



# **ESPE**

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

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

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

**TEMA: MODELADO Y AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA  
SOPLADORA DE POLIETILENO; CON LA FINALIDAD DE  
INCREMENTAR LOS ÍNDICES DE PRODUCTIVIDAD, EN LA  
EMPRESA INPLÁSTICO**

**AUTORES: PANCHI AIMACAÑA, ADRIÁN DAVID  
SOLÓRZANO RAMÍREZ, SANTIAGO CAMILO**

**DIRECTOR: ING. SÁNCHEZ OCAÑA, WILSON EDMUNDO**

**LATACUNGA**

**2019**



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, **“MODELADO Y AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA SOPLADORA DE POLIETILENO; CON LA FINALIDAD DE INCREMENTAR LOS ÍNDICES DE PRODUCTIVIDAD, EN LA EMPRESA INPLÁSTICO.”**, realizado por los señores **Panchi Aimacaña, Adrián David y Solórzano Ramírez, Santiago Camilo**; el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 17 de diciembre del 2019

---

Ing. Sánchez Ocaña Wilson Edmundo

C.C. 0501529937

**DIRECTOR DEL PROYECTO**



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Nosotros, **Panchi Aimacaña, Adrián David** y **Solórzano Ramírez, Santiago Camilo**; declaramos que el trabajo de titulación **“MODELADO Y AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA SOPLADORA DE POLIETILENO; CON LA FINALIDAD DE INCREMENTAR LOS ÍNDICES DE PRODUCTIVIDAD, EN LA EMPRESA INPLÁSTICO.”**, es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Latacunga, 17 de diciembre del 2019

---

**Panchi Aimacaña Adrián David**

C.C.:0503991358

---

**Solórzano Ramírez Santiago Camilo**

C.C.:2300446032



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECÁNICA**

**AUTORIZACIÓN**

Nosotros, **Panchi Aimacaña, Adrián David** y **Solórzano Ramírez, Santiago Camilo**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“MODELADO Y AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA SOPLADORA DE POLIETILENO; CON LA FINALIDAD DE INCREMENTAR LOS ÍNDICES DE PRODUCTIVIDAD, EN LA EMPRESA INPLÁSTICO”**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 17 de diciembre del 2019

---

**Panchi Aimacaña Adrián David**

C.C.:0503991358

---

**Solórzano Ramírez Santiago Camilo**

C.C.:2300446032



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

**DEDICATORIA**

A Dios por permitirme llegar a este momento, a mis padres y mis abuelitos, los cuales son mi inspiración, me siento orgulloso de tenerlos a mi lado y por el apoyo que me brindaron a lo largo de mi carrera universitaria.

**SANTIAGO**

A Dios por las bendiciones recibidas hacia mí y toda mi familia. A mi madre Guadalupe y mi hermano Diego por el apoyo y confianza que me brindaron en toda la etapa académica y poder concluir con mi carrera universitaria.

**DAVÍD**



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECÁNICA**

**AGRADECIMIENTO**

A Dios por estar siempre a mi lado, por darme la fortaleza necesaria en los momentos más difíciles. A mi madre y a mis abuelitos que gracias a su esfuerzo y sus consejos puedo cumplir un objetivo más de vida, y al resto de mi familia en general ya que cada uno contribuyó con su granito de arena para poder cumplir con esta etapa académica.

**SANTIAGO**

A Dios por la vida, la salud y fortaleza hacia mi familia para estar presentes en este momento tan importante de mi vida. A mi hija Samara por enseñarme el verdadero espíritu de lucha y nunca darse por vencido por más grave que sea la situación.

**DAVID**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

### CARÁTULA

CERTIFICACIÓN .....	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD .....	ii
AUTORIZACIÓN .....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	x
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiii
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT .....	xviii

### CAPÍTULO I

#### PROBLEMÁTICA

1.1. Planteamiento del problema .....	1
1.1.1. Formulación del problema .....	1
1.2. Antecedentes.....	2
1.3. Justificación e importancia.....	3
1.4. Objetivos.....	4
1.4.1. Objetivo General.....	4
1.4.2. Objetivos específicos.....	4

### CAPÍTULO II

#### FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Antecedentes investigativos .....	5
2.2. Fundamentación teórica .....	5
2.3. Máquina Sopladora de Polietileno .....	6
2.4. Soplado de plástico.....	7
2.6. Inyección - Soplado .....	9
2.7. Partes principales de las máquinas de extrusión - soplado .....	10
2.8. Termoplásticos.....	13

2.9.	Neumática.....	15
2.10.	Hidráulica.....	16
2.11.	Dispositivos de control eléctricos.....	17
2.11.1.	Electroválvulas.....	17
2.11.3.	Motores Hidráulicos.....	19
2.11.4.	Sistema de Refrigeración.....	20
2.12.	Controlador Lógico Programable (PLC).....	21
2.12.1.	Estructura Interna del PLC.....	22
2.12.2.	Funciones Elementales del PLC.....	23
2.12.3.	Módulos.....	23
2.13.	Interfaz Humano – Máquina (HMI).....	24
2.14.	Modelado Matemático de sistemas dinámicos.....	26
2.15.	Conceptos Básicos sobre sistemas.....	26
2.15.1.	Sistemas, subsistemas y componentes.....	26
2.15.2.	Cantidades relevantes e irrelevantes.....	26
2.16.	Clasificación de los sistemas.....	27
2.16.1.	Sistemas Lineales.....	27
2.16.2.	Sistemas no lineales.....	28
2.16.3.	Sistemas en tiempo continuo.....	28
2.16.4.	Sistemas en tiempo discreto.....	29
2.17.	Sistemas de Primer Orden.....	29
2.18.	Tiempo Muerto.....	31
2.19.	Método 123c.....	31
2.20.	Procedimiento para la obtención del modelo.....	32
2.21.	Validación del modelo.....	33
2.22.	Función de Transferencia.....	33
2.23.	Análisis de la respuesta transitoria y estacionario.....	34
2.23.1.	Señales de prueba típicas.....	34
2.24.	Diagramas de bloque (Simulink).....	35

### **CAPÍTULO III METODOLOGÍA**

3.2.	Modalidad de la investigación.....	37
------	------------------------------------	----

3.3.	Tipos de investigación .....	37
3.3.1.	Descriptiva.....	37
3.4.	Diseño de la investigación .....	37
3.5.	Niveles de la investigación .....	38
3.5.1.	Bibliográfica.....	38
3.5.2.	De campo .....	38
3.6.	Técnica de recolección de datos .....	39
3.7.	Técnicas de análisis de datos .....	39
3.8.	Técnicas de comprobación de la hipótesis.....	40

## **CAPÍTULO IV DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN**

4.1.	Introducción.....	41
4.2.	Esquema de elementos de maniobra y protección.....	41
4.3.	Circuito de fuerza .....	42
4.4.	Dimensionamiento de protecciones.....	44
4.4.1.	Dimensionamiento del Fusible para el motor Impulsor del Tornillo ( <i>IC1</i> ).....	44
4.4.2.	Dimensionamiento del conductor para el motor impulsor del tornillo ( <i>ID1</i> ).....	45
4.4.3.	Dimensionamiento del guarda motor para el motor impulsor del tornillo ( <i>ID1</i> ) ...	45
4.4.4.	Dimensionamiento del contactor para el motor impulsor del tornillo ( <i>IE1</i> ) .....	46
4.4.5.	Resumen de elementos de protección y corte para los motores de la maquina sopladora de plástico.....	47
4.5.	Zonas de temperaturas.....	48
4.5.1.	Protecciones para las niquelinas de las zonas B, C y D .....	48
4.5.2.	Protecciones para las niquelinas de la zona E .....	51
4.5.3.	Protecciones para las niquelinas de las zonas F y G.....	53
4.5.4.	Protecciones para las protecciones para las zonas H e I .....	56
4.5.5.	Resumen de elementos de protección y corte para las zonas de temperatura de la maquina sopladora de plástico .....	58
4.6.	Protección del Alimentador Principal .....	58
4.7.	Válvulas Hidráulicas.....	60
4.8.	Consideraciones generales del sistema de control.....	62
4.9.	Número de entradas y salidas del Sistema de Control .....	63

4.10.	Controlador Lógico Programable (PLC) .....	65
4.11.	Fuente de alimentación del Sistema de Control .....	66
4.12.	Protección para la fuente de alimentación del Sistema de Control .....	66
4.13.	Interface Humano Maquina (HMI) .....	67
4.14.	Comunicación del sistema de control .....	68
4.15.	Sistema de control y visualización .....	70
4.16.	Descripción de la Interfaz Humano Maquina .....	71
4.17.	Modelamiento matemático del sistema .....	80
4.17.1.	Zona C .....	81
4.17.3.	Zona E .....	85
4.17.4.	Zona F .....	87
4.17.5.	Zona G .....	89
4.17.6.	Zona H .....	91
4.17.7.	Zona I .....	93
4.18.	Validación de la Hipótesis .....	98
4.18.1.	Hipótesis del Proyecto .....	98
4.19.	Análisis Financiero .....	110
4.19.1.	Costos de operación .....	111
4.19.2.	Flujos de caja .....	112
4.19.3.	Valor Presente Neto (VPN) .....	112
4.19.4.	Tasa Interna de Retorno (TIR) .....	114
4.19.5.	Interpretación Financiera .....	116

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>119</b>
---	------------

<b>ANEXOS .....</b>	<b>123</b>
---------------------	------------

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Maquina sopladora de polietileno de doble estación .....	6
<b>Figura 2.</b> Proceso de soplado de plástico. ....	7
<b>Figura 3.</b> Esquema de un extrusor de tornillo .....	8
<b>Figura 4.</b> Esquema de moldeo por extrusión y soplado. ....	9
<b>Figura 5.</b> Preforma obtenida por inyección. ....	9
<b>Figura 6.</b> Envase obtenido por soplado.....	10
<b>Figura 7.</b> Partes constitutivas de una máquina de extrusión – soplado .....	10
<b>Figura 8.</b> Tornillo Extrusor.....	11
<b>Figura 9.</b> Representación esquemática del cabezal extrusor.....	12
<b>Figura 10.</b> Esquema del pin de soplado.....	12
<b>Figura 11.</b> Sistema de preparación del aire .....	16
<b>Figura 12.</b> Sistema Hidráulico .....	16
<b>Figura 13.</b> Funcionamiento de una electroválvula.....	17
<b>Figura 14.</b> Cilindro Hidráulico Simple .....	18
<b>Figura 15.</b> Tipos de cilindros hidráulicos .....	19
<b>Figura 16.</b> Motores Hidráulicos .....	20
<b>Figura 17.</b> Ciclo de refrigeración por compresión. ....	21
<b>Figura 18.</b> Diagrama de bloques de la estructura de un PLC .....	22
<b>Figura 19.</b> SIMATIC HMI Panel.....	25
<b>Figura 20.</b> Señal generada por un sistema en tiempo continuo .....	28
<b>Figura 21.</b> Señal generada por un sistema en tiempo discreto .....	29
<b>Figura 22.</b> Respuesta a una entrada escalón de un sistema de primer orden .....	30

<b>Figura 23.</b> Curva de respuesta ante el retardo.....	31
<b>Figura 24.</b> Diagrama de bloques con operaciones analógicas.....	35
<b>Figura 25.</b> Interfaz principal de Simulink .....	36
<b>Figura 26.</b> Esquema y selección de elementos de protección y maniobra.....	42
<b>Figura 27.</b> Sistema de control de la maquina sopladora de polietileno .....	62
<b>Figura 28.</b> Conector del circuito RS-232 con indicación de cada uno de sus significados.....	68
<b>Figura 29.</b> Interconexión entre dos sistemas diferentes.....	69
<b>Figura 30.</b> Comunicación entre el HMI y el sistema de control PLC Porcheson PS860BM.....	69
<b>Figura 31.</b> Diagrama de flujos del proceso de soplado .....	70
<b>Figura 32.</b> Pantalla Principal del HMI .....	72
<b>Figura 33.</b> Pantalla de configuración de operación subir/bajar carro lado izquierdo.....	73
<b>Figura 34.</b> Pantalla de configuración de operación subir/bajar carro lado derecho .....	73
<b>Figura 35.</b> Pantalla de configuración de operación cerrar/abrir molde lado izquierdo.....	75
<b>Figura 36.</b> Pantalla de configuración de operación cerrar/abrir molde lado derecho .....	75
<b>Figura 37.</b> Pantalla de configuración de operación Pin arriba/abajo lado izquierdo y derecho.....	76
<b>Figura 38.</b> Pantalla de configuración de operación Soplado/cuchilla de corte .....	77
<b>Figura 39.</b> Pantalla de configuración de operación Rebabeador/ Rotación	



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> <i>Propiedades físicas y aplicaciones de algunos tipos de Termoplásticos ...</i>	14
<b>Tabla 2.</b> <i>Propiedades físicas del Polietileno .....</i>	15
<b>Tabla 3.</b> <i>Datos de placa del motor trifásico impulsor del tornillo .....</i>	43
<b>Tabla 4.</b> <i>Datos de placa del motor trifásico impulsor de movimientos .....</i>	43
<b>Tabla 5.</b> <i>Datos de placa del motor trifásico impulsor del Parison .....</i>	43
<b>Tabla 6.</b> <i>Dimensionamiento del fusible para el motor impulsor del tornillo .....</i>	44
<b>Tabla 7.</b> <i>Dimensionamiento del calibre del conductor del circuito derivado del motor impulsor del tornillo .....</i>	45
<b>Tabla 8.</b> <i>Dimensionamiento del guarda motor para el motor impulsor del tornillo ....</i>	46
<b>Tabla 9.</b> <i>Dimensionamiento del contactor para el motor impulsor del tornillo .....</i>	46
<b>Tabla 10.</b> <i>Resumen de dispositivos de protección y corte para los motores .....</i>	47
<b>Tabla 11.</b> <i>Datos nominales de las niquelinas .....</i>	48
<b>Tabla 12.</b> <i>Dimensionamiento del calibre del conductor de las tres primeras zonas .....</i>	49
<b>Tabla 13.</b> <i>Dimensionamiento de interruptor termo magnético para las zonas B, C y D.....</i>	49
<b>Tabla 14.</b> <i>Dimensionamiento del relé de estado sólido .....</i>	50
<b>Tabla 15.</b> <i>Comparación de características de relés de estado solido .....</i>	50
<b>Tabla 16.</b> <i>Dimensionamiento del calibre del conductor de la zona E .....</i>	51
<b>Tabla 17.</b> <i>Dimensionamiento de interruptor termo magnético para la zona E .....</i>	52
<b>Tabla 18.</b> <i>Dimensionamiento del relé de estado sólido .....</i>	52
<b>Tabla 19.</b> <i>Comparación de características de relés de estado solido .....</i>	53

<b>Tabla 20.</b> <i>Dimensionamiento del calibre del conductor de las zonas F y G</i> .....	54
<b>Tabla 21.</b> <i>Dimensionamiento de interruptor termo magnético para las zonas F y G</i> .....	54
<b>Tabla 22.</b> <i>Dimensionamiento del relé de estado sólido para las zonas F y G</i> .....	55
<b>Tabla 23.</b> <i>Comparación de características de relés de estado solido</i> .....	55
<b>Tabla 24.</b> <i>Dimensionamiento del calibre del conductor de las zonas H e I</i> .....	56
<b>Tabla 25.</b> <i>Dimensionamiento de interruptor termo magnético de las zonas H e I</i> ....	57
<b>Tabla 26.</b> <i>Dimensionamiento del relé de estado sólido de las zonas H e I</i> .....	57
<b>Tabla 27.</b> <i>Comparación de características de relés de estado solido</i> .....	57
<b>Tabla 28.</b> <i>Resumen de elementos de protección y corte de las zonas de temperatura</i> .....	58
<b>Tabla 29.</b> <i>Consumo de la corriente a plena carga del sistema</i> .....	59
<b>Tabla 30.</b> <i>Dimensionamiento del calibre del conductor del alimentador principal</i> ....	59
<b>Tabla 31.</b> <i>Dimensionamiento del disyuntor del alimentador principal</i> .....	60
<b>Tabla 32.</b> <i>Electroválvulas presentes en la maquina</i> .....	60
<b>Tabla 33.</b> <i>Entradas digitales y su descripción</i> .....	63
<b>Tabla 34.</b> <i>Salidas digitales y su descripción</i> .....	64
<b>Tabla 35.</b> <i>Especificaciones técnicas del PLC Porcheson PS860BM</i> .....	65
<b>Tabla 36.</b> <i>Dimensionamiento del conductor de la fuente de alimentación del sistema de control</i> .....	66
<b>Tabla 37.</b> <i>Dimensionamiento de interruptor termo magnético para la fuente de alimentación</i> .....	67
<b>Tabla 38.</b> <i>Especificaciones técnicas del interfaz humano maquina TB161</i> .....	68
<b>Tabla 39.</b> <i>Descripción de cada uno de los elementos presentes en la Pantalla</i>	

<i>Principal del HMI</i> .....	71
<b>Tabla 40.</b> <i>Descripción de la pantalla de configuración de operación subir/bajar carro lado izquierdo y derecho</i> .....	72
<b>Tabla 41.</b> <i>Descripción de la pantalla de configuración de operación cerrar/abrir molde lado izquierdo y derecho</i> .....	74
<b>Tabla 42.</b> <i>Descripción de la pantalla de configuración de operación Pin arriba/abajo lado izquierdo y derecho</i> .....	76
<b>Tabla 43.</b> <i>Descripción de la pantalla de configuración de operación Soplado/Cuchilla de corte</i> .....	77
<b>Tabla 44.</b> <i>Descripción de la pantalla de configuración de operación Rebabeador/Rotacion de cuchilla de corte</i> .....	78
<b>Tabla 45.</b> <i>Descripción de la pantalla de configuración de temperaturas de las zonas</i> .....	79
<b>Tabla 46.</b> <i>Variación de la temperatura en la Zona C</i> .....	81
<b>Tabla 47.</b> <i>Funciones de Transferencia de las zonas de temperatura</i> .....	96
<b>Tabla 48.</b> <i>Errores relativos entre parámetros reales y estimados</i> .....	97
<b>Tabla 49.</b> <i>Errores relativos promedio de los modelos en la estimación de los parámetros</i> .....	97
<b>Tabla 50.</b> <i>Comparación de error en estado estable y tiempo de establecimiento entre los modelos Zona C</i> .....	101
<b>Tabla 51.</b> <i>Comparación de error en estado estable y tiempo de establecimiento entre los modelos Zona D</i> .....	101
<b>Tabla 52.</b> <i>Comparación de error en estado estable y tiempo de establecimiento entre los modelos Zona E</i> .....	103

<b>Tabla 53.</b> <i>Comparación de error en estado estable y tiempo de establecimiento entre los modelos Zona F</i> .....	104
<b>Tabla 54.</b> <i>Comparación de error en estado estable y tiempo de establecimiento entre los modelos Zona G</i> .....	105
<b>Tabla 55.</b> <i>Comparación de error en estado estable y tiempo de establecimiento entre los modelos Zona H</i> .....	106
<b>Tabla 56.</b> <i>Comparación de error en estado estable y tiempo de establecimiento entre los modelos Zona I</i> .....	107
<b>Tabla 57.</b> <i>Lista de precios de materiales</i> .....	109
<b>Tabla 58.</b> <i>Proyección de costos de consumo eléctrico</i> .....	110
<b>Tabla 59.</b> <i>Proyección de costos de materia prima</i> .....	111
<b>Tabla 60.</b> <i>Proyección de flujo de caja para 5 años VPN y TIR</i> .....	111
<b>Tabla 61.</b> <i>Rangos de valores para el proyecto</i> .....	114
<b>Tabla 62.</b> <i>Valores obtenidos en el análisis financiero</i> .....	115

## **RESUMEN**

En la última década el sector industrial del plástico ha evolucionado en cuanto a su producción, este ha ido a la par con la evolución tecnológica la cual ocurre a pasos agigantados, debido a esto, es conveniente el reemplazo de equipos de operación manual por equipos de operación automática, es por esto que en el presente trabajo se realizó una optimización del proceso mediante la automatización de una maquina sopladora de polietileno con la finalidad de incrementar los índices de productividad. Inicialmente la maquina se encontraba inoperante debido a lo cual se implementó un nuevo sistema eléctrico y además se centralizó el proceso mediante la implementación de un PLC y un panel de operador para la visualización de los parámetros que intervienen en el proceso. Junto a esto también se realizó el modelado del proceso de soplado, partiendo desde la toma de datos experimentales de la maquina una vez que se encuentre en operación y asumiendo que corresponde a un Sistema de Primer Orden con tiempo de retardo para la obtención de la función de transferencia de las zonas de temperatura que intervienen en el proceso; de tal manera que se obtiene un mejor entendimiento del comportamiento del sistema para su análisis y optimización.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **PLÁSTICO - PRODUCCIÓN**
- **PLÁSTICO - INDUSTRIA Y AUTOMATIZACIÓN**

## **ABSTRACT**

In the last decade the industrial sector of the plastic has evolved in terms of its production, this has gone hand in hand with the technological evolution which occurs by leaps and bounds, due to this, it is convenient to replace manual operation equipment with equipment Automatic operation; this is why in this work we did an optimization of the process by performing the automation of a polyethylene blower machine in order to increase productivity rates. Initially, the machine was inoperative due to which a new electrical system was implemented and the process was also centralized through the implementation of a PLC and an operator panel to visualize the parameters involved in the process. Alongside this, the blowing process modeling was also carried out; starting from the experimental data collection of the machine once it is in operation and assuming that it corresponds to a First Order System with delay time to obtain the function of transfer of the temperature zones involved in the process; in such a way that a better understanding of the behavior of the system is obtained for its analysis and optimization.

### **KEYWORDS:**

- **PLASTIC – PRODUCTION**
- **PLASTIC – INDUSTRY AND AUTOMATIZATION**

## CAPÍTULO I

### PROBLEMÁTICA

#### 1.1. Planteamiento del problema

En la actualidad la empresa Inplástico cuenta con una máquina de soplado de polietileno de doble cabezal, esta cuenta con equipos de automatización obsoletos lo cual conlleva a una operación manual de la misma y junto con esto se genera una reducción en la productividad y un aumento de tiempos muertos, debido a esto la empresa ha decidido realizar el modelamiento de la máquina sopladora para así predecir la funcionalidad del proceso y además también se propone la implementación de un sistema de automatización para dicha máquina.

##### 1.1.1. Formulación del problema

La empresa Inplástico, es una empresa dedicada a la producción de envases plásticos cuyo objetivo es alcanzar niveles de calidad, tecnológicas y de producción elevados, la elaboración de este tipo de productos implica el mayor aprovechamiento de tiempo y de materia prima debido al uso constante y masivo de este producto, de esta manera se busca abastecer siempre la demanda en constante crecimiento de este tipo de producto.

Una de las implicaciones de la ingeniería es la implementación de equipos que permitan el funcionamiento automático del proceso reduciendo demoras en la producción y una operación más fácil sobre el proceso y sus variables.

Además de esto también entra en juego herramientas como el modelado para observar el comportamiento del proceso para establecer posibles soluciones y evitar el paro completo del proceso.

## 1.2. Antecedentes

En la última década el sector industrial del plástico ha evolucionado en cuanto a su crecimiento, este ha ido a la par con la evolución tecnológica la cual ocurre a pasos agigantados, debido a esto, es conveniente el reemplazo de equipos de operación manual por equipos de operación automática, esto conlleva una realización en cuanto a procesos, más rápida y de mayor confianza, la automatización de equipos ha generado una industria capaz de crear un artículo de elevada calidad, mejorando el aprovechamiento de la materia prima, además permitiendo una reducción de tiempos, de tal manera que se obtiene un nivel de producción elevada. Esto ha generado un estímulo por parte de la industria a la investigación de alternativas, con el objetivo de automatizar los equipos cuyo nivel tecnológico no es el más alto, y así brinden un buen servicio, pues la optimización de dichos equipos les permitirá competir con equipos actuales y posibilitará una economización significativa, tanto en materia prima, y tiempo de producción, evitando la compra de equipos modernos, ya que la simple automatización de éstos, asegura cubrir las necesidades de la industria.

El provecho que se puede obtener de una industria apta para producir una vasta diversidad de tamaños y estilos de envases son indudables, especialmente viéndolo desde el lado de la comercialización. La utilización habitual de envases plásticos y el incremento de estándares de vida, implica una demanda exigente y continua, que al pasar el tiempo generara un incremento en la demanda proporcional a escala mundial. (Alvarez, 2014).

La utilización de modelos de simulación son un complemento junto con la automatización para una óptima producción, los modelos de simulación por computadora han contribuido significativamente a mejorar el conocimiento y comprensión de procesos industriales.

El principal objetivo de estos modelos es la minimización de variaciones no deseadas de parámetros determinados que influyen en el proceso, que se pueden dar a lo largo de este; también son utilizados para la comparación de mediciones entre diferentes periodos de producción. (Groot, Giannopapa, & Mattheij, 2011)

La empresa Inplástico cuenta con máquinas de soplado para poder cubrir las demandas y obtención de envases plásticos con alto nivel de calidad, por lo que, se plantea la automatización de dicha maquina con el propósito de mejorar la productividad y la reducción de tiempos.

### **1.3. Justificación e importancia**

Actualmente el sector industrial tanto a nivel nacional como internacional han aumentado la importancia en la optimización de los procesos de producción, esto conlleva a un mejor aprovechamiento de la materia prima así como una reducción considerable de costos operacionales, de tal manera que los ingresos de las empresas son el resultado de esta toma de decisiones.

El modelamiento es una herramienta usada con mucha frecuencia en la actualidad con el objetivo de cumplir con las consideraciones mencionadas en el párrafo anterior. La modelación de un proceso es una prueba o tipo tomado de lo real, donde la estructura esta afianzada entre la realidad y el supuesto (la realidad del modelo); por lo que en un modelo matemático se establece los parámetros, los fenómenos, las funciones latentes y las reales. Es decir, es primordial para el cálculo y proceso de lo que se espera con dicho modelo matemático. La importancia del modelo matemático es esencial para la reducción de costos, ya que evita experimentos delicados y costosos.

Además del modelamiento, otra técnica para mejorar estos aspectos de productividad es la de la automatización de la operación de la máquina sopladora de polietileno, con estas dos técnicas combinadas se plantea mejorar el proceso, lo que conlleva a una reducción de tiempos pero cumpliendo con la demanda que la empresa debe cubrir en cuanto a los productos que se generan.

Inplástico es una empresa enfocada en la innovación y optimización de los procesos de producción, por lo implica una reducción de costos de operación.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo General**

Modelar y automatizar una máquina sopladora de polietileno; la finalidad de incrementar los índices de productividad, en la empresa Inplástico.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Modelar el proceso de soplado de polietileno.
- Diseñar el algoritmo de control para el PLC y la interfaz gráfica HMI que se implementara en la maquina sopladora.
- Diseñar el sistema de eléctrico y de control de la maquina con los respectivos elementos
- Selección de los equipos y materiales que conformaran el sistema eléctrico y de control
- Implementar el controlador lógico programables (PLC), la Interfaz Humano Maquina (HMI), las entradas y salidas requeridas y los elementos de protección necesarios.
- Realizar pruebas de funcionamiento de la maquina
- Validación de la hipótesis.

## CAPÍTULO II

### FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

#### 2.1. Antecedentes investigativos

Con el pasar del tiempo, el desarrollo de los recursos tecnológicos ha evolucionado a pasos agigantados, permitiendo así un incremento en su utilización para la ejecución de procesos con objetivo definido. La automatización Industrial representa el empleo de una cantidad variada de recursos tecnológicos, los cuales se enfocan principalmente en controlar y dar seguimiento a un determinado proceso, maquina o dispositivo, los cuales cumplen con ciclos de tareas; de tal manera que estos operen de manera automática sin presentar problema alguno y en caso de que ocurra algún inconveniente se tenga la capacidad de reacción inmediata. El uso de estos recursos tecnológicos representa a la industria un ahorro en tiempo y en intervención humana. (Mink, 2004)

El proyecto en mención tiene como finalidad el mejoramiento de los índices de productividad, mediante el modelamiento matemático y automatización de una maquina sopladora de polietileno, con la implementación de un PLC y una interfaz HMI.

#### 2.2. Fundamentación teórica

El proceso de soplado de polietileno se puede realizar mediante el empleo de 2 técnicas, el proceso de inyección-soplado o el proceso de extrusión-soplado. El proceso que se utiliza en la Empresa Inplástico es el de extrusión-soplado, debido a que este proceso abarca una menor cantidad de etapas para la producción de los envases plásticos, generando un ahorro de tiempo en comparación con el otro método antes

mencionado. Se pretende optimizar el proceso mediante el modelamiento matemático y la automatización de una máquina de soplado de polietileno.

### 2.3. Máquina Sopladora de Polietileno

Las máquinas de soplado de plástico como se muestra en la Figura 1, son equipos cuyo fin es la producción de objetos huecos de material termoplástico, con la opción de tener paredes con curvas entrantes y salientes, es decir, envases plásticos. La invención de este tipo de maquinaria data de alrededor de la década de 1930 y su inicio se originó en Alemania a mediados de 1950, y actualmente es aquí donde se concentra la mayor cantidad de fabricantes a nivel mundial. La producción de estos envases depende del material a utilizar, dimensiones, exactitud en las dimensiones y principalmente del proceso a utilizar.

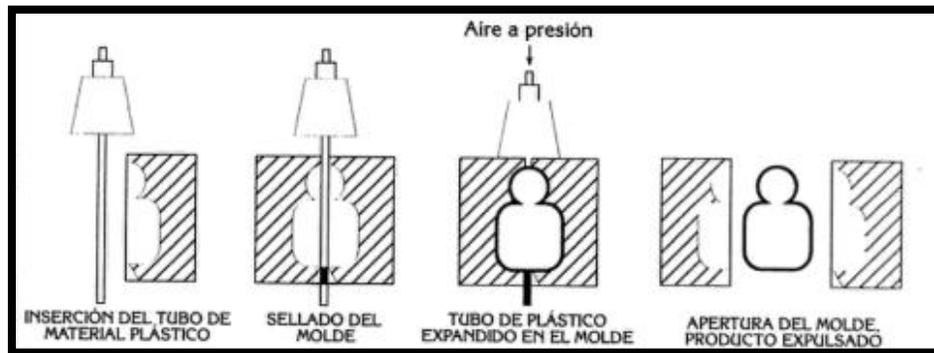


**Figura 1.** Máquina sopladora de polietileno de doble estación

**Fuente:** (Inplástico)

## 2.4. Soplado de plástico

Este proceso consiste en la extrusión de un tubo de plástico o también conocido como preforma, hacia el interior de la cavidad de un molde, y debido a la liberación de aire a alta presión dicho tubo toma la forma del molde como se observa en la Figura 2. El grosor de la pared del plástico resultante se puede modificar mediante la velocidad de extrusión y la presión de aire. Para producir esta preforma se puede hacer uso de la extrusión o inyección, de tal manera que el proceso de soplado se divida en dos grupos: inyección-soplado y extrusión-soplado (Instituto Mexicano del Plástico Industrial, 1997).

