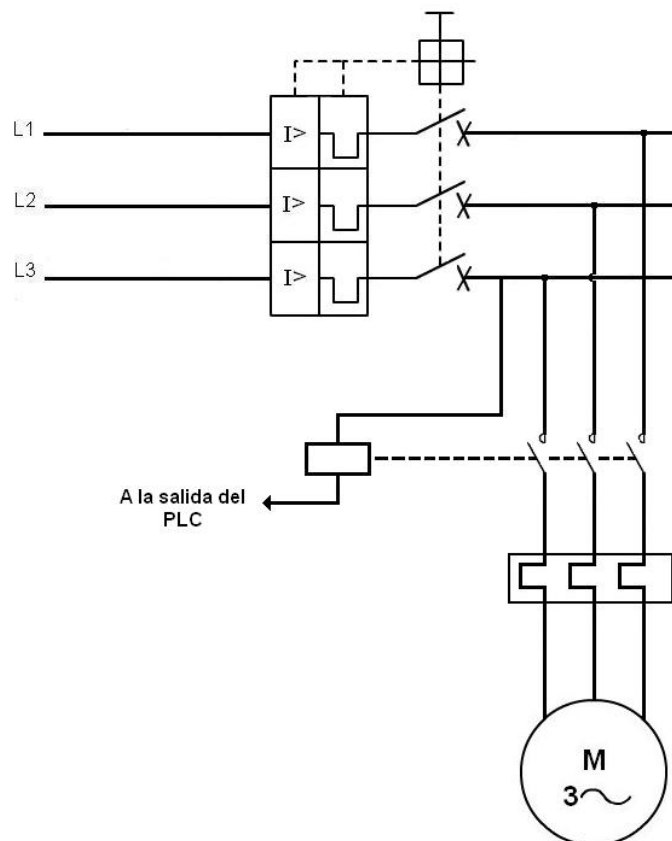


Fig.6.17 Diagrama del sistema eléctrico para el accionamiento de la bomba hidráulica

6.5 Diagrama de conexión de los sensores de proximidad inductivos

En el circuito de la figura 6.18 se muestra como van conectados los 4 sensores inductivos encargados de detectar la posición del molde. Éstos se conectan a los conductores eléctricos, y poseen una resistencia adicional que favorece el buen funcionamiento del sensor y a la que se le debe dar un valor específico, teniendo en cuenta el voltaje de alimentación del sensor y la corriente que el sensor puede

proporcionarle a esta tanto cuando la pieza a detectar se acerca como cuando se aleja.

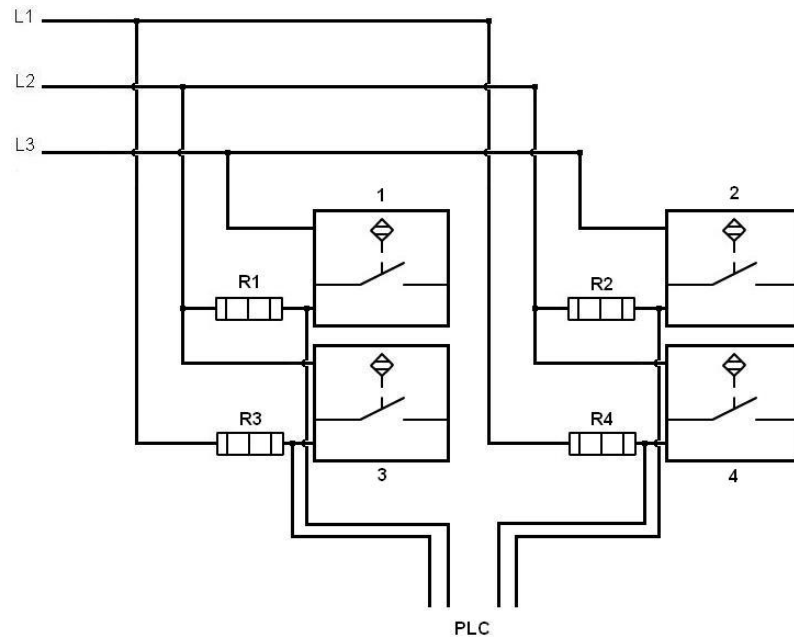


Fig.6.18 Diagrama de conexión de los sensores de proximidad inductivos

7. UBICACIÓN DE LOS COMPONENTES EN LA MÁQUINA

A continuación se muestra de forma ilustrativa donde se deben ubicar los diferentes componentes seleccionados dentro de los sistemas mecánicos en la máquina, logrando así tener una visión más apropiada de su disposición.

