



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **PROPUESTA PARA AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL ESTADÍSTICO DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN DE POLIPROPILENO EN LA PLANTA DE PRODUCCIÓN INDUCUERDAS**

**VILMA PAULINA PERALTA ORTIZ**

**Trabajo de Titulación modalidad: Proyectos de Investigación y Desarrollo,  
presentado ante el Instituto de Postgrado y Educación Continua de la ESPOCH,  
como requisito parcial para la obtención del grado de:**

**MAGÍSTER EN SISTEMAS DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN  
INDUSTRIAL**

**Riobamba - Ecuador**

Noviembre 2017



## ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

### CERTIFICACIÓN:

EL TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Titulación modalidad de Proyectos de Investigación y Desarrollo, denominado: “PROPUESTA PARA AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL ESTADÍSTICO DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN DE POLIPROPILENO EN LA PLANTA DE PRODUCCIÓN INDUCUERDAS”, de responsabilidad de la Ing. Vilma Paulina Peralta Ortiz ha sido minuciosamente revisado y se autoriza su presentación.

Dr. Fredy Bladimir Proaño Ortiz; Ph.D.

**PRESIDENTE**

\_\_\_\_\_

FIRMA

Ing. Félix Vladimir Bonilla Venegas; M.Sc.

**TUTOR**

\_\_\_\_\_

FIRMA

Ing. Luis Armando Hidalgo Aguilera; M.Sc.

**MIEMBRO**

\_\_\_\_\_

FIRMA

Ing. Aníbal Rubén Mantilla Guerra; M.Sc.

**MIEMBRO**

\_\_\_\_\_

FIRMA

Riobamba, septiembre 2017

## **DERECHOS INTELECTUALES**

Yo, Vilma Paulina Peralta Ortiz, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas, resultados y propuestas expuestos en este Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, y que el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

**VILMA PAULINA PERALTA ORTIZ**

CC: 160046694-8

2016, Vilma Paulina Peralta Ortiz

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos por cualquier medio o procedimiento incluyendo la cita bibliográfica del documento siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

VILMA PAULINA PERALTA ORTIZ

CC: 160046694-8

## DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Vilma Paulina Peralta Ortiz, declaro que el presente Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación, es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación de Maestría.

Riobamba, 2017.

VILMA PAULINA PERALTA ORTIZ

CC: 160046694-8

## DEDICATORIA

*Este trabajo está dedicado a:*

*Mis Padres  
Esposo  
Mis Hijas  
Magali.*

*Paulina*

## AGRADECIMIENTO

*Mi agradecimiento sincero a los Ingenieros:  
Vladimir Bonilla, Armando Hidalgo y Rubén Mantilla  
por su apoyo y tiempo dedicado a este trabajo.*

Paulina

## CONTENIDO

CERTIFICACIÓN:.....	ii
DERECHOS INTELECTUALES .....	iii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD .....	v
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTO .....	vii
LISTA DE TABLAS .....	xi
LISTA DE FIGURAS.....	xii
LISTA DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN .....	xv
ABSTRACT.....	
<b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Situación problemática.....	2
1.2 Formulación del problema .....	4
1.3 Preguntas directrices o específicas .....	5
1.4 Justificación de la investigación.....	5
1.5 Objetivo general de la investigación .....	6
1.5.1 <i>Objetivos específicos de la investigación</i> .....	7
1.6 Hipótesis.....	7
1.7 Identificación de variables .....	7
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>8</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>8</b>
2.1 Antecedentes .....	8
2.2 Automatización del proceso de extrusión .....	10
2.2.1 <i>Cedal (Corporación Ecuatoriana de Aluminio)</i> .....	10
2.2.2 <i>Icoplast</i> .....	11
2.2.3 <i>Plásticos del litoral</i> .....	12
2.3 Análisis del capítulo .....	13
2.4 Consideraciones para la propuesta .....	14
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>16</b>
<b>3. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>16</b>



3.1	Observación.....	17
3.1.1	<i>Proceso de producción</i> .....	17
3.1.2	<i>Control del sistema de extrusión.</i> .....	22
3.1.2.1	Sistema de control de temperatura.....	22
3.1.2.2	Diagrama eléctrico de potencia. ....	26
3.2	Registro .....	29
3.3	Contrastación.....	31
3.4	Establecimiento del alcance del proyecto .....	31
3.4.1	<i>Criterios de diseño.</i> .....	31
3.5	Unidad de análisis. ....	43
3.6	Selección de la muestra .....	43
3.7	Tamaño de la muestra .....	43
<b>CAPÍTULO IV .....</b>		<b>44</b>
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>44</b>
4.1	Evaluación de la situación del proceso de producción.....	44
4.2	Evaluación de las variables del proceso de producción .....	45
4.3	Mejoras obtenidas .....	47
4.3.1	<i>Reducción de costos por repuestos</i> .....	47
4.3.2	<i>Reducción de costos por energía eléctrica</i> .....	48
4.3.3	<i>Reducción de costos por pérdida de materia prima</i> .....	48
4.3.4	<i>Resumen de mejoras</i> .....	50
4.4	Controlador y software requerido para el proceso .....	50
4.5	Presupuesto de la automatización de acuerdo al diseño.....	52
4.6	Criterio de validación .....	54
4.6.1	<i>Análisis costo beneficio</i> .....	54
<b>CAPÍTULO V .....</b>		<b>56</b>
<b>5.</b>	<b>PROPUESTA .....</b>	<b>56</b>
5.1	Diseño del sistema automatizado. ....	57
5.2	Simulación del proceso de extrusión.....	59
5.3	Control estadístico del proceso de extrusión.....	65
5.3.1	<i>Personal técnico</i> .....	67
5.3.2	<i>Personal gerencial</i> .....	69
<b>CONCLUSIONES .....</b>		<b>71</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>		<b>72</b>

<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>73</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>75</b>

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1-2	Importaciones de polipropileno del Ecuador en dólares. ....	9
Tabla 2-2	Criterios de Selección.....	13
Tabla 1-3	Set point requerido en el sistema de calentamiento material 1A.....	32
Tabla 2-3	Set point requerido en el sistema de calentamiento material 1B.....	33
Tabla 3-3	Lista de señales de control.....	41
Tabla 1-4	Costo de producción: materiales directos.....	44
Tabla 2-4	Costo de producción: materiales indirectos.....	44
Tabla 3-4	Resumen: Costo de producción actual .....	45
Tabla 4-4	Detalle del consumo de energía de la máquina extrusora, breaker 1. ....	46
Tabla 5-4	Detalle del consumo de las niuelinas, breaker 2. ....	46
Tabla 6-4	Tabla resumen de mejoras mensuales a obtener.....	50
Tabla 7-4	Presupuesto de la implementación .....	52

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1	Ubicación geográfica Inducuerdas.....	1
Figura 2-1	Maquinaria a ser automatizada .....	3
Figura 3-1	Conformado y Rafia obtenida .....	4
Figura 1-3	Esquema de la metodología .....	16
Figura 2-3	Zonas de extrusión y evolución de la presión a lo largo de las mismas. ...	18
Figura 3-3	Tanque de enfriamiento .....	19
Figura 1-3	Tolva .....	20
Figura 2-3	Barril o cañón.....	20
Figura 3-3	Husillo.....	21
Figura 4-3	Cabezal y boquilla.....	21
Figura 5-3	Controladores de temperatura .....	22
Figura 6-3	Imagen termográfica secciones del tornillo .....	23
Figura 7-3	Tableros de potencia .....	24
Figura 8-3	Variador de frecuencia.....	25
Figura 9-3	Diagrama eléctrico de control de temperatura .....	26
Figura 10-3	Diagrama eléctrico de potencia de niquelinas.....	26
Figura 11-3	Diagrama eléctrico de potencia de niquelinas.....	27
Figura 12-3	Diagrama de proceso actual de obtención de rafia obtenida.....	28
Figura 17-3	Cámara termográfica Fluke TI 400 .....	30
Figura 12-3	Pantalla inicial de selección .....	32
Figura 15-3	Diagrama de bloques del proceso de extrusión.....	37
Figura 16-3	Diagrama de bloques del proceso de extrusión.....	38
Figura 17-3	Diagrama de entradas analógicas termocuplas .....	39
Figura 18-3	Diagrama de salidas digitales.....	40
Figura 1-5	Variador de frecuencia general Fuji Electric .....	56
Figura 2-5	Motor trifásico Lery Somer.....	57
Figura 3-5	Pantalla de Inicio.....	59
Figura 4-5	Pantalla de acceso por usuario .....	60
Figura 5-5	Pantalla de selección del tipo de material .....	61
Figura 6-5	Pantalla de selección del tipo de material .....	61
Figura 7-5	Pantalla de selección del tipo de material .....	62
Figura 8-5	Pantalla PROCESO .....	63

Figura 9-5	Panel view local .....	63
Figura 10-5	Pantalla alarmas .....	64
Figura 11-5	Pantalla mantenimiento.....	64
Figura 12-5	Pantalla de tendencias .....	66
Figura 13-5	Tipos de gráficos de control.....	68

## LISTA DE ANEXOS

<b>Anexo A.</b>	Arquitectura de automatización con SIEMENS .....	75
<b>Anexo B.</b>	Arquitectura proceso de automatización con Allen Bradley.....	76
<b>Anexo C.</b>	Características módulo GSM de SIEMENS .....	77
<b>Anexo D.</b>	Características de los módulos de entradas analógicas.....	78
<b>Anexo E.</b>	Características panel view TP9000 .....	79
<b>Anexo F.</b>	Direccionamiento de historiales de las variables.....	80
<b>Anexo G.</b>	Pantalla PLCSIM para ingresar temperaturas.....	81
<b>Anexo H.</b>	Programa control de producto.....	82
<b>Anexo I.</b>	Programación de Alarmas .....	83
<b>Anexo J.</b>	Programación envío de Email.....	84
<b>Anexo K.</b>	Programación de medidor de energía .....	85
<b>Anexo L.</b>	Programación de salidas.....	86
<b>Anexo M.</b>	Programación de envío de SMS .....	87
<b>Anexo N.</b>	Programa linealizar entradas y salidas .....	88

**ABSTRACT**..... ¡Error! Marcador no definido.

## **RESUMEN**

El objetivo fue diseñar y proponer una alternativa para el control del proceso y la automatización de extrusión de polipropileno, que permita reducir las pérdidas de producción y mejorar el consumo energético en la fábrica Inducuerdas, de la ciudad de Riobamba, cantón Guano, provincia de Chimborazo, se planteó la automatización integral del proceso de extrusión de polipropileno con la finalidad de reducir los costos de producción que actualmente se manejan en la planta y mejorar el consumo energético en el proceso de producción. Para el desarrollo del proceso se establecieron estudios en la planta en la que se registró las variables intervinientes y se analizó las posibles alternativas de mejora. Se plantearon alternativas eficientes que redujeron en un 24% el consumo de energía eléctrica y se redujo en un 18% las pérdidas por desperdicios de materia prima durante el proceso de extrusión, por medio de aplicación del software industrial se evidencio las mejoras planteadas en función al estudio realizado. Con la implementación de este proyecto los directivos de la empresa dispondrán de una herramienta para control y monitoreo en tiempo real de su proceso y estarán todo el tiempo comunicados con el estado y condición de la planta, el sistema está en la capacidad de enviar mensajes de texto alertando de forma inmediata para que se puedan tomar las acciones correctivas necesarias, se puede concluir que la implementación de este proyecto constituye una herramienta importante para la toma de decisiones relacionadas con el proceso productivo de la planta y su inversión se recupera en un plazo no mayor de seis meses.

**PALABRAS CLAVE:** <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <CONTROL AUTOMÁTICO>, <EXTRUSIÓN>, <AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS>, <MONITOREO>, <CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)>, <SIMULACIÓN>

## **ABSTRACT**

The objective was to design and propose an alternative for the control of the process and the automation of polypropylene extrusion, to reduce production losses and improve energy consumption in the factory Inducuerdas, in the city of Riobamba, Canton Guano, Province of Chimborazo, was considered the integral automation of the process of extrusion of polypropylene in order to reduce the production costs that are currently managed in the plant and improve the energy consumption in the production process. For the development of the process, studies were established in the plant which the variables were recorded and the possible alternatives for improvement were analyzed. We raised efficient alternatives that reduced the consumption of electricity by 24% and reduced by 18% the loss of raw material waste during the extrusion process, through the application of the industrial software was the improvements Raised according to the study carried out. With the implementation of this project the executives of the company will have a tool for control and monitoring in real time of its process and will be all the time communicated with the State and condition of the plant, the system is in the capacity to send Text messages alerting immediately so that the necessary corrective actions can be taken, it can be concluded that the implementation of this project is an important tool for making decisions related to the process Production of the plant and its investment is recovered within a period of not more than six months.