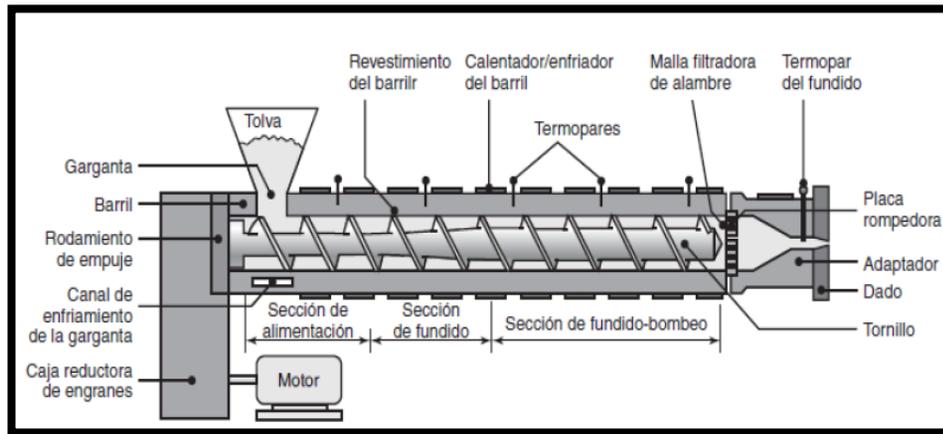


**Figura 2.** Proceso de soplado de plástico.

Fuente: (Cornish, 1997)

## 2.5. Extrusión - Soplado

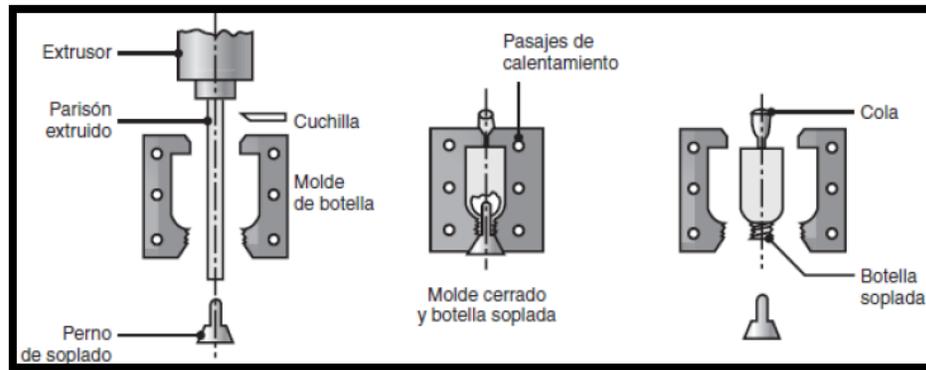
Como lo indica (Instituto Mexicano del Plástico Industrial, 1997), este método se utiliza para la producción de envases de boca angosta y preferentemente para materiales como PEAD, PEBD, PP y PVC. El proceso de extrusión-soplado inicia con la alimentación de la materia prima en forma de gránulos o polvo termoplástico hacia una tolva; ingresa hacia el barril el cual posee en su interior un tornillo helicoidal, aquí se transporta el material hacia el dado, calentándose conforme avanza gracias a la fricción mecánica y a calentadores externos hasta fundirse, como se muestra en la Figura 3.



**Figura 3.** Esquema de un extrusor de tornillo

**Fuente:** (Kalpakjian & Schmid, 2002)

El material homogéneo una vez en el dado se produce la preforma tubular con las dimensiones requeridas, esta preforma debe ser vertical y descendente, el tiempo que tiene para poder ser moldeado está determinado a partir del enfriamiento de la primera porción del plástico extruido. Una vez alcanzada la dimensión requerida, entra la acción de cierre y apertura del molde formado por dos partes. A continuación, a través del extremo abierto del molde se inyecta aire a presión, de tal manera que la preforma es forzada a extenderse hasta igualar las paredes del molde, aquí se enfría y toma forma del molde. Por último como se muestra en la Figura 4, el molde se separa y el envase terminado queda expuesto a una temperatura en la cual sus dimensiones no se alteran, para ser expulsado ya sea por aire o por su propio peso, durante la etapa de soplado y enfriado, una nueva preforma es extruida para iniciar un nuevo ciclo. (Robayo & Rodríguez, 2018)

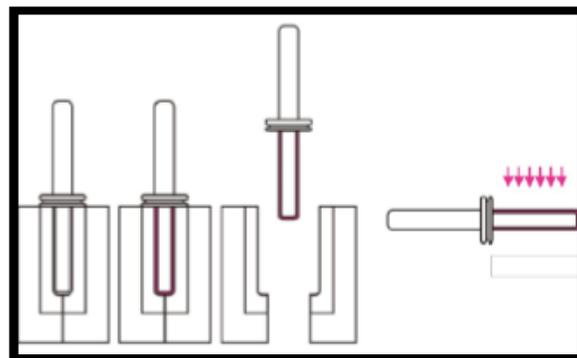


**Figura 4.** Esquema de moldeo por extrusión y soplado.

Fuente: (Kalpakjian & Schmid, 2002)

## 2.6. Inyección - Soplado

Como lo indica (Instituto Mexicano del Plástico Industrial, 1997), este proceso se utiliza para la obtención de envases con boca ancha, con un cuerpo aún más ancho o de forma tal que no pueda obtenerse por un proceso simple de inyección. En este proceso las preformas se producen por la inyección de la materia prima en estado líquido dentro del molde tal como se puede ver en la Figura 5.

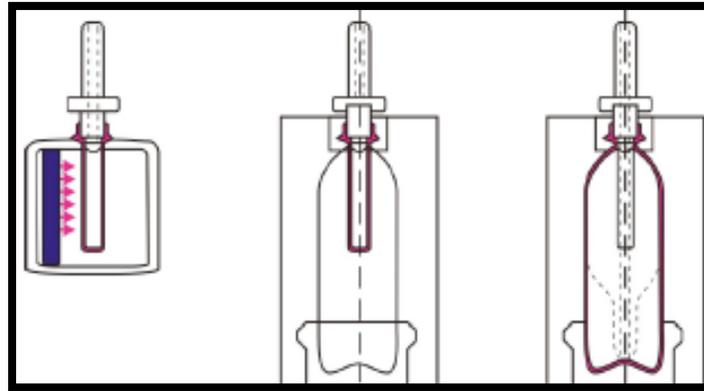


**Figura 5.** Preforma obtenida por inyección.

Fuente: (Lesur, 2011)

Al alcanzar la cantidad de material requerido, éste se lo inyecta a un molde para la obtención de la preforma, luego este molde es reemplazado por otro cuya forma corresponde al envase a obtener como lo muestra la Figura 6, se expande la preforma

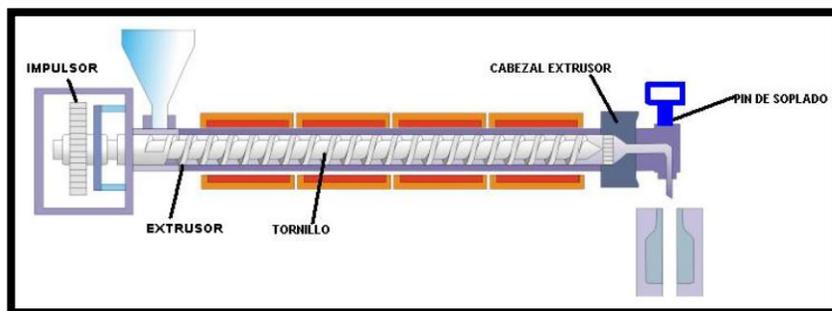
mediante la inyección de aire, una vez alcanzadas las paredes del molde, el envase se enfría y es expulsado como en el caso de la extrusión – soplado. (Instituto Mexicano del Plástico Industrial, 1997)



**Figura 6.** Envase obtenido por soplado

Fuente: (Lesur, 2011)

## 2.7. Partes principales de las máquinas de extrusión - soplado



**Figura 7.** Partes constitutivas de una máquina de extrusión – soplado

Fuente: (Acosta & Iza, 2013)

- Extrusor

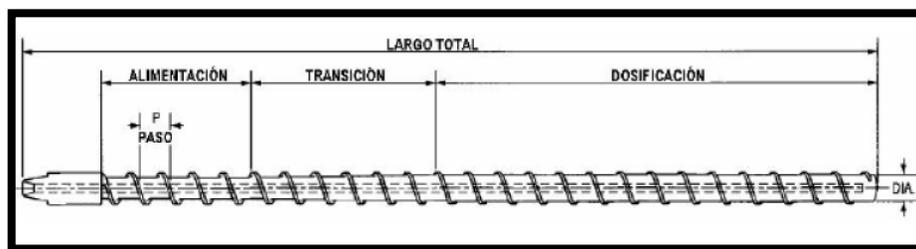
Es un cilindro metálico el cual guarda en su interior al tornillo y constituye el cuerpo principal de la máquina. Debe ser adecuado al material que vaya a procesar para de esa manera reducir al mínimo cualquier desgaste (Figura 7).

- Impulsor

Su función es brindar movimiento al tornillo extrusor dentro del cañón. Se encuentra constituido por un motor hidráulico o mecánico junto con un acople para proporcionar giro a velocidad variable, con niveles de esfuerzo elevados (Figura 7).

- Tornillo

Es el componente móvil el cual transporta de un extremo a otro el material a procesar. Tiene tres secciones longitudinales: alimentación, transición y sección de dosificación; las cuales se muestran en la Figura 8.

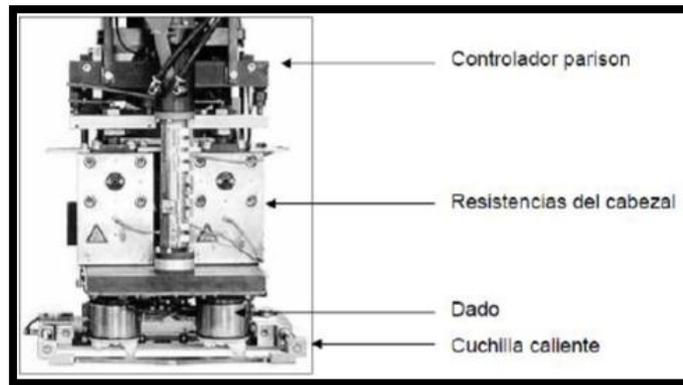


**Figura 8.** Tornillo Extrusor

**Fuente:** (Instituto Mexicano del Plástico Industrial, 1997)

- Cabezal Extrusor

Se encuentra unido a la salida del cañón y su función es dar la forma a la preforma y además modifica el grosor de la pared de la preforma para obtener el envase deseado. El cabezal extrusor se encuentra constituido por el controlador de parison el cual regulara el espesor de la preforma, la resistencia cuya función es calentar el material, el dado que es la parte por la cual se expulsa la preforma y por último la cuchilla que cortara la preforma cuando esta haya alcanzado la longitud deseada para el tipo de envase a producir, todas las partes mencionadas se pueden observar en la Figura 9.

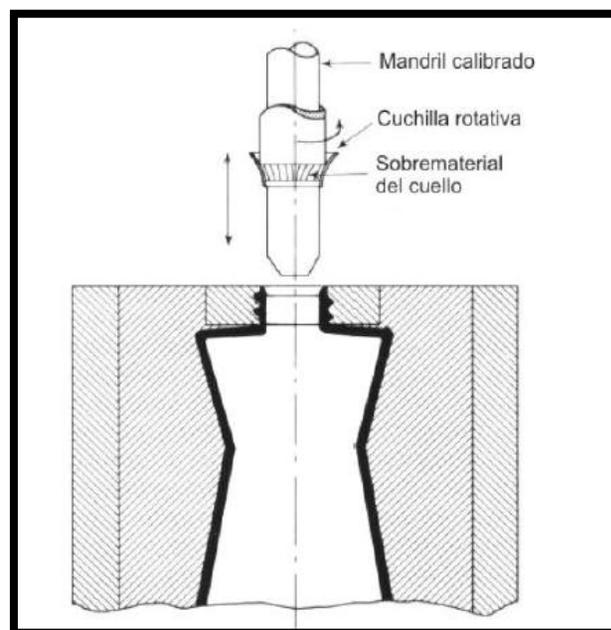


**Figura 9.** Representación esquemática del cabezal extrusor

**Fuente:** (Instituto Mexicano del Plástico Industrial, 1997)

- Pin de soplado

Expulsa aire comprimido hacia el interior del molde para que la preforma logre obtener la forma del interior de este. Dentro del pin pasan dos conductos, el de aire comprimido para expandir la preforma, y el del circuito de enfriamiento que va a dar hasta la punta de soplado (Acosta & Iza, 2013), este componente se muestra de una manera más detallada en la Figura 10.



**Figura 10.** Esquema del pin de soplado

**Fuente:** (Acosta & Iza, 2013)

## 2.8. Termoplásticos

En esta categoría se incluyen polímeros como polietileno, PVC y polipropileno. Se caracterizan por transformarse de sólido a líquido y viceversa por acción del calor, se disuelven o por lo menos se hinchan al contacto con solventes.

En estado sólido pueden deformarse permanentemente después de aplicar una fuerza. A temperatura ambiente pueden ser blandos o duros, frágiles y rígidos. Pueden moldearse por calor, es decir, una lámina o un tubo pueden pasar a un estado elástico, similar al de la goma blanda, y adquirir nueva forma después de enfriarla en un molde. (Instituto Mexicano del Plástico Industrial, 1997).

De acuerdo a (Lesur, 2011), los materiales termoplásticos más usualmente utilizados en la fabricación de envases plásticos por el método de extrusión – soplado son:

- Polietileno de baja densidad (LPDE)
- Polietileno de alta densidad (HDPE)
- Policloruro de vinilo (PVC)
- Polipropileno (PP)
- Poliestileno (PS)
- Poliestileno de alto impacto (HIPS)
- Poliamida (nylon)(PA)
- Polietilentereftalato (PET)

En la Tabla 1, se analizan algunas propiedades físicas y aplicaciones de los tipos de termoplásticos utilizados como materia prima.

**Tabla 1.**

*Propiedades físicas y aplicaciones de algunos tipos de Termoplásticos*

<b>NOMBRE</b>		<b>PROPIEDADES</b>	<b>APLICACIONES</b>
<b>Policloruro de vinilo (PVC)</b>		Amplio rango de dureza Impermeable	Tubos, desagües, puertas, ventanas
<b>Poliestireno (PS)</b>	Duro	Transparente pigmentable	Juguetes, pilotos coche
	Expandido (porexpan)	Esponjoso y blando	Aislamiento térmico y acústico, envasado, embalaje
<b>Polietileno (PE)</b>	Alta densidad	Rígido, resistente y transparente	Utensilios domésticos (cubos, juguetes)
	Baja densidad	Blando y ligero, transparente	Depósitos, envases alimenticios
<b>Metacrilato (plexiglás)</b>		Transparente	Faros, pilotos de automóvil, ventanas, carteles luminosos, gafas de protección, relojes...
<b>Teflón (fluorocarbonato)</b>		Deslizante. Antideslizante.	Utensilios de cocina (sartenes, paletas...), superficies de encimeras...
<b>Nailon (PA poliamida)</b>		Flexible y resistente a la tracción, traslúcido, brillante	Hilo de pesca, levas, engranajes, tejidos, medias
<b>Celofán</b>		Transparente (con o sin color). Flexible y resistente. Brillante y adherente.	Embalaje, envasado, empaquetado.
<b>Polipropileno(PP)</b>		Translúcido, flexible resistente.	Tapas de envases, bolsas, carcasas
<b>Poliéster (PET)</b>			Botellas de agua, envases champú, limpieza

**Fuente:** (Albuerno, 2008)

En la Tabla 2, se describen características físicas y térmicas de los materiales utilizados en la empresa Inplástico.

**Tabla 2.**  
*Propiedades físicas del Polietileno*

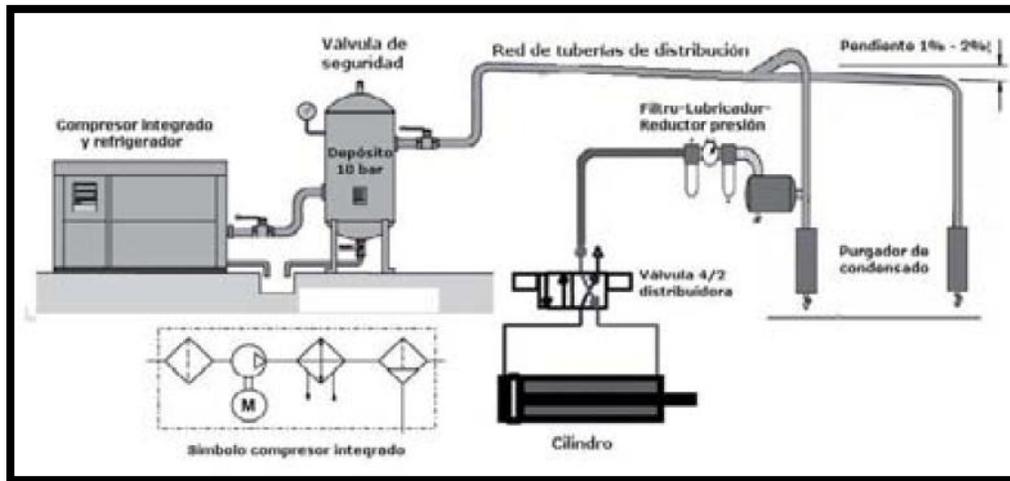
Característica	Material	
	HDPE	LDPE
<b>Conductividad térmica</b>	0,33 kcal / mh°C	0,26 kcal / mh°C
<b>Calor específico</b>	0,45 kcal / kg°C	0,50 kcal / kg°C
<b>Densidad a 20 °C</b>	0,94-0,96 g / cm <sup>3</sup>	0,92-0,94 g / cm <sup>3</sup>
<b>Tiempo de secado (secado previo)</b>	1-1,5 h a 65 °C	1-1,5 h a 65 °C

**Fuente:** (Mink, 2004)

## 2.9. Neumática

La neumática se refiere a la comprensión del movimiento del aire y su utilización en la industria. Estos sistemas proporcionan movimientos controlados con el empleo de cilindros y motores neumáticos. Su principal ventaja es el bajo coste de sus componentes, su facilidad de diseño y a su vez su implementación. Sus principales desventajas radican en el alto índice de fugas lo cual se refleja en el rendimiento del sistema así como también en la imposibilidad de obtener velocidades estables y el bajo nivel de fuerza que desarrolla. (Creus, 2010)

Estos sistemas se conforman por una estación de generación y preparación de aire comprimido el cual se desarrolla gracias al compresor de aire, además de esto dispone de un depósito, un sistema de preparación de aire (filtro, lubricador y regulador de presión) y un sistema de tuberías como se puede observar en la Figura 11. Utilizan válvulas solenoides, señales de realimentación, sensores e interruptores eléctricos de final de carrera.

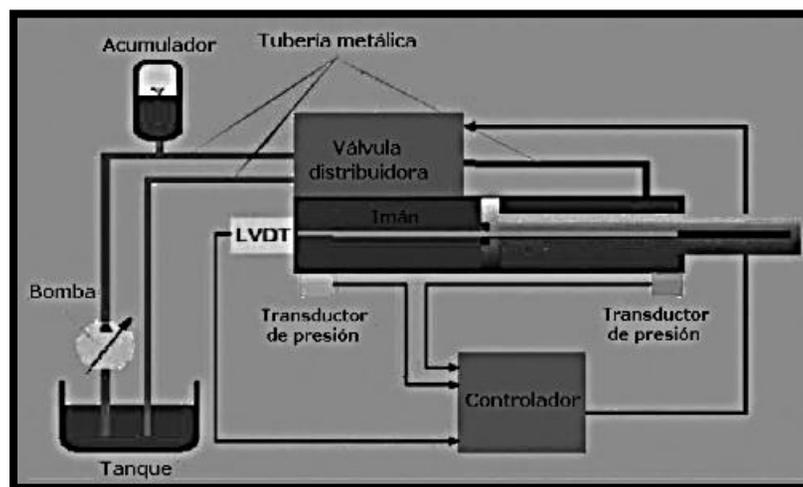


**Figura 11.** Sistema de preparación del aire

Fuente: (Creus, 2010)

## 2.10. Hidráulica

La principal característica de la hidráulica es la utilización de fluidos como medios de presión para desplazar los pistones de los cilindros. En la Figura 12 se puede observar un sistema hidráulico con sus diferentes componentes. Por lo general los sistemas hidráulicos son aplicados en máquinas de construcción, plataformas elevadoras, prensas, máquinas de inyección y moldeo, montacargas, entre otros. (Creus, 2010)



**Figura 12.** Sistema Hidráulico

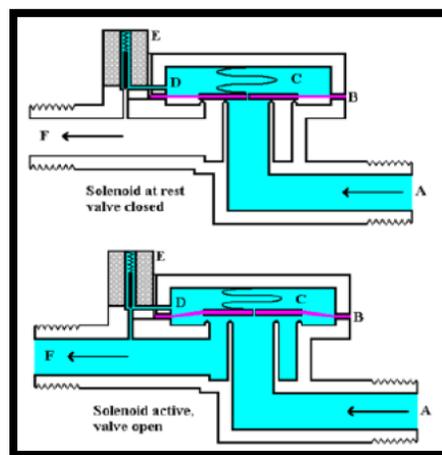
Fuente: (Creus, 2010)

Estos ejemplos de aplicaciones respecto a los sistemas hidráulicos, se dan debido a la gran capacidad de potencia que pueden transmitir, además de, proveer un posicionamiento preciso. Algunas desventajas de este tipo de sistemas son por ejemplo el alto nivel de riesgo inflamable, sensibilidad a la suciedad, peligro debido a altas presiones y la dependencia de la temperatura por el efecto que esta tiene sobre el fluido hidráulico. (Creus, 2010)

## 2.11. Dispositivos de control eléctricos

### 2.11.1. Electroválvulas

Este tipo de válvulas poseen un mando electromagnético el cual se activa cuando la señal procede de un final de carrera eléctrico, de un presóstato o de un dispositivo eléctrico. A través de este tipo de mando la señal eléctrica acciona el mecanismo de cierre o apertura de las distintas vías de la válvula. En la Figura 13 se muestra el funcionamiento de este tipo de válvula (Creus, 2010). En el gráfico superior la válvula impide el flujo ya sea de líquido o aire, mientras que el gráfico inferior muestra el efecto del accionar del solenoide lo que permite que la válvula permita la circulación.

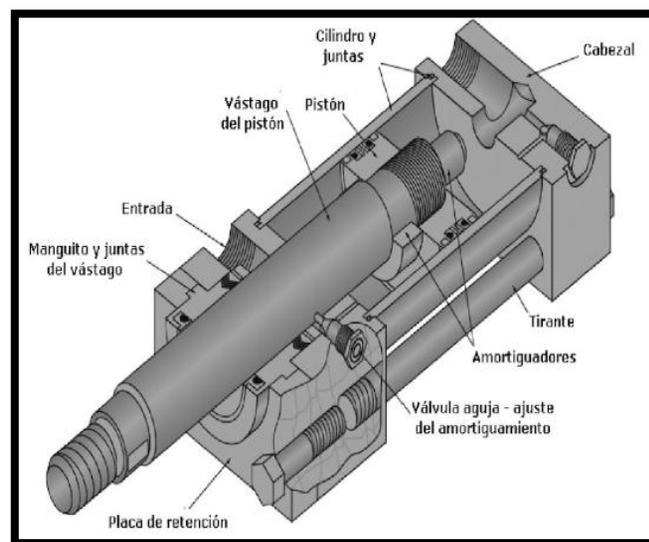


**Figura 13.** Funcionamiento de una electroválvula.

**Fuente:** (Acosta & Iza, 2013)

### 2.11.2. Cilindros Hidráulicos

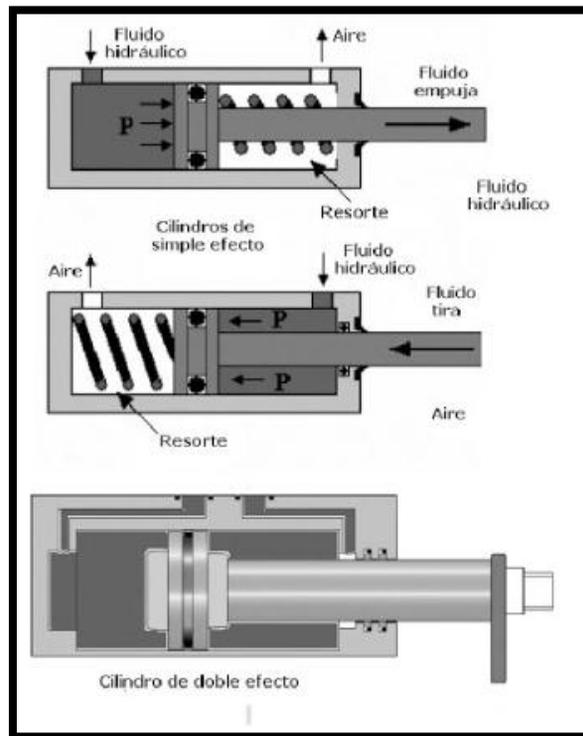
Aprovechan la energía generada por un fluido hidráulico a alta presión, que por lo general es un aceite. Consiste simplemente de dos piezas: el cilindro y el pistón o émbolo conectado a un vástago, en la Figura 14 se muestra una vista en corte de un cilindro de simple efecto con sus partes principales



**Figura 14.** Cilindro Hidráulico Simple

**Fuente:** (Creus, 2010)

Los cilindros hidráulicos más empleados en la industria pueden ser de simple efecto o de doble efecto. En el primer caso, el pistón es desplazado por la fuerza del fluido solo en una dirección y retorna a su posición inicial debido a una fuerza exterior. En el cilindro de doble efecto, el pistón es desplazado por la acción de la fuerza del fluido a alta presión en dos sentidos gracias a la actuación de una válvula solenoide. En la Figura 15 se puede observar un plano de corte tanto de un cilindro de simple efecto como uno de doble efecto con sus componentes principales. (Creus, 2010)



**Figura 15.** Tipos de cilindros hidráulicos

**Fuente:** (Creus, 2010)

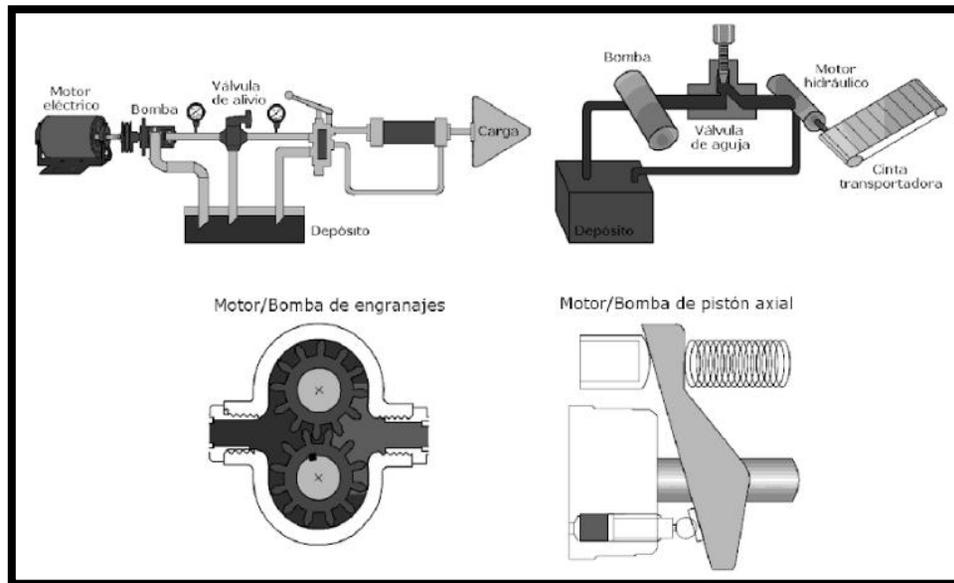
### 2.11.3. Motores Hidráulicos

Aportan la presión necesaria sobre el fluido hidráulico para proveer de la potencia indicada al circuito y sus equipos que lo conforman. La presión empleada en el funcionamiento del circuito se genera debido al trabajo de varios pistones que comprimen los fluidos hidráulicos por medio de la energía mecánica generada por el motor eléctrico. Proveen fuerzas y pares altos con un elevado nivel de control del movimiento. (Creus, 2010)

Entre los tipos más comunes tenemos:

- Motor de paletas.
- Motor de pistón axial o radial
- Motor de engranajes

En la Figura 16 se pueden observar algunos de los tipos de motores hidráulicos entre los cuales se encuentran los mencionados anteriormente.



**Figura 16.** Motores Hidráulicos

Fuente: (Creus, 2010)

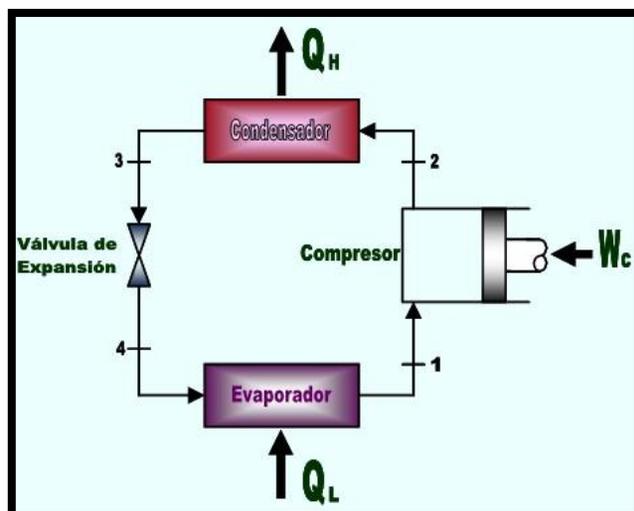
#### 2.11.4. Sistema de Refrigeración

La disminución de temperatura se efectúa sustrayendo energía del cuerpo, es decir disminuyendo su energía térmica. Esta acción significa que debemos ceder parte de la energía del cuerpo a enfriar hacia otro cuerpo. Para esto se puede hacer uso de un proceso que necesita energía desde un foco externo en forma de trabajo, es decir ejecutar el ciclo de Carnot. (Acosta & Iza, 2013)

- **Refrigeración por compresión.**

Este método es el más utilizado y común, a partir de energía mecánica se comprime un gas refrigerante, este gas se condensa y libera gas latente, el cual al evaporarse lo había absorbido pero a menor temperatura.

Se hace uso de energía mecánica para poder sostener este ciclo, comúnmente mediante energía eléctrica. El ciclo consta de cuatro etapas evaporación, compresión, condensación y expansión como se muestra en la Figura 17.