Las imágenes mostradas a continuación fueron elaboradas basadas en los planos de los componentes mecánicos proporcionados por la empresa SISTAMCOL.

7.1 Estructura de la máquina

La estructura de la máquina es la que se encarga de soportar todos los componentes mecánicos, eléctricos e hidráulicos; por esto es fundamental que su diseño sea el apropiado dependiendo de lo que se le ha de incluir para la conformación de la máquina.

La figura siguiente muestra lo mencionado:

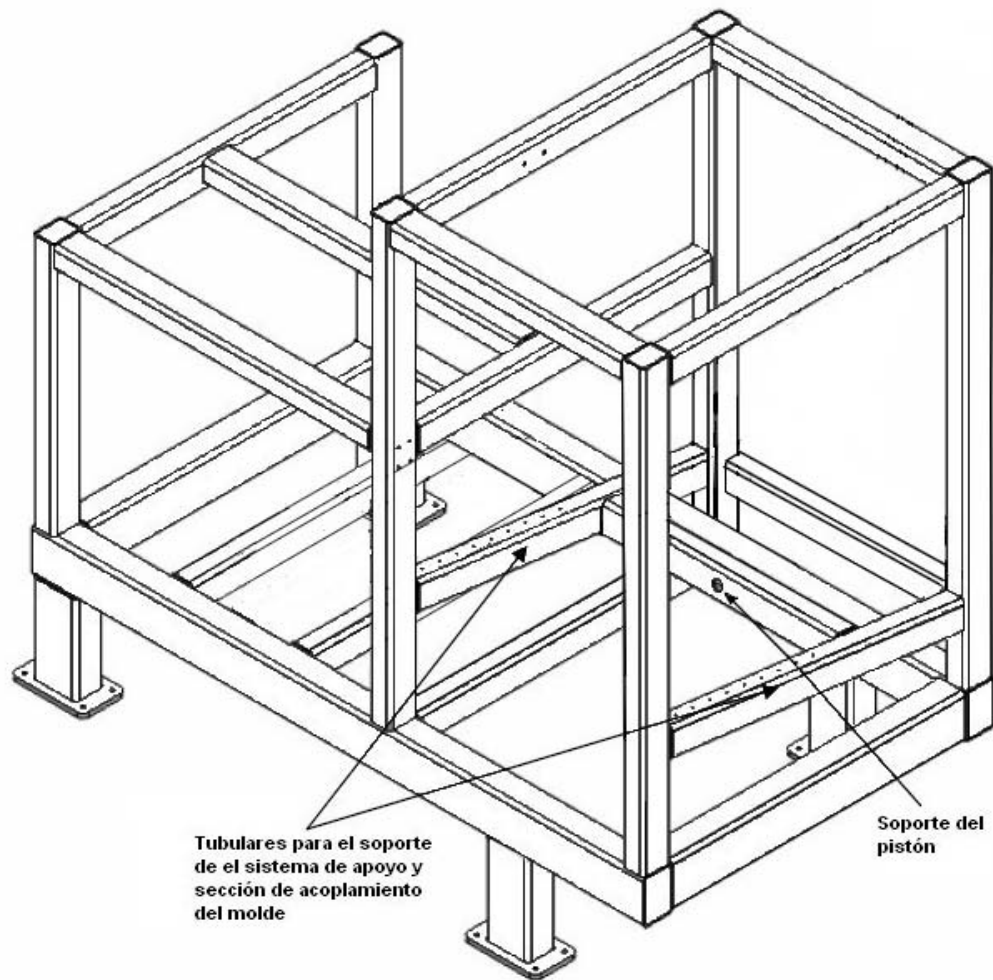


Fig. 7.1 Estructura de la máquina

7.2 Ubicación de la extrusora, las resistencias calefactoras, los termopares y la unidad hidráulica

En la figura 7.2 se muestra como se ubica la extrusora en la estructura. También se muestra el lugar debajo de una cubierta de lámina donde se colocaría la unidad hidráulica.