**Keywords:** Technology and engineering Sciences, automatic control, extrusion, process automation, monitoring, Programmable logic controller (PLC), simulation.



# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

Inducuerdas Cia. Ltda, se encuentra ubicada en el kilómetro cinco (5) de la Panamericana Riobamba–Guano sector de Langos San Alfonso perteneciente al cantón Guano, de la provincia de Chimborazo, como se muestra en la Figura 1-1.

Su actividad productiva se basa en la producción de cuerdas, eslingas, cabos y reatas a partir de la transformación de polipropileno, materia prima que en su fase inicial de la cadena productiva se somete a un proceso de extrusión que consiste en la fusión de dicho material, para obtener muy alta cristalinidad a una fibra, la temperatura de fusión debe ser superior a 200°C, de tal forma que pueda mantener su integridad física (Textos científicos, 2016).

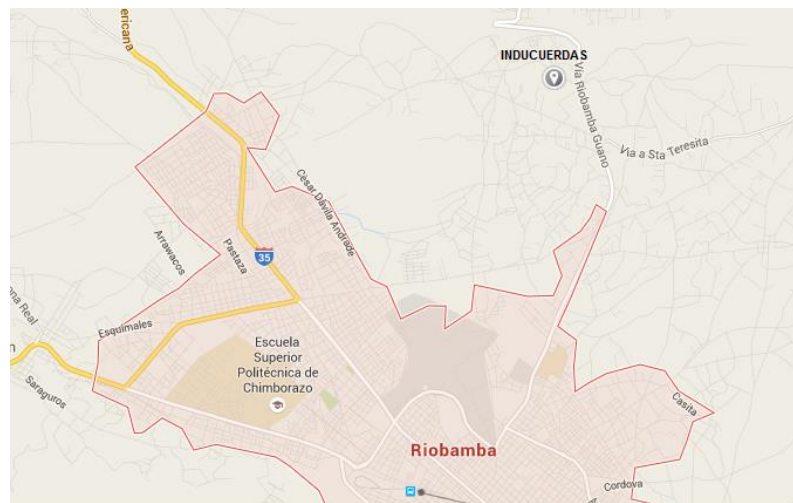


Figura 1-1 Ubicación geográfica Inducuerdas.

Fuente: <https://maps.google.com.ec>, 2016

El proceso de extrusión, proviene del término latín “extrude” que significa extruir. Lo cual es forzar un material termoplástico a través de un molde bajo la acción de la temperatura que funde al polímero, el material es arrastrado por un tornillo sin fin al molde plano y finalmente es enfriado por un baño de agua.

De esta manera se obtiene el material en forma de lámina que posteriormente es cortado y bobinado para ser usado como materia prima.

Los procesos industriales requieren de Control y Automatización para fortalecer sus procesos de elaboración de los productos, para ello es necesario el mantener controladas algunas magnitudes que se encuentran inmersas en el proceso como son: temperatura, presión, velocidad, humedad, nivel, etc.

Un controlador por si solo es inútil sin los instrumentos de medición adecuados, cuando se logra vincular estos dos elementos, se realiza un control eficiente sobre los actuadores de acuerdo a las condiciones ideales que requiere el proceso y se obtiene un producto final de calidad.

Además del control automatizado del proceso, es necesario también contar con herramientas de monitoreo y registro que permita realizar el análisis estadístico del proceso y tomar decisiones oportunas y acertadas según las necesidades de la planta.

Por medio de la medición y registro de variables se puede llevar un mejor control de los consumos energéticos y valorar la eficiencia energética de la planta de producción.

## **1.1 Situación problemática**

En los últimos años se ha evidenciado un decrecimiento considerable en la eficiencia y el rendimiento de la máquina extrusadora ocasionando pérdidas de producción y tiempo en el proceso productivo, lo cual representa importantes pérdidas económicas para la empresa.

Debido al trabajo fundamental que realiza la máquina de extrusión dentro del proceso de producción de la fábrica Inducuerdas y con el fin de mitigar estas pérdidas se recurre a la utilización de técnicas manuales y empíricas para el control de la temperatura, puesto que esta maquinaria requiere en su proceso diferentes niveles de temperaturas durante el avance del material a través del tornillo.

El sistema de control actual es independiente para cada sección de calefacción y depende de la información emitida por los elementos captadores que se encuentran aislados por sección, evidenciando representando un desperdicio de energía eléctrica y calorífica.

Además, el no contar con un sistema de control de velocidad para la alimentación del polipropileno en función de la variación de la temperatura y las necesidades de producción repercuten en un desperdicio de energía y materia prima.

Este proceso se lo lleva de forma manual y en la maquinaria que se muestra en la figura 2-1, ocasiona variaciones descontroladas de temperatura que repercuten en la viscosidad del material y la consecuente pérdida de la calidad del conformado, elevando significativamente los costos de producción.

El material desperdiciado alcanza alrededor del 18% del total de la materia prima, lo cual es muy costoso para la empresa.



Figura 2-1 Maquinaria a ser automatizada

Fuente: Fotografía Inducuerdas 2016.

Con el proceso de extrusión se obtiene el conformado indicado en la figura 3a-1 y en la figura 3b-1, se muestra la rafia que es la materia prima de todos los productos que desarrolla Inducuerdas, esta parte del proceso se convierte en fundamental para los objetivos de producción de la empresa.



a)

b)

Figura 3-1 Conformado y Rafia obtenida

Fuente: Fotografía Inducuerdas 2016.

Por lo que es necesario un sistema completo que automatice el proceso y a la vez brinde la posibilidad de monitorear en tiempo real para poder resolver oportunamente las desviaciones y problemas presentes en el proceso.

Todo con la finalidad de mejorar la calidad del producto y reducir los recursos.

Por todo lo antes expuesto, resulta importante realizar un estudio completo y ponerlo a consideración de los directivos de Inducuerdas, con la finalidad de que puedan implementarlo y obtener los beneficios de un sistema automatizado en el proceso de extrusión.

## 1.2 Formulación del problema

¿Por medio del análisis y propuesta para automatización del proceso de extrusión de polipropileno en la empresa Inducuerdas, se evidencian las oportunidades de mejora para la calidad del producto y la reducción del consumo energético en el proceso de producción?

### **1.3 Preguntas directrices o específicas**

Para poder solventar con éxito las interrogantes relacionadas con el problema de investigación planteado, es necesario definir ciertas necesidades previas:

- ¿Cómo funciona y cuáles son las variables presentes en el proceso?
- ¿Cuáles son las alternativas posibles en cuanto a la automatización?
- ¿Qué tipo de controladores cumplen con las condiciones para la mejora del proceso?
- ¿Qué tipo de captadores se adaptan al sistema?
- ¿Qué tipo de transductores deben considerarse para estas aplicaciones?
- ¿Qué características de relés de estado sólido deben considerarse para reemplazar a los contactores?
- ¿Qué tipo de estrategia de control debe utilizarse?
- ¿Cuáles son las necesidades y consideraciones técnicas que se deben analizar?

### **1.4 Justificación de la investigación**

La fábrica Inducuerdas trata de garantizar el funcionamiento continuo de sus líneas de producción, por lo que es necesario contar con la automatización de este proceso tan necesario para reducir pérdidas en los procesos subsiguientes, por lo tanto es imperioso realizar un estudio del sistema de control y fuerza que posteriormente se pueda implementar con el fin de minimizar las pérdidas en la producción y ahorrar en el consumo energético, dotándole al propietario la información necesaria para realizar la automatización y llevar el control permanente y efectivo del proceso, algo que en las condiciones actuales del proceso le resulta imposible de lograr.

Una de las grandes ventajas que la automatización de este proceso brinda, es el aumento de los niveles de producción, la reducción del gasto energético y la seguridad del personal, por lo que la investigación está orientada a proponer mejoras en el proceso de extrusión

del polipropileno controlando eficientemente la temperatura en la camisa calefactora y el cabezal, para que con la fase inicial ya mejorada se pueda utilizar eficientemente la energía evitando pérdidas por disipación innecesaria de calor, consumo por magnetización de componentes, bandas de control de temperatura muy grandes y tiempos muy prolongados de producción.

La reducción de recursos en lo relacionado a repuestos también se beneficia puesto que al momento se requiere dotación constante de repuestos para remplazo de elementos con las consecuentes pérdidas económicas que esto representa.

La propuesta incluye la aplicación de software industrial para la obtención de información del proceso productivo, permita a los directivos de la empresa contar con información oportuna para realizar el seguimiento y toma de decisiones relacionadas al proceso.

En la obtención del hilo de rafia, a más de que mejoraría la calidad del proceso y el tiempo de elaboración del producto, garantizando la satisfacción del cliente, pero para llegar a esta instancia es importante considerar el papel que desempeña el operador de la máquina que con un sistema automatizado y una interface hombre-máquina adecuada puede llevar un mejor control del proceso y reduce considerablemente las maniobras que actualmente realiza, con menor esfuerzo y riesgo.

Este trabajo pretende dejar un aporte significativo para empresarios, estudiantes y emprendedores que se interesen en incursionar en el creciente desarrollo de la industria del plástico y el análisis de alternativas para la automatización del proceso de extrusión.

## **1.5 Objetivo general de la investigación**

Diseñar y proponer una alternativa para la automatización del proceso de extrusión de polipropileno, que permita reducir las pérdidas de producción y mejorar el consumo energético en la fábrica Inducuerdas.

### ***1.5.1 Objetivos específicos de la investigación***

- Evaluar la situación actual del sistema de control empleado.
- Analizar las estrategias de control que se adapten a las necesidades del proceso.
- Modelar el proceso de extrusión en un entorno virtual.
- Presupuestar el costo de la automatización de acuerdo al diseño.

### **1.6 Hipótesis**

El diseño y propuesta como alternativa para la automatización y control del proceso de extrusión del polipropileno, demuestra por medio de la aplicación de software industrial que se puede reducir las pérdidas en el proceso productivo y reducir los recursos energéticos en la planta de producción Inducuerdas.

### **1.7 Identificación de variables**

Variable dependiente: Costo de producción.

Variable independiente: Proceso de extrusión.

Interviniente: Automatización, control y monitoreo.

Considerando el gasto que representa los repuestos que constantemente deben ser adquiridos y el consumo excesivo por la energía eléctrica se analiza la posibilidad de realizar mejoras en el tiempo del producto y la calidad del proceso.

En el siguiente capítulo se analizará los procesos de extrusión que han sido investigados para el presente trabajo.

## **CAPÍTULO II**

### **2. MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Antecedentes**

En la actualidad la automatización busca mitigar el esfuerzo físico ocasionado por labores cotidianas monótonas y riesgosas; ciertos procesos requieren supervisión continua y toma de decisiones al momento de registrar variaciones en los parámetros establecidos con el fin de evitar daños en el producto y pérdidas en la producción como es el caso del proceso de extrusión de polipropileno en la fábrica Inducuerdas.

Considerando el Plan Nacional 2013-2017 y los objetivos nacionales para el Buen Vivir dentro del objetivo 10 en el que enuncia “Impulsar la transformación de la matriz productiva” y en la política “10.2.b. Tecnificar los encadenamientos productivos en la generación de materias primas y la producción bienes de capital, con mayor intensidad tecnológica en sus procesos productivos” (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, s.f.).

En tal virtud, la motivación y el compromiso social de contribuir con los cambios que el sector requiere y de manera especial la fábrica de cuerdas, cabos, eslingas y reatas en la que se basa este estudio, tiene que ver con la línea de producción en la transformación de polipropileno que se importa desde Colombia de forma mayoritaria a falta de una industria petroquímica nacional que abastezca de los productos elaborados del petróleo como: gas licuado de petróleo, gasolinas, jet fuel, diésel, benceno, xileno, polipropileno, azufre y coque en especial el polipropileno y que esta realidad podría cambiar con la puesta en marcha del proyecto de construcción de la Refinería del Pacífico Eloy Alfaro RDP-CEM.

El consumo por individuo del plástico en el Ecuador es de 20 kg, por debajo de los 50 kg que alcanza América Latina y 120 kg en países de América del Norte y Europa. (Instituto Petroquímico Ecuatoriano, 2015). Dentro de este rubro incluye la transformación de polipropileno en cuerdas, cabos etc. y que la importación de esta materia prima que refleja una contracción debido a dos aspectos fundamentales.



La situación económica del país ha hecho que varias obras dejen de utilizar elaborados de plástico como tuberías, mangueras, etc. debido a la paralización de la infraestructura; aspecto que se refleja en las estadísticas con una disminución en el monto de importación de unos 30 millones USD según (COMEX 2016), ver tabla 1-2.