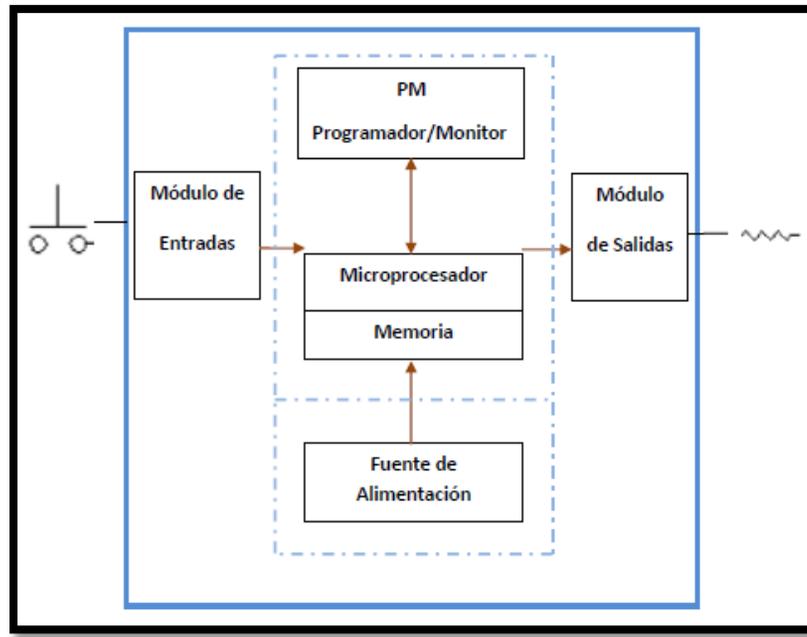
**Figura 17.** Ciclo de refrigeración por compresión.

Fuente: (Moran & Shapiro, 2004)

## 2.12. Controlador Lógico Programable (PLC)

Como lo menciona (Hyde, Cuspiner, & Regué, 1997) es un dispositivo que controla una máquina o proceso y puede considerarse sencillamente como una caja de control con entradas y salidas. Los terminales de salida permiten comandar elementos como válvulas, motores, indicadores visuales o sonoros entre otros. Mientras que los terminales de entrada reciben señales de realimentación para su conexión a elementos como interruptores, disyuntores, sensores, pulsadores entre otros.

El circuito necesario para producir las salidas deseadas en el instante deseado o en el orden deseado para la aplicación, se diseña en forma de diagrama de contactos y programa en la memoria del PLC como instrucciones lógicas. La Figura 18 muestra la estructura general de un PLC.



**Figura 18.** Diagrama de bloques de la estructura de un PLC

Fuente: (Acosta & Iza, 2013)

### 2.12.1. Estructura Interna del PLC

Está compuesto por:

- El CPU o unidad central de procesamiento, analiza las señales de entrada y efectúa las correspondientes acciones de control de acuerdo a la programación almacenada en su memoria, transmitiendo las acciones de decisión como señales de salida.
- El suministro de alimentación, convierte la energía alterna en continua para alimentar el CPU y los módulos de entrada y salida.
- El dispositivo de programación, el cual es necesario para poder acceder al programa almacenado en la memoria del procesador.
- La unidad de memoria, aquí se almacena el programa elaborado previamente para poder ser utilizado en el control de las acciones de un determinado proceso, además también se almacenan los datos de entrada.

- Entradas y salidas, son utilizadas para recibir datos de elementos externos (entradas) y ejecutar acciones a elementos externos en base a estos datos recibidos (salidas).
- La interface de comunicación, recepta y comunica datos a otro dispositivo, como una computadora, otro PLC o un Panel de visualización. (Alvarez, 2014)

### 2.12.2. Funciones Elementales del PLC

Las funciones que tienen los PLC's son los siguientes:

- Detección, detecta señales del proceso tanto discretas como analógicas.
- Mando, realiza y emite las acciones a ejecutar hacia el proceso.
- Diálogo Hombre-Máquina, establece una comunicación con los operadores del proceso, permitiéndoles manipular parámetros que intervienen en el proceso y además indicando datos con respecto al estado del mismo.
- Programación, admite establecer el algoritmo de control para la ejecución del proceso a partir del lenguaje de programación, el más común es el Ladder.

### 2.12.3. Módulos

- **Módulos de entradas**

Acondiciona de una manera en la que la CPU comprenda las señales que provienen de sensores, finales de carrera, pulsadores, entre otros. Se tienen dos tipos de módulos, de acuerdo al tipo de entrada:

- Módulos Analógicos, son utilizados cuando el parámetro a medir es variable como temperatura, presión, caudal, etc. Pueden transformar la señal analógica a digital. Para esto pueden trabajar con rangos de voltaje de 0 a 10V, o con rangos de intensidad de corriente de 0 o 4 a 20 mA.
- Módulos Digitales, comúnmente más usados, funcionan con señales ON/OFF, como por ejemplo finales de carrera, pulsadores, termostatos, etc.
- **Módulos de Salidas**

A estos módulos, se conectan actuadores, motores, entre otros; pueden ser analógicas o digitales.

- Módulos Analógicos, convierte la señal digital en analógica, por ejemplo servo-válvulas, variadores de velocidad, etc.
- Módulos Digitales, tiene tres tipos que pueden trabajar con corrientes entre 0.5 y 2 A.

Para la realización del presente proyecto se hará uso de un PLC Porcheson PS860BM, esto debido a la disponibilidad de la empresa con respecto a este equipo.

### **2.13. Interfaz Humano – Máquina (HMI)**

Este sistema está orientado a funcionar como una ventana de un proceso, es decir, una vía para que el operador tenga conocimiento y control total sobre el proceso. Por lo general suele estar en paneles de operador o en computadoras (SCADA). Este sistema permite una comunicación entre el operador y señales que intervienen en el proceso las cuales son adecuadas por medio de un PC, PLC, RTU o Drives's; de tal manera que el operador obtiene los datos acerca del proceso de una manera entendible.

### 2.13.1. Características de un sistema HMI

- Tiene la habilidad de obtener y mostrar datos del proceso en tiempo real. Estos datos se pueden mostrar como números, textos o gráficos que permitan una lectura más fácil de interpretar.
- Permiten junto con el monitoreo la posibilidad de ajustar las condiciones de trabajo del proceso directamente del panel de visualización.
- Posee la capacidad de reconocer eventos excepcionales dentro del proceso y reportar estos eventos. Las alarmas son reportadas basadas en límites de control pre-establecido.
- Incorporan protocolos para comunicarse con los dispositivos de campo más conocidos.
- Tienen herramientas para crear bases de datos dinámicas.
- Permiten crear y animar pantallas en forma sencilla.
- Incluyen gran cantidad de librería de objetos para representar dispositivos de uso en la industria como: motores, tanques, indicadores, interruptores, como se muestra de ejemplos en la Figura 19.



**Figura 19.** SIMATIC HMI Panel

Fuente: (SIEMENS, 2008)

## **2.14. Modelado Matemático de sistemas dinámicos**

El modelado matemático de sistemas dinámicos es el conjunto de ecuaciones que representan la dinámica de un determinado sistema con precisión. Por lo general la dinámica de la mayoría de sistemas se representan por medio de la utilización de ecuaciones diferenciales, estas se las consigue a partir de leyes físicas que están presentes en el sistema. (Ogata, 2010)

Los modelos matemáticos tienen la capacidad de tomar muchas formas distintas. La conveniencia del modelo depende del sistema a estudiar y de las circunstancias existentes.

## **2.15. Conceptos Básicos sobre sistemas**

### **2.15.1. Sistemas, subsistemas y componentes**

Un sistema es un pedazo del universo el cual está conformado por elementos que interactúan entre sí. Cualquiera que sea el sistema a analizar, se debe tener claro la identificación de sus características y su funcionamiento.

Un subsistema es una parte la cual conforma un sistema, mientras que un componente es un elemento de un sistema, el cual se ubica en el nivel inferior en cuanto a jerarquía de sistemas. (Ortíz, 2015)

### **2.15.2. Cantidades relevantes e irrelevantes**

A partir de la identificación del sistema y el análisis que se desea llevar a cabo sobre este, se tiende a inconscientemente, determinar los puntos más importantes a analizar. Existen cantidades que simplemente no afectan en nada al sistema y además de eso no contribuyen con información necesaria para la realización del modelo, debido a lo cual, se las puede despreciar y no usarlas. (Ortíz, 2015)

Opuestamente, existen cantidades que poseen una relación estrecha con el sistema y el análisis que se desea realizar sobre éste, estas pueden:

- Afectar al sistema
- Proporcionan información acerca del sistema. (Ortíz, 2015)

Estas variables o cantidades relevantes se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Entradas de control, son de origen externo al sistema, pero que tienen una implicación en el funcionamiento de éste, pero pueden ser manipuladas.
- Perturbaciones, son otro tipo de entradas las cuales afectan al sistema de una manera indeseable, su presencia impide la capacidad de poder manejarlas.
- Estados, se crean en el interior del sistema, y a su vez posibilitan su evolución dinámica durante la variación del tiempo.
- Salidas, se originan dentro del sistema, pero se pueden exteriorizar, ya sea por medio de los sentidos o a través de sensores.
- Parámetros, caracterizan propiedades del sistema, por lo general son constantes, incluso si muchos de ellos varían en el tiempo. (Ortíz, 2015)

## **2.16. Clasificación de los sistemas**

### **2.16.1. Sistemas Lineales**

Un sistema lineal es aquel al que se le aplica el principio de superposición. Éste dispone que la respuesta generada por la utilización simultánea de dos entradas diferentes, es la suma de las dos respuestas individuales, es decir, la respuesta debido a más de una entrada se calcula utilizando una entrada a la vez y sumando sus resultados. (Ogata, 2010)

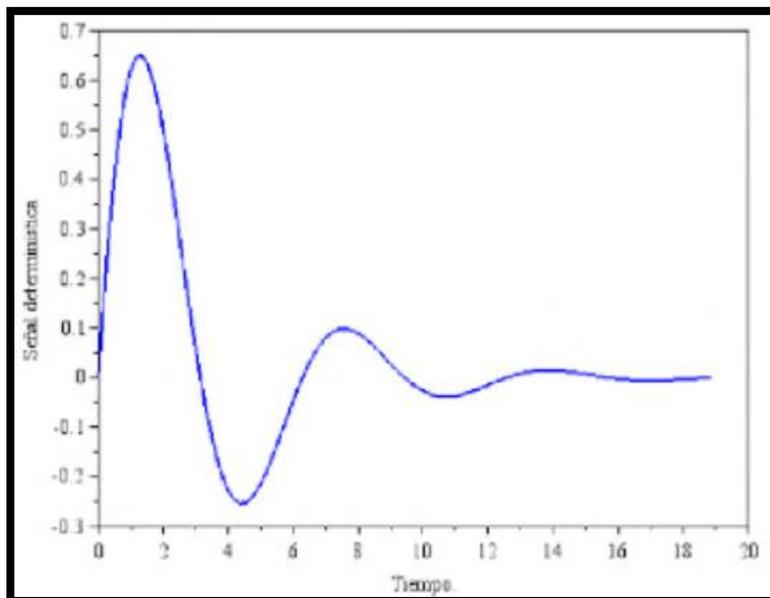
### 2.16.2. Sistemas no lineales

Son sistemas a los cuales no se aplica el principio de superposición, Por lo general existe dificultad matemática, normalmente se los aproxima a modelos matemáticos lineales.

### 2.16.3. Sistemas en tiempo continuo

En esta clase de sistemas, los valores de las variables relacionadas son funciones continuas del tiempo, es decir, que a nivel real las acciones se dan en una escala continua del tiempo. Este tipo de sistemas son modelados por medio de la utilización de ecuaciones diferenciales ordinarias, ecuaciones diferenciales parciales o ecuaciones diferenciales funcionales. Pero por sobre todos los métodos mencionados previamente, el que implica una simplificación en el análisis es el empleo de la Transformada de Laplace. (Ortíz, 2015)

En la Figura 20 se muestra una señal generada por un sistema en tiempo continuo; la cual puede ser de un voltaje en función del tiempo.

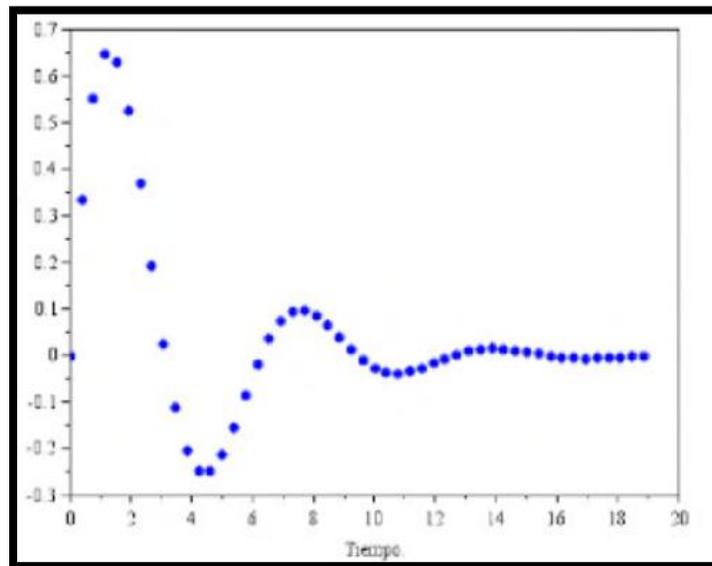


**Figura 20.** Señal generada por un sistema en tiempo continuo

**Fuente:** (Ortíz, 2015)

#### 2.16.4. Sistemas en tiempo discreto

Estos tipos de sistemas limitan el análisis de datos en un intervalo de tiempo definido, esto al fin y al cabo resulta innecesario si se desea almacenar datos para todos los instantes de tiempo en intervalos establecidos, lo importante al usar esta forma de manejo de datos es establecer el intervalo de tiempo apropiado para el análisis. Por lo general se representan a través de expresiones resultantes como aproximación de ecuaciones diferenciales. Al igual que con los sistemas en tiempo continuo, la Transformada de Laplace se convierte en una herramienta útil. En la Figura 21, se observa una señal en tiempo discreto. (Ortíz, 2015)



**Figura 21.** Señal generada por un sistema en tiempo discreto

Fuente: (Ortíz, 2015)

#### 2.17. Sistemas de Primer Orden

Un sistema de primer orden es aquel cuya salida viene dada al resolver una ecuación diferencial de primer orden. Genéricamente el sistema viene definido por la ecuación:

$$\tau \frac{dy}{dt} + y = Kf(t) \quad (1)$$

Donde:  $\tau$  = Constante de tiempo del sistema

$K$  = Ganancia en estado estacionario

La ganancia se refiere a la amplificación ( $\Delta\text{Sal}/\Delta\text{Ent}$ ) asociada al proceso y no tiene ningún efecto sobre sus características dinámicas, las cuales están relacionadas directamente con la constante de tiempo. (Sánchez, 2003)

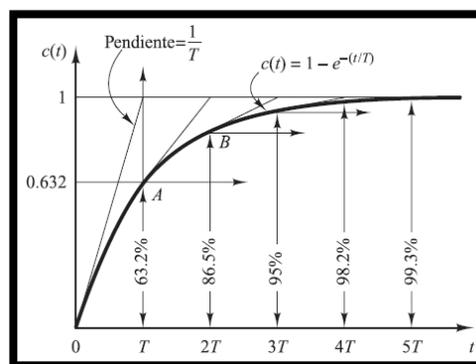
La representación en función de la frecuencia de un sistema de primer orden está definida a continuación:

$$G(s) = \frac{K}{\tau s + 1} \quad (2)$$

La respuesta a una entrada escalón unitario de un sistema de primer orden puede representarse de la siguiente manera:

$$G(s) = \frac{K}{s + 1/\tau} \quad (3)$$

En la Figura 22, se puede observar la respuesta del sistema de manera gráfica ante una entrada escalón unitario.



**Figura 22.** Respuesta a una entrada escalón de un sistema de primer orden

(Ogata, 2010)

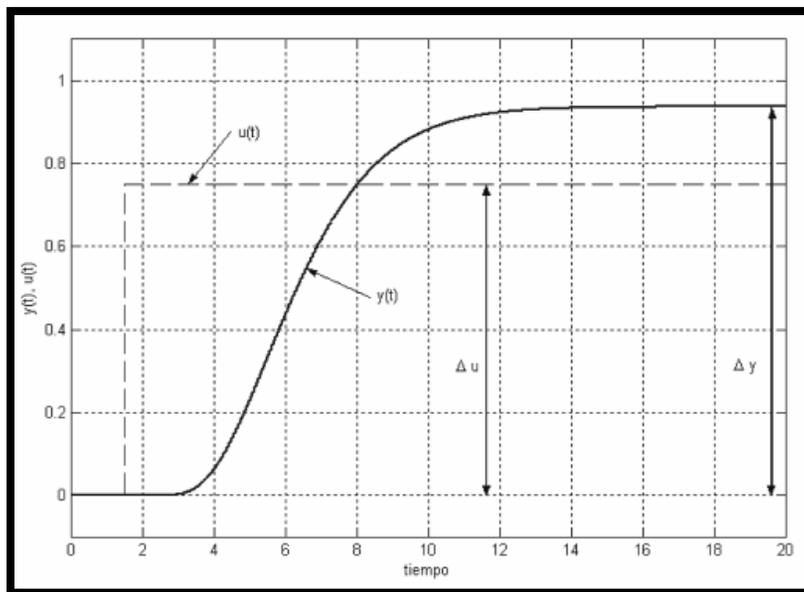
## 2.18. Tiempo Muerto

Anteriormente se observó que cuando se produce un cambio en la entrada de un sistema, este se traslada a la salida inmediatamente. Pero aplicado en casos reales, al generar un cambio en la entrada se presenta un intervalo de tiempo durante el cual no se presencia efecto sobre la salida, este intervalo se denomina tiempo muerto o retardo puro. (Sánchez, 2003)

Su función de transferencia es:

$$G(s) = \frac{K * e^{-ts}}{\tau s + 1} \quad (4)$$

A continuación en la Figura 23, se observa la curva de respuesta de este sistema.



**Figura 23.** Curva de respuesta ante el retardo.

(Alfaro, 2006)

## 2.19. Método 123c

Este método de identificación de un modelo de primer orden con retardo utiliza dos puntos sobre la curva de reacción o respuesta. Inicialmente Smith determinó que el 28.4% y el 63.2% del cambio total de la respuesta a una entrada escalón, como los necesarios

para la identificación del modelo.

Normalmente la respuesta del modelo utilizando estos puntos deja en evidencia mayores diferencias con respecto a la respuesta del modelo real; para reducir este error, Alfaro selecciono como nuevos puntos de referencia el 25% y 75% de la respuesta. (Alfaro, 2006)

Con esto se tienen las siguientes ecuaciones para determinar los parámetros del modelo.

$$K = \frac{\Delta y}{\Delta U} \quad (5)$$

$$\tau = 0.9102(t_{75} - t_{25}) \quad (6)$$

$$t = 1.2620 * t_{25} - 0.2620 * t_{75} \quad (7)$$

Dónde:  $\Delta y$  = Variación del valor de entrada

$\Delta U$  = Amplitud de la Señal Escalón

$t_{75}$  = Tiempo requerido para que la respuesta del sistema alcance el 75%

$t_{25}$  = Tiempo requerido para que la respuesta del sistema alcance el 25%

$t$  = Tiempo muerto

## 2.20. Procedimiento para la obtención del modelo.

a) Dibujar un diagrama esquemático del sistema y definir las variables. Las variables relevantes se pueden clasificar en alguna de las siguientes modalidades.

- Entradas de control.
- Perturbaciones.
- Estados.
- Salidas.

- Parámetros.
- b) Utilizando leyes físicas, escribir ecuaciones para cada componente, combinándolas de acuerdo con el diagrama del sistema y obtener el modelo.
- c) Para verificar la validez del modelo, la predicción del funcionamiento obtenida al resolver las ecuaciones del modelo, se compara con los resultados experimentales (la validez del modelo se verifica mediante un experimento).

Si el experimento se aleja de la predicción se debe modificar el modelo y se repite el proceso. (Crespo & Pendino, 2015)

### **2.21. Validación del modelo**

Tanto en el análisis teórico como el análisis experimental, una vez obtenido el modelo es importante su coincidencia con el modelo teórico real. En esto consiste la validación.

Los métodos pueden ser:

- Analizar la respuesta del modelo (al escalón, al impulso, etc.)
- Análisis de polos y ceros del sistema
- Investigar las variaciones de aquellas magnitudes que sean especialmente sensibles a cambios en los parámetros del modelo

### **2.22. Función de Transferencia**

En el campo del control, muchas veces se utilizan funciones de transferencia para caracterizar las relaciones entrada – salida de componentes o de sistemas que se describen mediante ecuaciones diferenciales lineales invariantes en el tiempo. (Ogata, 2010)

- La función de transferencia de un sistema es un modelo matemático debido a que corresponde a un método operacional para expresar la ecuación diferencial

- la cual establece una relación entre la variable de entrada y la variable de salida.
- La función de transferencia es una propiedad del sistema, independiente de la magnitud y naturaleza de la entrada o función de excitación.
  - La función de transferencia incluye las unidades necesarias para la relación entre la entrada y la salida, pero, no proporciona información acerca de la estructura física del sistema. (Ogata, 2010)
  - Si la función de transferencia de un sistema es conocida, se estudia la salida o respuesta a varias formas de entrada, con la intención de comprender la naturaleza del sistema.
  - Si se desconoce la función de transferencia de un sistema, puede establecerse experimentalmente introduciendo entradas conocidas y estudiando la salida del sistema. Al final se establece la función de transferencia, la cual concede una descripción completa de las características dinámicas del sistema. (Ogata, 2010)

## **2.23. Análisis de la respuesta transitoria y estacionario**

### **2.23.1. Señales de prueba típicas**

Las señales de prueba que se usan regularmente son funciones escalón, rampa, parábola, impulso, etc. Con las señales antes mencionadas, se tiene la posibilidad de realizar con simplicidad análisis matemáticos y experimentales de sistemas de control, ya que las señales son funciones del tiempo muy simples. (Kuo, 1996)

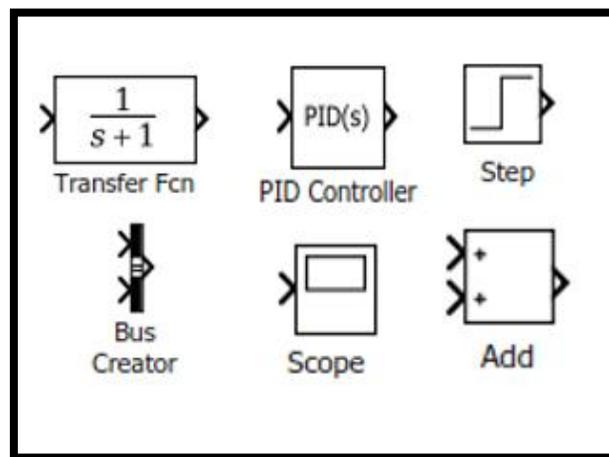
El uso de señales de entrada típicas para el análisis de las características del sistema son determinadas en base a la forma de entrada a la que el sistema va a estar mayormente sujeto en una operación común. Si el tipo de entrada de un sistema es

función del tiempo la cual cambia de forma gradual lo más adecuado sería la utilización de la función rampa; si el sistema está expuesto a perturbaciones repentinas, la función escalón sería la seleccionada para la prueba. El uso de estas señales posibilita la comparación del comportamiento de todos los sistemas. (Ogata, 2010)

## 2.24. Diagramas de bloque (Simulink)

Tiempo atrás, la simulación de sistemas se llevaba a cabo a través de dispositivos analógicos, las señales eran representadas por medio de voltajes y operaciones como suma, comparación; y la integración se llevaba a cabo por medio de amplificadores operacionales. Gracias a la gran evolución de la tecnología, especialmente en el ámbito computacional y en el desarrollo de software, han facilitado esta simulación un ejemplo es el uso de Matlab/Simulink. (Ortíz, 2015)

En la Figura 24, se detallan los diagramas de bloques con operaciones lógicas.



**Figura 24.** Diagrama de bloques con operaciones analógicas

Fuente: Matlab

Simulink es una herramienta de Matlab que permite de una manera sencilla, modelar, analizar y simular una gran variedad de sistemas físicos y matemáticos que incluyen elementos lineales o no lineales, elementos continuos o discretos.

La programación es básicamente gráfica lo que facilita modelar el sistema. El modelo se construye a partir de unos elementos básicos como integradores, sumadores, bloques de ganancia, etc., una vez se tiene el modelo se realiza el análisis. (Flórez, 2011)

Desde la ventana de comandos de Matlab se llama a Simulink. La respuesta es una nueva ventana que muestra diferentes librerías gráficas donde están los elementos o bloques para construir el modelo como se observa en la Figura 25. (Flórez, 2011)



**Figura 25.** Interfaz principal de Simulink

**Fuente:** (Flórez, 2011)

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.2. Modalidad de la investigación**

La modalidad de la investigación abarca varias formas para su realización, las cuales significarán una contribución para el desarrollo del proyecto, de tal manera que se obtendrá un procedimiento ordenado y con esto la elaboración del mismo será más sencilla.

Los aspectos metodológicos son fundamentales para obtener la dirección correcta del proceso de investigación del estudio elaborado, ya que estos procedimientos encaminan a cualquier proyecto para su desarrollo de manera correcta. Por esta razón se adopta la investigación bibliográfica y de campo. (Jami & Toapanta, 2019)

#### **3.3. Tipos de investigación**

##### **3.3.1. Descriptiva**

En el proyecto de investigación se procede a realizar la recopilación de información previa, para determinar el estado del equipo y la funcionalidad del mismo para poder tomar medidas previas de forma local. Para entender el proyecto de una mejor manera se lo detallará, así como también se mencionará el adelanto del proyecto, los problemas que se van presentando en conjunto con sus posibles soluciones durante el diseño del sistema de automatización.

#### **3.4. Diseño de la investigación**

El diseño de investigación, lo que hace es referenciarse en la forma o metodología por

la que el investigador busca cumplir los objetivos del proyecto planteado, ya sea de forma ordenada y sistemática, es decir que el diseño de la investigación se enfoca en adoptar una forma de cómo responder al problema planteado. (Arias, 2012)

El proyecto tiene como la automatización de una máquina de soplado, mediante la aplicación de un PLC y una interfaz de comunicación HMI, y además la realización de un modelamiento matemático de la máquina con el fin de mejorar los índices de productividad.

### **3.5. Niveles de la investigación**

Dentro del proyecto se dio lugar a los siguientes niveles de investigación.

#### **3.5.1. Bibliográfica**

Dentro del proyecto a desarrollar se utilizan fuentes bibliográficas como catálogos, libros de ingeniería, páginas web, normas, folletos, papers, etc., todo esto será necesario para la correspondiente investigación, de tal manera que se obtendrá información de lo que es la automatización de un proceso y el modelamiento del mismo y cómo influye para el mejoramiento en los índices de productividad. Otro de los puntos donde esta investigación nos será de ayuda es para identificar y acceder a la información acerca del equipo donde se realizará el estudio, su funcionamiento y características técnicas del mismo.

#### **3.5.2. De campo**

La investigación será desarrollada en la EMPRESA INPLÁSTICO en la ciudad de Latacunga donde el proyecto será implementado, ya que la empresa requiere de la

automatización del proceso y son ellos los que contribuirán con los recursos necesarios para el desarrollo del proyecto, esta información debe ser lo más amplia posible para determinar qué es lo que pudiese faltar. El proyecto está destinado para el área de producción de envases plásticos.

### **3.6. Técnica de recolección de datos**

Como punto de partida es necesario verificar las características de funcionamiento de la máquina, y observar su operación estándar, cuando está sometida a medios de operatividad favorables, esto se lo hace con el fin de observar entender de una manera profunda el proceso de soplado por extrusión y de tal manera estar en la capacidad de desarrollar el proyecto.

### **3.7. Técnicas de análisis de datos**

En el proyecto de investigación desarrollado para realizar el modelamiento de la planta mediante la toma de datos de temperatura durante el funcionamiento de la planta y además se analizarán los ingresos previstos con la puesta en marcha de la máquina y su productividad, estos datos serán analizados para determinar la hipótesis planteada, esto podrá ser realizado de la siguiente manera:

- Análisis y observación del equipo a ser monitoreado
- Recolección de datos preliminares
- Estudio de datos

### **3.8. Técnicas de comprobación de la hipótesis**

La investigación tiene como fin llegar a comprobar la hipótesis planteada, para lo cual se tomarán datos del proceso una vez la máquina comience a producir envases, para luego determinar el modelo matemático de ésta y compararlo con el modelo real, además se realizará un análisis de productividad en base a la cantidad de envases que se tiene previsto producir en relación a una maquina sopladora de una sola estación y el tiempo de trabajo al que se va a someter la máquina.

## **CAPÍTULO IV**

### **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN**

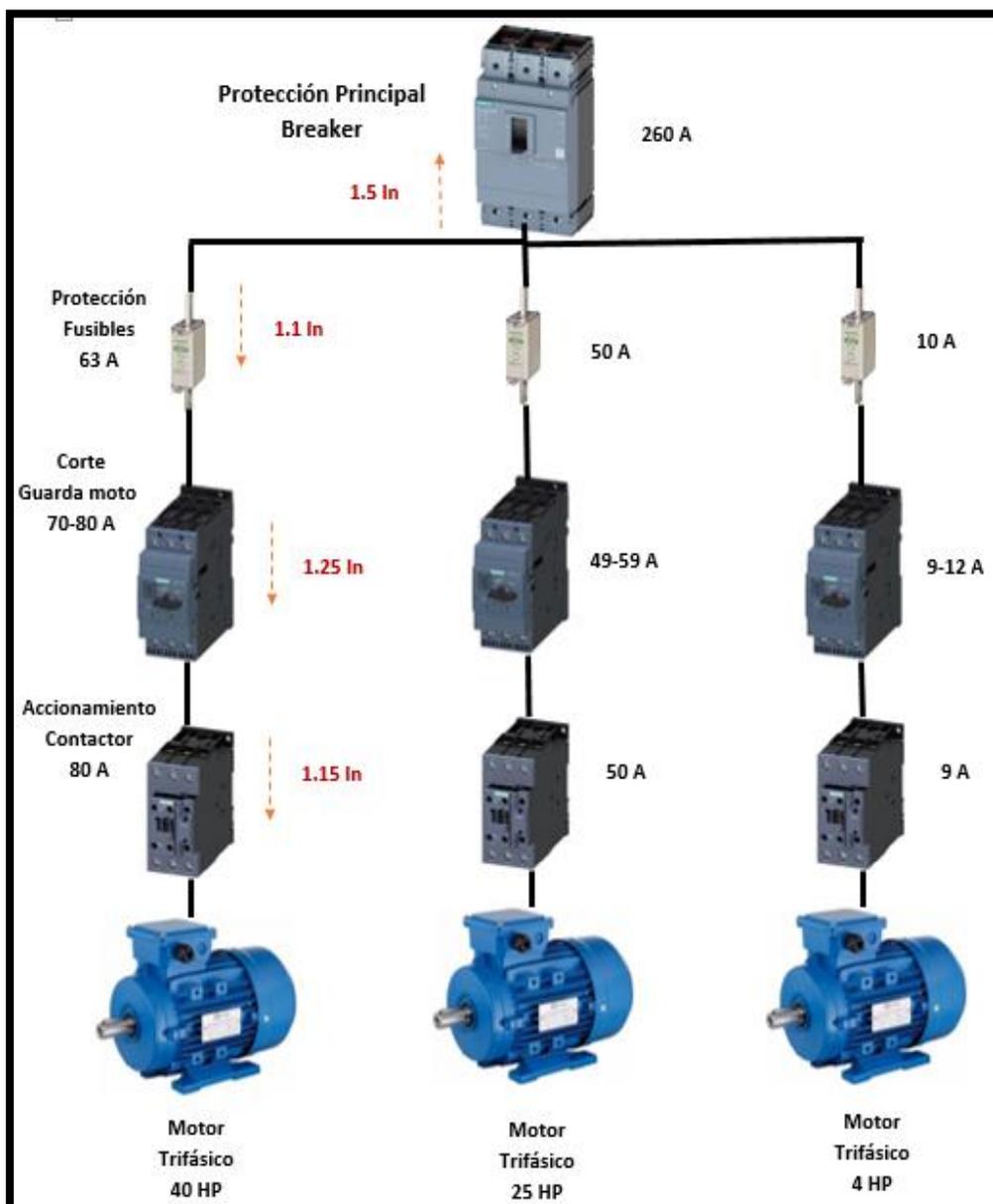
#### **4.1. Introducción**

El presente capítulo está enfocado en exponer la información técnica necesaria para el diseño y selección de elementos eléctricos los cuales conformarán parte de la automatización. Además de lo indicado anteriormente, se realizará un análisis sobre factores eléctricos, considerando condiciones de operación y algunos parámetros; importantes para el diseño.