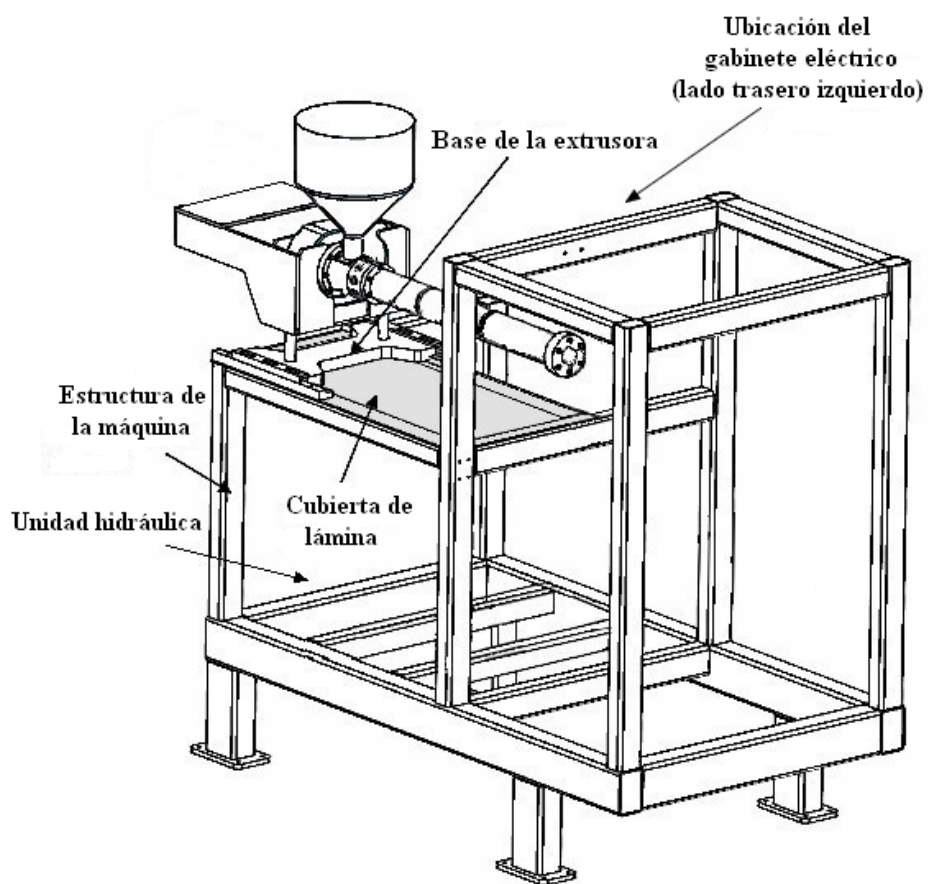


Fig. 7.2 Ubicación de la extrusora y la unidad hidráulica

En la figura 7.3 se ve como las resistencias eléctricas calefactoras recubren el cilindro de extrusión de tal manera que éste reciba el calor requerido en cada zona. Éstas deben estar separadas por unos pocos centímetros para que sean

colocadas de la manera apropiada. Por otra parte, los termopares son del tipo atornillable de tal manera que puedan ser acoplados en las resistencias correspondientes en cada zona.

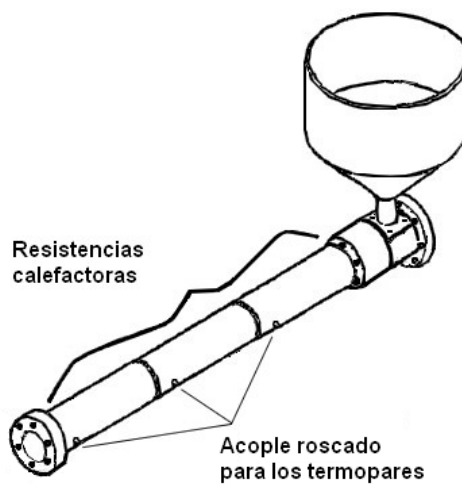


Fig. 7.3 Inclusión de las resistencias y termopares

7.3 Gabinete eléctrico

En el gabinete eléctrico se colocan muchos de los componentes eléctricos que se han elegido en este estudio como son: los contactores, relés térmicos, el PLC, botones, interruptores magnetotérmicos y los pirómetros controladores de temperatura digitales.