El proceso de reciclaje de plásticos contribuye a la reutilización de la materia prima en alrededor del 16% por cuanto muchas empresas se están dedicando a reciclar y por lo tanto esta actividad genera alrededor de 20.000 puestos de trabajo indirectos, según el Servicio de Rentas Internas (SRI) (El telégrafo, 2016).

Tabla 1-2 Importaciones de polipropileno del Ecuador en dólares.

FECHA PAIS EXPORTADOR	2011	2012	2013	2014	2015	2016
<b>Colombia</b>	47.504.820	56.499.127	53.324.525	50.890.749	39.264.773	25.836.793
<b>Brazil</b>	40.906.592	24.598.823	14.990.599	22.201.473	21.726.780	20.205.097
<b>India</b>	35.798.053	22.715.578	12.096.961	22.035.450	9.819.182	3.065.370
<b>Chile</b>	16.673.722	6.826.864	6.686.351	23.134.567	18.222.138	16.105.965
<b>Arabia Saudita</b>	12.465.980	9.558.334	16.153.445	17.125.322	14.327.780	8.289.368
<b>Corea del Sur</b>	8.542.855	4.962.654	21.458.515	15.846.768	15.391.782	13.687.453
<b>Estados Unidos</b>	5.861.817	16.836.568	3.668.885	3.443.584	3.291.782	13.687.453
<b>Perú</b>	4.865.233	5.429.857	7.524.037	5.659.474	5.050.494	4.277.146
<b>China</b>	2.086.584	1.001.150	2.830.518	946.631	1.278.380	693.681
<b>Singapur</b>	1.005.391	941.006	1.411.380	826.879	1.064.344	468.042
<b>Otros</b>	3.827.709	4.990.406	3.962.272	6.297.882	8.815.924	6.478.532
<b>Total</b>	<b>179.538.754</b>	<b>154.359.369</b>	<b>144.107.488</b>	<b>168.408.778</b>	<b>138.252.772</b>	<b>104.686.059</b>

Fuente: Comex, 2017

## 2.2 Automatización del proceso de extrusión

Además de los plásticos, existen muchos materiales que son procesados mediante extrusión, como los metales, cerámica o alimentos, etc. La extrusión es claramente uno de los procesos más importantes de transformación, ver figura 1-2 (Beltran, 2012).

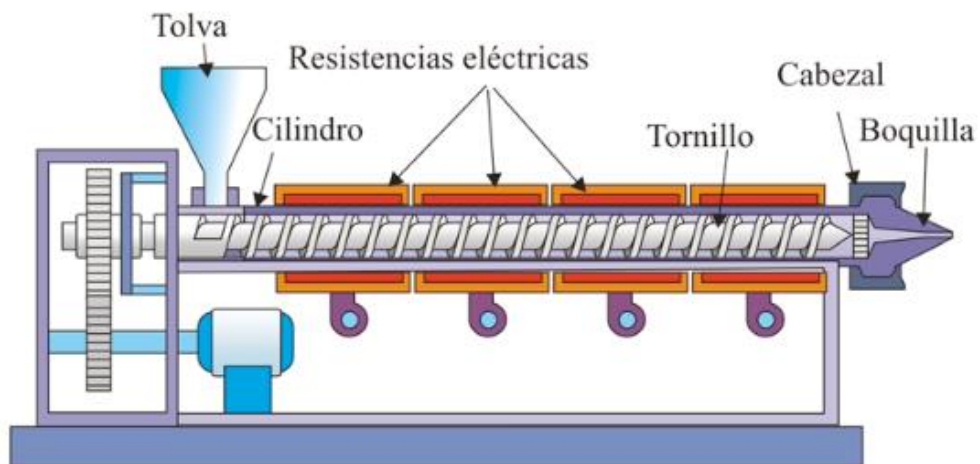


Figura 1-2 Maquinaria para proceso de extrusión de polímeros

Fuente: Tecnología de polímeros (Beltrán, 2012)

El proceso de extrusión se lo realiza en algunas fábricas de nuestro país entre las cuales se ha investigado la tecnología utilizada en cuanto a hardware y software.

### 2.2.1 *Cedal (Corporación Ecuatoriana de Aluminio)*

Es una fábrica ubicada en el cantón Latacunga provincia de Cotopaxi, entre sus líneas de producción cuenta con dos líneas de extrusión de 7" (11.500 t/a), actualmente es líder en la elaboración y comercialización de perfiles de aluminio y cuenta con más 40 distribuidores en todo el país. Cedal es la única planta de extrusión de Aluminio como se ilustra en la figura 2-2, se muestra como son calentados los lingotes de aluminio por medio de la llama producida por la combustión del diesel y posteriormente pasan por una prensa que los hace pasar por la matriz siendo de esta la forma de extrusión del aluminio, además Cedal se encuentra certificada en el Ecuador bajo las normas de calidad ISO 9001:2008.



Figura 2-2: Planta de extrusión Latacunga

Fuente: [//www.cedal.com.ec/produccion](http://www.cedal.com.ec/produccion)

Para realizar el proceso de extrusión Cedal tiene implementado el sistema de control que cuenta con PLC SLC500 Compactlogix de la marca Allen Bradley, para los elementos captadores usa termocuplas de tipo J, posee alarmas de alto y bajo temperatura, cuenta con un sistema de control y adquisición de datos por medio de consolas y servidores HMI, mismo que funciona con Factory Talk View el cual permite visualizar tendencias e históricos del proceso.

Las comunicaciones de campo y control son es por vía Ethernet, en una red de tipo anillo y en estrella para el monitoreo.

### **2.2.2 Icoplast**

Es una empresa ubicada en el cantón Riobamba en la provincia de Chimborazo en el sector Parque Industrial, su campo de acción se basa en la fabricación de mangueras flexibles, tubos y rollos de polietileno en diferentes medidas, fundas plásticas, manga para riego, tuberías de PVC.

En la figura 3-2, se muestra el proceso de fabricación de mangueras, en la parte posterior se encuentra el tablero de control, el proceso de extrusión y el sistema de enfriamiento son los cilindros blancos y posteriormente el producto terminado.

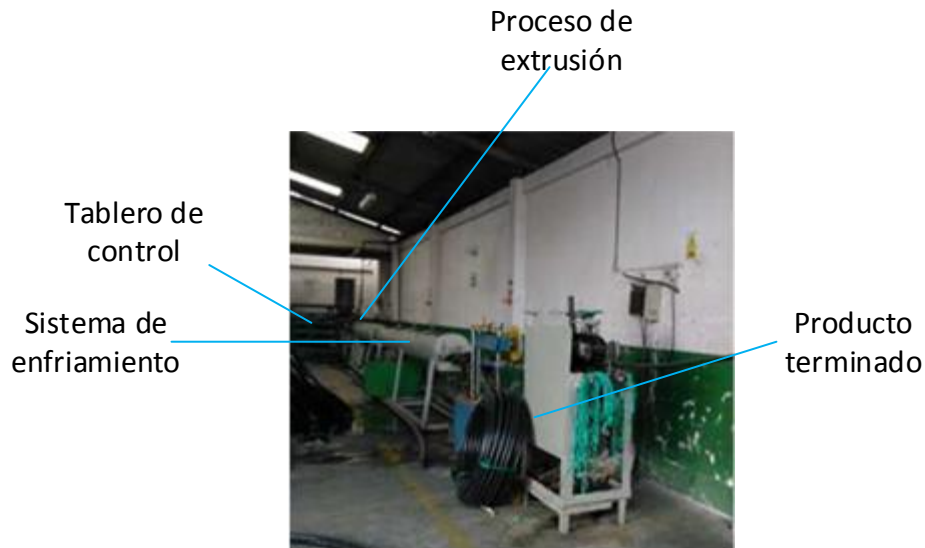


Figura 3-2: Proceso de extrusión de mangueras

Fuente: <http://www.icoplast.com.ec>

El sistema de extrusión cuenta con el control de temperatura que son cinco pirómetros que controlan por secciones de acuerdo a las mediciones de las termocuplas que tienen instaladas en cada sección.

El interfaz entre los controladores de temperatura y las niquelinas son los contactores.

El operador del proceso debe estar alerta ante el bajo nivel de la materia prima en la tolva y la calidad del producto para variar la temperatura directamente en los controladores de temperatura que actúan independiente por zonas.

### 2.2.3 *Plásticos del litoral*

Es una empresa ubicada en la ciudad de Guayaquil, dedicada a la fabricación de platos y reposteros plásticos, tarrinas, vasos, cubiertos y contenedores de alimentos.

El proceso de extrusión es parte importante en su línea de producción por ello como parte del proceso de automatización cuenta con un sistema de control que utiliza el PLC S7 1200 de marca SIEMENS, sensores de temperatura tipo J, transductores de 4 a 20mA, panel View de 9" y para controlar el avance del motor, un variador de frecuencia marca SIEMENS S110 que es controlado por el software Starter, alarmas por alta y alta alta temperatura, control de niquelinas por relés de estado sólido.

## 2.3 Análisis del capítulo

En base al análisis realizado en tres empresas seleccionadas a nivel nacional, sobre los sistemas de control que utilizan en sus procesos de extrusión se puede concluir que es factible considerar algunas de sus técnicas en el proyecto de automatización de la planta producción Inducuerdas. En la tabla 2-2 se detallan los resultados obtenidos según los criterios de comparación establecidos.

Tabla 2-2 Criterios de Selección

Empresa	CEDAL (1)	ICOPLAST (2)	PLÁSTICOS DEL LITORAL(3)
Tipo de control	PLC SLC500 Compactlogix de la marca Allen Bradley con módulos de entradas analógicas	Controladores de temperatura analógicos.	PLC S7 1200 de marca SIEMENS, con módulos de entradas analógicas.
Tipo de captadores	Termocuplas tipo J	Termocuplas tipo J	Termocuplas tipo J
Transductores	Señal de 4 a 20 mA	No posee	Señal de 4 a 20 mA
Software de programación para PLC	RS Logic 5000	No posee	TIA Portal
Software de programación para HMI	Factorytalk View	No posee	TIA Portal
Interfaz potencia	Electroválvulas	Contactores	Relés de estado sólido
Monitoreo	Consola HMI	No posee	Panel view
Registro de datos del proceso	Factorytalk View	No posee	No posee
Alarmas	Alta temperatura	No posee	Alta-alta temperatura
Comunicaciones	Red en anillo	No posee	Red en anillo

Elaborado por: PERALTA, Paulina 2016.

## 2.4 Consideraciones para la propuesta

**Control:** El PLC como controlador, similar a las empresas 1 y 3, por su robustez, programación y monitoreo, además adquisición de señales analógicas directamente al PLC y la posibilidad de diseñar un programa que vincule todas las variables del proceso y controle al motor por medio del variador y a las niquelinas por medio de los relés de estado sólido.

**HMI:** La posibilidad de establecer consolas de control del proceso y registro de datos para historiales y control de materia prima, como lo realizan las empresas 1 y 3.

**Alarmas:** La variable a controlar en el proceso es la temperatura, pero al existir la posibilidad de que su rango de operación pueda sobrepasar los set point, se deben establecer secuencias en el proceso que lo contrarresten y alerten por medio de alarmas.

Adicionalmente la notificación inmediata al jefe de planta, es necesaria puesto que la fábrica cuenta con varios procesos que requieren de su atención, para ello se implementa la comunicación directa vía SMS.

**Comunicaciones:** El sistema actualmente está funcionando de forma aislada, por lo que es necesario tener la información del comportamiento del sistema y más aún que se genere historiales de manera automática y los almacene, similar a la empresa 1; además de la posibilidad de monitorear de forma remota al proceso desde algún PC.

**Operaciones:** El inicio del proceso de funcionamiento lo debe realizar el operador, pero como se debe cargar a la tolva e identificar el material a producir es necesario establecer niveles de seguridad entre operadores que laboran en turnos rotativos (iniciar proceso y seleccionar material) para poder identificarlos y que el jefe de planta pueda variar los set point del cada etapa del proceso (de ser necesario y no se encuentre el técnico).

**Consumo de energía:** Es importante tener un registro (historial) del consumo energético en base a las horas de funcionamiento del proceso para tener la información de los costos de producción y proyectarlos.

Realizar el análisis de procesos existentes ayuda a evaluar las condiciones que se pueden alcanzar y poder mejorarlos, el desarrollo y mejoras de detallan el capítulo III.

## CAPÍTULO III

### 3. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

En este proyecto se plantea el enfoque orientado hacia el tipo de investigación exploratorio, investigación descriptiva y se complementa con demostraciones en un entorno virtual.