Mediante el uso de un programa cargado en el PLC, se efectuará el control de la máquina, cuya operación dependerá de varias señales de entrada enviadas por los respectivos sensores y actuadores los cuáles conforman a la máquina de soplado. Los elementos antes mencionados brindarán la información de estado de la máquina, la etapa del ciclo de trabajo en la que se halla y el estado de las seguridades para dar permiso o no a su operación.

#### **4.2. Esquema de elementos de maniobra y protección**

De manera generalizada, el esquema que se usó para realizar el dimensionamiento de los elementos tanto de corte como de protección de los motores se muestra en la Figura 26 a continuación:



**Figura 26.** Esquema y selección de elementos de protección y maniobra

### 4.3. Circuito de fuerza

La máquina de soplado dispone de 3 motores trifásicos, los cuales se detallan a continuación:

**Tabla 3.***Datos de placa del motor trifásico impulsor del tornillo*

MOTOR	POTENCIA (HP/kW)	VOLTAJE (V)	FRECUENCIA (Hz)	FACTOR DE POTENCIA (Cos $\phi$ )	CORRIENTE NOMINAL (A)
Motor Impulsor del Tornillo	40/30	440	60	0,79	50

**Tabla 4.***Datos de placa del motor trifásico impulsor de movimientos*

MOTOR	POTENCIA (HP/kW)	VOLTAJE (V)	FRECUENCIA (Hz)	FACTOR DE POTENCIA (Cos $\phi$ )	CORRIENTE NOMINAL (A)
Motor Impulsor de Movimientos	25/18.5	440	60	0,70	35.5

**Tabla 5.***Datos de placa del motor trifásico impulsor del Parison*

MOTOR	POTENCIA (HP/kW)	VOLTAJE (V)	FRECUENCIA (Hz)	FACTOR DE POTENCIA (Cos $\phi$ )	CORRIENTE NOMINAL (A)
Motor Impulsor del parison	4/3	440	60	0,70	6,4

Los motores antes mencionados tendrán un control ON-OFF; de estos motores solo uno tendrá un arranque Estrella-Triangulo, lo cual corresponde para el sistema hidráulico el cual gobierna los movimientos de la máquina. El resto de motores tendrá solamente un arranque directo.

#### 4.4. Dimensionamiento de protecciones

##### 4.4.1. Dimensionamiento del Fusible para el motor Impulsor del Tornillo ( $I_{C1}$ ).

Este motor es el encargado de mover el tornillo extrusor, el cual transporta el material a través de las zonas de temperatura para su extrusión en el cabezal.

Los datos utilizados para la realización del dimensionamiento son tomados de la tabla 3, es importante conocer el tipo de arranque que el motor va a tener y que tipo de motor se utilizara. Los elementos de protección utilizados en este proyecto son fusibles por cortocircuito y guarda motores para protección contra sobrecargas.

**Tabla 6.**

Dimensionamiento del fusible para el motor impulsor del tornillo

Corriente Nominal (In) (A)	Dimensionamiento Teórico	Corriente Estándar del Fusible (A)
50	$I_{C1} = 1.1 * In (A)$	63

Debido a las políticas de la empresa, el fusible a utilizar será un fusible de la marca Siemens, ver Anexo A.

El tipo de fusible será:

- Fusible D02, 63 A.
- Categoría a, fusibles de acompañamiento.
- Objeto M, para motor.
- Tipo aM, fusible de acompañamiento de motor, su actuación es muy rápida frente a cortocircuitos y más lenta frente a sobrecargas. Debido a esta última característica será necesario el empleo de guarda motor.

#### 4.4.2. Dimensionamiento del conductor para el motor impulsor del tornillo ( $I_{D1}$ )

Se trabajó con tres conductores debido a que el sistema es trifásico y además la tierra.

**Tabla 7.**

*Dimensionamiento del calibre del conductor del circuito derivado del motor impulsor del tornillo*

CIRCUITO DERIVADO		CONDUCTOR
$I_n (A)$	$I_{D1} = 1.25 * I_n (A)$	AWG 6
50	62,5	75 A

De acuerdo a lo obtenido en la tabla 7, el conductor a elegir será de la marca Electrocables, tipo THHW el cual se adecua perfectamente a las condiciones de trabajo establecidas. Ver Anexo B.

Características:

- Cable de cobre tipo THHW, 600 V
- Aislado con poli cloruro de vinilo (PVC)
- Temperatura de fusión 90°C
- Capacidad de corriente: 75 A

#### 4.4.3. Dimensionamiento del guarda motor para el motor impulsor del tornillo ( $I_{D1}$ )

Los guarda motores son interruptores automáticos, especiales para proteger motores, su diseño los hacen perfectos para el acoplamiento en conjunto de un contactor, un relé térmico y un fusible.

Se consideró una corriente de sobrecarga del 25% de la corriente a plena carga ( $I_n$ ).

**Tabla 8.**

*Dimensionamiento del guarda motor para el motor impulsor del tornillo*

$I_n$ (A)	DIMENSIONAMIENTO TEÓRICO (A)	CORRIENTE ESTÁNDAR DEL GUARDAMOTOR (A)	VOLTAJE NOMINAL (V)
50	$I_{D1} = 1.25 * I_n = 62.5$	70 - 80	110

El guarda motor a utilizar en base a los cálculos obtenidos, será el guarda motor de la marca Siemens modelo 3RV2031-4RA10, tamaño S2, con una corriente nominal máxima de 80 A, véase Anexo C.

#### 4.4.4. Dimensionamiento del contactor para el motor impulsor del tornillo ( $I_{E1}$ )

Es un dispositivo orientado a cerrar o interrumpir la corriente en uno o más circuitos eléctricos que funcionan como mando a distancia en lugar de ser operado manualmente.

Se consideró un 25% de la corriente a plena carga para el dimensionamiento del contactor ( $I_n$ ).

**Tabla 9.**

*Dimensionamiento del contactor para el motor impulsor del tornillo*

$I_n$ (A)	DIMENSIONAMIENTO TEÓRICO (A)	CORRIENTE ESTÁNDAR DEL Contactor (A)	VOLTAJE NOMINAL (V)
50	$I_{E1} = 1.15 * I_n = 57.5$	70	110

El contactor elegido que cumple con los requerimientos en base a los cálculos obtenidos en la tabla 9, corresponde a la marca Siemens, modelo 3RT2038-1AG20, tamaño S2, con una corriente nominal máxima de 70 A. Véase Anexo D.

#### 4.4.5. Resumen de elementos de protección y corte para los motores de la maquina sopladora de plástico

A continuación en la Tabla 10, se resumen los elementos de protección y corte para los motores que conforman la maquina sopladora de plástico, los cálculos realizados para determinar los elementos de protección y corte de los 2 motores restantes son los mismos que se realizaron para el motor impulsor del tornillo.

**Tabla 10.**

*Resumen de dispositivos de protección y corte para los motores*

MOTOR	POTENCIA (Hp)	CORRIENTE NOMINAL (A)	CONDUCTOR	PROTECCION		CORTE	
				Fusible	Guarda motor	Contactador	Bobina (V)
Motor impulsor del tornillo	40	50	Electrocables tipo THHW 6 AWG	Siemens D02 63 A aM	Siemens 3RV2031- 4RA10 S2 70-80 A	Siemens 3RT2038- 1AG20 S2 80 A AC3	110
Motor impulsor de movimientos	25	35.5	Electrocables tipo THHW 8 AWG	Siemens D02 50 A aM	Siemens 3RV2031- 4XA10 S2 49-59 A	Siemens 3RT2036- 1AG20 S2 50 A AC3	110
Motor impulsor del Parison	4	6.4	Electrocables tipo MTW/TEW 16 awg	Siemens D01 10 A aM	Siemens 3RV2011- 1KA10 S00 9-12 A	Siemens 3RT2016- 1AF01 S00 9 A AC3	110

#### 4.5. Zonas de temperaturas

La máquina dispone de ocho zonas de temperatura, las cuales se encuentran distribuidas a lo largo del tornillo extrusor y el cabezal extrusor, cada una de estas zonas están constituidas por niquelinas en forma de abrazadera que funcionan a 440 VAC.

A continuación, en la tabla 11 se muestran las especificaciones de cada una de estas niquelinas.

**Tabla 11.**

*Datos nominales de las niquelinas*

ZONAS DE TEMPERATURA	POTENCIA (W)	VOLTAJE (V)
B	10670	440
C	10670	440
D	10670	440
E	19053	440
F	6097	440
G	6097	440
H	2286	440
I	2286	440

##### 4.5.1. Protecciones para las niquelinas de las zonas B, C y D

Cada una de estas tres zonas están conformadas por tres niquelinas, esto se realiza en el comienzo del tornillo para garantizar un rápido calentamiento del material a extruir.

**a. Corriente nominal ( $I_n$ )**

$$P = 10670 \text{ W}$$

$$I_n = \frac{10670 \text{ W}}{\sqrt{3} * 440 \text{ V}} = 14 \text{ A}$$

**b. Conductor del circuito derivado ( $I_{d1}$ )**

Se trabajó con dos conductores fase y neutro.

**Tabla 12.**

*Dimensionamiento del calibre del conductor de las tres primeras zonas.*

CIRCUITO DERIVADO		CONDUCTOR
$I_n (A)$	$I_d = 1.25 * I_n (A)$	AWG 14
14	17.5	25 A

En base a los datos obtenidos en la tabla 12, el conductor seleccionado corresponde a la marca Electrocables, y es de tipo XHHW-2, cuya capacidad de corrientes es de 25 A. Ver Anexo E.

**c. Protección del circuito derivado ( $I_{d1}$ )**

Para la protección de las niquelinas se hará uso de interruptores termo magnéticos automáticos, esto, con el objetivo de proteger ante cortocircuitos y sobrecargas.

**Tabla 13.**

*Dimensionamiento de interruptor termo magnético para las zonas B, C y D.*

$I_n (A)$	DIMENSIONAMIENTO TEÓRICO (A)	CORRIENTE ESTÁNDAR DEL	VOLTAJE NOMINAL (V)
		INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO (A)	
14	$I_{d1} = 1.25 * I_n = 17.5$	20	440

El interruptor termo magnético seleccionado que cumple con las especificaciones obtenidas en la tabla 13, es un Siemens 5SL3120-7MB, cuya capacidad térmica es de 20 A. Véase Anexo F.

#### d. Dimensionamiento del dispositivo de corte.

Como dispositivo de corte se emplearon relés de estado sólido (SSR), cuya función es aislar eléctricamente el circuito de entrada o mando y el circuito de salida o de fuerza.

La principal ventaja del uso de los SSR con respecto a un relé electromecánico, es la vida de trabajo larga, ya que el control de temperatura de las zonas se encuentra constantemente activando y desactivando las niquelinas, lo cual en un relé electromecánico representaría enclavamientos y desenclavamientos continuos, y estos pueden generar un desgaste más rápido de la vida útil del relé.

**Tabla 14.**

*Dimensionamiento del relé de estado sólido.*

$I_{pc1}$ (A)	DIMENSIONAMIENTO TEÓRICO (A)	CORRIENTE ESTÁNDAR DEL SSR (A)	ENTRADA POR TENSION (VDC)
14	$I_{c1} = 1.15 * I_n = 16.1$	20	3-32

**Tabla 15.**

*Comparación de características de relés de estado sólido*

PARAMETROS	MARCA CRYDOM	MARCA GEFRAN
Voltaje de operación (VDC)	4.5 - 32	6 - 32
Temperatura de operación (°C)	-40 - +80	0 - +80
Tiempo de respuesta	On < 1/2 ciclo, Off < 1/2 ciclo	On < 1/2 ciclo, Off < 1/2 ciclo
Tensión nominal de salida (VAC)	440	440
Costo (USD)	28,50	25,20

De acuerdo a la tabla 15, el SSR seleccionado será de la marca Gefran, debido a que las características son parecidas entre las dos marcas de relés, el factor del precio es el que define la selección. El SSR es el Gefran GTS 25. Ver Anexo G.

#### 4.5.2. Protecciones para las niquelinas de la zona E

La zona E contiene cuatro niquelinas, tres de ellas se encuentran en el tornillo y la restante es parte de la unión entre el cabezal extrusor y el tornillo.

El dimensionamiento de las protecciones para esta zona cumple con la misma metodología empleada en las zonas anteriores.

##### a. Corriente nominal ( $I_n$ )

$$P = 19053 \text{ W}$$

$$I_n = \frac{19053 \text{ W}}{\sqrt{3} * 440 \text{ V}} = 25 \text{ A}$$

##### b. Conductor del circuito derivado ( $I_{d2}$ )

Se trabajó con dos conductores fase y neutro.

**Tabla 16.**

*Dimensionamiento del calibre del conductor de la zona E.*

CIRCUITO DERIVADO		CONDUCTOR
$I_n \text{ (A)}$	$I_{d2} = 1.25 * I_n \text{ (A)}$	AWG 10
25	31.25	40 A

En base a los datos obtenidos en la tabla 16, el conductor seleccionado corresponde a la marca Electrocables, y es de tipo XHHW-2, cuya capacidad de corriente es de 40 A. Ver Anexo E.

### c. Protección del circuito derivado (Id2)

Para la protección de las niquelinas se hará uso de interruptores termo magnéticos automáticos, esto, con el objetivo de proteger ante cortocircuitos y sobrecargas.

**Tabla 17.**

*Dimensionamiento de interruptor termo magnético para la zona E.*

$I_n$ (A)	DIMENSIONAMIENTO	CORRIENTE ESTÁNDAR DEL	VOLTAJE NOMINAL
	TEÓRICO (A)	INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO (A)	(V)
25	$I_{d2} = 1.25 * I_n = 31.25$	32	440

El interruptor termo magnético seleccionado que cumple con las especificaciones obtenidas en la tabla 17, es un Siemens 5SL3132-7MB, cuya capacidad térmica es de 32 A. Véase Anexo F.

### d. Dimensionamiento del dispositivo de corte.

**Tabla 18.**

*Dimensionamiento del relé de estado sólido.*

$I_{pc2}$ (A)	DIMENSIONAMIENTO	CORRIENTE ESTÁNDAR DEL	ENTRADA POR
	TEÓRICO (A)	SSR (A)	TENSION (VDC)
25	$I_{c2} = 1.15 * I_n = 28.75$	40	3-32

**Tabla 19.***Comparación de características de relés de estado sólido*

<b>PARAMETROS</b>	<b>MARCA CRYDOM</b>	<b>MARCA GEFRAN</b>
Voltaje de operación (VDC)	4.5 - 32	6 - 32
Temperatura de operación (°C)	-40 - +80	0 - +80
Tiempo de respuesta	On < 1/2 ciclo, Off < 1/2 ciclo	On < 1/2 ciclo, Off < 1/2 ciclo
Tensión nominal de salida (VAC)	440	440
Costo (USD)	35.50	32.50

De acuerdo a la tabla 19, el SSR seleccionado será de la marca Gefran, El SSR es el Gefran GTS 40. Ver Anexo G.

#### **4.5.3. Protecciones para las niquelinas de las zonas F y G**

Las zonas F y G contienen 2 niquelinas cada una, las cuales se encuentran ubicadas en el cabezal extrusor.

##### **a. Corriente nominal (In)**

$$P = 6097 \text{ W}$$

$$I_n = \frac{6097 \text{ W}}{\sqrt{3} * 440 \text{ V}} = \mathbf{8 \text{ A}}$$

### b. Conductor del circuito derivado (Id3)

Se trabajó con dos conductores, fase y neutro.

**Tabla 20.**

*Dimensionamiento del calibre del conductor de las zonas F y G.*

CIRCUITO DERIVADO		CONDUCTOR
$I_n (A)$	$I_{d3} = 1.25 * I_n (A)$	AWG 16
8	10	10 A

En base a los datos obtenidos en la tabla 20, el conductor seleccionado corresponde a la marca Electrocables, y es de tipo MTW/TEW, cuya capacidad de corriente es de 10 A. Ver Anexo E.

### c. Protección del circuito derivado (Id3)

Para la protección de las niquelinas se hará uso de interruptores termo magnéticos automáticos, esto, con el objetivo de proteger ante cortocircuitos y sobrecargas.

**Tabla 21.**

*Dimensionamiento de interruptor termo magnético para las zonas F y G.*

$I_n (A)$	DIMENSIONAMIENTO TEÓRICO (A)	CORRIENTE ESTÁNDAR DEL	VOLTAJE NOMINAL (V)
		INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO (A)	
8	$I_{d3} = 1.25 * I_n = 10$	10	440

El interruptor termo magnético seleccionado que cumple con las especificaciones obtenidas en la tabla 21, es un Siemens 5SL3110-7MB, cuya capacidad térmica es de 10 A. Véase Anexo F.

**d. Dimensionamiento del dispositivo de corte.**

**Tabla 22.**

*Dimensionamiento del relé de estado sólido para las zonas F y G.*

$I_{pc3}$ (A)	DIMENSIONAMIENTO	CORRIENTE ESTÁNDAR DEL	ENTRADA POR
	TEÓRICO (A)	SSR (A)	TENSION (VDC)
8	$I_{c3} = 1.15 * I_n = 9.2$	15	3-32

**Tabla 23.**

*Comparación de características de relés de estado sólido*

PARAMETROS	MARCA CRYDOM	MARCA GEFRAN
Voltaje de operación (VDC)	4.5 - 32	6 - 32
Temperatura de operación (°C)	-40 - +80	0 - +80
Tiempo de respuesta	On < 1/2 ciclo, Off < 1/2 ciclo	On < 1/2 ciclo, Off < 1/2 ciclo
Tensión nominal de salida (VAC)	440	440
Costo (USD)	23.50	20.50

De acuerdo a la tabla 23, el SSR seleccionado será de la marca Gefran, El SSR es el Gefran GTS 15. Ver Anexo G.

#### 4.5.4. Protecciones para las protecciones para las zonas H e I

Las zonas H e I contienen una niquelinas cada una, las cuales se encuentran ubicadas en el extremo final del cabezal extrusor.

##### a. Corriente nominal ( $I_n$ )

$$P = 2286 \text{ W}$$

$$I_n = \frac{2286 \text{ W}}{\sqrt{3} * 440 \text{ V}} = 3 \text{ A}$$

##### b. Conductor del circuito derivado ( $I_{d4}$ )

Se trabajó con dos conductores, fase y neutro.

**Tabla 24.**

*Dimensionamiento del calibre del conductor de las zonas H e I.*

CIRCUITO DERIVADO		CONDUCTOR
$I_n$ (A)	$I_{d4} = 1.25 * I_n$ (A)	AWG 18
3	3.75	7 A

En base a los datos obtenidos en la tabla 24, el conductor seleccionado corresponde a la marca Electrocables, y es de tipo MTW/TEW, cuya capacidad de corriente es de 7 A.

Ver Anexo E.

##### c. Protección del circuito derivado ( $I_{d4}$ )

Para la protección de las niquelinas se hará uso de interruptores termo magnéticos automáticos, esto, con el objetivo de proteger ante cortocircuitos.

**Tabla 25.**

*Dimensionamiento de interruptor termo magnético de las zonas H e I.*

$I_n$ (A)	DIMENSIONAMIENTO	CORRIENTE ESTÁNDAR DEL	VOLTAJE NOMINAL
	TEÓRICO (A)	INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO (A)	(V)
3	$I_{d4} = 1.25 * I_n = 3.75$	4	440

El interruptor termo magnético seleccionado que cumple con las especificaciones obtenidas en la tabla 25, es un Siemens 5SL3104-7MB, cuya capacidad térmica es de 4 A. Véase Anexo F.

**d. Dimensionamiento del dispositivo de corte.**

**Tabla 26.**

*Dimensionamiento del relé de estado sólido de las zonas H e I.*

$I_{pc4}$ (A)	DIMENSIONAMIENTO	CORRIENTE ESTÁNDAR DEL	ENTRADA POR
	TEÓRICO (A)	SSR (A)	TENSION (VDC)
3	$I_{c4} = 1.15 * I_n = 3.45$	15	3-32

**Tabla 27.**

*Comparación de características de relés de estado sólido*

PARAMETROS	MARCA CRYDOM	MARCA GEFRAN
Voltaje de operación (VDC)	4.5 - 32	6 - 32
Temperatura de operación (°C)	-40 - +80	0 - +80
Tiempo de respuesta	On < 1/2 ciclo, Off < 1/2 ciclo	On < 1/2 ciclo, Off < 1/2 ciclo
Tensión nominal de salida (VAC)	440	440
Costo (USD)	23.50	20.50

De acuerdo a la tabla 27, el SSR seleccionado será de la marca Gefran. El SSR es el Gefran GTS 15. Ver Anexo G.

#### 4.5.5. Resumen de elementos de protección y corte para las zonas de temperatura de la maquina sopladora de plástico

**Tabla 28.**

*Resumen de elementos de protección y corte de las zonas de temperatura*

ZONAS	POTENCIA (W)	CORRIENTE NOMINAL (A)	CONDUCTOR (AWG)	PROTECCION (A)	SSR		
					RELE (A)	ENTRADA (VDC)	SALIDA (VAC)
B	10670	14	14	20	25	6-32	440
C	10670	14	14	20	25	6-32	440
D	10670	14	14	20	25	6-32	440
E	19053	25	10	32	40	6-32	440
F	6097	8	16	10	15	6-32	440
G	6097	8	16	10	15	6-32	440
H	2286	3	18	4	15	6-32	440
I	2286	3	18	4	15	6-32	440

#### 4.6. Protección del Alimentador Principal

Corresponde al elementos que protege todo el sistema tanto de control como de fuerza de la máquina, ya que por este elemento circula toda la corriente necesaria para el funcionamiento adecuado de la máquina, procedente de los motores, niquelinas y del tablero principal.

**Tabla 29.***Consumo de la corriente a plena carga del sistema*

<b>CARGA</b>	<b>I<sub>pc</sub> (A)</b>
Motor Impulsor del tornillo	50
Motor Impulsor de movimientos	35.5
Motor Impulsor del Parison	6.4
Zonas B, C y D	42
Zona E	25
Zonas F y G	16
Zonas H e I	6
Fuente de alimentación del sistema de control	3
<b>TOTAL</b>	<b>183.9</b>

**a. Conductor del circuito alimentador (I<sub>a</sub>)****Tabla 30.***Dimensionamiento del calibre del conductor del alimentador principal*

<b>ALIMENTADOR</b>		<b>CONDUCTOR</b>
$I_n (A)$	$I_a = 1.25 * I_n (A)$	AWG 4/0
183.9	229.87	260 A

De acuerdo con la tabla 30, el conductor seleccionado es de la marca Electrocables, cuyo calibre es AWG 4/0 y su capacidad de corriente es de 260 A.

### b. Protección del circuito derivado (Idp)

**Tabla 31.**

*Dimensionamiento del disyuntor del alimentador principal*

$I_{pc}$ (A)	DIMENSIONAMIENTO	CORRIENTE ESTÁNDAR DEL
	TEÓRICO (A)	DISYUNTOR (A)
183.9	$I_{c4} = 1.5 * I_n = 275.85$	400

Se seleccionó una protección termo magnética de la marca Siemens modelo 3VM1340-4ED32-0AA0, cuyas características se muestran en el Anexo H.

### 4.7. Válvulas Hidráulicas

Las válvulas que se van a utilizar en la máquina poseen un funcionamiento de acción todo-nada; es decir, paso total del fluido (abierto totalmente) y cerrado totalmente bloqueando el flujo.

A continuación en la Tabla 32, se detalla la configuración y uso de cada válvula presente en la máquina.

**Tabla 32.**

*Electroválvulas presentes en la máquina*

Descripción	Configuración de la Válvula	Tipo
Subir y bajar pin de soplado, por medio de un pistón de doble efecto	Válvula 4/2 en posición normalmente abierta con retorno por muelle	Hidráulica
Subir y bajar el carro, por medio de un pistón de doble efecto.	Válvula 4/3 en posición neutra escape	Hidráulica

Continua



Abrir y cerrar molde, por medio de un pistón de doble efecto.	Válvula 4/3 en posición neutra escape	Hidráulica
Activar el aire de soplado	Válvula 3/2 normalmente cerrada con retorno por muelle	Neumática
Sistema de corte, la cuchilla gira 180° en un ciclo.	Válvula 5/2 sin retorno por muelle	Neumática
Sistema de rebabeo del fondo, regresa enseguida a su posición inicial.	Válvula 3/2 con retorno por muelle	Neumática

Algunas de las características técnicas de las válvulas neumáticas se muestran a continuación.

- Presión Máxima: 150 Psi
- Voltaje de alimentación: 110 – 120 Vac.
- Frecuencia: 60 Hz
- Corriente: 0.15 Amperios.

Para el caso de las válvulas hidráulicas se tienen las siguientes características técnicas.

- Voltaje de alimentación = 110 VAC
- Potencia aparente de consumo = 50 VA
- Presión de operación Puertos A, B y P = 5100 PSI (350 bar)
- Presión de operación Puertos T = Hasta 2320 PSI (160 bar) AC
- Flujo máximo = 60 l/min AC

Cabe recalcar que al ser de doble estación la máquina utilizará las mismas válvulas para las dos estaciones, son de la marca Rexroth.

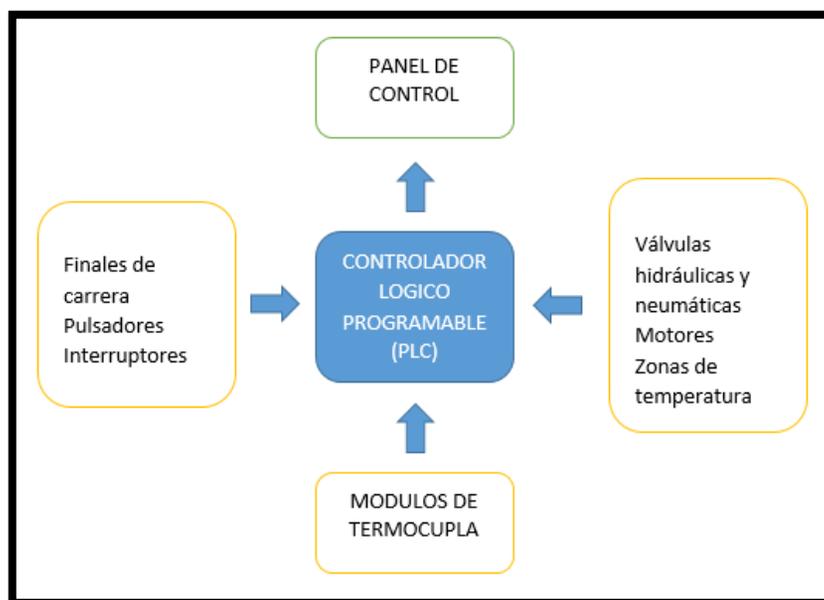
#### 4.8. Consideraciones generales del sistema de control

Debido al objetivo del presente trabajo, la implementación de un Controlador Lógico Programable (PLC) es fundamental para el sistema de control de todas las operaciones de la maquina; además también se incorporará un panel de operación, con la finalidad de dar seguimiento a las variables críticas, así como también, modificar el valor de determinados parámetros y que el operador pueda detectar y observar fallas de la máquina.

La mayor parte de la instrumentación y dispositivos de mando y control a utilizar corresponde a la propia máquina, de tal manera que se obtiene una optimización de recursos.

Para el control de temperatura de las zonas ubicadas a lo largo del tornillo extrusor y el cabezal extrusor, se hará uso de módulos de termocuplas.

En la Figura 27, se muestra en formato de bloques la implementación del sistema de control para la máquina sopladora de polietileno.



**Figura 27.** Sistema de control de la máquina sopladora de polietileno

#### 4.9. Número de entradas y salidas del Sistema de Control

**Tabla 33.**  
*Entradas digitales y su descripción*

MODULO DE ENTRADAS DIGITALES					
Input	Descripción	Input	Descripción	Input	Descripción
X00	Puerta Principal	X10	Molde Abierto Lado Izquierdo	X20	Molde Abierto Lado Derecho
X01	-----	X11	-----	X21	-----
X02	Carro Lado Izquierdo Arriba	X12	Carro Lado Derecho Arriba	X22	-----
X03	-----	X13	-----	X23	Pin de Soplado Izquierdo Arriba
X04	Molde Cerrado Lado Izquierdo	X14	Molde Cerrado Lado Derecho	X24	Pin de Soplado Derecho Arriba
X05	-----	X15	-----	X25	-----
X06	Carro Lado Izquierdo Abajo	X16	Carro Lado Derecho Abajo	X26	-----
X07	-----	X17	-----	X27	-----

**Tabla 34.**  
Salidas digitales y su descripción.

MODULO DE SALIDAS DIGITALES							
Output	Descripción	Output	Descripción	Output	Descripción	Output	Descripción
Y00	-----	Y10	Cuchilla	Y20	Alarmas	Y30	Rebabeador Lado Derecho
Y01	Carro Lado Izquierdo Arriba	Y11	Carro Lado Derecho Arriba	Y21	-----	Y31	-----
Y02	Carro Lado Izquierdo Abajo	Y12	Carro Lado Derecho Abajo	Y22	-----	Y32	-----
Y03	Molde Cerrado Lado Izquierdo	Y13	Molde Cerrado Lado Derecho	Y23	-----	Y33	Motor Tornillo Extrusor
Y04	Molde Abierto Lado Izquierdo	Y14	Molde Abierto Lado Derecho	Y24	-----	-----	-----
Y05	Pin de Soplado Izquierdo Abajo	Y15	Pin de Soplado Derecho Abajo	Y25	-----	-----	-----
Y06	Pin de Soplado Izquierdo Arriba	Y16	Pin de Soplado Derecho Arriba	Y26	-----	-----	-----
Y07	Soplado Lado Izquierdo	Y17	Soplado Lado Derecho	Y27	Rebabeador Lado Izquierdo	-----	-----

#### 4.10. Controlador Lógico Programable (PLC)

La selección del controlador lógico programable se vio limitada al uso de un modelo determinado, esto debido a los requerimientos de la empresa, por lo cual no se realizó ningún estudio ni comparación de diferentes modelos.