Nota: El gabinete mostrado en la figura 7.4 no tiene que ser exactamente como lo muestra la figura, sólo se quiere mostrar en que parte de la máquina debe ir ubicado.

En la figura 7.4 se muestra como queda colocado el gabinete eléctrico en el lado trasero izquierdo de la máquina. **Nota:** para una mejor apreciación de este lado observe la figura 7.2:

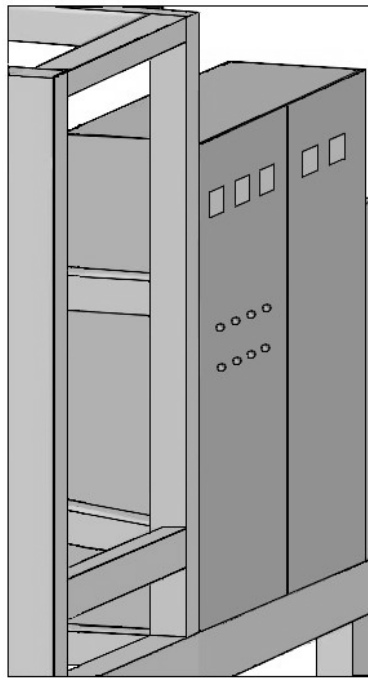


Fig. 7.4 Gabinete para los componentes eléctricos

7.4 Sistema de apoyo y sección de acoplamiento del molde

Este sistema se accionará por medios electrohidráulicos, específicamente mediante la fuerza mecánica que ejercen dos cilindros hidráulicos ubicados estratégicamente, para un agarre apropiado y con una velocidad apropiada que proporcione una producción más eficiente.

En la figura 7.5 se muestra como la fuerza del cilindro hidráulico abre o cierra el sistema mecánico y en la figura 7.6 se muestra en perspectiva el sistema para un mejor entendimiento del movimiento que se realiza.