La etapa exploratoria mostrada en la figura 1-3, permitió analizar por medio de la observación, registro y contrastación en sitio, con el fin de establecer los requerimientos propios del sistema y el funcionamiento del proceso.

La segunda etapa corresponde al tipo de la investigación descriptiva, para este punto se investigó las fábricas que poseen procesos similares a la nuestra, esta investigación se detalló en el capítulo II, la información que se obtuvo fue facilitada por técnicos de las expuestas empresas.

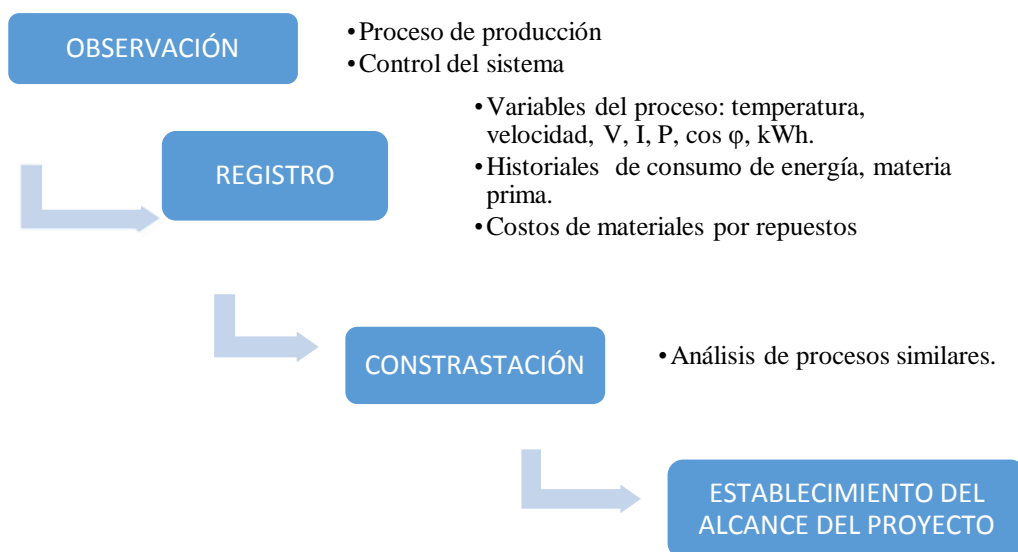


Figura 1-3 Esquema de la metodología

Fuente: PERALTA, Paulina 2016.



### **3.1 Observación**

Se realiza por medio de visitas a la planta y se analiza según la percepción directa y sistemática de la maquinaria de extrusión para conocer la realidad y los distintos fenómenos en especial la variable temperatura, la incidencia del consumo energético y el de funcionamiento actual del sistema.

#### **3.1.1 *Proceso de producción***

Transporte del material sólido hacia el sistema de fusión: Para alimentar el polímero (grageas de polipropileno) en forma sólida se realiza por el sistema de alimentación (tolva).

En los procesos de extrusión pueden considerarse tres zonas importantes ver la figura 2-3.

La zona de alimentación es la tolva, en la cual la profundidad del canal del tornillo es mayor, su principal función es compactar el material ingresado por la tolva, en forma sólida densa y llevarlo hacia la siguiente zona.

La zona de transición o compresión es la zona intermedia en la cual la profundidad del canal es menor que la zona de alimentación, conforme el material sólido va compactándose en esta zona, el aire que pudiera quedar atrapado es liberado por la tolva de alimentación.

La zona de dosificado se encuentra al final del proceso y tiene la profundidad del canal muy pequeña y constante, el material es homogenizado-presurizado y ya está fusionado y es forzado a atravesar a presión por la boquilla de conformado.

Las extrusoras pueden operar entre los 10 y 550 rpm.

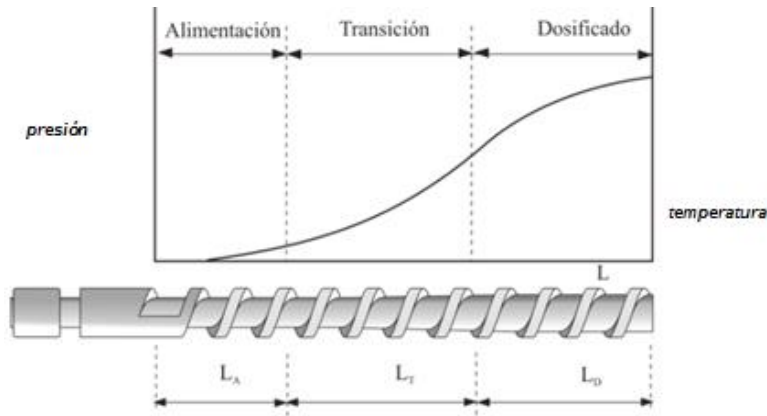


Figura 2-3 Zonas de extrusión y evolución de la presión a lo largo de las mismas.

Fuente: Tecnología de polímeros

**Fusión o plastificación del polímero:** Está constituido por un tornillo de Arquímedes que gira en el interior de un cilindro calentado por resistencias eléctricas o níquelinas circulares (Camacho, 2015).

**Transporte o bombeo y presurización del fundido:** Como consecuencia del giro del tornillo de Arquímedes compacta el material sólido dando lugar a la fusión y lo transporta hacia la boquilla (Beltran, 2012).

**Mezclado:** Se lo realiza a lo largo del transporte por el husillo.

**Desgasificación:** Conforme el material va compactándose y fusionándose produce aire el cual es eliminado por la tolva de alimentación (Seymour, 2002).

**Sistema de enfriamiento:** Para el enfriamiento del conformado se utiliza el método de enfriamiento por inmersión, la lámina del conformado pasa por un tanque lleno de agua en constante enfriamiento (recirculación de agua), ver figura 3-3. Al salir de este baño de agua se obtiene las láminas de conformado.

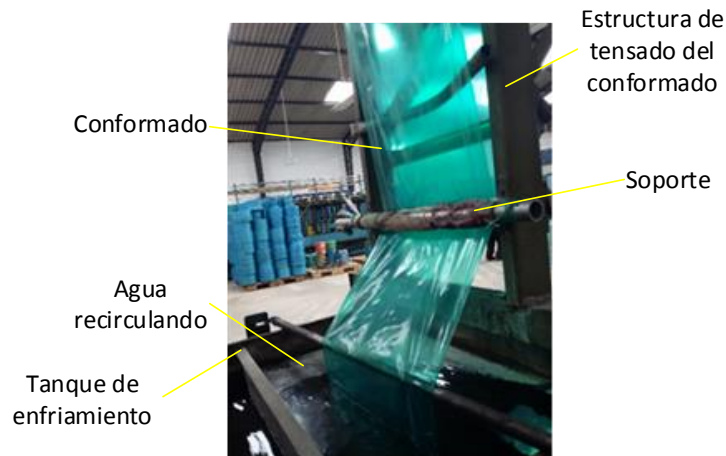


Figura 3-3 Tanque de enfriamiento

Fuente: Fotografía Inducuerdas 2016

**Equipos de corte:** En este proceso se da el corte de las láminas del conformado para pasar al calandrado.

**Calandrado:** Consiste en pasar las láminas del conformado cortadas a través de rodillos que producen presión y temperatura dotándoles de resistencia y flexibilidad. (Arias J, 2011)

**Embobinado:** Una vez dotadas las cintas de resistencia y flexibilidad son embobinadas en carretes de 25kg que posteriormente pasarán al proceso de enhebrado de acuerdo a la necesidad y se convertirán en cabos, reatas y sogas.

### **Componentes del equipo de extrusión**

**Tolva:** Es el depósito de la materia prima a ser transformada (gránulos de polipropileno, aditivo, colorante plástico) para la alimentación de proceso de extrusión, ver figura 4-3, se la llena manualmente y el operador debe estar pendiente de su alimentación para no dejar vacía y el proceso sin materia prima.



Figura 4-3 Tolva

Fuente: Fotografía Inducuerdas 2016

Cilindro: Es el cuerpo principal de la máquina de extrusión, de forma cilíndrica metálica que aloja en su interior al husillo, ver figura 5-3.



Figura 5-3 Barril o cañón que contiene el tornillo sin fin

Fuente: Fotografía Inducuerdas 2016

Husillo: consiste en un eje que va alojado dentro del barril rodeado de un filete helicoidal, su función es transportar, fundir y mezclar el material en su interior; los parámetros a considerar son la longitud ( $L$ ), diámetro ( $D$ ), ángulo del filete ( $\Theta$ ), paso de rosca ( $W$ ), material del eje y del filete que deben soportar la temperatura de fusión del material. (Beltran, 2012), ver Figura 6-3.

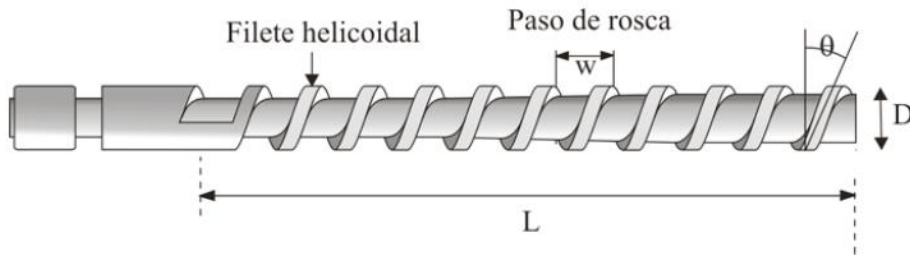


Figura 6-3 Husillo

Fuente: Tecnología de polímeros (Beltran, 2012).

Cabezal y boquilla: está ubicada al final de del cilindro, su función es moldear al conformado, como se ilustra en la figura 7-3.

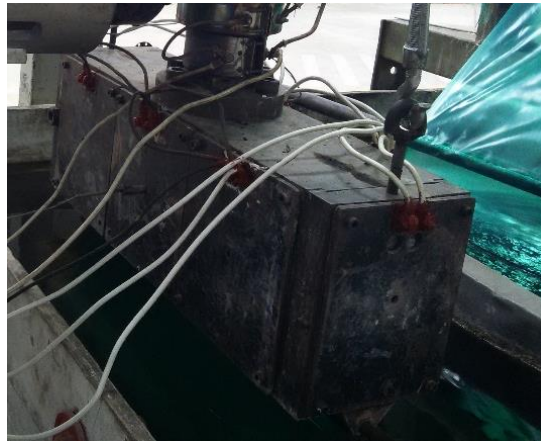


Figura 7-3 Cabezal y boquilla

Fuente: Fotografía Inducuerdas 2016

Además para proponer la mejor alternativa de automatización con datos reales y considerando las fallas recurrentes de acuerdo a lo manifestado por los operadores, fundamentado en el método inductivo.

La modalidad a utilizarse es la investigación de campo, basada en los hechos del lugar, de carácter cualitativo ya que se realizaron medidas de las variables en el proceso.

Dentro de la investigación científica se ha considerado al método inductivo como el más apropiado, establece ir de lo particular a lo general para lo cual una vez determinado el problema se pudo establecer que la variable de temperatura, velocidad, presión fricción y tiempo; determinan la calidad del producto y que para tal efecto la extrusión demanda de

consumo energético alto que puede ser disminuido en función de una nueva propuesta de Automatización y mejoras en el desempeño de la extrusora.

Para dar cumplimiento a la propuesta establecida se seguirá las siguientes actividades:

### 3.1.2 Control del sistema de extrusión.

En la planta de producción se puede identificar dos sistemas eléctricos:

- Sistema de control de temperatura.
- Sistema de Potencia.

Que se detallan en función de los diagramas obtenidos por la investigación realizada.

#### 3.1.2.1 Sistema de control de temperatura

Para el control de la temperatura se utilizan siete (7) controladores digitales y dos (2) analógicos, como se puede observar en la figura 8-3, es decir un controlador de temperatura por cada sección del tornillo.

El sistema cuenta con termocuplas que miden desde los 181°C hasta 294°C.