El PLC a usar corresponde a la marca Porcheson, modelo PS860BM, cuyas características técnicas se pueden apreciar en la Tabla 35.

**Tabla 35.**  
*Especificaciones técnicas del PLC Porcheson PS860BM*

<b>ESPECIFICACIONES</b>	
<b>Rendimiento de CPU</b>	ARM; CPU de 32 bits; ciclo de escaneo de programa: 1.2ms
<b>Entrada analógica</b>	Transductor de posición: 0 ~ 2.5V, transductor individual de 3 canales, precisión: 12 bits, período de muestreo: 100KSPS <hr/> Detección de presión: 3 canales 0 ~ 20MA
<b>Control de temperatura</b>	4 segmentos, control PID de autoaprendizaje, precisión de visualización: 0.1 °C, tipo de sensor: K (predeterminado), J
<b>Salida de voltaje</b>	2 canales 16bit 0 → 10v con la velocidad de aumento más rápida de 300ms
<b>Salida de corriente</b>	2 canales en bucle cerrado (0-1A) , 1 canales PWM (0-1A)
<b>Entrada (Input)</b>	27 canales de contacto húmedo (NPN), codificador diferencial de 2 canales, ( estándar de 2 canales: A \ B), protección contra cortocircuitos
<b>Salida (Output)</b>	28 canales transistor de alta potencia con válvula de combustible directa, capacidad de accionamiento 4.5A (prueba de carga completa) <hr/> 10 canales de salida de baja potencia de 24 V: motor, lubricación, etc.
<b>Interfaz de comunicación</b>	RS232, RS485, CAN
<b>Voltaje de trabajo</b>	Voltaje de servicio: 24 VDC
<b>Ambiente de trabajo</b>	<b>Temperatura de</b> -10 °C ~ 50 °C; temperatura de almacenamiento: -25 ~ ~ 55 °C; humedad relativa: 15% ~ 85%

#### 4.11. Fuente de alimentación del Sistema de Control

El PLC Porcheson PS860BM provee una alimentación de 24 VDC para las entradas digitales que son del tipo NPN como se indica en la tabla 34; pero para que el PLC provea esta alimentación y para que cumpla sus demás funciones se hará uso de una fuente de la misma marca incluida con el PLC, esta fuente es una PW450 cuyo consumo es de 3 A.

#### 4.12. Protección para la fuente de alimentación del Sistema de Control

##### a. Corriente de plena carga ( $I_n$ )

Como se mencionó en el apartado anterior el consumo de la fuente de alimentación PW450 es de 3 A.

##### b. Conductor del circuito derivado ( $I_d$ )

Se trabajó con dos conductores (Fase y Neutro).

**Tabla 36.**

*Dimensionamiento del conductor de la fuente de alimentación del sistema de control*

CIRCUITO DERIVADO		CONDUCTOR
$I_n (A)$	$I_d = 1.25 * I_n (A)$	AWG 18
3	3.75	7 A

En base a los datos obtenidos en la Tabla 36, el conductor seleccionado corresponde a la marca Electrocables, y es de tipo MTW/TEW, cuya capacidad de corriente es de 7 A.

### c. Protección del circuito derivado (Ic)

**Tabla 37.**

*Dimensionamiento de interruptor termo magnético para la fuente de alimentación.*

$I_n$ (A)	DIMENSIONAMIENTO	CORRIENTE ESTÁNDAR DEL	VOLTAJE NOMINAL
	TEÓRICO (A)	INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO (A)	(V)
3	$I_{d1} = 1.25 * I_n = 3.75$	4	110

El interruptor termo magnético seleccionado que cumple con las especificaciones obtenidas en la Tabla 37, es un Siemens 5SL4104-7RC, cuya capacidad térmica es de 4 A. Véase Anexo I.

#### 4.13. Interface Humano Maquina (HMI)

La implementación de una interfaz humano maquina se llevó a cabo con la finalidad de que el operador posea la facilidad de visualizar y modificar variables que intervienen en el proceso como la temperatura, tiempos del proceso y la habilitación de funciones de la máquina. El HMI que se implementó fue un TB161 de la marca Porcheson el cual venía incluido con el PLC de igual manera que la fuente de alimentación. En la Tabla 38 se muestran algunas especificaciones de este HMI.

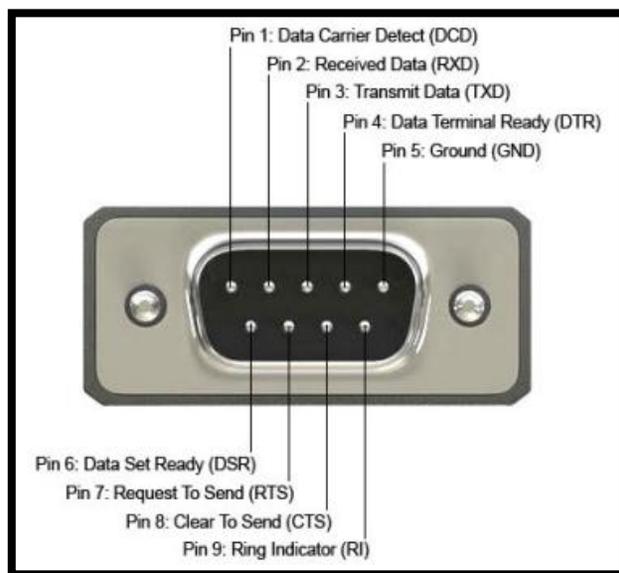
**Tabla 38.**

*Especificaciones técnicas del interfaz humano maquina TB161*

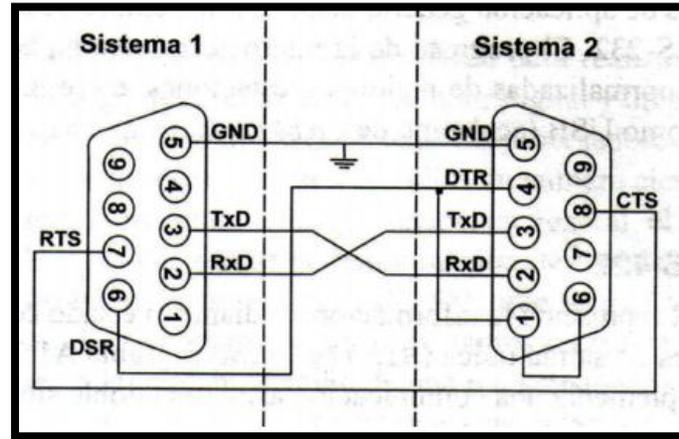
<b>ESPECIFICACIONES</b>	
<b>Sistema</b>	CPU: A8, Memoria: 2 GB
<b>Operación de la Pantalla</b>	Tamaño de la pantalla: 7" 800x480, retroiluminación LED, botones táctiles con una vida de servicio de 200000 veces.
<b>Comunicación de Interfaz</b>	RS232, Ethernet (100M); Almacenamiento: USB V2.0, micro SD card
<b>Otros</b>	Bloqueo de Información, botón de emergencia, función NFC, alarma de voz.
<b>Voltaje de trabajo</b>	18 VDC – 36 VDC
<b>Ambiente</b>	Temperatura de trabajo: -10°C-50°C; Temperatura de almacenamiento: -25°C-55°C; Humedad relativa: 15%-85%.

#### 4.14. Comunicación del sistema de control

La comunicación entre el PLC y el HMI se le efectuó mediante un cable conectado a las interfaces RS 232 de cada uno, como se muestra en la Figura 28.

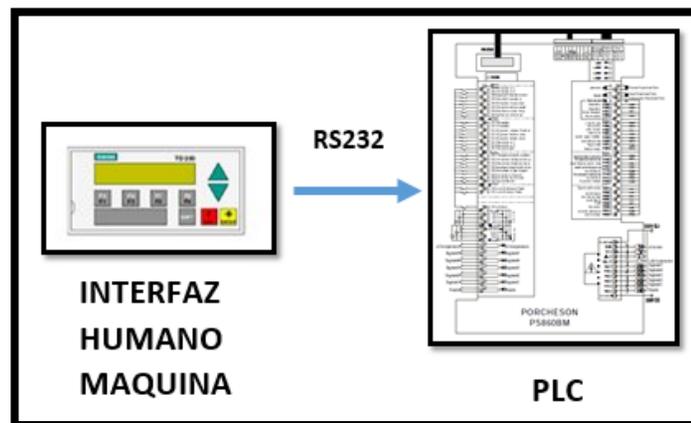


**Figura 28.** Conector del circuito RS-232 con indicación de cada uno de sus significados.



**Figura 29.** Interconexión entre dos sistemas diferentes

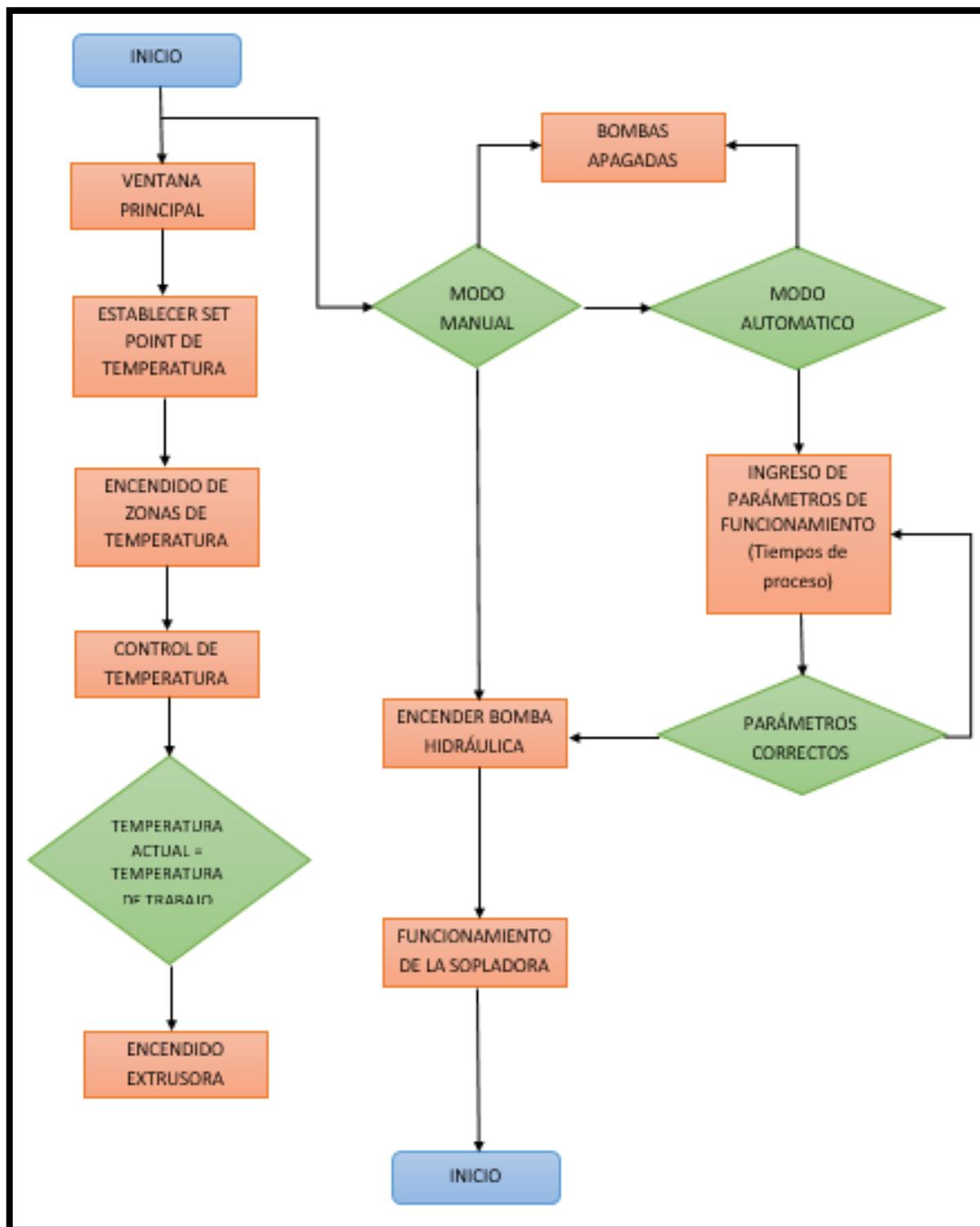
El protocolo de comunicación utilizado en este sistema de control es del tipo PPI Monomaestro, el único maestro que el sistema posee es la Interfaz Humano Máquina (HMI), Figura 30.



**Figura 30.** Comunicación entre el HMI y el sistema de control PLC Porcheson PS860BM

#### 4.15. Sistema de control y visualización

A continuación se describirá el sistema de control mediante un diagrama de flujos de proceso como se puede observar en la Figura 31.



**Figura 31.** Diagrama de flujos del proceso de soplado

#### 4.16. Descripción de la Interfaz Humano Maquina

A continuación se describirán cada una de las ventanas presentes en el sistema de control las cuales ayudan al operador a manipular variables que intervienen en el proceso de soplado.

##### a. Pantalla Principal

**Tabla 39.**

*Descripción de cada uno de los elementos presentes en la Pantalla Principal del HMI*

ITEMS DE LA PANTALLA	DESCRIPCION
1 TEMPERATURAS DE LAS ZONAS	Temperaturas actuales de cada una de las zonas a lo largo del tornillo extrusor y del cabezal extrusor.
2 PRESIÓN Y FLUJO DE TRABAJO	Presión y flujo de trabajo actual para la ejecución del proceso.
3 MOVIMIENTO DEL CONJUNTO	El valor del tiempo y los datos del contador del movimiento actual
4 OPERACIÓN	Tiempo de operación del proceso (establecido por el operador)
5 CICLO COMPLETO	Tiempo real del ciclo de operación del sistema
6 ÚLTIMO CICLO	Tiempo del último ciclo de operación del sistema
7 MOLDE IZQUIERDO	Tiempo total de operación del molde del lado izquierdo
8 MOLDE DERECHO	Tiempo total de operación del molde del lado derecho
9 CICLO MOLDE IZQUIERDO	Tiempo del ciclo actual del molde izquierdo
10 CICLO MOLDE DERECHO	Tiempo del ciclo actual del molde derecho
11 CONTEO DE APERTURAS DE MOLDES	El número de apertura de los moldes de acuerdo al tiempo de operación del proceso (establecido por el operador)
12 CONTEO DE APERTURAS DE MOLDES (MODO AUTOMÁTICO)	Registro del número de apertura de los moldes durante la operación automática del sistema
13 VELOCIDAD DE GIRO DEL TORNILLO EXTRUSOR	Registro de la velocidad de rotación del tornillo cuando el sistema está en proceso de operación
14 NÚMERO DE MOLDE	Designación del molde que se encuentra en uso actualmente.

En la Figura 32, se muestra la pantalla principal presente en el panel del operador



**Figura 32.** Pantalla Principal del HMI

### b. Configuración de operación de subir/bajar carro lado izquierdo y derecho.

**Tabla 40.**

*Descripción de la pantalla de configuración de operación subir/bajar carro lado izquierdo y derecho*

ITEMS DE LA PANTALLA	DESCRIPCION
1 PRESIÓN	Permite ingresar la presión de trabajo para realizar tanto la etapa de subir carro como la de bajar carro. Para el proceso solo se usara la acción de subir y bajar carro rápido a alta presión.
2 FLUJO	Permite ingresar el valor de flujo de trabajo para realizar tanto la etapa de subir carro como la de bajar carro. Para el proceso solo se usará la acción de subir y bajar carro rápido a un valor de flujo alto.
3 POSICIÓN	Permite establecer la longitud de carreras tanto para subir como para bajar carro. Esta opción no se usa debido a que se instaló un final de carrera para subir el carro y uno para bajar el carro.
4 RETARDO SUBIR CARRO	Tiempo de espera para ejecutar la acción de subir carro
5 RETARDO BAJAR CARRO	Tiempo de espera para ejecutar la acción de bajar carro

Las descripciones antes mencionadas se pueden observar en las Figuras 33 y 34, las cuales se muestran a continuación:

L.mold push/quit				0.0 mm
<b>mold push</b>				
	Fast	Medium	Low	
pressure	0.0	0.0	0.0	pushDelay 0.00
flow	0.0	0.0	0.0	
position	0.0	0.0	0.0	
<b>mold quit</b>				
	Low	Medium	Fast	
pressure	0.0	0.0	2.0	quitDelay 0.00
flow	3.0	5.0	8.0	
position	0.0	0.0	0.0	
<b>Hint:</b>				
Movement normal		Ready	Ready	

**Figura 33.** Pantalla de configuración de operación subir/bajar carro lado izquierdo

R.mold push/quit				***** mm
<b>mold push</b>				
	Fast	Medium	Low	
pressure	0.0	*****	0.0	pushDelay 0.00
flow	0.0	*****	30.0	
time	*****	*****	*****	
<b>mold quit</b>				
	Low	Medium	Fast	
pressure	0.0	*****	0.0	quitDelay 0.00
flow	0.0	*****	0.0	
time	*****	*****	*****	
<b>Hint:</b>				
Movement normal		Ready	Ready	

**Figura 34.** Pantalla de configuración de operación subir/bajar carro lado derecho

**c. Configuración de operación apertura/cerrado de moldes lado izquierdo y derecho**

**Tabla 41.**

*Descripción de la pantalla de configuración de operación cerrar/abrir molde lado izquierdo y derecho*

<b>ITEMS DE LA PANTALLA</b>	<b>DESCRIPCION</b>
1 PRESIÓN	Permite ingresar la presión de trabajo para realizar la etapa de abrir/cerrar molde. Para el proceso solo se usara la acción de cerrar y abrir molde rápido a alta presión.
2 FLUJO	Permite ingresar el valor de flujo de trabajo para realizar la etapa de abrir/cerrar molde. Para el proceso solo se usara la acción de cerrar y abrir molde rápido a un valor de flujo alto.
3 POSICIÓN	Permite establecer la longitud de carreras tanto para cerrar como para abrir moldes. Esta opción no se usa debido a que se instaló un final de carrera para abrir molde y uno para cerrar molde.
4 RETARDO CERRAR MOLDE	Tiempo de espera para ejecutar la acción de cerrar molde
5 LÍMITE DE TIEMPO PARA ABRIR Y CERRAR MOLDE	Es el tiempo límite de apertura y cierre del molde
6 MECÁNICA	Si necesita un manipulador, seleccione [on] para ello. Después de seleccionar [on], la máquina emitirá la señal del manipulador mientras se completa la apertura del molde. Antes de cerrar el molde, el siguiente ciclo mecánico comienza solo después de recibir la señal del manipulador y detiene la salida al mismo tiempo.

En las Figuras 35 y 36, se pueden observar las ventanas para configurar el cerrado y apertura de los moldes de ambos lados.

L. mold lock/open				0.0 mm
<b>mode lock</b>				
	Fast	Low	Lock	LockDelay
pressure	0.0	0.0	0.0	0.00
flow	0.0	0.0	0.0	Lock
position	0.0	0.0	0.0	0.00
<b>mode open</b>				
	Low	Medium	Fast	0/ LTimeLi
pressure	9.0	9.0	10.0	1.10
flow	80.0	0.0	0.0	Mechanich
position	0.0	0.0	0.0	0.00
<b>Hint:</b>				
Movement normal		Ready	Ready	

**Figura 35.** Pantalla de configuración de operación cerrar/abrir molde lado izquierdo

R. mold push/quit				***** mm
<b>mold push</b>				
	Fast	Medium	Low	pushDelay
pressure	0.0	*****	0.0	0.00
flow	0.0	*****	30.0	Auto. dela
time	*****	*****	*****	*****
<b>mold quit</b>				
	Low	Medium	Fast	quitDelay
pressure	0.0	*****	0.0	0.00
flow	0.0	*****	0.0	
time	*****	*****	*****	
<b>Hint:</b>				
Movement normal		Ready	Ready	

**Figura 36.** Pantalla de configuración de operación cerrar/abrir molde lado derecho

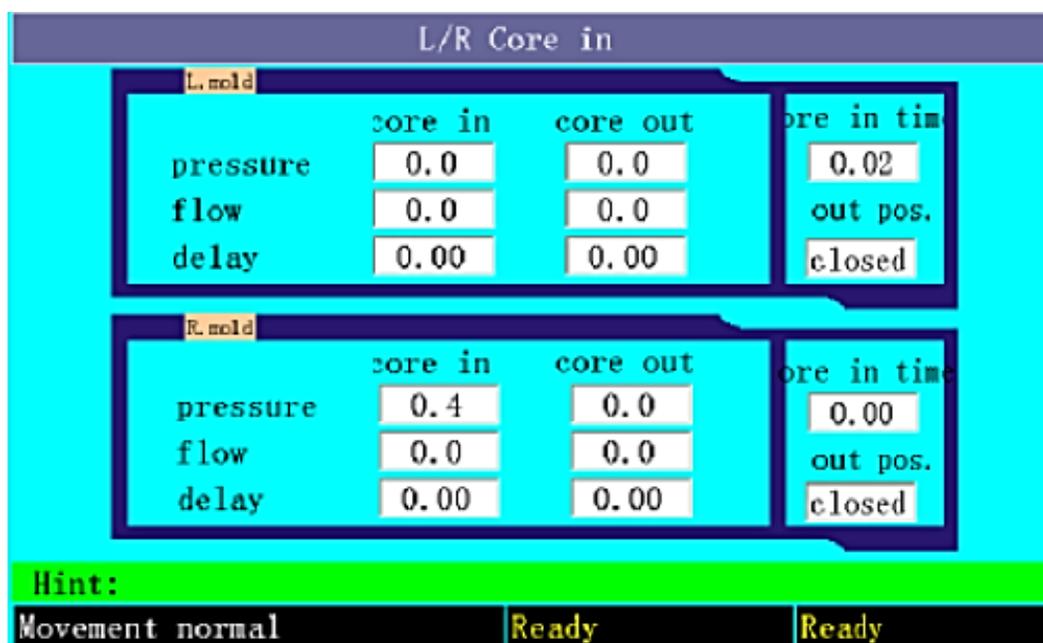
#### d. Configuración de operación para el Pin de soplado izquierdo y derecho

**Tabla 42.**

*Descripción de la pantalla de configuración de operación Pin arriba/abajo lado izquierdo y derecho*

ITEMS DE LA PANTALLA	DESCRIPCION
1 PRESIÓN	Permite ingresar la presión de trabajo para realizar la etapa de pin abajo/arriba.
2 FLUJO	Permite ingresar el valor de flujo de trabajo para realizar la etapa de pin abajo/arriba.
3 RETARDO	Tiempo de espera para ejecutar la acción de pin abajo/arriba
4 TIEMPO DE DESCENSO DEL PIN DE SOPLADO	Tiempo que el pin permanecerá en posición de descenso.

La pantalla de configuración para el Pin de soplado tanto del lado derecho como del izquierdo se puede observar en la Figura 37.



**Figura 37.** Pantalla de configuración de operación Pin arriba/abajo lado izquierdo y derecho

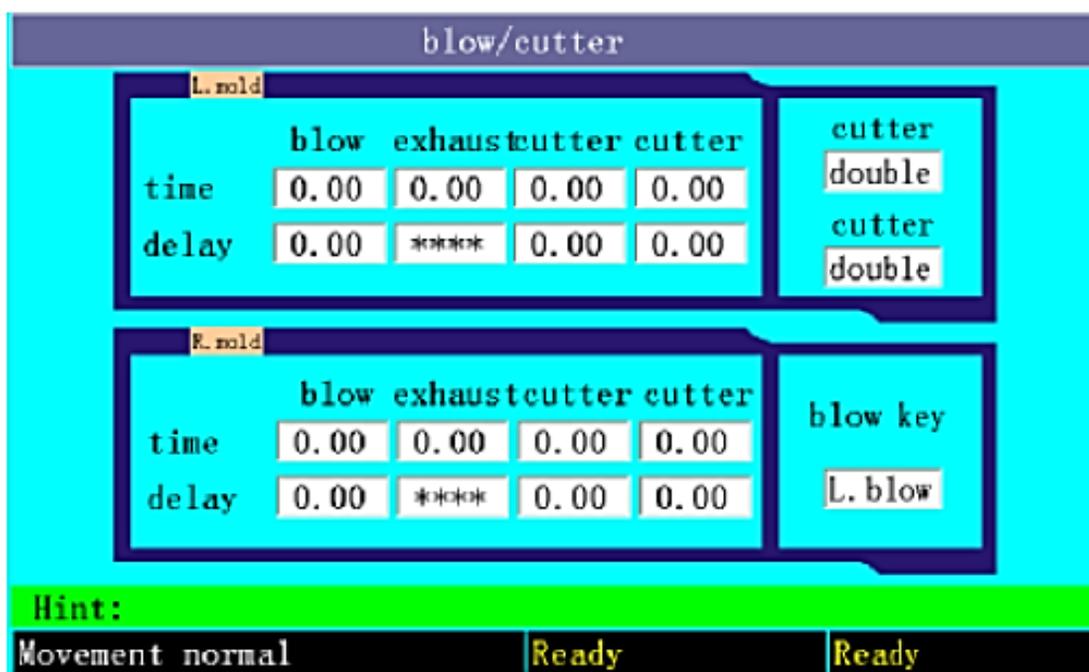
### e. Configuración de operación de soplado/cuchilla de corte

**Tabla 43.**

*Descripción de la pantalla de configuración de operación Soplado/Cuchilla de corte*

ITEMS DE LA PANTALLA	DESCRIPCION
1 TIEMPO	Permite ingresar el tiempo de soplado tanto para el lado izquierdo como para el derecho. También permite establecer el tiempo que durara el uso de la cuchilla.
2 RETARDO	Tiempo de espera para ejecutar la acción de soplado tanto del lado izquierdo como del lado derecho
3 CUCHILLA	Permite seleccionar de acuerdo a la máquina una operación con doble cuchilla es decir a cada lado o solo una como es el caso de la máquina que se automatizó. Además permite elegir entre la función de soplado o cuchilla
4 TECLA DE SOPLADO	Permite elegir el lado en el cual se desea realizar la etapa de soplado

En la Figura 38 se muestra la ventana para la configuración del soplado para ambos lados y del corte por cuchilla.



**Figura 38.** Pantalla de configuración de operación Soplado/cuchilla de corte

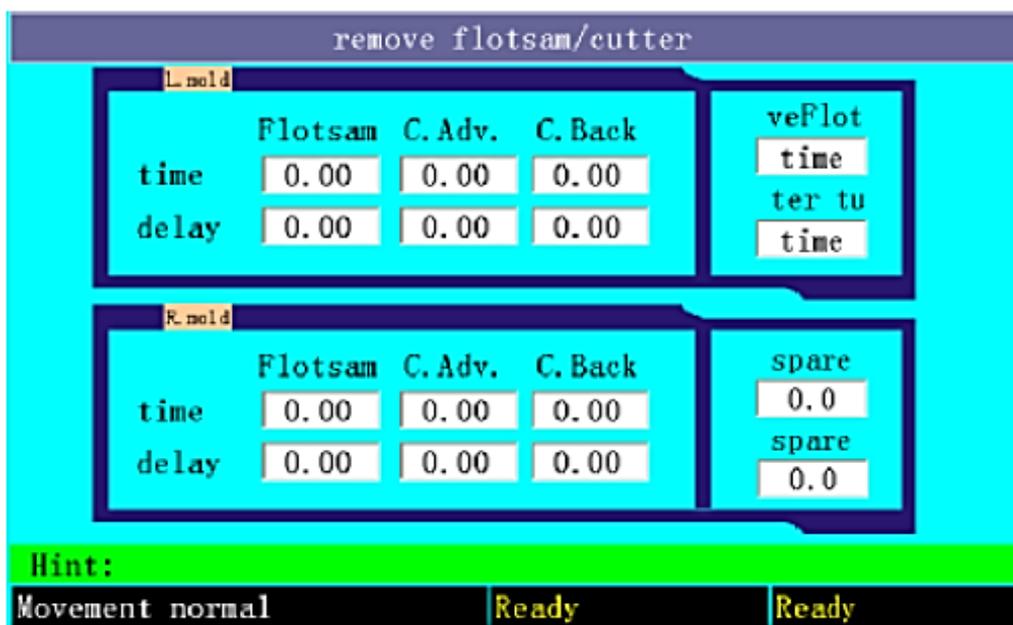
## f. Configuración de operación Rebabeador/Rotación de cuchilla de corte

**Tabla 44.**

Descripción de la pantalla de configuración de operación Rebabeador/Rotación de cuchilla de corte

ITEMS DE LA PANTALLA	DESCRIPCION
1 TIEMPO	Permite ingresar el tiempo de rebabeado tanto izquierdo como derecho además permite establecer el tiempo de avance y retroceso de la rotación de la cuchilla de corte.
2 RETARDO	Tiempo de espera para ejecutar la acción de rebabeado y de avance y retroceso de rotación de la cuchilla de corte

A continuación en la Figura 39 se observa la pantalla de configuración para el rebabeado y funcionamiento del corte



**Figura 39.** Pantalla de configuración de operación Rebabeador/  
Rotación de cuchilla de corte

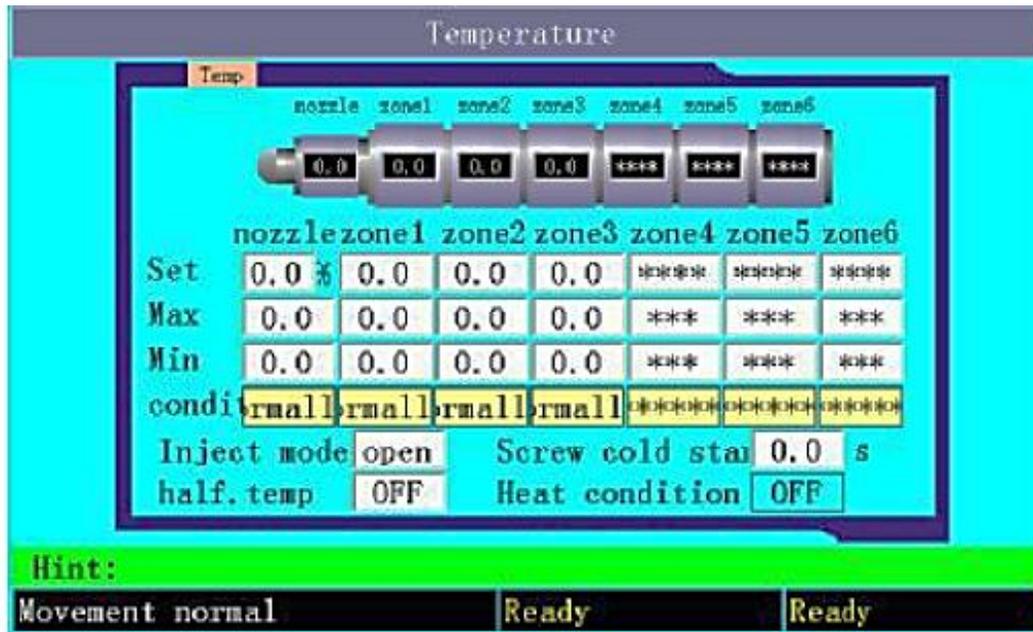
### g. Configuración de temperaturas de las zonas

**Tabla 45.**

*Descripción de la pantalla de configuración de temperaturas de las zonas*

ITEMS DE LA PANTALLA	DESCRIPCION
1 SET POINT	Permite al operador establecer la temperatura a la cual se deben calentar cada una de las niquelinas
2 LÍMITE MÁXIMO	Es la máxima variación de temperatura que puede haber durante el calentamiento de las niquelinas, una vez superada el sistema de control procederá a apagarlas
3 LÍMITE MÍNIMO	Es la mínima variación de temperatura que puede haber durante el enfriamiento de las niquelinas, una vez superada el sistema de control procederá a encenderlas
4 CONDICIÓN	Indica el estado de temperatura de cada una de las zonas, puede ser ALTO, NORMAL o BAJO
7 MODO MITAD DE TEMPERATURA	Al activar esta función, el valor de configuración de temperatura es la mitad del valor de configuración mostrado actual
8 ENFRIAMIENTO DE LA EXTRUSORA	Permite establecer el tiempo de enfriamiento de cada una de las zonas a lo largo de la extrusora
9 ESTADO DE LAS ZONAS	Permite observar si la condición de calentamiento esta activada o no

En la Figura 40 se muestra la ventana de configuración de temperaturas de cada una de las zonas que intervienen en el proceso de extrusión y que se encuentran colocadas a lo largo del tornillo extrusor y del cabezal extrusor.