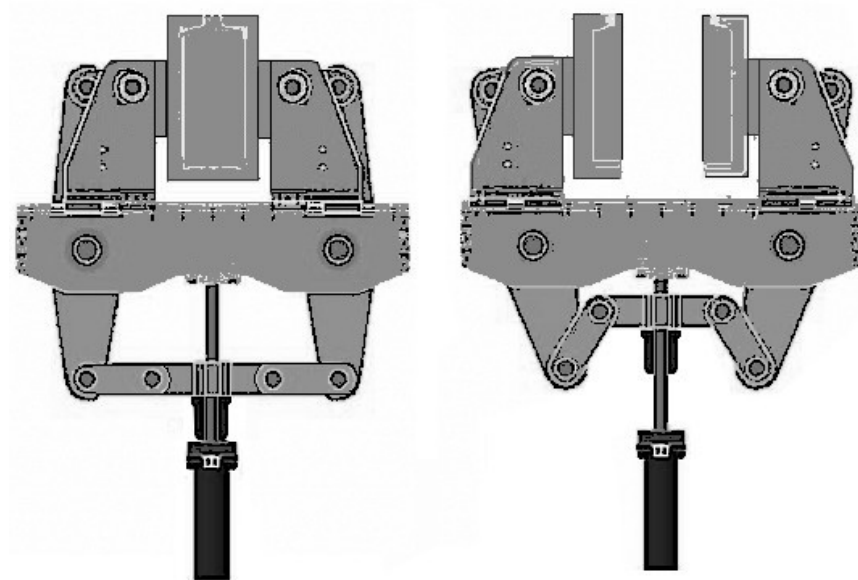


Fig. 7.5 Apertura y cierre de las mitades del molde

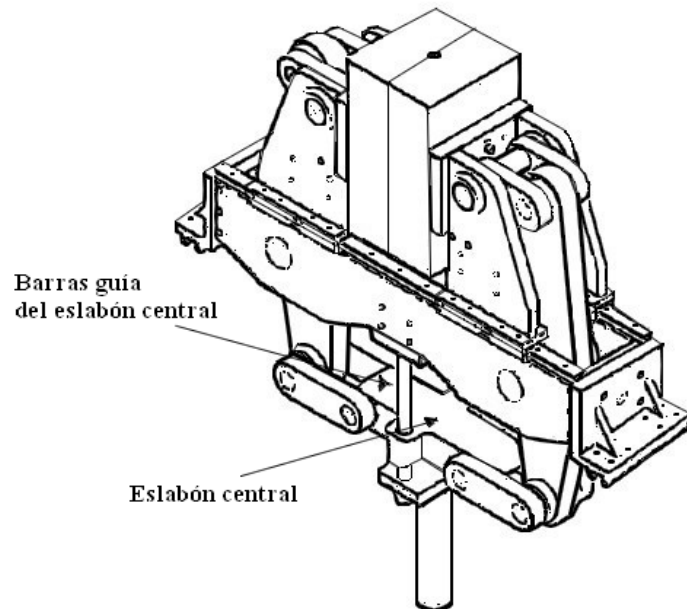


Fig. 7.6 Perspectiva del sistema de apoyo y sección de acoplamiento del molde

En la figura 7.7 se muestra como un segundo cilindro hidráulico ejerce una fuerza para que el sistema se deslice por un riel y se transporte desde donde sale el párison hasta el pin de soplado; además se muestra como 4 sensores inductivos deben ubicarse en los rieles para detectar la presencia y ausencia del metal que poseen la partes mecánicas en movimiento; dos enviarán la señal cuando la posición del sistema mecánico esté atrapando el párison y se esté insuflando el aire y los otros dos cuando haya cierre y apertura del molde.

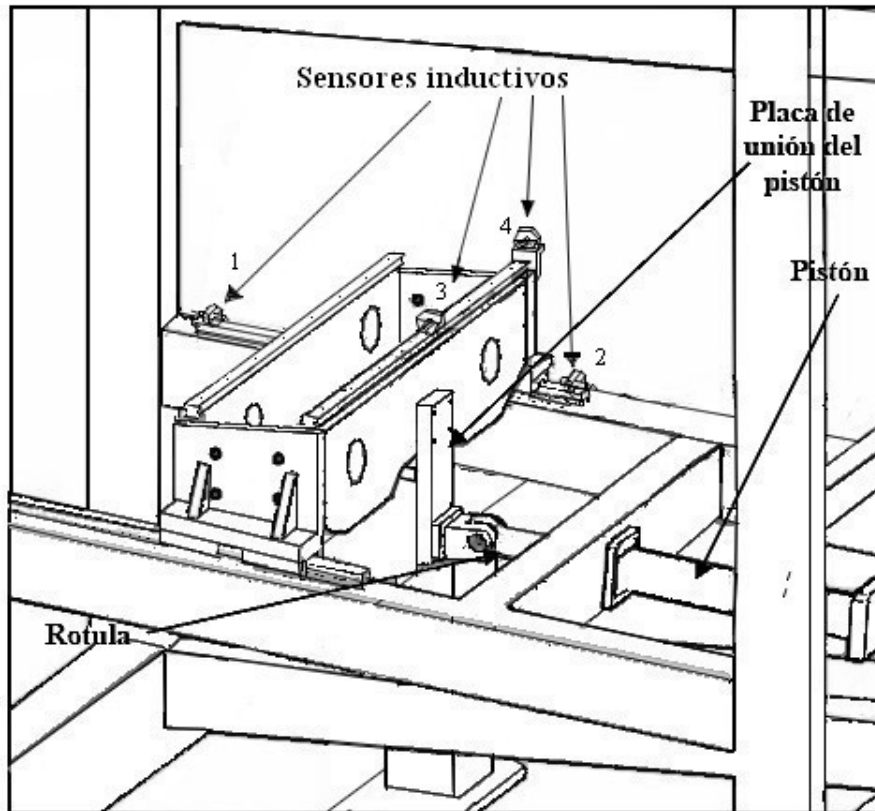


Fig. 7.7 Ubicación de los sensores inductivos y movimiento del sistema en el riel

En la figura 7.8 se muestra como el cuarto sensor inductivo queda instalado cerca del final de unos de los rieles con el fin de detectar la apertura del molde y en la figura 7.9 se muestra como con una pletina de montaje o superficie de acero paralela al sensor pueden ser instalados los sensores.[13].