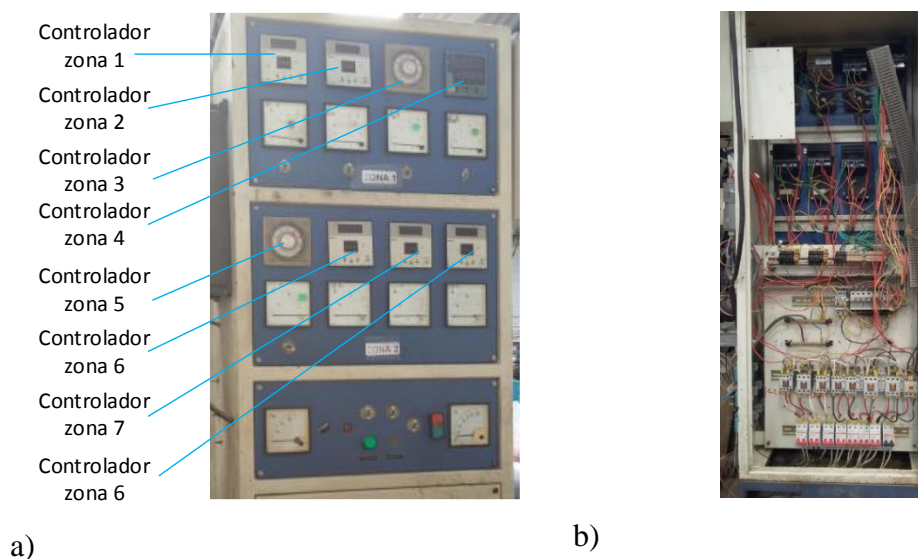


Figura 8-3 a) Controladores de temperatura; b) Vista posterior del tablero.

Elaborado por: PERALTA, Paulina 2016.

Cada sección está formada por tres niquelinas conectadas en paralelo, que son las encargadas de mantener a la temperatura para la fusión y plastificación del material.

Para que el tornillo pueda transportar, bombear y presurizar el material de hasta obtener el conformado, en la figura 9-3 se puede observar los niveles de temperatura que alcanzan las niquelinas de acuerdo a la imágenes de la cámara termográfica en la figura 9b-3; Los controladores activan y desactivan los contactores que energizan los grupos de niquelinas por secciones de avance.



a)

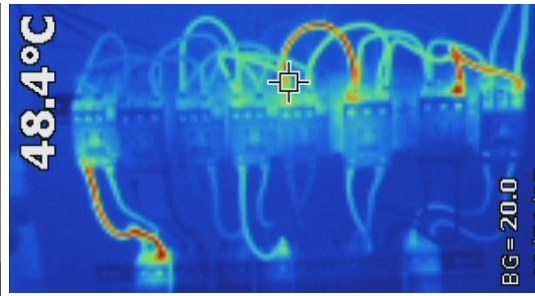
b)

Figura 9-3 Husillo con niquelinas: a) Niquelinas con niveles de temperatura; b) Imagen termográfica.

Fuente: Fotografía Inducuerdas 2016.

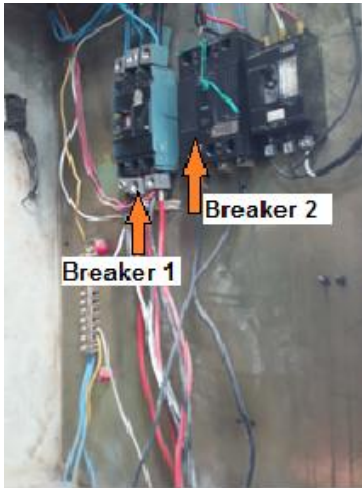
En función al uso frecuente de operación de estos contactores, sus bobinas se energizan aproximadamente cada veinte segundos, con lo cual se han registrado una gran cantidad de fallas internas en estos elementos, se deterioran sus bobinas, contactos, etc. Lo que ocasiona paradas no programadas de la máquina de extrusión y las correspondientes pérdidas de tiempo debido al remplazo de los contactores y las asociadas pérdidas económicas por los costos de estos elementos.

En el sistema eléctrico en la figura 10-3, puede evidenciar que los cables, breakers y cuadros eléctricos no están dimensionados de acuerdo a la carga que consume está máquina, dando lugar a incrementos de temperaturas considerables que se transforman en pérdidas por la baja eficiencia energética de las instalaciones eléctricas integradas en la máquina de extrusión.



a)

b)



c)

d)

Figura 10-3 Tableros de potencia: a) Contactores para niquelinas; b) Imagen cámara termográfica de contactores en funcionamiento; c) Breaker de protección motor; d) Imagen cámara termográfica Breaker protección motor.

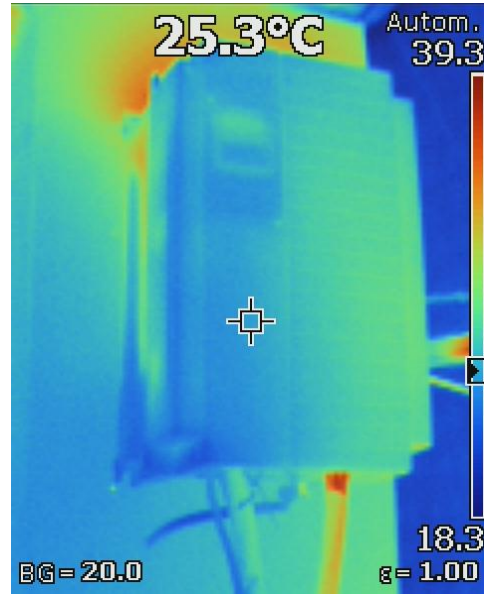
Fuente: Fotografía Inducuerdas 2016.

El material utilizado en este proceso es el polímero que es inicialmente en forma de grageas sólidas incorporadas por la tolva y allí es arrastrado e impulsado por el tornillo sin fin que está acoplado a una caja de engranajes, la misma que se acciona por medio de un motor trifásico controlado por un variador de frecuencia, como se muestra en la figura 11-3, el control de la velocidad es manual y lo realiza el operador según su criterio y experiencia por medio de un potenciómetro incorporado en el panel lateral.





a)



b)

Figura 11-3 a) Variador de frecuencia; b) Imagen termográfica variador.

Fuente: Fotografía Inducuerdas 2016.

### Diagrama eléctrico del control de temperatura por zonas.

En la figura 12-3, se muestra el control general de temperatura individual por zonas.

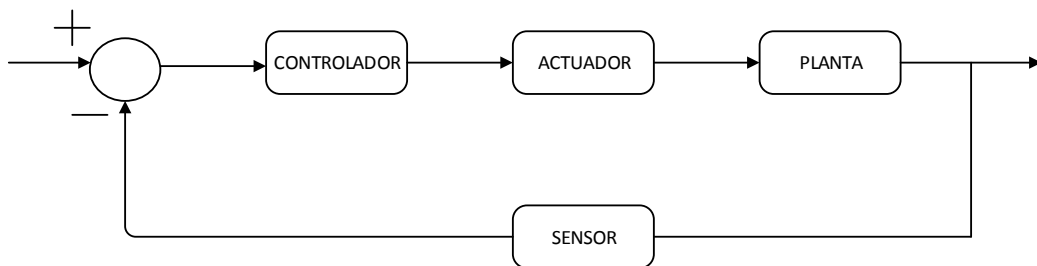


Figura 12-3 Diagrama eléctrico de control de temperatura por zonas

Fuente: PERALTA, Paulina 2016

En el circuito representado por en la figura 13-3, se muestra la conexión de los controladores (CONTR TEMP1 a CONTR TEM8) y las termocuplas T1-J a T8-J.

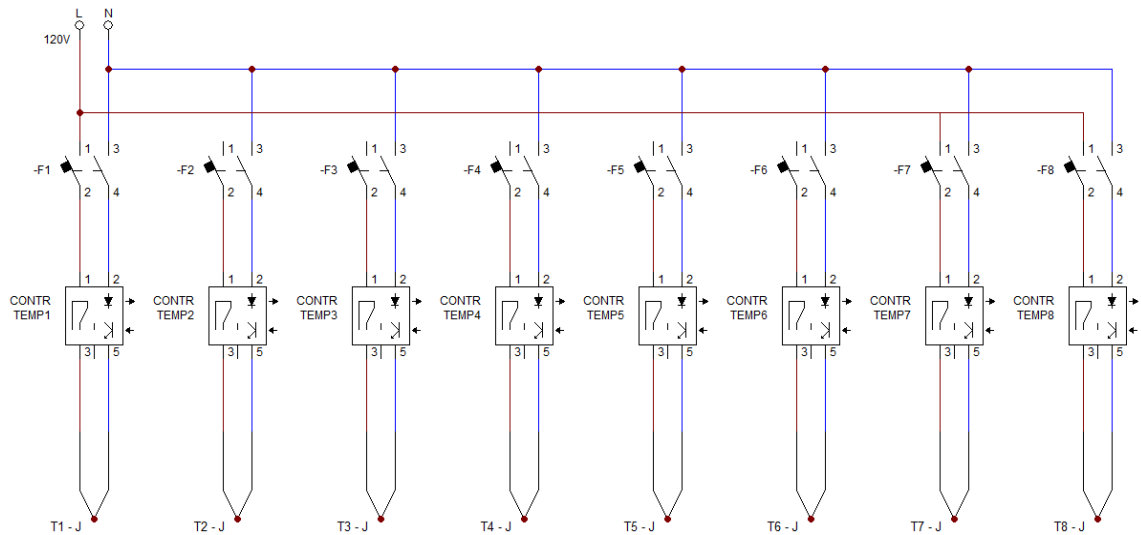


Figura 13-3 Diagrama eléctrico de control de temperatura

Fuente: PERALTA, Paulina 2016

### 3.1.2.2 Diagrama eléctrico de potencia.

En la figura 14-3 se muestra el diagrama de conexión de las niquelinas que son controladas por medio de los contactores en las 8 zonas, que son energizadas por una red bifásica provista de un transformador de 360 V.c.a; al utilizar este tipo de interfaz representa un gasto continuo al no estar dimensionados correctamente y de acuerdo a la velocidad de conmutación que realizan los contactos y debido a las altas corrientes de operación.

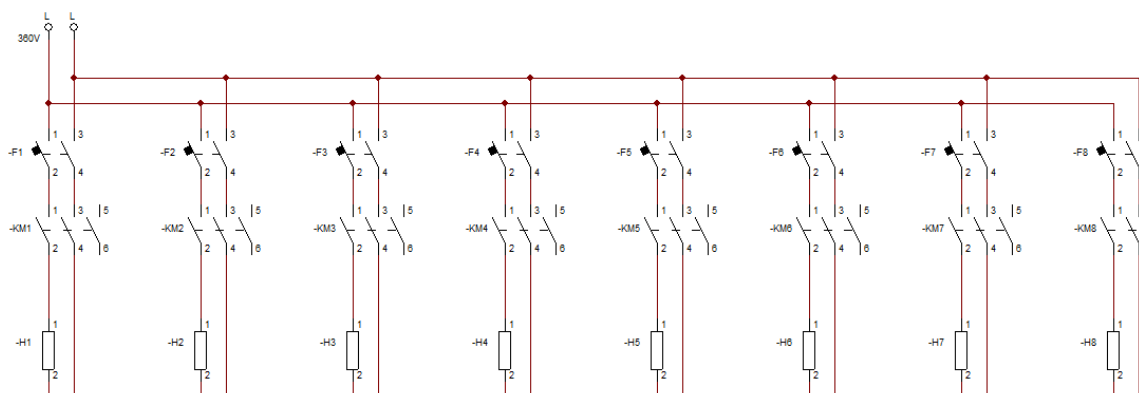


Figura 14-3 Diagrama eléctrico de potencia de niquelinas

Elaborado por: PERALTA, Paulina 2016.

## Diagrama de control de velocidad del motor

Para el avance del tornillo sin fin se utiliza una caja reductora que es impulsada por un motor trifásico (220 V) de la marca Leroy Somer de 22 kW (M), con factor de potencia de 0,8 y este es controlado por el variador de frecuencia Fuji Electric AP – 300 P11 (VSD01), como se muestra en la figura 15-3, para la regulación de la velocidad del variador se utiliza un potenciómetro (POT) que es manipulado por el operador de acuerdo a su experiencia.

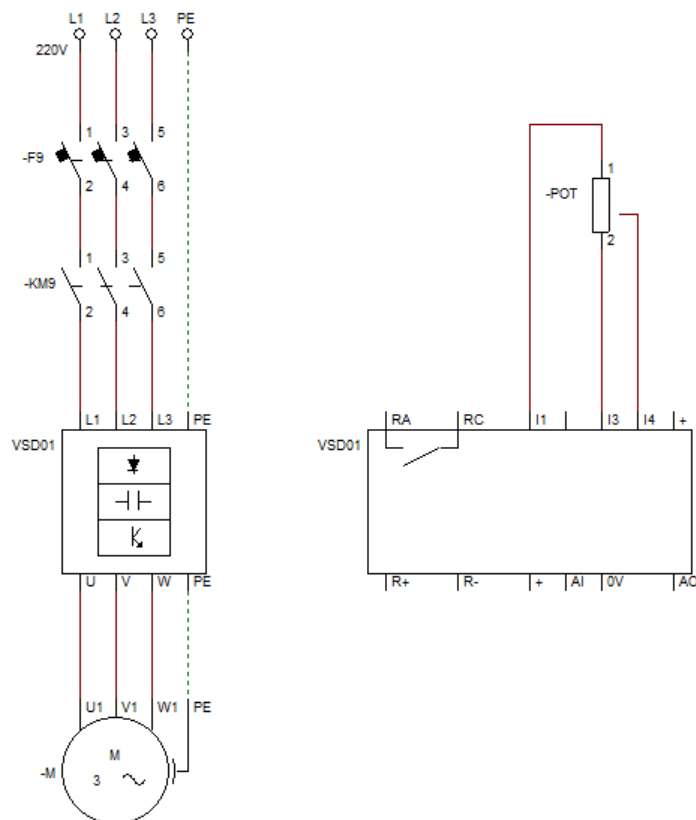


Figura 15-3 Diagrama eléctrico de potencia de niquelinas

Elaborado por: PERALTA, Paulina 2016.