**Figura 40.** Pantalla de configuración de temperaturas de las zonas

#### 4.17. Modelamiento matemático del sistema

Para la obtención del modelo matemático del sistema es necesario analizar el funcionamiento del proceso de extrusión, es decir, se debe identificar las variables de entrada y salida involucradas en el proceso, y que permiten describir el sistema.

Para el caso de estudio, se dispone de una entrada que corresponde a la referencia de temperatura y una salida que es la temperatura de trabajo de cada una de las zonas de extrusión ubicadas a lo largo del tornillo extrusor y el cabezal extrusor.

El análisis a realizar se lo hará utilizando una señal escalón como entrada al sistema, y se tratara de obtener la función de transferencia que más se acerque a la gráfica de respuesta del sistema, la cual fue obtenida experimentalmente con datos reales de trabajo.

El sistema de extrusión consta de 8 zonas de temperatura, 7 de estas zonas son controladas por un mismo sistema de control y son las que se van a analizar en el presente trabajo. La temperatura de trabajo para el proceso de extrusión es de 180°C, esta temperatura es la referencia en todas las zonas de trabajo y corresponde entonces a la señal escalón a la cual el sistema deberá reaccionar.

#### 4.17.1. Zona C

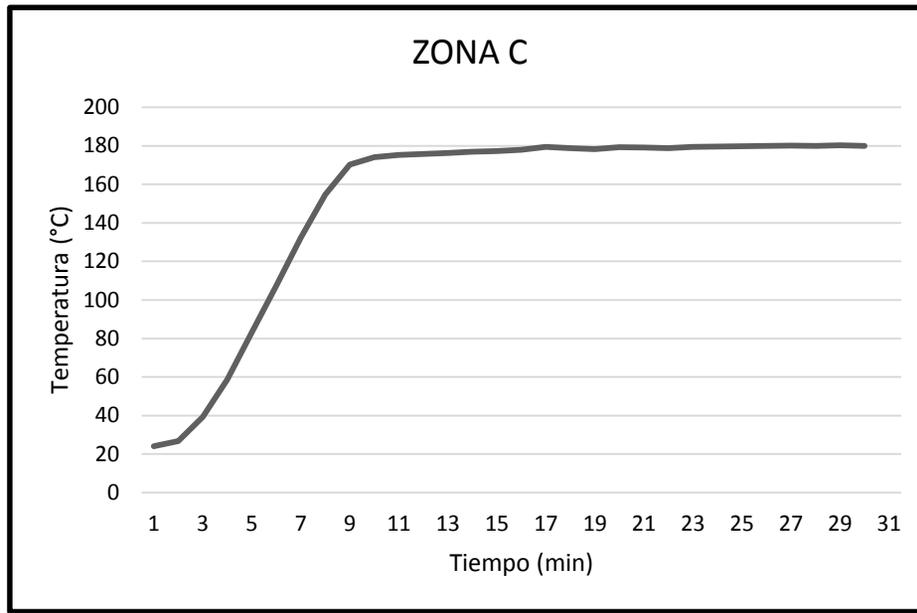
A continuación en la Tabla 46, se observan los datos obtenidos de temperatura en función del tiempo hasta el momento en que alcanza el valor del set point.

**Tabla 46.**

*Variación de la temperatura en la Zona C*

Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Temperatura (°C)
0	24	15	177,9
1	26,8	16	179,4
2	39,2	17	178,7
3	58,7	18	178,2
4	83,1	19	179,3
5	107,3	20	179,1
6	132,2	21	178,7
7	154,7	22	179,5
8	170,3	23	179,6
9	174,1	24	179,8
10	175,3	25	179,9
11	175,8	26	180,1
12	176,3	27	180
13	176,9	28	180,2
14	177,2	29	180

Con los valores de la Tabla 46 se procede a graficar la respuesta del sistema ante la variación del set point, es decir, el incremento de la temperatura respecto al tiempo en la Zona C, como se muestra en la Figura 41.



**Figura 41.** Respuesta de la temperatura en la Zona C

En base a los datos graficados se puede obtener directamente la función de transferencia de la Zona C ante una entrada de tipo escalón, asumiendo un sistema de primer orden con retardo como lo menciona (Balakrishnan & Ravi, 2010).

Datos:

$$\Delta U = 180 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta Y = 180 - 24 = 156 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$G(s) = \frac{k}{\tau s + 1} e^{-ts}; \text{ Función de Transferencia Sistema de 1er Orden con retardo}$$

$$k = \frac{\Delta Y}{\Delta U} = \frac{156}{180} = 0.8667$$

$$T_{25\%} = 24 + (\Delta Y * 25\%) = 63 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{75\%} = 24 + (\Delta Y * 75\%) = 141 \text{ } ^\circ\text{C}$$

*Cálculo del tiempo correspondiente al 25% de la respuesta:*

$$T_o = 58.7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_f = 83.1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_o = 3 \text{ min}$$

$$t_f = 4 \text{ min}$$

$$t_{25\%} = 3 + (63 - 58.7) * \left( \frac{4 - 3}{83.1 - 58.7} \right) = \mathbf{3.1762 \text{ minutos}}$$

*Cálculo del tiempo correspondiente al 75% de la respuesta:*

$$T_o = 132.2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_f = 154.7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_o = 6 \text{ min}$$

$$t_f = 7 \text{ min}$$

$$t_{75\%} = 6 + (141 - 132.2) * \left( \frac{7 - 6}{154.7 - 132.2} \right) = \mathbf{6.3911 \text{ minutos}}$$

$$\tau = 0.9102(t_{75\%} - t_{25\%}) = 0.9102(6.3911 - 3.1762) = \mathbf{2.9262 \text{ minutos}}$$

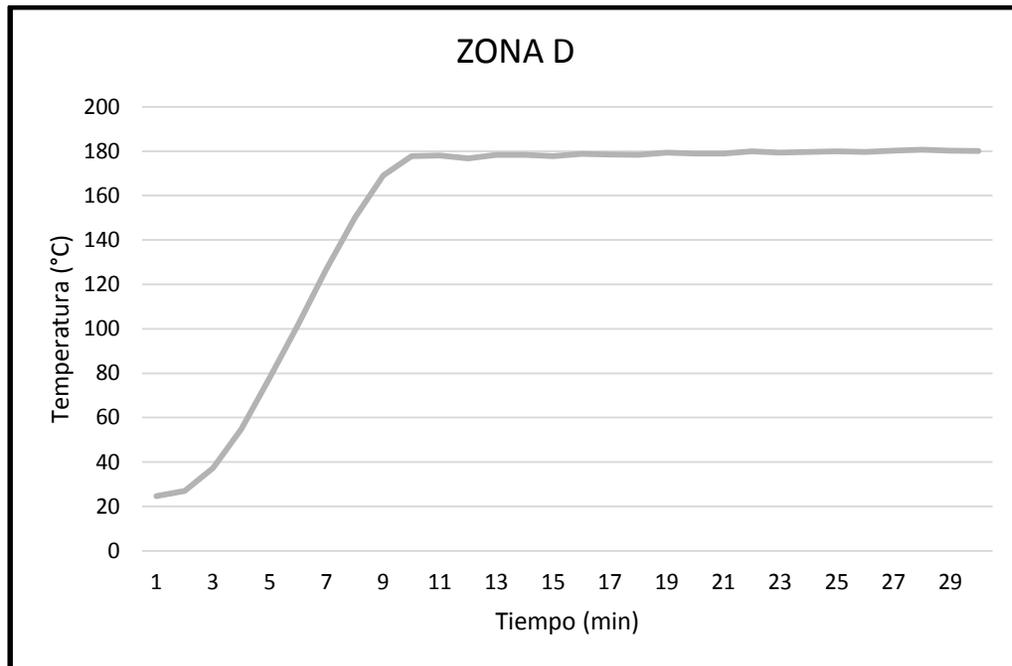
$$t = 1.2620t_{25\%} - 0.2620t_{75\%} = (1.2620 * 3.1762) - (0.2620 * 6.3911) = \mathbf{2.3338 \text{ minutos}}$$

$$G(s) = \frac{0.8667}{2.9262s + 1} e^{-2.3338s}; \text{ ZONA C}$$

#### **4.17.2. Zona D**

En el Anexo D1, se observan los datos obtenidos de temperatura en función del tiempo hasta el momento en que alcanza el valor del set point.

Con los valores del Anexo D1, se procede a graficar la respuesta del sistema ante la variación del set point, es decir, el incremento de la temperatura respecto al tiempo en la Zona D, como se puede observar en la Figura 42.



**Figura 42.** Respuesta de la temperatura en la Zona D

En base a los datos graficados se puede obtener directamente la función de transferencia de la Zona D ante una entrada de tipo escalón.

Datos:

$$\Delta U = 180 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta Y = 180 - 24.6 = 155.4^{\circ}\text{C}$$

$$k = \frac{\Delta Y}{\Delta U} = \frac{155.4}{180} = 0.8633$$

$$T_{25\%} = 24.6 + (\Delta Y * 25\%) = 63.45^{\circ}\text{C}$$

$$T_{75\%} = 24.6 + (\Delta Y * 75\%) = 141.15^{\circ}\text{C}$$

*Cálculo del tiempo correspondiente al 25% de la respuesta:*

$$T_o = 54.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_f = 77.9^{\circ}\text{C}$$

$$t_o = 3 \text{ min}$$

$$t_f = 4 \text{ min}$$

$$t_{25\%} = 3 + (63.45 - 54.8) * \left( \frac{4 - 3}{77.9 - 54.8} \right) = \mathbf{3.3744 \text{ minutos}}$$

*Cálculo del tiempo correspondiente al 75% de la respuesta:*

$$T_o = 126.8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_f = 150.1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_o = 6 \text{ min}$$

$$t_f = 7 \text{ min}$$

$$t_{75\%} = 6 + (141.15 - 126.8) * \left( \frac{7 - 6}{150.1 - 126.8} \right) = \mathbf{6.6158 \text{ minutos}}$$

$$\tau = 0.9102(t_{75\%} - t_{25\%}) = 0.9102(6.6158 - 3.3744) = \mathbf{2.9503 \text{ minutos}}$$

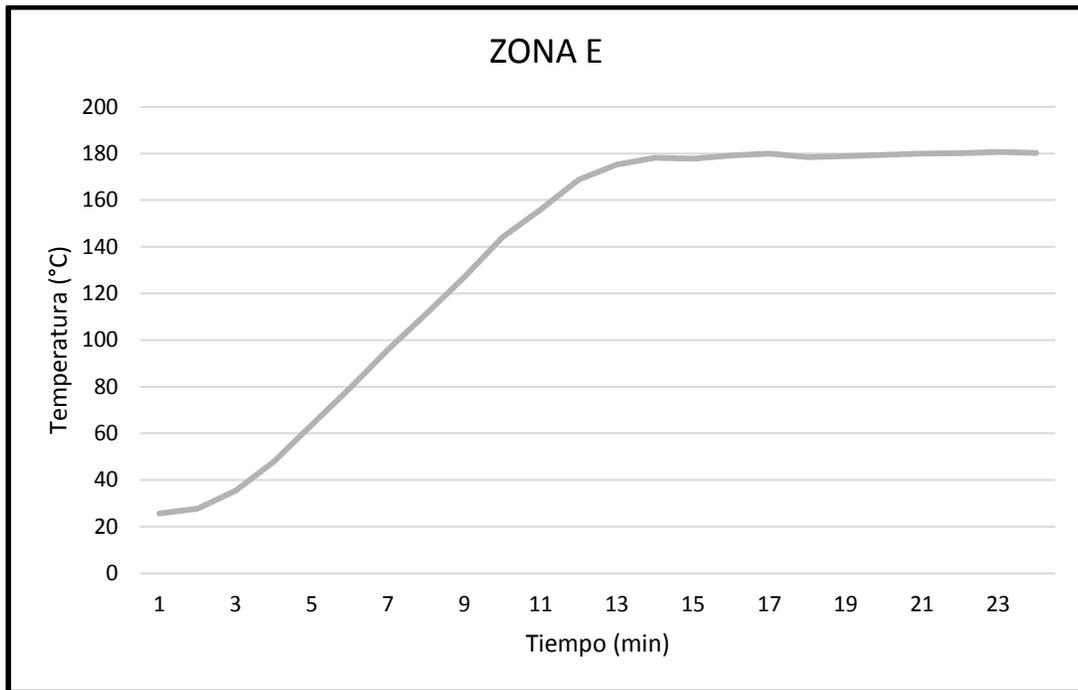
$$t = 1.2620t_{25\%} - 0.2620t_{75\%} = (1.2620 * 3.3744) - (0.2620 * 6.6158) = \mathbf{2.5251 \text{ minutos}}$$

$$G(s) = \frac{0.8633}{2.9503s + 1} e^{-2.5251s}; \text{ ZONA D}$$

#### **4.17.3. Zona E**

En el Anexo D2, se observan los datos obtenidos de temperatura en función del tiempo hasta el momento en que alcanza el valor del set point.

La grafica correspondiente a los datos mostrados en el Anexo D2 se presenta a continuación en la Figura 43.



**Figura 43.** Respuesta de la temperatura en la Zona E

En base a los datos graficados se puede obtener directamente la función de transferencia de la Zona E ante una entrada de tipo escalón.

Datos:

$$\Delta U = 180 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta Y = 180 - 25.7 = 154.3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$k = \frac{\Delta Y}{\Delta U} = \frac{154.3}{180} = 0.8572$$

$$T_{25\%} = 25.7 + (\Delta Y * 25\%) = 64.275 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{75\%} = 25.7 + (\Delta Y * 75\%) = 141.425 \text{ } ^\circ\text{C}$$

*Cálculo del tiempo correspondiente al 25% de la respuesta:*

$$T_o = 63.7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_f = 79.4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_o = 4 \text{ min}$$

$$t_f = 5 \text{ min}$$

$$t_{25\%} = 4 + (64.275 - 63.7) * \left( \frac{5 - 4}{79.4 - 63.7} \right) = \mathbf{4.0366 \text{ minutos}}$$

*Cálculo del tiempo correspondiente al 75% de la respuesta:*

$$T_o = 127 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_f = 144.1 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_o = 8 \text{ min}$$

$$t_f = 9 \text{ min}$$

$$t_{75\%} = 8 + (141.425 - 127) * \left( \frac{9 - 8}{144.1 - 127} \right) = \mathbf{8.8435 \text{ minutos}}$$

$$\tau = 0.9102(t_{75\%} - t_{25\%}) = 0.9102(8.8435 - 4.0366) = \mathbf{4.3752 \text{ minutos}}$$

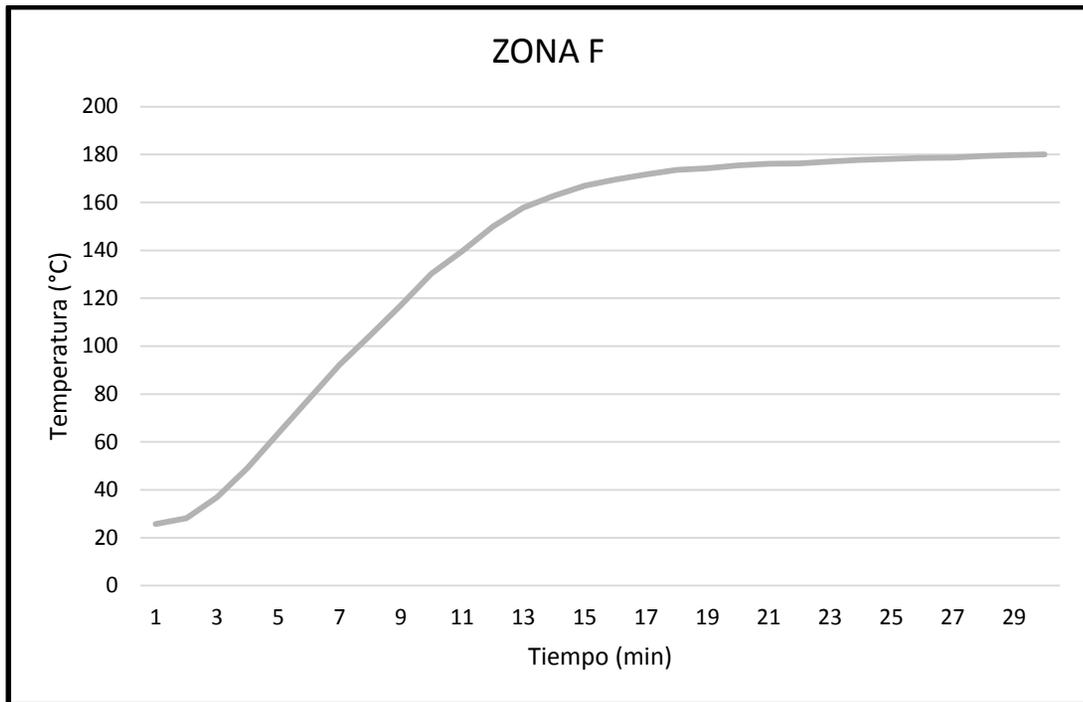
$$t = 1.2620t_{25\%} - 0.2620t_{75\%} = (1.2620 * 4.0366) - (0.2620 * 8.8435) = \mathbf{2.7771 \text{ minutos}}$$

$$G(s) = \frac{0.8572}{4.3752s + 1} e^{-2.7771s}; \text{ ZONA E}$$

#### **4.17.4. Zona F**

En el Anexo D3, se observan los datos obtenidos de temperatura en función del tiempo hasta el momento en que alcanza el valor del set point.

La grafica correspondiente a los datos se presenta a continuación en la Figura 44.



**Figura 44.** Respuesta de la temperatura en la Zona F

En base a los datos graficados se puede obtener directamente la función de transferencia de la Zona F ante una entrada de tipo escalón.

Datos:

$$\Delta U = 180 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta Y = 180 - 25.7 = 154.3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$k = \frac{\Delta Y}{\Delta U} = \frac{154.3}{180} = 0.8572$$

$$T_{25\%} = 25.7 + (\Delta Y * 25\%) = 64.275 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{75\%} = 25.7 + (\Delta Y * 75\%) = 141.425 \text{ } ^\circ\text{C}$$

*Cálculo del tiempo correspondiente al 25% de la respuesta:*

$$T_o = 63.7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_f = 78 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_o = 4 \text{ min}$$

$$t_f = 5 \text{ min}$$

$$t_{25\%} = 4 + (64.275 - 63.7) * \left( \frac{5 - 4}{78 - 63.7} \right) = \mathbf{4.0402 \text{ minutos}}$$

*Cálculo del tiempo correspondiente al 75% de la respuesta:*

$$T_o = 139.7 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_f = 149.9 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_o = 10 \text{ min}$$

$$t_f = 11 \text{ min}$$

$$t_{75\%} = 10 + (141.425 - 139.7) * \left( \frac{11 - 10}{149.9 - 139.7} \right) = \mathbf{10.1691 \text{ minutos}}$$

$$\tau = 0.9102(t_{75\%} - t_{25\%}) = 0.9102(10.1691 - 4.0402) = \mathbf{5.5785 \text{ minutos}}$$

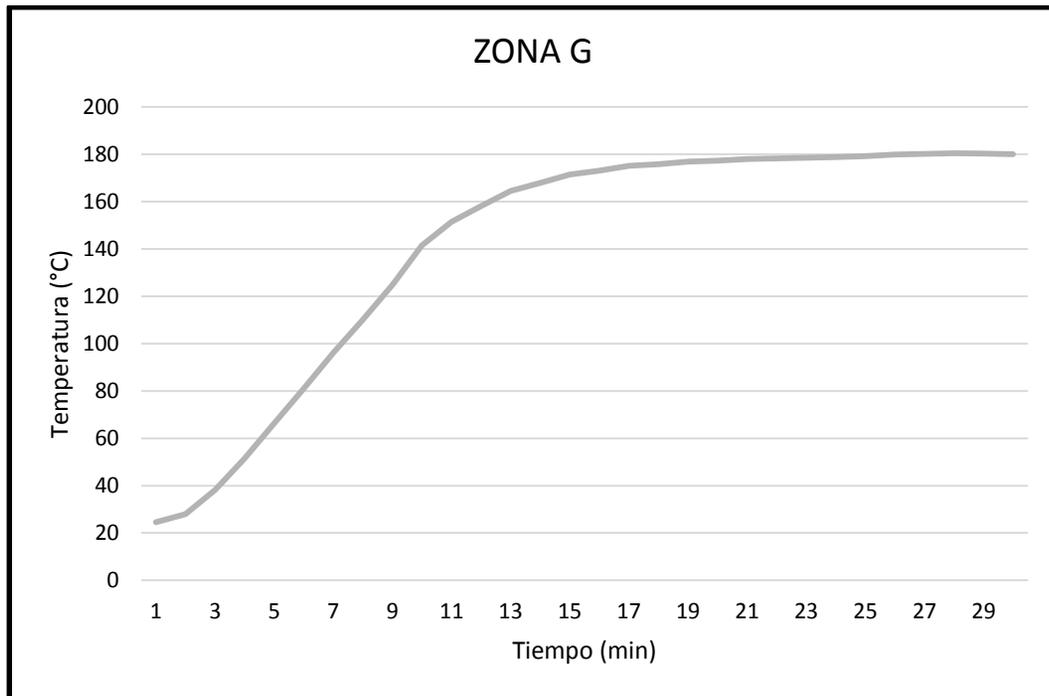
$$t = 1.2620t_{25\%} - 0.2620t_{75\%} = (1.2620 * 4.0402) - (0.2620 * 10.1691) = \mathbf{2.4344 \text{ minutos}}$$

$$G(s) = \frac{0.8572}{5.5785s + 1} e^{-2.4344s}; \text{ ZONA F}$$

#### **4.17.5. Zona G**

En el Anexo D4, se observan los datos obtenidos de temperatura en función del tiempo hasta el momento en que alcanza el valor del set point.

La grafica correspondiente a los datos se presenta a continuación en la Figura 45.



**Figura 45.** Respuesta de la temperatura en la Zona G

En base a los datos graficados se puede obtener directamente la función de transferencia de la Zona G ante una entrada de tipo escalón.

Datos:

$$\Delta U = 180 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta Y = 180 - 24.6 = 155.4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$k = \frac{\Delta Y}{\Delta U} = \frac{155.4}{180} = 0.8633$$

$$T_{25\%} = 24.6 + (\Delta Y * 25\%) = 63.45 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{75\%} = 24.6 + (\Delta Y * 75\%) = 141.15 \text{ } ^\circ\text{C}$$

*Cálculo del tiempo correspondiente al 25% de la respuesta:*

$$T_o = 51.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_f = 66.4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_o = 3 \text{ min}$$

$$t_f = 4 \text{ min}$$

$$t_{25\%} = 3 + (64.45 - 51.5) * \left( \frac{4 - 3}{66.4 - 51.5} \right) = \mathbf{3.8691 \text{ minutos}}$$

*Cálculo del tiempo correspondiente al 75% de la respuesta:*

$$T_o = 124.9 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_f = 141.4 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_o = 8 \text{ min}$$

$$t_f = 9 \text{ min}$$

$$t_{75\%} = 8 + (141.15 - 124.9) * \left( \frac{9 - 8}{141.4 - 124.9} \right) = \mathbf{8.9848 \text{ minutos}}$$

$$\tau = 0.9102(t_{75\%} - t_{25\%}) = 0.9102(8.9848 - 3.8691) = \mathbf{4.6563 \text{ minutos}}$$

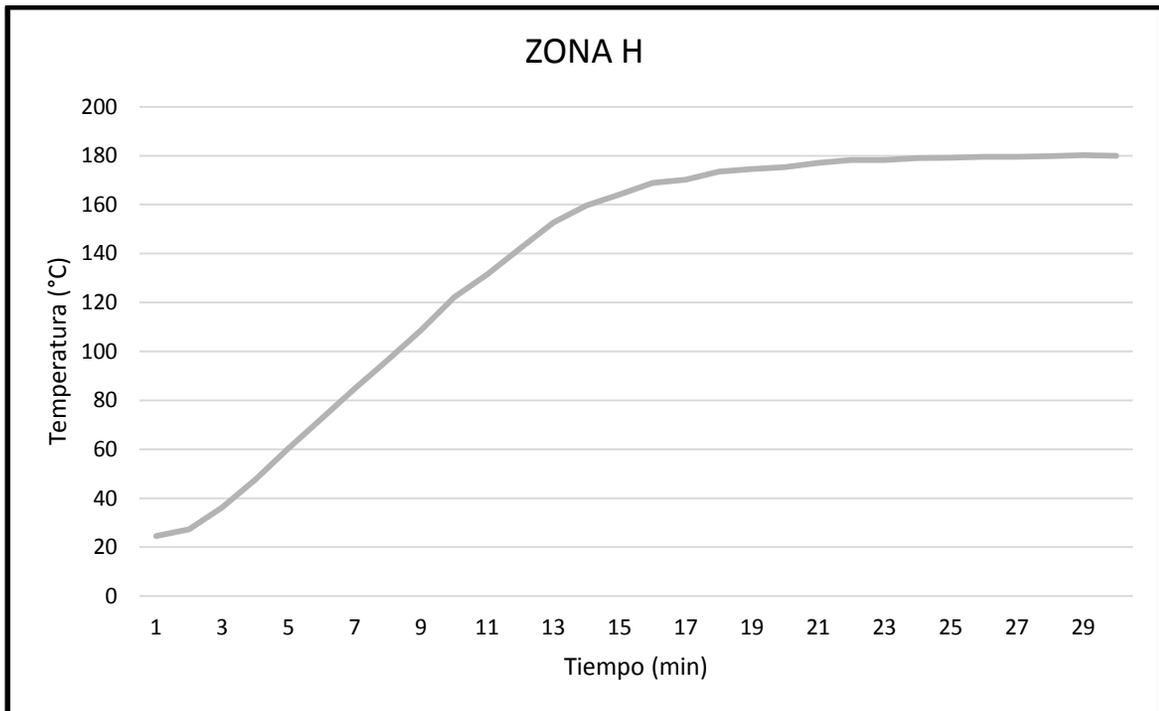
$$t = 1.2620t_{25\%} - 0.2620t_{75\%} = (1.2620 * 3.8691) - (0.2620 * 8.9848) = \mathbf{2.5287 \text{ minutos}}$$

$$G(s) = \frac{0.8633}{4.6563s + 1} e^{-2.5287s}; \text{ ZONA G}$$

#### **4.17.6. Zona H**

En el Anexo D5, se observan los datos obtenidos de temperatura en función del tiempo hasta el momento en que alcanza el valor del set point.

La grafica correspondiente a los datos se presenta a continuación en la Figura 46.



**Figura 46.** Respuesta de la temperatura en la Zona H

En base a los datos graficados se puede obtener directamente la función de transferencia de la Zona H ante una entrada de tipo escalón.

Datos:

$$\Delta U = 180 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta Y = 180 - 24.5 = 155.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$k = \frac{\Delta Y}{\Delta U} = \frac{155.5}{180} = 0.8638$$

$$T_{25\%} = 24.5 + (\Delta Y * 25\%) = 63.375 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{75\%} = 24.5 + (\Delta Y * 75\%) = 141.125 \text{ } ^\circ\text{C}$$

*Cálculo del tiempo correspondiente al 25% de la respuesta:*

$$T_o = 60.3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_f = 72.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_o = 4 \text{ min}$$

$$t_f = 5 \text{ min}$$

$$t_{25\%} = 4 + (63.375 - 60.3) * \left( \frac{5 - 4}{72.5 - 60.3} \right) = \mathbf{4.2520 \text{ minutos}}$$

*Cálculo del tiempo correspondiente al 75% de la respuesta:*

$$T_o = 131.5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_f = 142.2 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_o = 10 \text{ min}$$

$$t_f = 11 \text{ min}$$

$$t_{75\%} = 10 + (141.125 - 131.5) * \left( \frac{11 - 10}{142.2 - 131.5} \right) = \mathbf{10.8995 \text{ min}}$$

$$\tau = 0.9102(t_{75\%} - t_{25\%}) = 0.9102(10.8995 - 4.2520) = \mathbf{6.0505 \text{ min}}$$

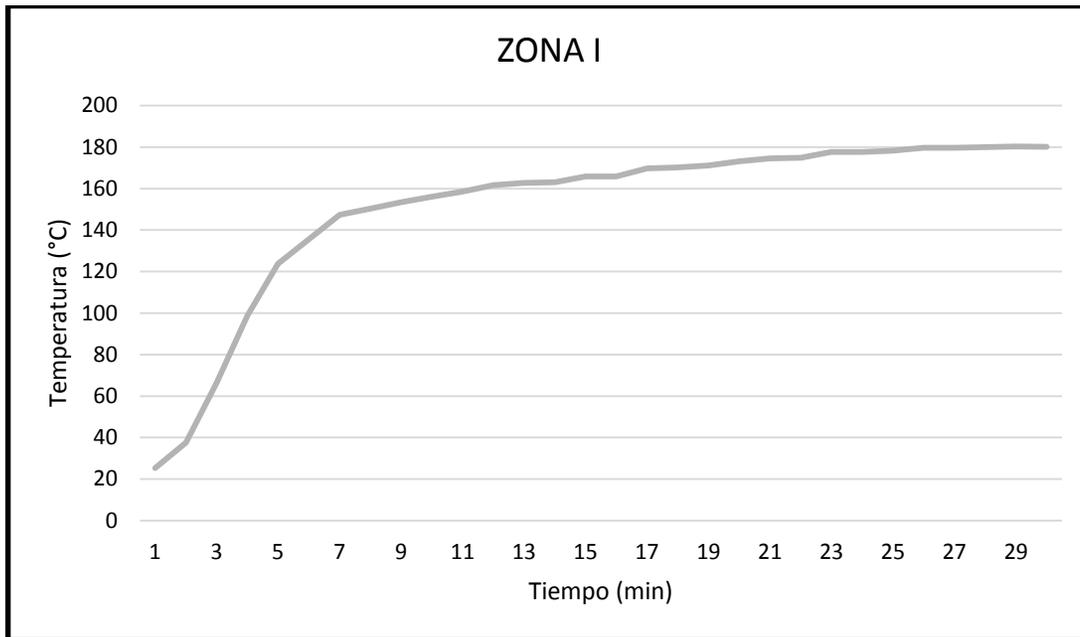
$$t = 1.2620t_{25\%} - 0.2620t_{75\%} = (1.2620 * 4.2520) - (0.2620 * 10.8995) = \mathbf{2.5103 \text{ min}}$$

$$G(s) = \frac{0.8638}{6.0505s + 1} e^{-2.5103s}; \text{ ZONA H}$$

#### **4.17.7. Zona I**

En la Tabla 59, se observan los datos obtenidos de temperatura en función del tiempo hasta el momento en que alcanza el valor del set point.