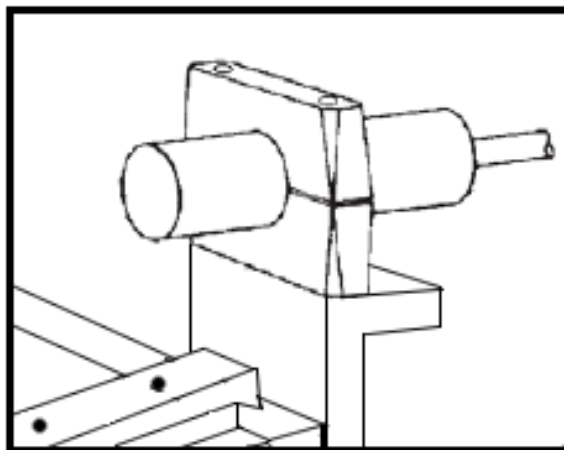


Fig. 7.8 Detección de la apertura del molde

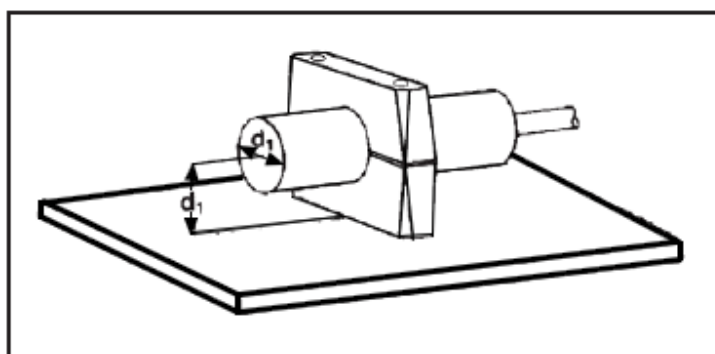


Fig. 7.9 Instalación del sensor inductivo en una pletina de montaje o superficie de acero

8. ANÁLISIS DE COSTOS

En éste capítulo se presenta la cotización de cada uno de los componentes analizados durante el proyecto y que se consideran necesarios para poder automatizar el cilindro de extrusión y el sistema de apoyo y sección de acoplamiento en una máquina extrusora sopladora de envases plásticos. Hay que aclarar que se trata de una cotización preliminar, debido a que incluye el costo de los componentes necesarios para la automatización de los sistemas mencionados, pero para lograr construir la máquina completa faltaría incluir el costo de la automatización de los demás componentes de la máquina y de la fabricación de las partes mecánicas.

Como se trata de un proyecto universitario el cual no es lucrativo, los costos del diseño y trabajo ingenieril no se incluyen en la cotización.

Durante la realización del proyecto, en el diseño siempre se tuvo en cuenta la forma más económica de poder realizar las funciones de la máquina correctamente.

Para realizar la cotización se recurrió a varias empresas que fabrican y distribuyen componentes en el país, las cuales se muestran a continuación:

- HYCO LTDA.
- PSI AUTOMATIZACIONES.
- INGENIERÍA HIDRÁULICA Y NEUMÁTICA LTDA.
- COLRES.

- MAVELEC.
- RESISTA LTDA.
- RESISTENCIAS INDUSTRIALES GILDARDO ENCISO.
- MEDICIÓN Y CONTROL LTDA.
- VÍA INDUSTRIAL.
- INSTRUMATIC CALI.
- ELEMENTOS ELÉCTRICOS S.A.
- ISOLTEC LTDA.
- REDES ELÉCTRICAS.

De las cotizaciones aportadas por las empresas se escogieron las que mejor se adaptaran a los requerimientos que se respetaron durante la realización del proyecto, especialmente el hecho de contar con dispositivos a un buen precio pero que sean robustos y confiables

A continuación se muestran las tablas de costos de los componentes seleccionados:

8.1 Costos de los componentes para el control de temperatura del cilindro de extrusión

Tabla 8.1 Costos de los componentes para el calentamiento del cilindro de extrusión y de los elementos de protección