En la figura 16-3, se muestra el actual proceso de extrusión así como las partes que están inmersas en el proceso, por medio del diagrama se puede identificar las zonas de calefacción como TT1 a TT8, así como la disposición del tablero de control con los 8 controladores de temperatura e instrumentos de medida como los amperímetros y frecuencímetro y el control del variador de frecuencia.

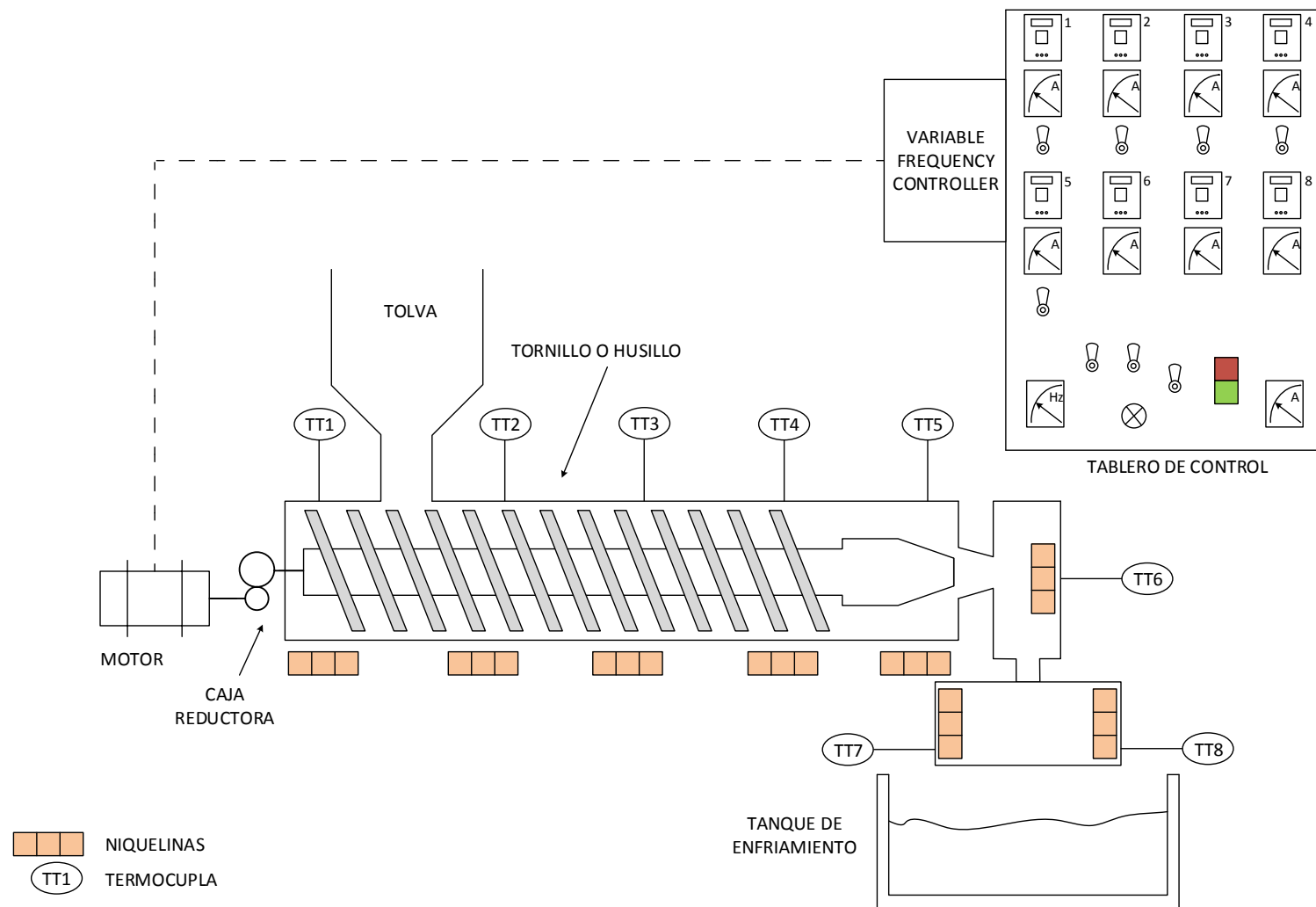


Figura 16-3 Diagrama de proceso actual de obtención de rafia obtenida

Elaborado por: PERALTA, Paulina 2016.

## **3.2 Registro**

Mediante la utilización de instrumentos tecnológicos como cámara termográfica, analizador de potencias, tacómetro, multímetro y entre otros se procede a tomar datos preliminares como la temperatura de las diferentes zonas de la extrusora y en el cabezal, valores de corriente en el sistema de calentamiento y motor, potencias y otros parámetros eléctricos mismos que permiten realizar el análisis y el correspondiente proceso de contrastación entre los datos medidos, los registrados en los instrumentos del tablero y los datos que se obtienen en el transcurso de la investigación.

### **Recolección de datos primarios y secundarios.**

Con la ayuda de instrumentos para análisis energético se determinó que existen pérdidas en la red eléctrica que pueden ser controladas con la finalidad de optimizar el costo por energía.

### **Analizador de energía FLUKE modelo 435**

Se utilizó para determinar la potencia activa, reactiva y aparente del proceso de extrusión, se determinó los valores de voltaje y corriente eléctrica de cada una de las partes del proceso.

Se determinó que el sistema eléctrico se encuentra desbalanceado en su distribución de cargas.

Se detectó que el mayor desperdicio de energía se produce cuando las niquelinas trabajan más tiempo del que deben trabajar lo que produce dos efectos:

- En algunas áreas de la máquina la temperatura alcanza valores muy elevados, lo que desestabiliza completamente todo el proceso y se producen desperdicios de materia prima.
- Las niquelinas reducen considerablemente su tiempo de vida útil al estar sometidas a trabajo continuo y al máximo de su temperatura de diseño.

Estos efectos repercuten directamente sobre el consumo energético, es decir, si se elimina este consumo excesivo se aporta significativamente en mejorar el costo actual de producción.

En pruebas de campo realizadas con el analizador de energía y cronometrando el tiempo que cada niquelina trabaja sin ser necesario, en el período de un mes, se concluyó que se desperdician un total 11300 kWh, si se lo relaciona con los 0.12 centavos que cuesta cada kWh se obtiene un total de 1356 dólares americanos de ahorro.

Este valor en porcentaje equivale al 35.67% del costo total por energía que se paga actualmente por mes.

### **Cámara termográfica**

Se utiliza técnicas como la termografía en todos los tableros eléctricos y se determina puntos calientes que generan pérdidas por efecto Joule.

El equipo que se utiliza para el análisis directamente en la planta de producción es la cámara termográfica FLUKE TI400, como se muestra en la figura 17-3.



Figura 17-3 Cámara termográfica Fluke TI 400

Fuente: <https://arregaindustrial.com/producto/camara-termografica/>

Las imágenes termográficas también determinaron una diferencia muy pronunciada en la temperatura de las niquelinas a lo largo del tornillo de la máquina de extrusión, esto se debe al deficiente sistema de control actualmente utilizado.

Para obtener mejores resultados en el proceso es necesario que la temperatura se mantenga dentro de los rangos adecuados a lo largo de todo el tornillo, esto se logrará automatizando el sistema de control de temperatura las niquelinas.

Con el estudio realizado en el presente capítulo se elabora la propuesta de la automatización del proceso de extrusión.

### **3.3 Contrastación**

Comparando la información obtenida mediante entrevistas, observaciones sistemáticas, mediciones las variables del proceso, registros y con el criterio de profesionales especializados se puede concluir que los hallazgos más significativos encontrados son:

- Disipación de la temperatura por resistencias expuestas al ambiente y puntos calientes en los elementos de protección.
- Instalaciones eléctricas inadecuadas e inseguras
- Sub dimensionamiento de elementos

### **3.4 Establecimiento del alcance del proyecto**

El alcance de la investigación es de carácter correlacional puesto que se explica el valor de las variables con el propósito de relacionarlas en el proceso de extrusión y su vinculación con el costo de producción.

Se limita específicamente al proceso de automatización de la máquina de extrusión de la empresa Inducuerdas.

#### **3.4.1 Criterios de diseño.**

Para la realización de la presente propuesta se consideran algunas especificaciones que se plantearon en el capítulo II.

### 3.4.2 Diversificación de productos

Como parte del proceso productivo se requiere que el operador tenga la facilidad de elegir entre dos configuraciones que dependerán del tipo de producto a utilizar, es decir si se utiliza materia prima de calidad 1A los set point de los instrumentos serán los indicados en la tabla 1-3 y si la materia prima a utilizar es de calidad 1B los set point de los instrumentos serán los indicados en la tabla 2-3.

La primera pantalla que le aparece al operador cuando inicia el proceso es la pantalla de decisión sobre la configuración a utilizar, figura 18-3.



Figura 18-3 Pantalla inicial de selección  
Realizado por: PERALTA, Paulina. 2016

En cada etapa se requiere un set point de temperatura diferente para cada resistencia calorífica (H1,.....H8).

Tabla 1-3 Set point requerido en el sistema de calentamiento material 1A

ETAPA	SET POINT REQUERIDO	TOLERANCIA
H1	150 °C	+/- 1 °C
H2	170 °C	+/- 1 °C
H3	190 °C	+/- 1 °C
H4	210 °C	+/- 1 °C
H5	230 °C	+/- 1 °C
H6	240 °C	+/- 1 °C
H7	260 °C	+/- 1 °C
H8	260 °C	+/- 1 °C

Realizado por: PERALTA, Paulina. 2016



El set inicial de arranque del VSD-01 para el material 1A es de 35Hz.

Si se va a utilizar materia prima 1B los set point de los instrumentos serán los indicados en la tabla 2-3.

Tabla 2-3 Set point requerido en el sistema de calentamiento material 1B

<b>ETAPA</b>	<b>SET POINT REQUERIDO</b>	<b>TOLERANCIA</b>
H1	180 °C	+/- 1 °C
H2	200 °C	+/- 1 °C
H3	220 °C	+/- 1 °C
H4	240 °C	+/- 1 °C
H5	240 °C	+/- 1 °C
H6	250 °C	+/- 1 °C
H7	270 °C	+/- 1 °C
H8	270 °C	+/- 1 °C

Realizado por: PERALTA, Paulina. 2016

El set inicial de arranque del VSD-01 para el material 1B es de 45Hz.

El proceso de extrusión se compone de 8 etapas de calentamiento, en cada etapa cuenta con un calentador eléctrico de 360Vac bifásico y un sensor de temperatura, todas las señales de las 8 etapas llegan al PLC-01 que controla todo el proceso.

El PLC-01 debe realizar el control de encendido y apagado de las niquelinas por medio de 8 relés de estado sólido, uno para cada etapa. Es decir se requieren ocho salidas digitales independientes, una para cada relé de estado sólido que energiza las niquelinas.

El transmisor de temperatura TT-9 ubicado en la parte final de la etapa de calentamiento activa la alarma por baja temperatura en 255°C y por alta temperatura en 265°C. Esta alarma se presenta tanto en el panel view, en el HMI y por medio de la alarma audible.

De mantenerse la alarma activada por más de 2 minutos se enviará un mensaje SMS al número celular del jefe de planta o al responsable del proceso.

En el tanque de enfriamiento se dispone de dos switch de nivel (LSH-1/LSL-1), uno de alto y otro de bajo nivel. En los dos casos en condición de activado deben enviar una señal de alarma al HMI y encender la alarma audible.

En el tanque de enfriamiento también se cuenta con un transmisor de temperatura TT-10 que sirve para monitoreo de la temperatura del agua de enfriamiento, no tiene acción solo emite una alarma si la temperatura alcanza los 60 grados centígrados.