La grafica correspondiente a los datos se presenta a continuación en la Figura 47.



**Figura 47.** Respuesta de la temperatura en la Zona I

En base a los datos graficados se puede obtener directamente la función de transferencia de la Zona I ante una entrada de tipo escalón.

Datos:

$$\Delta U = 180 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta Y = 180 - 25.3 = 154.7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$k = \frac{\Delta Y}{\Delta U} = \frac{154.7}{180} = 0.8594$$

$$T_{25\%} = 25.3 + (\Delta Y * 25\%) = 63.975 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{75\%} = 25.3 + (\Delta Y * 75\%) = 141.325 \text{ } ^\circ\text{C}$$

*Cálculo del tiempo correspondiente al 25% de la respuesta:*

$$T_o = 37.6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_f = 66.3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_o = 1 \text{ min}$$

$$t_f = 2 \text{ min}$$

$$t_{25\%} = 1 + (63.975 - 37.6) * \left( \frac{2 - 1}{66.3 - 37.6} \right) = \mathbf{1.9189 \text{ minutos}}$$

*Cálculo del tiempo correspondiente al 75% de la respuesta:*

$$T_o = 135.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_f = 147.4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_o = 5 \text{ min}$$

$$t_f = 6 \text{ min}$$

$$t_{75\%} = 5 + (141.325 - 135.5) * \left( \frac{6 - 5}{147.4 - 135.5} \right) = \mathbf{5.4894 \text{ minutos}}$$

$$\tau = 0.9102(t_{75\%} - t_{25\%}) = 0.9102(5.4894 - 1.9189) = \mathbf{3.2498 \text{ minutos}}$$

$$t = 1.2620t_{25\%} - 0.2620t_{75\%} = (1.2620 * 1.9189) - (0.2620 * 5.4894) = \mathbf{0.9834 \text{ minutos}}$$

$$G(s) = \frac{0.8594}{3.2498s + 1} e^{-0.9834s}; \text{ ZONA I}$$

Una vez obtenidos los modelos de cada una de las zonas de temperatura que conforman el proceso de extrusión en base a los datos experimentales del proceso, se procede a determinar el modelo matemático haciendo uso de la aplicación PID Tuner de Matlab. A continuación en la Tabla 47 se puede observar tanto la función de transferencia obtenida mediante la utilización de los datos experimentales correspondientes a cada zona, así como, las funciones de transferencia obtenidas mediante la utilización del Software Matlab.

**Tabla 47.***Funciones de Transferencia de las zonas de temperatura*

ZONAS DE TEMPERATURA	MODELO REAL	MODELO OBTENIDO EN MATLAB
Zona C	$\frac{0.8667}{2.9262s + 1} e^{-2.3338s}$	$\frac{0.8702}{2.7448s + 1} e^{-2.522s}$
Zona D	$\frac{0.8633}{2.9503s + 1} e^{-2.5251s}$	$\frac{0.8706}{2.8162s + 1} e^{-2.638s}$
Zona E	$\frac{0.8572}{4.3752s + 1} e^{-2.7771s}$	$\frac{0.9052}{4.972s + 1} e^{-2.711s}$
Zona F	$\frac{0.8572}{5.5785s + 1} e^{-2.4344s}$	$\frac{0.8803}{5.9508s + 1} e^{-2.495s}$
Zona G	$\frac{0.8633}{4.6563s + 1} e^{-2.5287s}$	$\frac{0.8854}{5.2273s + 1} e^{-2.498s}$
Zona H	$\frac{0.8638}{6.0505s + 1} e^{-2.5103s}$	$\frac{0.9074}{6.8136s + 1} e^{-2.544s}$
Zona I	$\frac{0.8594}{3.2498s + 1} e^{-0.9834s}$	$\frac{0.8311}{3.5781s + 1} e^{-0.975s}$

Como se puede observar en la Tabla 47, los valores de los parámetros que conforman el modelo de cada una de las zonas poseen una diferencia muy baja, a continuación se procede a determinar el error relativo existente entre los parámetros obtenidos por medio del Matlab y los parámetros obtenidos mediante los datos experimentales, en la Tabla 48 se resumen los valores de los parámetros obtenidos y el error relativo entre estos.

**Tabla 48.**  
*Errores relativos entre parámetros reales y estimados*

ZONAS DE TEMPERATURA	GANANCIA	ERROR RELATIVO (%)	$\tau$ (min)	ERROR RELATIVO (%)	t (min)	ERROR RELATIVO (%)
Zona C	$\frac{K_{real} = 0.8667}{K_{obtenida} = 0.8702}$	0.4038	$\frac{\tau_{real} = 2.9262}{\tau_{obtenida} = 2.7448}$	6.1991	$\frac{t_{real} = 2.3338}{t_{obtenida} = 2.522}$	8.0641
Zona D	$\frac{K_{real} = 0.8633}{K_{obtenida} = 0.8706}$	0.8455	$\frac{\tau_{real} = 2.9503}{\tau_{obtenida} = 2.8162}$	4.5453	$\frac{t_{real} = 2.5251}{t_{obtenida} = 2.638}$	4.4711
Zona E	$\frac{K_{real} = 0.8572}{K_{obtenida} = 0.9052}$	5.5996	$\frac{\tau_{real} = 4.3752}{\tau_{obtenida} = 4.972}$	13.6405	$\frac{t_{real} = 2.7771}{t_{obtenida} = 2.711}$	2.3801
Zona F	$\frac{K_{real} = 0.8572}{K_{obtenida} = 0.8803}$	2.6948	$\frac{\tau_{real} = 5.5785}{\tau_{obtenida} = 5.9508}$	6.6738	$\frac{t_{real} = 2.4344}{t_{obtenida} = 2.495}$	2.4893
Zona G	$\frac{K_{real} = 0.8633}{K_{obtenida} = 0.8854}$	2.5599	$\frac{\tau_{real} = 4.6563}{\tau_{obtenida} = 5.2273}$	12.2629	$\frac{t_{real} = 2.5287}{t_{obtenida} = 2.498}$	1.2140
Zona H	$\frac{K_{real} = 0.8638}{K_{obtenida} = 0.9074}$	5.0474	$\frac{\tau_{real} = 6.0505}{\tau_{obtenida} = 6.8136}$	12.6121	$\frac{t_{real} = 2.5103}{t_{obtenida} = 2.544}$	1.3424
Zona I	$\frac{K_{real} = 0.8594}{K_{obtenida} = 0.8311}$	3.2929	$\frac{\tau_{real} = 3.2498}{\tau_{obtenida} = 3.5781}$	10.1021	$\frac{t_{real} = 0.9834}{t_{obtenida} = 0.975}$	0.8541

**Tabla 49.**  
*Errores relativos promedio de los modelos en la estimación de los parámetros.*

	ZONAS DE TEMPERATURA						
	Zona C	Zona D	Zona E	Zona F	Zona G	Zona H	Zona I
Errores Relativos							
Promedios (%)	4.889	3.287	7.206	3.952	5.3456	6.333	4.749

En base a los resultados obtenidos en la Tabla 49, tenemos los errores relativos promedios resultantes de los modelos matemáticos de las zonas de temperatura los cuales según (Oviedo, 2015) determinan la calidad del modelo; en los modelos de todas las zonas de temperatura se obtuvieron errores menores al 10% lo cual indica que la calidad del modelo es “Muy Buena”, con estos resultados podemos observar la semejanza entre los modelos tanto real como obtenido en Matlab por lo cual es aceptable establecer el análisis previamente realizado.

#### **4.18. Validación de la Hipótesis**

##### **4.18.1. Hipótesis del Proyecto**

La hipótesis del estudio es la siguiente:

Con el modelado e implementación de un sistema de automatización se podrá optimizar los parámetros que intervienen en el soplado de polietileno y demostrar una mejora en los índices de productividad.

Variable independiente: Modelar y automatizar una máquina de soplado de polietileno.

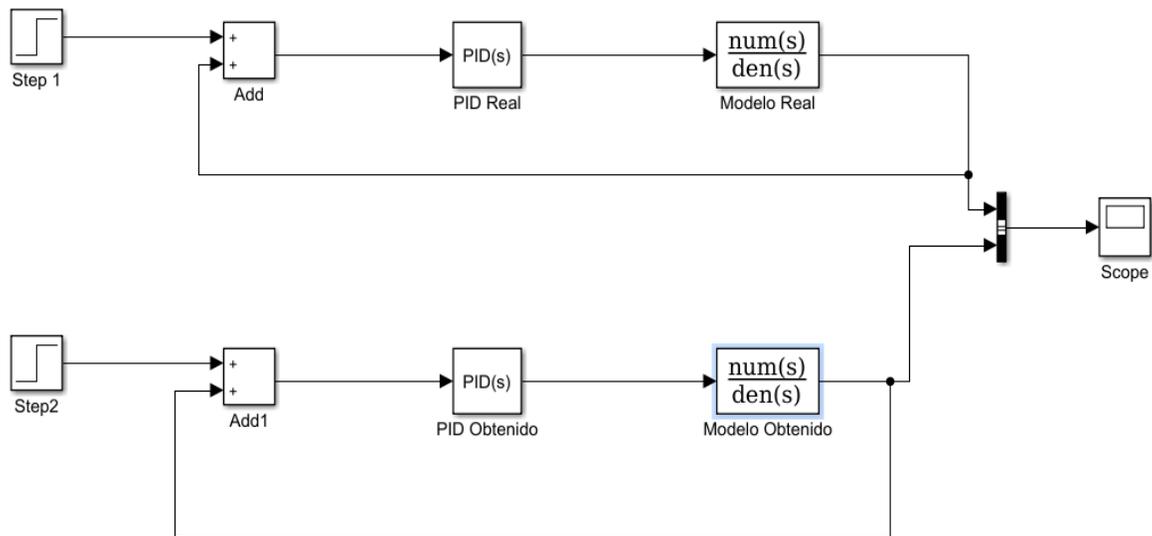
Variable dependiente: Optimizar los parámetros que intervienen en el proceso e incrementar los índices de productividad.

a) Optimización de parámetros

Para el análisis de este aspecto se procederá a analizar las curvas de respuesta obtenidas mediante la sintonización del controlador PID.

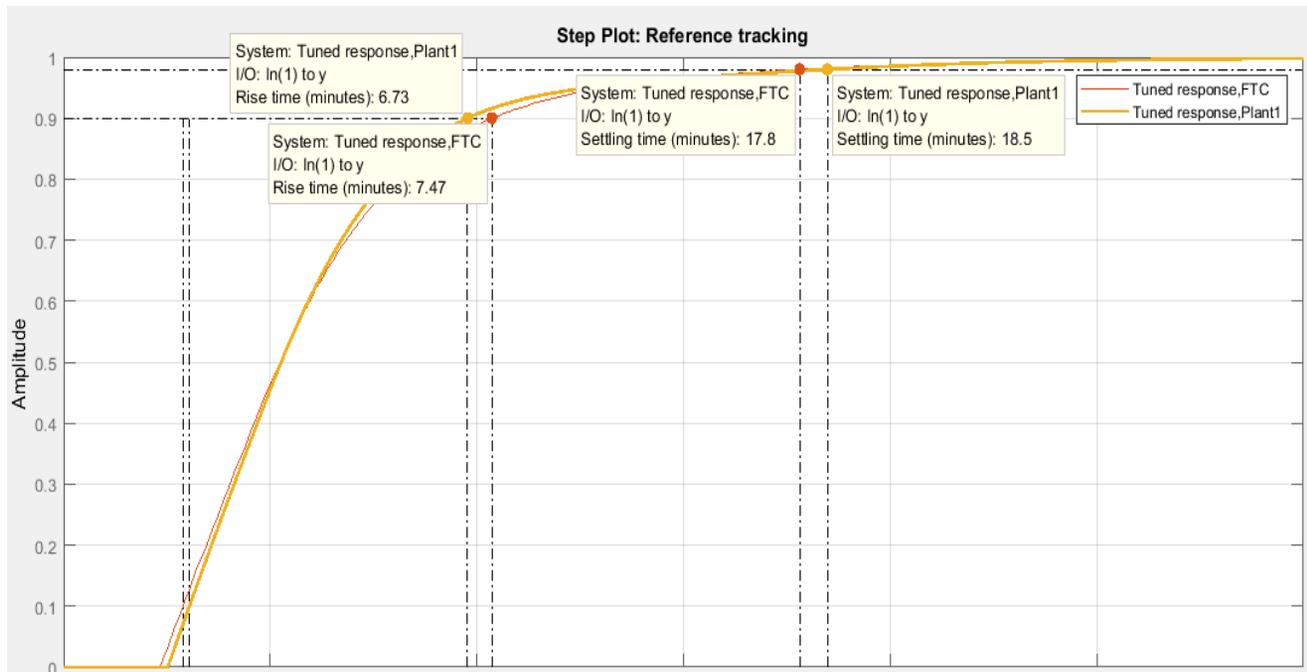
Los parámetros en los cuales se va a tener mayor atención serán los tiempos de establecimiento y el error en estado estable de cada una de las zonas de la máquina, esto obteniendo los datos una vez la maquina entre en producción.

Estos dos parámetros permitirán concluir si el sistema aprovecha de una mejor manera el control de temperatura de tal manera que sea eficiente. Aplicando los datos del controlador PID obtenidos mediante el PID Tuner de Matlab como se muestra en la Figura 48 se proceden a analizar las curvas de respuesta de cada una de las zonas de temperatura.



**Figura 48.** Modelos de aplicación del sistema de control real y obtenido.

- Zona C



**Figura 49.** Comparación de la respuesta escalón para el modelo real (FTC) y el modelo estimado (Plant1) de la Zona C.

Se procede a aplicar la fórmula para el cálculo del error en estado estable ante una entrada escalón tenemos:

$$e_{ss} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{s}{1 + G(s)} * \frac{1}{s} = \frac{1}{1 + G(0)} \quad (8)$$

$$K = \lim_{s \rightarrow 0} G(s) \quad (9)$$

$$e_{ss} = \frac{1}{1 + K} \quad (10)$$

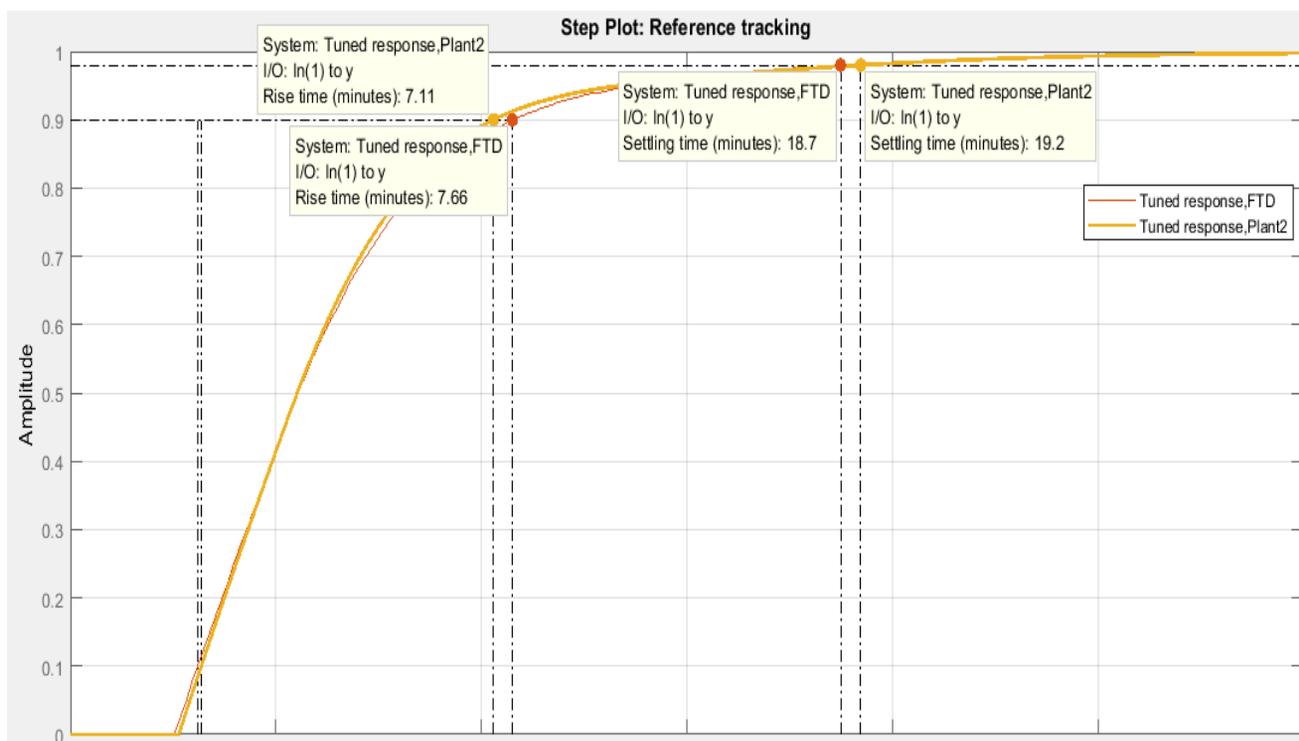
A continuación en la Tabla 50 se procederá a tabular los tiempos de establecimiento y el error en estado estable tanto del modelo real como del modelo obtenido en Matlab.

**Tabla 50.**

Comparación de error en estado estable y tiempo de establecimiento entre los modelos Zona C.

	Modelo Real	Modelo Obtenido en Matlab
Tiempo de establecimiento	17.8 min	18.5 min
Error en estado estable	0 %	0 %

- Zona D



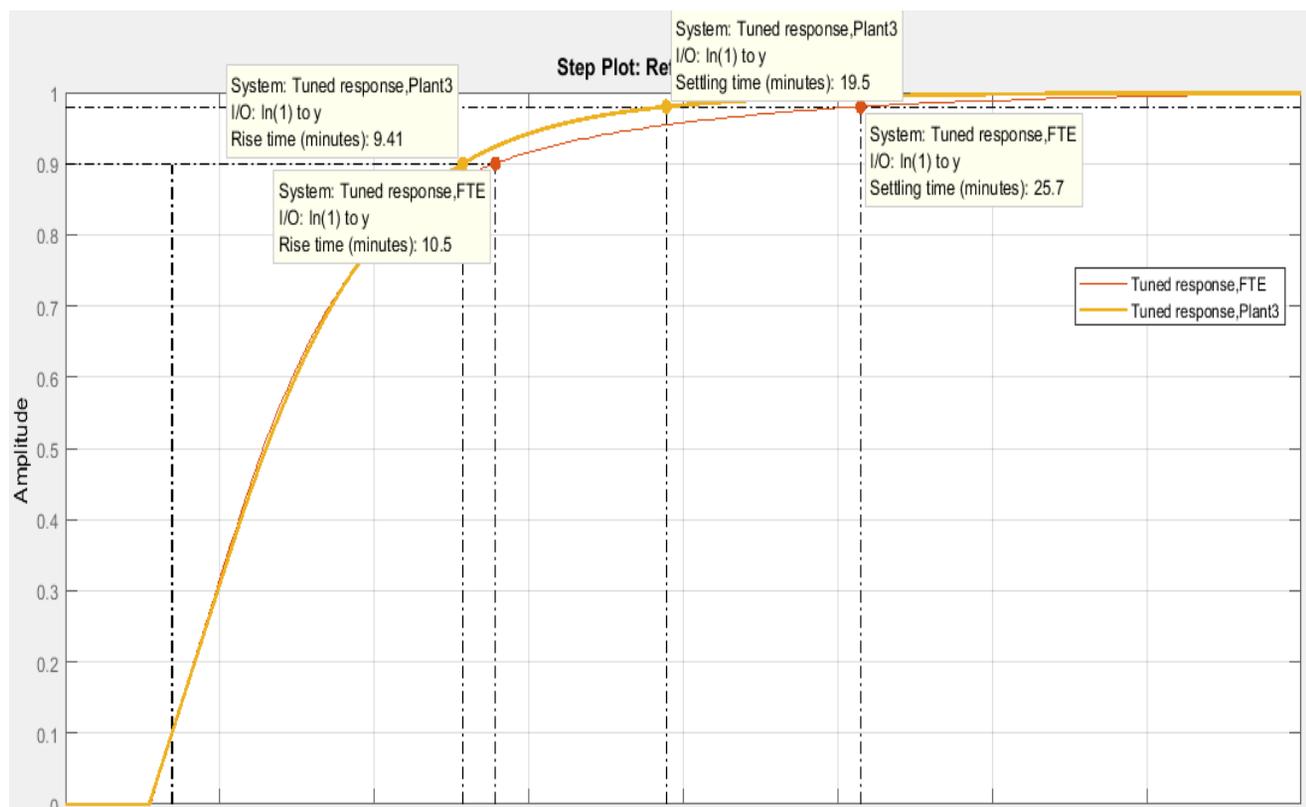
**Figura 50.** Comparación de la respuesta escalón para el modelo real (FTD) y el modelo estimado (Plant2) de la Zona D.

**Tabla 51.**

Comparación de error en estado estable y tiempo de establecimiento entre los modelos Zona D

	Modelo Real	Modelo Obtenido en Matlab
Tiempo de establecimiento	18.7 min	19.2 min
Error en estado estable	0 %	0 %

- Zona E



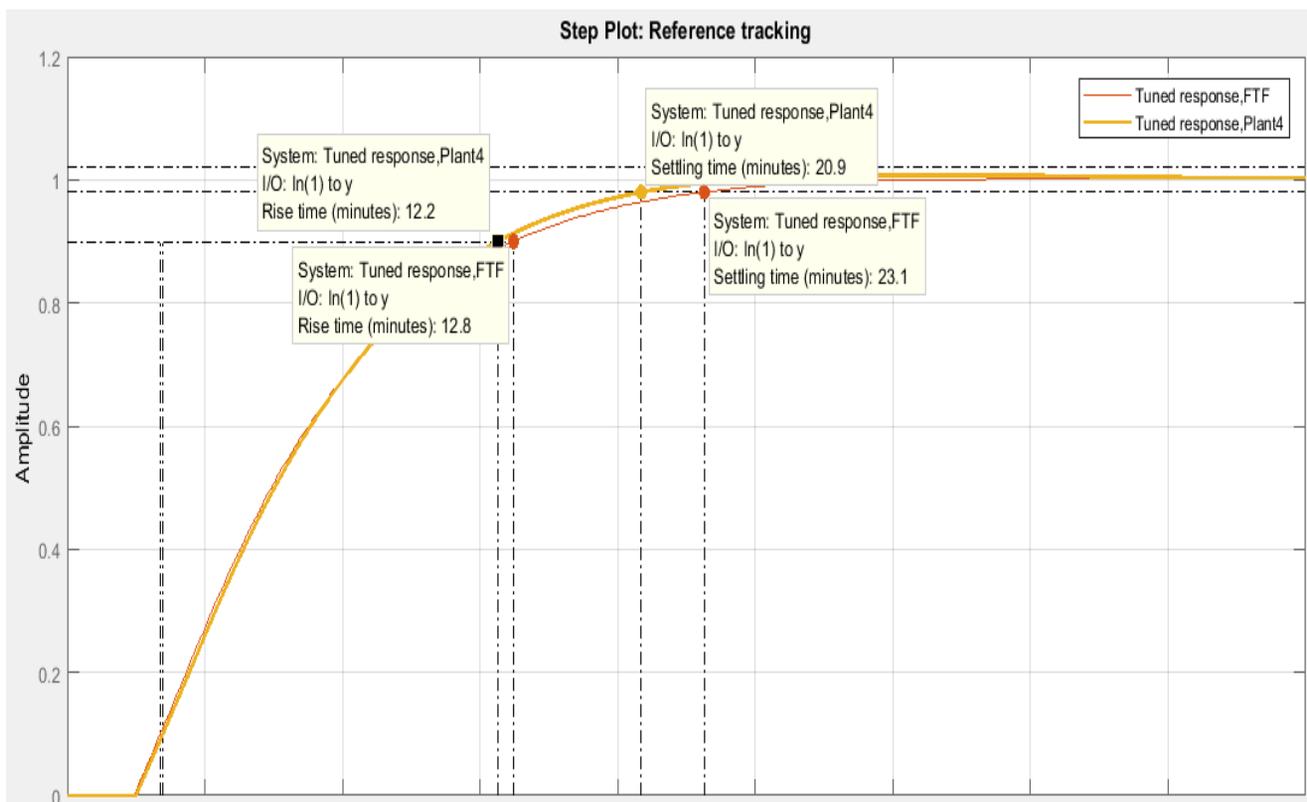
**Figura 51.** Comparación de la respuesta escalón para el modelo real (FTE) y el modelo estimado (Plant3) de la Zona E.

**Tabla 52.**

Comparación de error en estado estable y tiempo de establecimiento entre los modelos Zona E.

	Modelo Real	Modelo Obtenido en Matlab
Tiempo de establecimiento	25.7 min	19.5 min
Error en estado estable	0 %	0 %

- Zona F



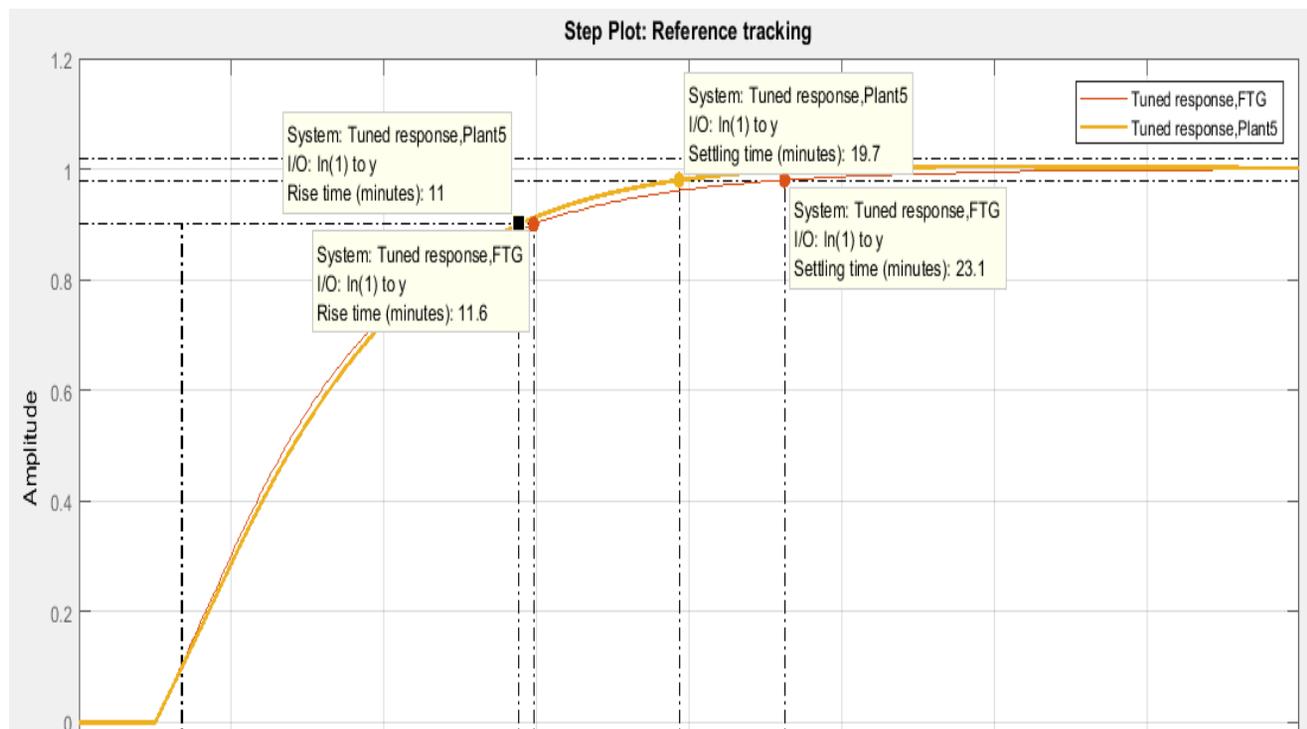
**Figura 52.** Comparación de la respuesta escalón para el modelo real (FTF) y el modelo estimado (Plant4) de la Zona F.

**Tabla 53.**

Comparación de error en estado estable y tiempo de establecimiento entre los modelos Zona F.