Cantidad	Componente	Referencia	Marca	Proveedor	Costo Unitario	Costo total
3	Resistencias calefactoras	8.7x25 750 W 220V	Resistencias industriales	Resistencias industriales	38.000	114.000
3	Termopares	Tipo J Tornillo	Elementos electricos		12.000	36.000
3	Amperímetros de 0-60A	eq72 - 60	Crompton Greaves.	ISOLTEC LTDA	55.000	220.000
3	Pirómetros controladores digitales de temperatura	TZ4L24R	AUTONICS	Elementos Eléctricos	332.500	997500
3	Relés industriales	AC 5A	TELEMECANIQUE	ISOLTEC LTDA	108.603	325.809
1	Contactador trifásico	LC1D40	TELEMECANIQUE	ISOLTEC LTDA	379.000	379.000
1	Relé térmico	37 50A D40-D95	TELEMECANIQUE	ISOLTEC LTDA	108.603	285.200
1	Interruptor magnetotérmico	N S100N 50.4-63A 85 KA	MERLINGERIN	ISOLTEC LTDA	346.700	346.700
TOTAL SIN IVA (PESOS)						2.704.209
IVA 16%						432.673
TOTAL(PESOS)						3.136.882

8.2 Costos de los componentes para el sistema hidráulico

Tabla 8.2 Costos de los componentes para el sistema hidráulico

Cantidad	Componente	Referencia	Marca	Proveedor	Costo unitario (Pesos)	Costo total (Pesos)
1	Tanque de aceite	T-5	HYCO		1.630.000	1.630.000
1	Filtro de aire y llenado	SES640S65	STAUFF		25.500	25.500
1	Visor de nivel y temperatura	SNA076BST12	STAUFF		41.650	41.650
1	Filtro de succión	TFS0500P	STAUFF		54.400	54.400
1	Bomba hidráulica de piñones	1AG1U35R	EATON		633.650	633.650
1	Campana de montaje	90	HYCO		330.000	330.000
1	Acople	L100	HYCO		200.000	200.000
1	Motor eléctrico 13HP @1800	13HP a 1800 rpm	HYCO		1.463.000	1.463.000
1	Aisladora Manómetro	SWSN04A	STAUFF		51.000	51.000

1	Manómetro 0-3000 PSI	SPG63300S	STAUFF		44.200	44.200
1	Válvula de alivio y descarga	BUCGH06C5010T	INTERFLUID		189.000	189.000
1	Acumulador	A13100	ACUMULATORS		2.800.000	2.800.000
1	Válvula de descarga		INTERFLUID		172.900	172.900
1	Manifold	MFB05310N	INTERFLUID		310.100	310.100
1	Válvula direccional 2/2		VICKERS		209.950	209.950
2	Válvula direccional 4/3	052CA1	INTERFLUID		220.500	441.000
2	Control de flujo	DGMTC05WO	INTERFLUID		157.500	315.000
6	Conectores eléctricos	DINWOL	INTERFLUID		9.100	54.600
1	Cilindro hidráulico 50mm*22mm*120mm	Ø50 mm*ØV 22mm * 120 mm, flanche frontal. tipo redondo	HYCO		733.000	733.000
1	Cilindro hidráulico 50mm*22mm*225mm	Ø50 mm*ØV 22mm * 225 mm,	HYCO		734.000	734.000

1	Enfriador	EK5880	TERMAL TRANSFER		829.350	829.350
1	Filtro de retorno	SAF-10-25-17CI- 207SF6520	STAUFF		93.500	93.500
3	Sensor de proximidad inductivo AC 5mm	PR-185AO	AUTONICS		80.000	240.000
1	Sensor de proximidad inductivo AC 8mm	PR-188AO	AUTONICS		81.000	81.000
TOTAL SIN IVA (PESOS)						11.679.800
IVA 16%						1.868.768
COSTO TOTAL						13.548.568

8.3 Costos generales

Tabla 8.3 Costos generales

SISTEMA	COSTO (PESOS)
Sistema de calentamiento para el cilindro de extrusión y elementos de protección	3.136.882
Sistema de accionamiento hidráulico	13.548.568
COSTO TOTAL (PESOS)	16.685.450

9. CONCLUSIONES

- Se realizó un estudio técnico-económico para la selección de los componentes necesarios para la automatización de los sistemas de apoyo y sección de acoplamiento del molde y del cilindro de extrusión para una máquina extrusora-sopladora.
- Por medio de la identificación funcional de los diferentes tipos de componentes que existen en el mercado para esta clase de maquinaria, y utilizando tablas morfológicas, se logró seleccionar los componentes que mejor se adaptan a los requerimientos que se establecieron al comienzo, como base para la elaboración del estudio técnico – económico.
- Al identificar que el movimiento del sistema de apoyo y sección de acoplamiento del molde sería realizado por un sistema hidráulico, fue necesario su diseño, estudiando e incorporando todos los componentes que permiten la ejecución de los movimientos de apertura, cierre y desplazamiento del sistema mecánico.