En la cabeza del túnel de calentamiento se cuenta con un transmisor indicador de presión PIT-1 cuyo set point es de 50 psi por alta presión y 70 psi por alta alta presión, si se alarma por alta presión, activa la alarma audible y baja la frecuencia del VSD-01 en 10 Hz. En esa condición cuenta 45 segundos y si la presión se normaliza regresa la frecuencia a la condición normal de trabajo.

Si el PIT-1 se activa por alta alta presión apaga todo el proceso como medida de protección y seguridad.

### **3.4.3 Accesibilidad de usuarios**

El sistema cuenta con claves de acceso en tres niveles:

- Operador
- Jefe de planta
- Ingeniería

Por medio de las siguientes claves se activan los niveles de acceso:

- Operador 1: MAGE1975
- Operador 2: FJNS1985
- Operador 3: PTGL1980
- Jefe de planta: PLHS197618
- Ingeniería: VPPO1984

De esta forma cada operador tendrá su clave de acceso y se puede controlar de mejor manera cada una de las jornadas de trabajo.

Los valores de set point de todos los instrumentos y equipos se pueden modificar directamente desde la consola HMI y desde el panel view únicamente con clave de Jefe de planta:

#### **3.4.4 Visualización de parámetros**

En la consola HMI y en el panel view se presentan y se registran en tiempo real los valores de consumo de potencia eléctrica (kW) y energía (kWh) de toda la máquina.

De forma independiente se presenta y se registra el consumo de potencia eléctrica del motor M1 y los parámetros de RPM animados tanto en condición de encendido y apagado.

El variador de frecuencia VSD-01 se controla por medio del PIT-1 y también se puede controlar en modo manual directamente por el operador desde el panel view.

En HMI se presentan de forma gráfica y animada las temperaturas de todo el proceso

En la tolva principal de ingreso de materia prima se encuentra instalado el switch de nivel LSL-2, cuando actúa el switch por bajo nivel, se activa la alarma audible y envía la orden de bajar 5 Hz al variador de frecuencia VSD-01 con lo que se reducen las rpm del motor M1. La alarma audible se activa y alerta al operador. Una vez que se compensa el nivel de la tolva la frecuencia del VSD-01 regresa a las condiciones normales de trabajo; El sistema cuenta con un pulsador de parada de emergencia de ser necesario detener el proceso.

Por medio del analizador de energía integrado se monitorean todos los parámetros eléctricos directamente en el HMI.

#### **3.4.5 Control y monitoreo**

El gerente de la planta cuenta con la posibilidad de monitorear vía remota todo el proceso en todo momento y en todo lugar, todos los datos se registran en un servidor de históricos.

El operador tiene la posibilidad de ingresar manualmente las cantidades en kilogramos de materia prima utilizada, mismos que se almacenan en los historiales para elaborar un consolidado por turno y por día.

Todos los días a las 19:00, se emite automáticamente un reporte con todos los parámetros de producción:

- Gráfico de temperaturas del proceso TT-1/2/3/4/5/6/7/8
- Potencia eléctrica promedio
- Energía eléctrica total del día
- Cantidad de materia prima utilizada
- Tiempo de operación
- Nombre del operador
- Temperatura promedio del TT-9
- Presión promedio del PIT-1

#### **3.4.6 *Arquitectura del sistema***

En la figura 19-3, se muestra el diagrama de los instrumentos asociados a la automatización propuesta.

Como resultado del análisis de la propuesta se presenta el diagrama de funcionamiento con las mejoras en la figura 20-3.

## Instrumentos asociados al proceso propuesto

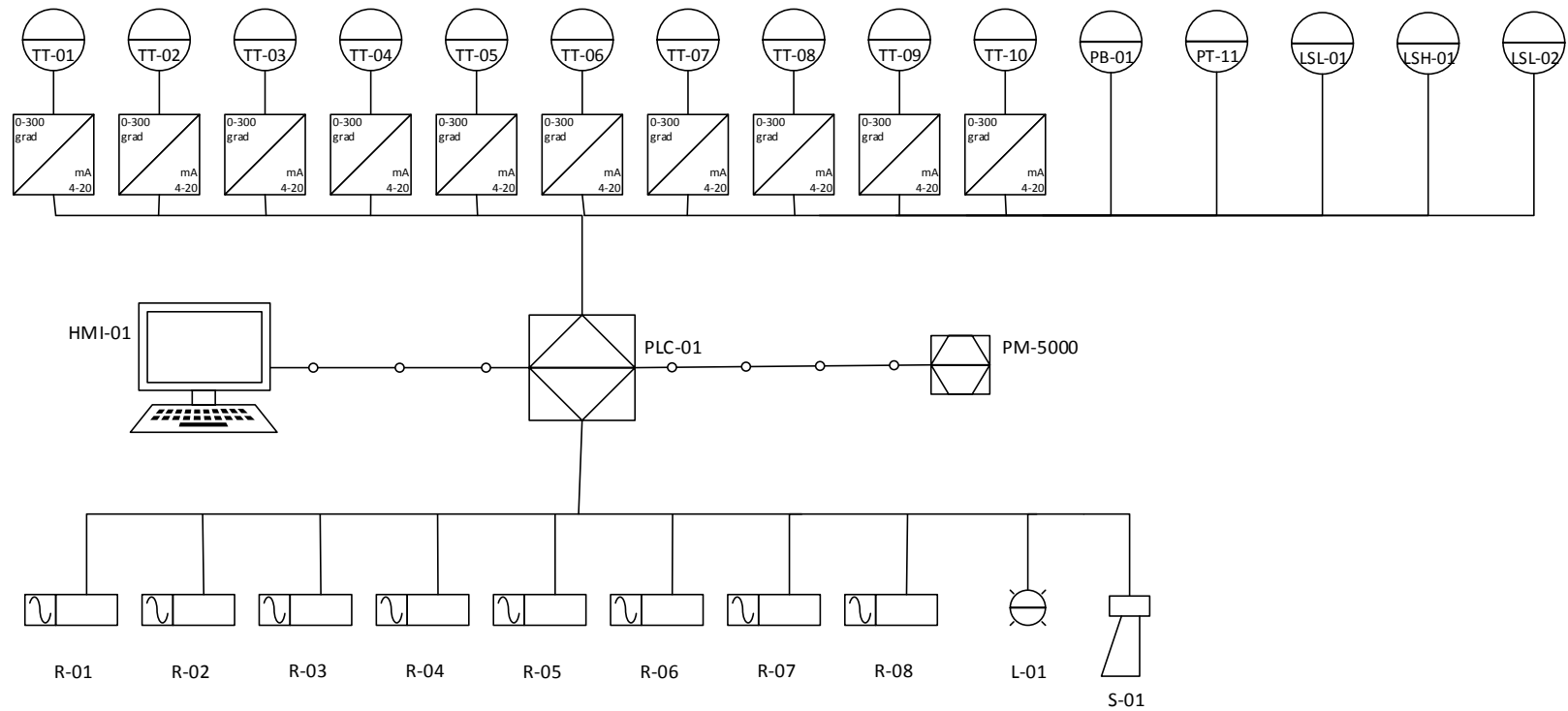


Figura 19-3 Diagrama de la maquinaria del proceso de extrusión con la instrumentación con la instrumentación y control a implementar

Elaborado por: PERALTA, Paulina 2016

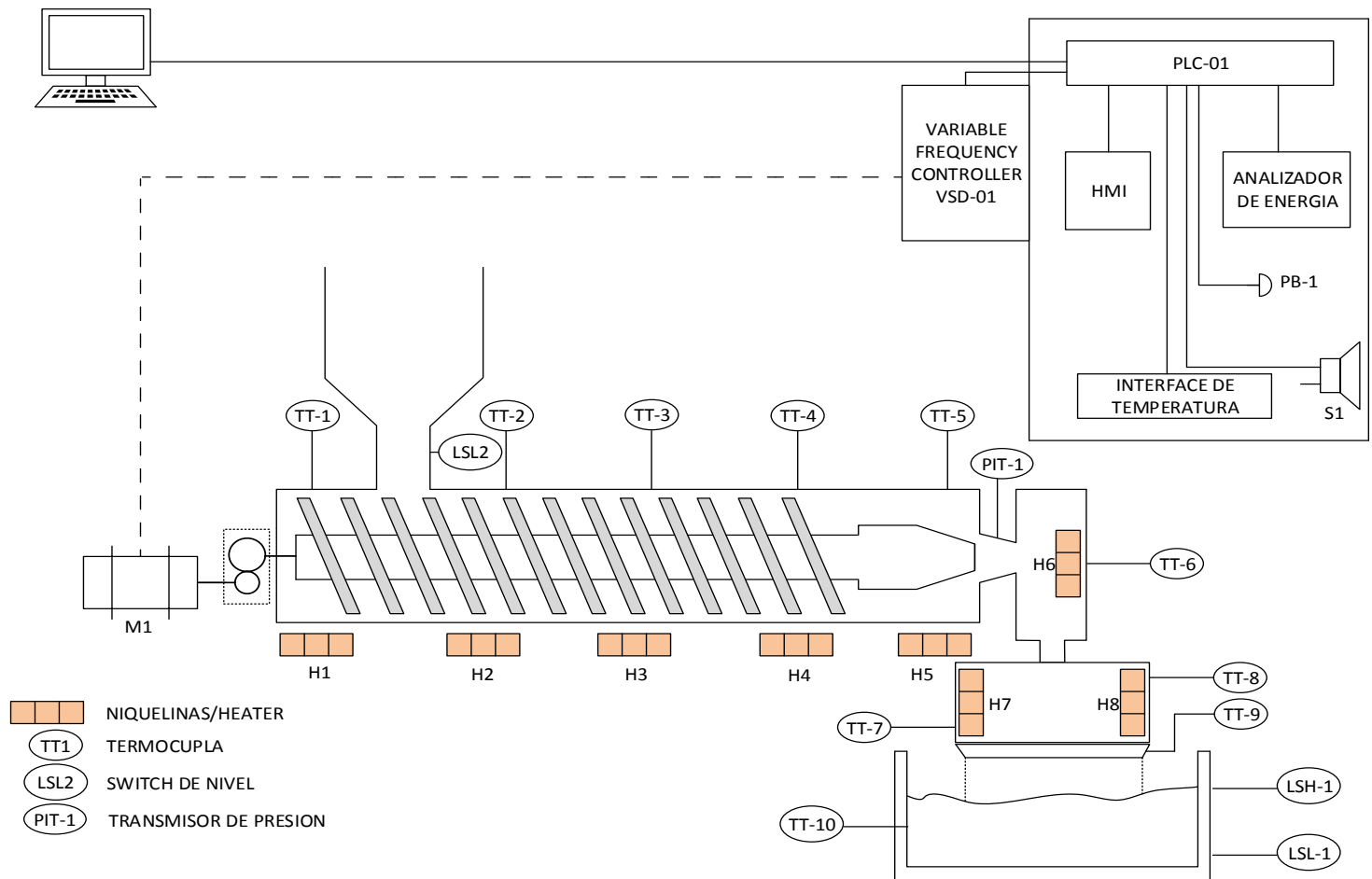


Figura 20-3 Diagrama de interconexión de componentes para la medición de temperatura

Elaborado por: PERALTA, Paulina 2016

## Diagrama de entradas analógicas, sensores de temperatura

En el diagrama 21-3 se muestra la conexión de las termocupas TT1 a TT10 a los transductores y a las entradas analógicas del PLC.