	Modelo Real	Modelo Obtenido en Matlab
Tiempo de establecimiento	23.1 min	20.9 min
Error en estado estable	0 %	0 %

- Zona G



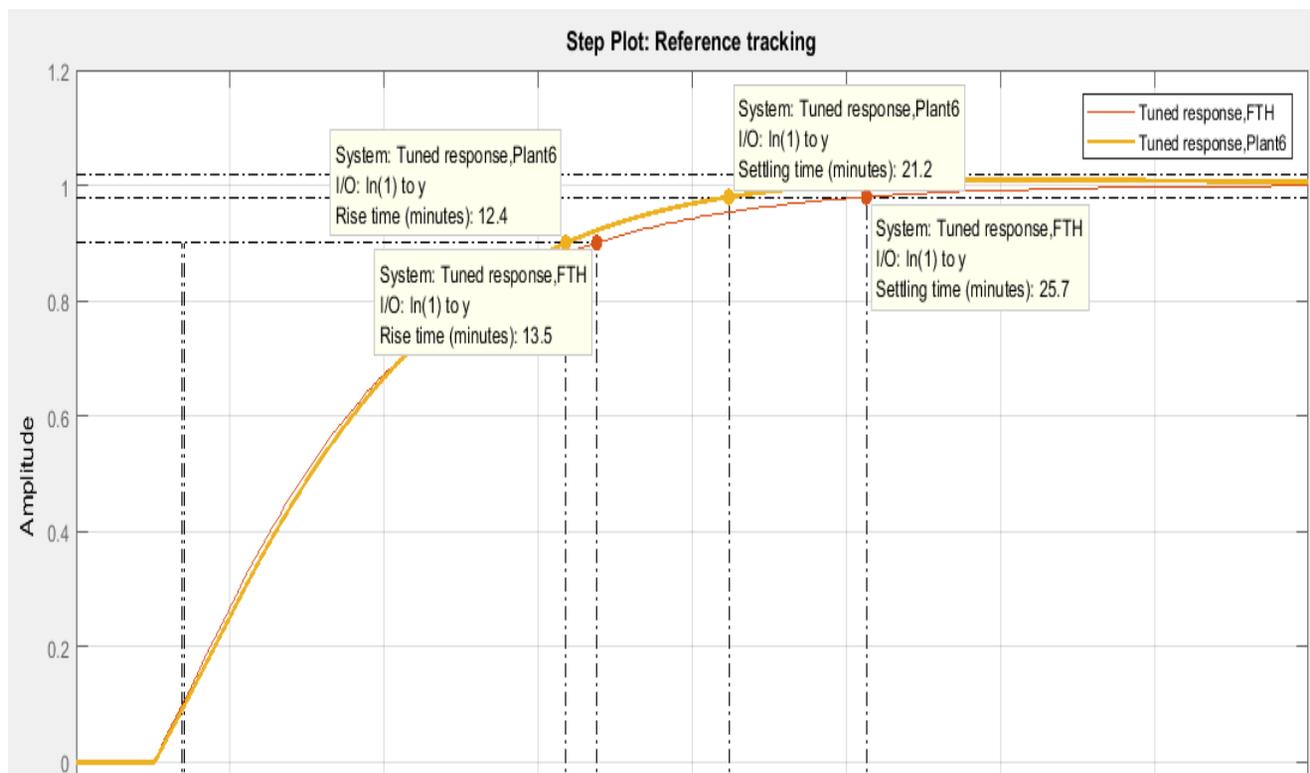
**Figura 53.** Comparación de la respuesta escalón para el modelo real (FTG) y el modelo estimado (Plant5) de la Zona G.

**Tabla 54.**

Comparación de error en estado estable y tiempo de establecimiento entre los modelos Zona G.

	Modelo Real	Modelo Obtenido en Matlab
Tiempo de establecimiento	23.1 min	19.7 min
Error en estado estable	0 %	0 %

- Zona H



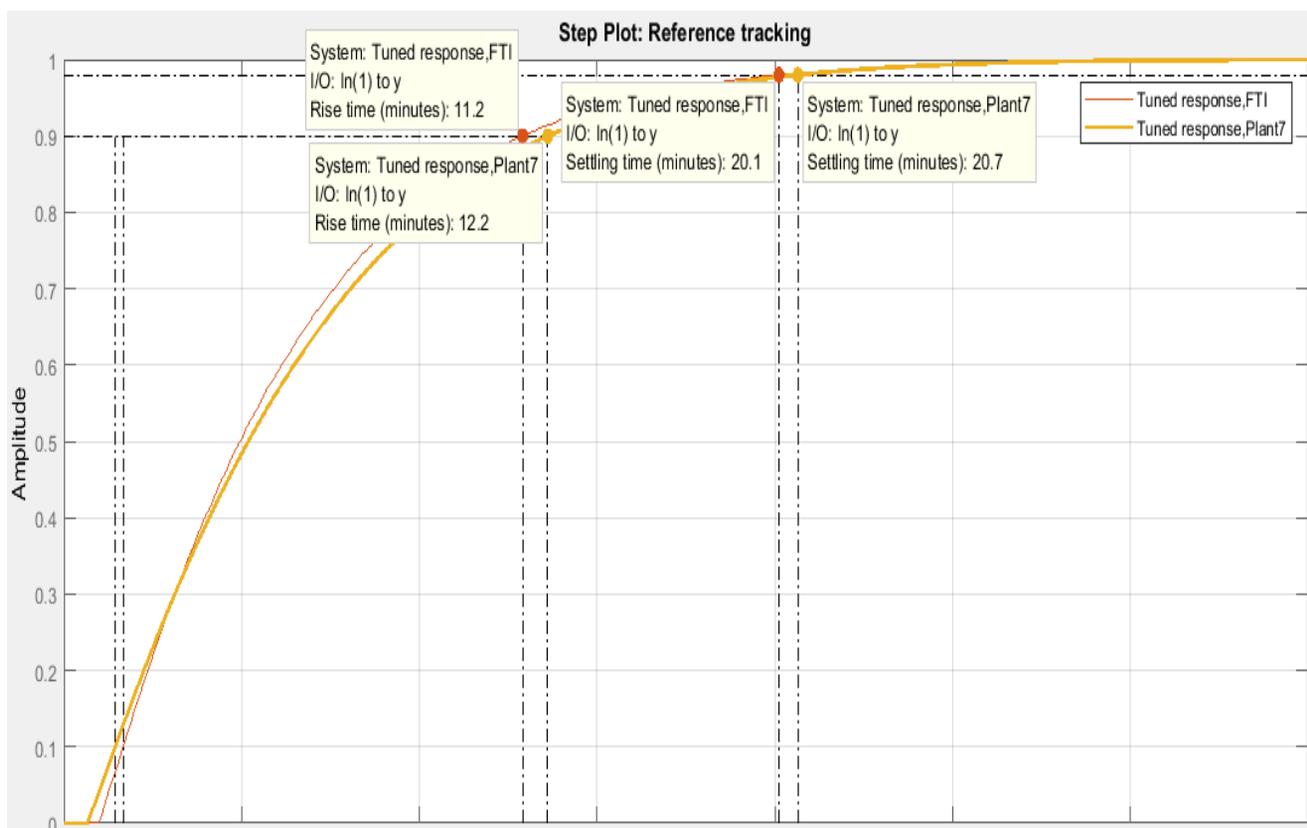
**Figura 54.** Comparación de la respuesta escalón para el modelo real (FTH) y el modelo estimado (Plant6) de la Zona H.

**Tabla 55.**

Comparación de error en estado estable y tiempo de establecimiento entre los modelos Zona H.

	Modelo Real	Modelo Obtenido en Matlab
Tiempo de establecimiento	25.7 min	21.2 min
Error en estado estable	0 %	0 %

- Zona I



**Figura 55.** Comparación de la respuesta escalón para el modelo real (FTI) y el modelo estimado (Plant7) de la Zona I.

**Tabla 56.**

*Comparación de error en estado estable y tiempo de establecimiento entre los modelos Zona I.*

	Modelo Real	Modelo Obtenido en Matlab
Tiempo de establecimiento	20.1 min	20.7 min
Error en estado estable	0 %	0 %

De acuerdo con los resultados obtenidos, se puede observar una optimización muy significativa en el proceso de extrusión del polietileno, si bien, en la zonas C, D e I, el tiempo de establecimiento real es menor al tiempo de establecimiento del modelo obtenido en el Matlab, la diferencia existente entre los resultados son de 0.7 min (42 seg), 0.5 min (30 seg) y 0.6 min (36 seg), es decir, es menor a 1 minutos comparada con la diferencia existente en los tiempos de establecimiento para las zonas E, F, G y H, en las cuales los tiempos para el modelo obtenido es menor al real y cuyas diferencias son de 6.2 min, 2.2 min, 3.4 min y 4.5 min respectivamente. Respecto a los errores en estado estable de cada una de las zonas tanto para el modelo real como para el modelo obtenido en Matlab es de 0%.

Ante lo expuesto anteriormente se logra observar una mejora sustancial en cuanto a velocidad de respuesta del sistema y la temperatura de trabajo a lograr; estas mejoras implican menor tiempo de puesta en marcha del proceso lo que conlleva a aprovechar más la jornada para la cual se tiene previsto producir con la máquina y por consiguiente aumentar el número de envases a producir.

## b) Productividad

Productividad se define a la capacidad para presente para ofrecer más resultados, más ganancias, más dinero, etc.; sin la necesidad de incrementar los capitales implicados. (Carro & Gonzáles, 2016)

La productividad se puede expresar en términos de eficiencia y efectividad como se muestra a continuación:

$$Productividad = efectividad * eficiencia \quad ( 11 )$$

$$Productividad = \frac{Unidades\ producidas}{Unidades\ planificadas} * \frac{Tiempo\ real}{Tiempo\ disponible} \quad ( 12 )$$

Para el análisis se comparará la productividad de una máquina sopladora de una estación es decir produce un envase por ciclo de trabajo y una máquina sopladora de dos estaciones. Los datos que se mencionan a continuación fueron proporcionados por la empresa Inplástico

- Máquina de una estación

Donde:

Unidades producidas = 372 envases por hora

Unidades planificadas = 400 envases por hora

Tiempo real (Horas) = 8.74 horas diarias

Tiempo Disponible (Horas) = 10.29 horas diarias

$$Productividad = \frac{372}{400} * \frac{8.74\ h}{10.29\ h} = 78.99\ %$$

- Máquina de dos estaciones

Donde:

Unidades producidas = 528 envases por hora

Unidades planificadas = 550 envases por hora

Tiempo real (Horas) = 9.26 horas diarias

Tiempo Disponible (Horas) = 10.29 horas diarias

$$Productividad = \frac{528}{550} * \frac{9.26 h}{10.29 h} = 86.39 \%$$

Como se puede observar en base a los cálculos, la productividad que se va a lograr con el funcionamiento de la máquina de dos estaciones en la cual se realizó la automatización equivale al 86.39% y es mayor que la productividad obtenida en una máquina de una sola estación cuyo valor es de 78.99%, es decir existirá un incremento de productividad de 7.4%. De acuerdo a la clasificación establecido por (Alonzo, 2009), se tiene que la productividad obtenida para la máquina de dobles estación se encuentra entre el 85% y el 95% lo que la define como una productividad “Buena”, entra en valores World Class, y representa una Buena Competitividad.

#### 4.19. Análisis Financiero

Con el análisis financiero se tiene como objetivo conocer el tiempo en el cual se recuperará la inversión en el proyecto, a continuación se detallara a profundidad el análisis.

**Tabla 57.**

*Lista de precios de materiales*

N°-	Descripción	Cantidad	Unidad	Valor Unit.	Total
1	Fusibles Siemens D02 63 A aM	3	unidad	10,00	30,00
2	Conductor Electrocables tipo THHW 6 AWG	10	mt	3,50	35,00
3	Guardamotor Siemens 3RV2031-4RA10 S2 70-80 A	1	unidad	258,25	258,25
4	Contactador Siemens 3RT2038-1AG20 S2 80 A AC3	1	unidad	219,69	219,69
5	Fusibles Siemens D02 50 A aM	3	unidad	10,00	30,00
6	Conductor Electrocables tipo THHW 8 AWG	10	mt	2,00	20,00
7	Guardamotor Siemens 3RV2031-4XA10 S2 49-59 A	1	unidad	215,99	215,99
8	Contactador Siemens 3RT2036-1AG20 S2 50 A AC3	1	unidad	137,66	137,66
9	Fusibles Siemens D01 10 A aM	3	unidad	5,50	16,50
10	Conductor Electrocables tipo MTW/TEW 16 AWG	10	mt	1,75	17,50
11	Guardamotor Siemens 3RV2011-1KA10 S00 9-12 A	1	unidad	75,89	75,89
12	Contactador Siemens 3RT2016-1AF01 S00 9 A AC3	1	unidad	27,02	27,02
13	Conductor Electrocables tipo XHHW-2 14 AWG	30	mt	3,00	90,00
14	Interruptor Termo Magnético Siemens 5SL3120-7MB 20 A	3	unidad	6,05	18,15
15	Relé de estado sólido Gefran GTS 25	3	unidad	64,19	192,57
16	Conductor Electrocables tipo XHHW-2 10 AWG	20	mt	2,50	50,00
17	Interruptor Termo Magnético Siemens 5SL3132-7MB 32 A	1	unidad	6,05	6,05
18	Relé de estado sólido Gefran GTS 40	1	unidad	105,00	105,00
19	Conductor Electrocables tipo MTW/TEW 16 AWG	25	mt	1,75	43,75
20	Interruptor Termo Magnético Siemens 5SL3110-7MB 10 A	2	unidad	6,05	12,10
21	Relé de estado sólido Gefran GTS 15	2	unidad	51,86	103,72
22	Conductor Electrocables tipo MTW/TEW 18 AWG	25	mt	1,25	31,25
23	Interruptor Termo Magnético Siemens 5SL3104-7MB 4 A	2	unidad	7,50	15,00
24	Relé de estado sólido Gefran GTS 15	2	unidad	51,86	103,72
25	Interruptor Termo Magnético Siemens 3VM1340-4EE32-0AA0	1	unidad	430,00	430,00
26	Interruptor Termo Magnético Siemens 5SL4104-7RC	1	unidad	8,30	8,30
27	PLC Porcherson PS860BM + MB161/TB161	1	unidad	750,00	750,00
28	Funda Terminales Tipo Pin AWG 12-10	1	unidad	3,00	2,00
29	Funda Terminales Tipo Pin AWG 16-14	1	unidad	2,00	3,00
30	Funda Terminales Tipo Pin AWG 22-18	1	unidad	1,50	1,50
31	Selectores de 2 posiciones Siemens	4	unidad	9,56	38,24
32	Selector de 3 posiciones Siemens	1	unidad	10,00	10,00
33	Relés de Interfaz Phoenix 24 VDC/110 VAC 1 NA/1 NC	3	unidad	5,96	17,88
34	Relés de Interfaz SVB 24 VDC/110 VAC 1 NA	27	unidad	3,00	81,00
35	Sensor Inductivo de proximidad Fotek PS-05N DC10-30V NPN NO	10	unidad	19,19	19,19
				<b>TOTAL</b>	<b>3601.83</b>

#### 4.19.1. Costos de operación

- **Consumo eléctrico**

El consumo se da en base a los 3 motores trifásicos que la maquina posee, a continuación se determinara el costo total del consumo de estos motores.

**Tabla 58.**

*Proyección de costos de consumo eléctrico*

Motores	Potencia	Consumo	Costo Anual
Motor Impulsor del tornillo	30 KW*0.8=24 KW	244.8 KW/h	3524,4
Motor Impulsor de movimientos	18,5 KW	188,7 KW/h	2714,4
Motor Impulsor del Parison	3 KW*0.8=2,4 KW	24.48 KW/h	349,2
TOTAL			6588

- **Mano de Obra**

En base a la información brindada por la empresa el costo de mano de obra anual es de \$ 4954.28

- **Costos administrativos**

Para la producción de la maquina se prevé establecer personal de limpieza del área además de un costo de mantenimiento de la máquina, el cual es de \$600,00

- **Ingreso anual**

La máquina producirá envases de 1000 cc los cuales tienen un valor de 8 centavos de dólar. Se espera producir 550 envases por hora, con estos datos a continuación es determina el ingreso anual debido a las ventas del producto.

$$\text{Envases diarios: } 550 \frac{\text{envases}}{\text{hora}} * 10.2 \text{ horas} = 5610 \text{ envases}$$

$$\text{Envases mensuales: } 5610 \frac{\text{envases}}{\text{dia}} * 30 \text{ dias} = 168300 \text{ envases}$$

$$\text{Envases anuales: } 168300 \frac{\text{envases}}{\text{mes}} * 12 \text{ meses} = 2019600 \text{ envases}$$

$$\text{Ingreso anual: } 2019600 \text{ envases} * 0.08 = \$ 161.568$$

- **Costo de materia prima**

**Tabla 59.**

*Proyección de consumo de materia prima*

<b>COSTO ANUAL DE POLIETILÉNO GRANULADO</b>		
<b>Cantidad</b>	<b>Tiempo de consumo</b>	<b>Precio</b>
275 Kg	10.2 horas	\$ 412,50
	30 días	\$ 12375,00
	1 año	\$ 161568,00

#### 4.19.2. Flujos de caja

A continuación en una Hoja de Excel se presentaran los flujos obtenidos así como también el VPN y el TIR.

**Tabla 60.**

*Proyección de flujo de caja para 5 años VPN y TIR*

RUBROS	AÑOS					
	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Inversión	3215,92					
Materia prima		148500	148500	148500	148500	148500
Mano de obra		4954,28	4954,28	4954,28	4954,28	4954,28
Consumo eléctrico		6588	6588	6588	6588	6588
Costos Administrativos		600	600	600	600	600
Ingresos		161568	163183,68	164815,51	166463,66	168128,29
Flujo de Caja	<b>-(3215,92)</b>	<b>925,72</b>	<b>2541,4</b>	<b>4173,23</b>	<b>5821,38</b>	<b>7486,01</b>
<b>VPN</b>	<b>\$ 7.692,83</b>					
<b>TIR</b>	<b>75%</b>					

#### 4.19.3. Valor Presente Neto (VPN)

Es muy conocido a la hora de evaluar proyectos de inversión a largo plazo. Es el valor presente neto de los flujos de caja proyectadas para todos los años durante el periodo de

evaluación del proyecto, son las ganancias con un valor positivo si el saldo entre ingresos y egresos es favorable, caso contrario el valor será negativo. (Guishcasho & Pilamonta, 2013)

$$VPN = -k_0 + \sum_{i=1}^n \frac{fc_i}{(1+D)^i}$$

Donde:

$k_0$  = Inversión

$fc_i$  = Flujo de caja del año i

D = Tasa de descuento real utilizada

i = Numero de periodos de vida de proyecto

Para determinar el VPN se utiliza la hoja de cálculo de Excel en la cual se puede apreciar (Tabla 60), el valor presente neto es de \$7692,83, lo cual nos indica que el proyecto es factible ejecutarlo ya que ese valor representa la ganancia que generara.

- **Tasa Mínima Aceptable de Retorno (TMAR)**

La tasa mínima aceptable de retorno, es un límite inferior para la aceptación de la inversión establecida por las organizaciones o personas, la tasa fue tomada en base al riesgo país, inflación y tasa de interés pasiva, en todas las anteriores se debe utilizar el valor anual. (Riggs, Bedworth, & Randhawa, 2008)

$$TMAR = \%tasa\ de\ interes\ del\ país + \%riesgo\ país + \%inflación$$

$$TMAR = (6.17 + 10.23 + 0.27)\%$$

$$TMAR = 16.67\%$$

#### 4.19.4. Tasa Interna de Retorno (TIR)

La TIR es el método de tasa de retorno mejor conocido y más utilizado. También se le conoce como el método de tasa de retorno verdadera y el método de flujo de efectivo descontado. Es la estimación de los flujos de caja que tenga la empresa (simplificando, ingresos menos gastos netos). (Guishcasho & Pilamonta, 2013)

Se define como aquella tasa de descuento que reduce a cero el valor presente neto. La TIR representa el porcentaje máximo de ganancia que se aspira obtener. Analíticamente se determina:

$$0 = -k_0 + \sum_{i=1}^n \frac{f c_i}{(1 + D)^i}$$

En base a los resultados obtenidos en la hoja de cálculo de Excel se puede observar que el TIR resultante es del 75% lo cual representa un porcentaje máximo de ganancias que se desea obtener en las mejores condiciones. El TIR es mayor que el TMAR por lo cual el proyecto es considerado fiable.

- **Período Real de Recuperación de la Inversión (PRI)**

Debido a que la ganancia del primer año es mayor que la inversión, se puede realizar el cálculo que indica en cuanto tiempo se recupera la inversión:

$$\text{Recuperacion} = \frac{\text{Inversión}}{\text{Ganancia}}$$

$$\text{Recuperacion} = \frac{3215,92}{925,72}$$

$$\text{Recuperacion} = 3.47 * 12 = 41.64 \text{ meses}$$

En base al flujo de caja proyectado con anterioridad se puede concluir que la empresa Naranjo Hernández recuperará su inversión inicial en un periodo de **“3 años 5 meses”**

- **Relación Beneficio – Costo (B/C)**

Se determina como la relación entre el valor presente neto de los beneficios VPNB y el valor presente neto de los costos VPNC. (Acosta & Iza, 2013)

En la determinación del VPNC hay que sumar al valor de los costos anuales descontados, el valor de la inversión inicial sin descontar, como se muestra a continuación:

$$R^{C/B} = \frac{VPNB}{VPNC}$$

$$R^{C/B} = \frac{20947,74}{3215,92} = \mathbf{6.51}$$

La relación beneficio costo obtenida es mayor a 1 por consiguiente la ejecución del proyecto es fiable, es decir que por cada dólar invertido en el proyecto se recupera 6,51 dólares de ingreso.

A continuación en la Tabla 61, se muestran los valores límites para que un determinado proyecto sea viable.

**Tabla 61.**

*Rangos de valores para el proyecto. (Van Homes)*

<b>TECNICA DE EVALUACIÓN</b>	<b>RANGO</b>
VPN, \$	VPN>0
TIR, %	TIR>TMAR
PRI, años	PRI<n
R B/C	RBC>1

En la Tabla 62 se muestran los valores resultantes en el análisis financiero realizado para el proyecto, concluyendo que es económicamente factible.

**Tabla 62.**

*Valores obtenidos en el análisis financiero.*

<b>TECNICA DE EVALUACIÓN</b>	<b>RANGO</b>
VPN, \$	7692,83 > 0
TIR, %	75% > 16.67%
PRI, años	3 años 5 meses < 5 años
R B/C	6.51 > 1

#### **4.19.5. Interpretación Financiera**

El Valor Presente Neto (VPN) obtenido es de \$7692,83 permitiendo de tal manera tener un criterio de decisión positivo, lo que justifica la factibilidad del proyecto; además de esto tenemos un TIR del 75% superando el valor del TMAR=16.67% de la inversión confirmando la conclusión antes mencionada.

El periodo de recuperación resultante es de 3 años y 5 meses, un tiempo menor al cual se proyectó el análisis, significando una recuperación a corto plazo, con esto se tiene un alto beneficio para la empresa Inplástico lo cual estimula al desarrollo de nuevos proyectos parecidos al descrito en este trabajo.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### Conclusiones

- La automatización de la maquina sopladora de polietileno de doble estación por medio del uso de un PLC y un panel de operador cumplió con los requerimientos planteados por la empresa “INPLASTICO”.
- Con el rediseño del sistema eléctrico se logró reducir la cantidad de equipos presentes en el tablero de control y a su vez tener el funcionamiento operacional adecuado para la producción de envases.
- Se elaboró los planos eléctricos correspondientes al rediseño del sistema eléctrico, lo cuales fueron entregados a la empresa “INPLASTICO” en el caso de que la maquina quede fuera de servicio temporalmente en un futuro.
- Los modelos matemáticos obtenidos mediante el software Matlab obtuvieron un error relativo aceptable para cada una de las zonas de temperatura permitiendo así su utilización para el estudio de comportamiento del sistema establecido en este trabajo.
- Con el modelamiento matemático se logró obtener información del comportamiento del sistema de temperaturas por zonas las cuales conforman el proceso de extrusión de la maquina sopladora de polietileno.
- Se obtuvo una mejora en la velocidad de respuesta del sistema en las zonas E, F, G y H del 24,12%, 9,52%, 14,71% y 17,50% respectivamente, mientras que para las zonas

C,D e I se obtuvieron respuestas más lentas con el modelo aproximado, estas respuestas son más lentas en un 3,98%, 2,67% y 2,98% respectivamente.

- Con la implementación del proyecto se logró obtener un aumento en la cantidad de envases a producir respecto a una máquina de una sola estación correspondiente a 550 envases/hora, así mismo el índice de productividad resultante es de 86,39% resultando en un aumento del 7,4% la productividad.

### **Recomendaciones**

- Previo a la puesta en marcha de los sistemas implementados verificar que cada equipo y componente que conforman estos sistemas se encuentren dentro de los parámetros establecidos, esto se puede hacer mediante una prueba manual de cada elemento para asegurar su correcto funcionamiento.
- Conocer el funcionamiento básico de una maquina sopladora industrial antes de realizar cualquier trabajo sobre ella para de esta manera realizar un trabajo acorde a los requerimientos establecidos.
- Capacitar tanto a operadores como personal del área de mantenimiento que se vayan a involucrar con la operación de la máquina, con el objetivo de asegurar una correcta operación y un mantenimiento acorde a la frecuencia de uso y a la duración de la jornada a la que se tenga previsto hacer funcionar a la máquina.
- Se recomienda tener un conocimiento acerca de seguridad industrial para llevar a cabo las correspondientes precauciones cuando se trabaja en un ambiente industrial ya que pueden suscitarse riesgos durante el proceso de producción.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, D., & Iza, O. (2013). *Automatización de una sopladora de polietileno marca MAGIC MP MODELO MGL5 ND de la empresa N.S. Industrias, para optimizar los procesos, y reducir tiempos de producción*. Latacunga: Universidad de las Fuerzas ESPE Extensión Latacunga.
- Albuerne. (17 de febrero de 2008). *Departamento de Tecnología IES La Eria*. Obtenido de Departamento de Tecnología IES La Eria Recuperado el 16 de Junio de 2019 de <http://boj.pntic.mec.es>
- Alfaro, V. (2006). Identificación de modelos de orden reducido a partir de la curva de reacción del proceso. *Ciencia y Tecnología*, 199.
- Alonzo, H. (2009). UNA HERRAMIENTA DE MEJORA, EL OEE (EFECTIVIDAD GLOBAL DEL EQUIPO). *Contribuciones a la Economía*, 7. Obtenido de EUMED.
- Alvarez, C. (2014). *Repotenciación de una máquina extrusora sopladora e implementación de un sistema de supervisión de forma local mediante una interface grafica HMI y de forma remota vía internet, para la empresa NS Industrias de la ciudad de Latacunga*. Latacunga.
- Balakrishnan, P., & Ravi, S. (2010). Temperature Response Control of Plastic Extrusion Plant Using Matlab/Simulink. *International J. of Recent Trends in Engineering and Technology*, 135-136.
- Carro, R., & Gonzáles, D. (2016). *Productividad y Competitividad*. Mar del Plata: Universidad Nacional de Mar del Plata.
- Cornish, M. (1997). *El ABC de los plásticos*. Universidad Iberoamericana.

- Crespo, M., & Pendino, C. (2015). *Introducción al modelado de sistemas físicos*. Rosario: Universidad Nacional de Rosario.
- Creus, A. (2010). *Neumática e Hidráulica*. Barcelona: Marcombo.
- Díaz, I., Cuadrado, A., Díez, A., & Ojea, G. (2005). *Modelado Visual de Procesos Industriales*. Oviedo: Universidad de Oviedo.
- Flórez, L. (2011). *Señales y sistemas: una aproximación al laboratorio*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Groot, M., Giannopapa, C., & Mattheij, R. (2011). *Modelling stretch blow moulding of polymer containers using level set methods*. Eindhoven.
- Guishcasho, W., & Pilamonta, E. (2013). *CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE DE ENVASES PLÁSTICOS DE POLIETILENO FABRICADOS EN LA EMPRESA "INPLÁSTICO NARANJO HERNÁNDEZ"*. Latacunga.
- Hyde, J., Cuspinera, A., & Regué, J. (1997). *Control Electroneumático y Electrónico*. Barcelona: Marcombo.
- Instituto Mexicano del Plástico Industrial. (1997). *El mundo de los plásticos*. México, D.F.: Instituto Mexicano del Plástico Industrial.
- Jami, E., & Toapanta, L. (2019). *REDISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA MECÁNICO, HIDRÁULICO Y ELÉCTRICO DE UNA PRENSA MARCA INMES DE 100 TONELADAS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE UN PLC Y UNA INTERFAZ DE COMUNICACIÓN HMI PARA LA FABRICACIÓN DE ELEMENTOS DE CONTENEDORES*. Latacunga.
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. (2002). *Manufactura, ingeniería y tecnología*. México, D.F.: Pearson Education.

- Kuo, B. (1996). *Sistemas de control automatico*. Mexico, D.F.: Pearson Educacion.
- Lesur, L. (2011). *Manual de moldeo de plásticos*. México, D.F.: Trillas S.A.
- Mayorga, E., & Padilla, F. (2011). *Automatizacion para el proceso de la maquina sopladora de envases plasticos de la empresa NS Industrias*. Latacunga.
- Mink, W. (2004). *El plástico en la industria*. México D.F.: Ediciones G. Gili, S.A. de C.V.
- Moran, M., & Shapiro, H. (2004). *Fundamentos de Termodinámica Técnica*. Zaragoza: Reverte.
- Ogata, K. (2010). *Ingeniería de control moderna*. Madrid: Pearson Educación S.A.
- Ortiz, M. (2015). *Sistemas dinámicos en tiempo continuo: Modelado y simulación*. México, D.F.: OmniaScience.
- Oviedo. (2015). *Problemas de identificación de parámetros y al análisis de incertidumbres*. Oviedo: Universidad de Oviedo.
- Riggs, J., Bedworth, D., & Randhawa, S. (2008). *Ingeniería Económica*. New York: McGraw Hill.
- Robayo, B., & Rodríguez, P. (2018). *Automatizacion del sistema de enfriamiento de las matrices de las sopladoras de plástico y modelación de una matriz en CFD; con la finalidad de mejorar los indices de productividad en la empresa Inplástico*. Latacunga.
- Sánchez, J. (2003). *Control Avanzado de Procesos: Teoría y Práctica*. Madrid: Díaz de Santos S.A.
- SIEMENS. (2008). *Manual del sistema de automatización S7-200*. Nuremberg: SIEMENS. Obtenido de SIEMENS.
- Van Homes, J. (s.f.). *Administración Financiera*. México D.F: Prentise Hall Hispanoamérica.

Automatización Industrial. (7 de septiembre de 2010). *industrial-automática*. Recuperado el 9 de Junio de 2019, de <http://industrial-automatica.blogspot.com/2010/09/valvulas-de-bloqueo.html>

FESTO. (7 de junio de 2019). *slideshare*. Recuperado el 9 de Enero de 2019, de <https://es.slideshare.net/ronaldxz/electroneumatica-46751984>

Ingenioempresa. (27 de agosto de 2019). *Ingenioempresa*. Obtenido de Ingenioempresa: <https://ingenioempresa.com/productividad/>

Melgarejo De Gante, J. (26 de octubre de 2014). *slideshare*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/jmelgarejodegante/automatizacin-industrial-40745782>

Perez, J. M. (2013). *Autómatas y Control*.

Siemens. (1 de enero de 2019). *IndustryMall*. Recuperado el 6 de Agosto de 2019, de <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/es/Catalog/Product/6EP3332-6SB00-0AY0>

# ANEXOS



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

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

**CERTIFICACIÓN**

Se certifica que el presente trabajo fue realizado por los señores: **PACHI AIMACAÑA ADRIÁN DAVID** y **SOLÓRZANO RAMÍREZ SANTIAGO CAMILO**.

En la ciudad de Latacunga a los 17 días del mes de diciembre de 2019.

Aprobado por:

Ing. Wilson Sánchez

**DIRECTOR DEL PROYECTO**

Ing. Freddy Salazar

**DIRECTOR DE CARRERA**

Dr. Rodrigo Vaca

**SECRETARIO ACADÉMICO**