De la misma manera que en el sistema hidráulico, fue necesario una etapa de diseño eléctrico, que incluyó el sistema de accionamiento de las resistencias calefactores para el cilindro de extrusión y del motor utilizado para impulsar la bomba hidráulica.

- Para el diseño de los sistemas anteriormente mencionados, se requirieron cálculos que permitieran una correcta selección de los componentes teniendo en cuenta características técnicas que permitan un buen funcionamiento del diseño total. Éstas características son variables físicas como fuerza, presión, caudales, potencia, temperatura, corrientes, voltajes, etc.

- Al tener una selección definitiva de los componentes a utilizar, se hizo necesaria la esquematización de la ubicación de dichos componentes en la máquina, basándose en los diseños mecánicos aportados por la empresa SISTAMCOL LTDA.
- A partir de los diseños mecánicos, los diseños circuitales y los cálculos realizados, se procedió a enviar la información que requería cada empresa consultada para poder realizar una cotización satisfactoria de los componentes seleccionados.

10. REFERENCIAS

[1] Kalpakjian S. y Schmid S., Manufactura, ingeniería y tecnología, Pearson Educación, 2002

[2] García Ar., Barría A., Prieto B., Herrera G., Vázquez D., Proyectos de Inversión: evaluación integral, Edición electrónica gratuita, Serie cuadernillos de investigación, Veracruz – México, 2006

[3] Mcmillan G., Process/industrial Instruments and Controls Handbook, 5ed. McGraw-Hill, Considine, D.M. 1999

[4] Giancoli D y Campos V., Física: Principios con aplicaciones, Pearson Educación, 2006

[5] Dunn W., Fundamentals of industrial Instrumentation and process control, McGraw-Hill, Estados Unidos, 2005

[6] Hyde J., Regué J., Cuspinera A., Control electroneumático y electrónico, Marcombo, 1997

[7] Cabañate A., Toma de decisiones: Análisis y entorno organizativo, Ediciones UPC, 1997

[8] Canto C., Notas de clase (Sensores inductivos)., Automatización I, Universidad Autónoma de San Luís Potosí, 2009

http://galia.fc.uaslp.mx/~cantocar/automatas/PRESENTACIONES_PLC_PDF_S/24_SENSORES_INDUCTIVOS.PDF

[9] Garavito E. y Rodríguez D., Metodología para la elaboración y determinación de la curva característica de resistencia contra temperatura de pastillas superconductoras cerámicas, 2004

<http://www.tupublicas.com/docs/17-58-03-03-2004-expocien.pdf>

[10] Taja R., Diseño de una máquina de acabado para una cinta rígida de 20mm de ancho fabricadas con hilo de poliéster, 2003

http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/taja_w_r/capitulo3.pdf

[11] SENA ASTIN, Material del curso básico de soplado de plásticos.

[12] SIMBOLOGIA HIDRAULICA CON NORMAS IEC

<http://sitioniche.nichese.com/simbologia-hidra.html>

[13] SENSORES INDUCTIVOS BERNSTEIN

http://www.fornvalls.com/pdfs/sensores-induc_es.pdf

[14] Cristman, Richard. Fundamentals of solid state physics, Jhon Wiley & Sons, INC. New York, Octubre 1987.

[15] Bullejos D., Protección de las instalaciones de baja tensión, Universidad de Córdoba.

www.uco.es/~el1bumad/docencia/minas/ie06t4.pdf

[16] Motores trifásicos de inducción, Siemens.

http://www.bobinadoselectrotecnisol.com/pdf/generalidades_motores%20de%20inducccion%20bobinados%20electroctecnisol.pdf

[17] Contactor, I.E.S Reina Victoria Eugenia de Melilla

<http://personal.redestb.es/jorgecd/contactor.html>