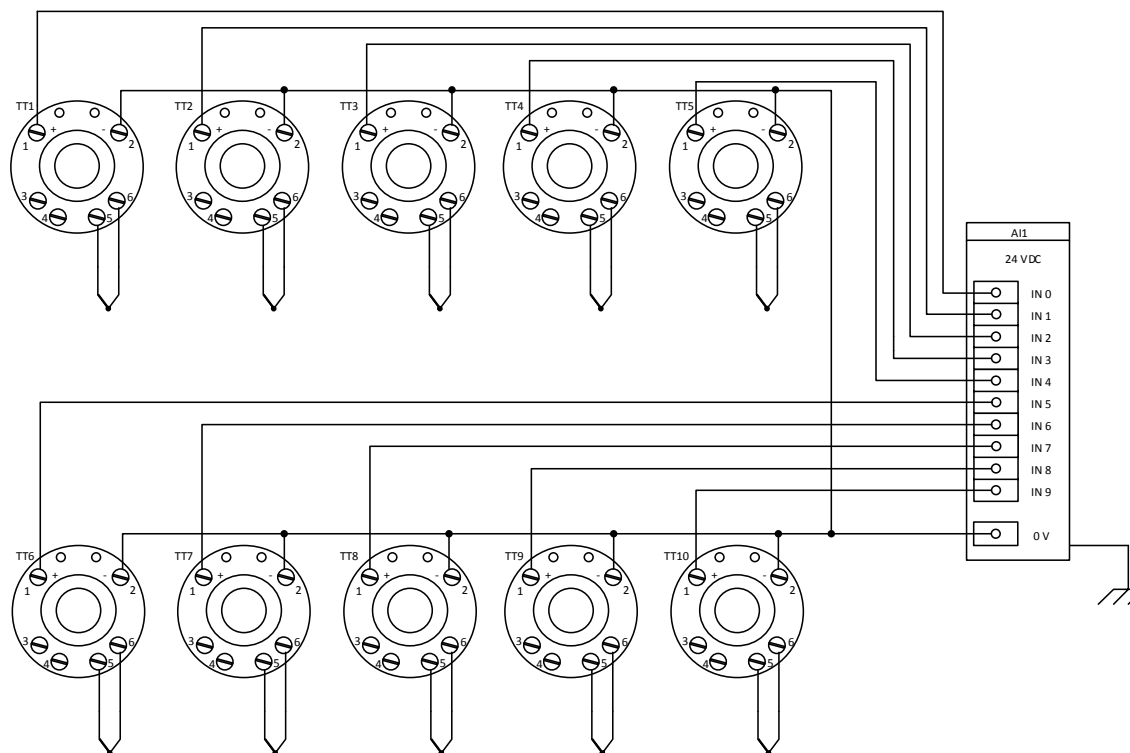


Figura 21-3 Diagrama de interconexión de componentes para medición de temperatura

Fuente: PERALTA, Paulina 2016.

## Diagrama de salidas digitales, relé de estado sólido

Se muestra en la figura 22-3, la conexión de los relés de estado sólido a las salidas digitales del PLC y a las niquelinas.

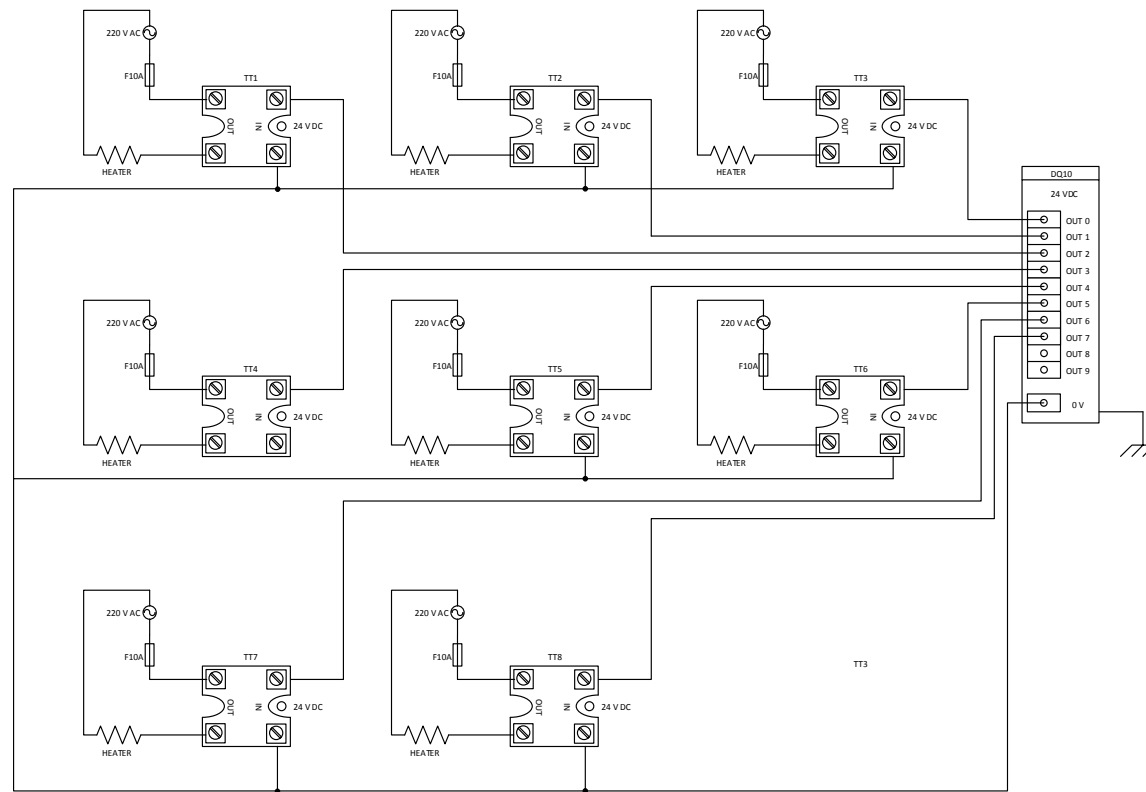


Figura 22-3 Diagrama de conexión del sistema de control de potencia

Fuente: PERALTA, Paulina 2016.



## Inventario de señales de control

Se detallan las señales de los TT1 – TT10 con los set point e identifica la señal de entrada al PLC, direccionamiento a los relés de estado sólido H1– H8 para el control de las niquelinas, salida analógica VSD-01 para la regulación de la velocidad del variador de frecuencia y así como las señales de los switch de nivel LSH, LSL.

Tabla 3-3 Lista de señales de control

<b>SEÑALES DE CONTROL</b>				
<b>ENTRADAS ANALÓGICAS</b>				
<b>INSTRUMENTO</b>	<b>RANGO</b>	<b>SEÑAL</b>	<b>IDENTIFICACIÓN</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Transmisor de temperatura	0-500 °C	4-20 mA	TT1	Registra la temperatura en la etapa 1
Transmisor de temperatura	0-500 °C	4-20 mA	TT2	Registra la temperatura en la etapa 2
Transmisor de temperatura	0-500 °C	4-20 mA	TT3	Registra la temperatura en la etapa 3
Transmisor de temperatura	0-500 °C	4-20 mA	TT4	Registra la temperatura en la etapa 4
Transmisor de temperatura	0-500 °C	4-20 mA	TT5	Registra la temperatura en la etapa 5
Transmisor de temperatura	0-500 °C	4-20 mA	TT6	Registra la temperatura en la etapa 6
Transmisor de temperatura	0-500 °C	4-20 mA	TT7	Registra la temperatura en la etapa 7
Transmisor de temperatura	0-500 °C	4-20 mA	TT8	Registra la temperatura en la etapa 8
Transmisor de temperatura	0-500 °C	4-20 mA	TT9	Registra la temperatura en la etapa 9
Transmisor de temperatura	0-200 °C	4-20 mA	TT10	Registra la temperatura del agua en la etapa de enfriamiento

<b>ENTRADAS DIGITALES</b>				
<b>INSTRUMENTO</b>	<b>RANGO</b>	<b>SEÑAL</b>	<b>IDENTIFICACIÓN</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Switch de alto nivel	On/Off	On/Off	LSH1	Sensor de alto nivel en el tanque de enfriamiento
Switch de bajo nivel	On/Off	On/Off	LSL1	Sensor de bajo nivel en el tanque de enfriamiento
Switch de bajo nivel	On/Off	On/Off	LSL2	Sensor de bajo nivel en la tolva de alimentación de PP
Push button	On/Off	On/Off	PB-1	Pulsador de parada de emergencia
<b>SALIDAS DIGITALES</b>				
<b>ELEMENTO DE CONTROL</b>	<b>RANGO</b>	<b>SEÑAL</b>	<b>IDENTIFICACIÓN</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Calentador niquelina H1 (relé de estado sólido)	0-500 °C	220V 2Φ	H1	Calentador eléctrico de la etapa 1 del proceso
Calentador niquelina H2 (relé de estado sólido)	0-500 °C	220V 2Φ	H2	Calentador eléctrico de la etapa 2 del proceso
Calentador niquelina H3 (relé de estado sólido)	0-500 °C	220V 2Φ	H3	Calentador eléctrico de la etapa 3 del proceso
Calentador niquelina H4 (relé de estado sólido)	0-500 °C	220V 2Φ	H4	Calentador eléctrico de la etapa 4 del proceso
Calentador niquelina H5 (relé de estado sólido)	0-500 °C	220V 2Φ	H5	Calentador eléctrico de la etapa 5 del proceso
Calentador niquelina H6 (relé de estado sólido)	0-500 °C	220V 2Φ	H6	Calentador eléctrico de la etapa 6 del proceso
Calentador niquelina H7 (relé de estado sólido)	0-500 °C	220V 2Φ	H7	Calentador eléctrico de la etapa 7 del proceso
Calentador niquelina H8 (relé de estado sólido)	0-500 °C	220V 2Φ	H8	Calentador eléctrico de la etapa 8 del proceso
Sirena		110V	S1	Alarma general del sistema
<b>SALIDAS ANALÓGICAS</b>				
<b>ELEMENTO DE CONTROL</b>	<b>RANGO</b>	<b>SEÑAL</b>	<b>IDENTIFICACIÓN</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Variador de frecuencia VSD-01	0-1800rpm	4-20 mA	VSD-01	Controla la velocidad del motor principal

### **3.5 Unidad de análisis.**

La actividad de la fábrica Inducuerdas su actividad es elaborar productos tales como: rafia, cuerdas, cabos y eslingas de polímeros plásticos capaz de resistir condiciones climáticas y ambientes expuestos a las condiciones climáticas y condiciones marinas, los productos se comercializa a los diferentes lugares como Chimborazo, Tungurahua, Santo Domingo, Guayaquil y continuamente buscan alianzas a nivel nacional e internacional.

### **3.6 Selección de la muestra**

Para este estudio se utiliza una muestra no probabilística que se basa en el criterio y juicio del investigador, orientado hacia el análisis de la rafia obtenida en el proceso extrusión de empresa Inducuerdas.

### **3.7 Tamaño de la muestra**

La producción obtenida del proceso de extrusión actual en un período de un mes es de 4000 kg lo que se constituye en la muestra bajo estudio, se pretende incrementar la producción y reducir el consumo de recursos energéticos por medio de automatización del proceso.

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Evaluación de la situación del proceso de producción

Los costos de producción actual se resumen en la Tabla 1-4, se consideran parámetros como los costos de materiales directos, es decir la materia prima que es el polipropileno y el polietileno.

También se consideran los costos indirectos como los costos por servicios, embalaje, etiquetado y repuestos, mostrado en la Tabla 2-4.

Tabla 1-4 Costo de producción: materiales directos

<b>COSTO DE MATERIALES DIRECTOS</b>			
	<b>kg</b>	<b>PRECIO</b>	<b>SUBTOTAL</b>
POLIPROPILENO	4366	1.14	4977.34
POLIETILENO	490.58	0.94	461.14
		<b>TOTAL (dólares)</b>	<b>5438.48</b>

Elaborado por: PERALTA, Paulina 2016.

Tabla 2-4 Costo de producción: materiales indirectos

<b>COSTO DE MATERIALES INDIRECTOS</b>				
	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>PRECIO</b>	<b>SUBTOTAL</b>
STRECH	60	u	4.60	276.00
ETIQUETAS	17447	u	0.003	45.12
ENERGÍA ELÉCTRICA	44.07	kWh	0.12	1180.97
REPUESTOS			500	500
			<b>TOTAL (dólares)</b>	<b>2002.09</b>

Elaborado por: PERALTA, Paulina 2016.

Los valores obtenidos para materiales directos e indirectos corresponden a un mes de producción.

El valor del kWh utilizado para el cálculo se determina en base a lo estipulado por la Agencia de Regulación y Control de la Electricidad en el Ecuador (ARCONEL) a la fecha marzo 2017.

El monto asignado para repuestos corresponde a partes de cambio frecuente en la máquina, según el registro histórico de remplazo de partes se evidencia un consumo promedio mensual de 500 dólares que corresponde en mayor proporción a recambio de contactores del sistema de calentamiento.

El stretch forma parte del embalaje del material producido y las etiquetas son parte de la identificación del producto final.

El resumen de costos de producción se detalla en la tabla 3-4, en función del de la materia prima, consumo energético y repuestos.

Tabla 3-4 Resumen: Costo de producción actual

<b>COSTO DE PRODUCCIÓN MENSUAL</b>				
<b>MATERIALES DIRECTOS</b>				
	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>PRECIO</b>	<b>SUBTOTAL</b>
POLIPROPILENO	4366	kg	1.14	4977.34
POLIETILENO	490.58	kg	0.94	461.14
<b>MATERIALES INDIRECTOS</b>				
	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>PRECIO</b>	<b>SUBTOTAL</b>
STRECH	60	u	4.60	276.00
ETIQUETAS	17447	u	0.003	45.12
ENERGÍA ELÉCTRICA	31680.00	kWh	0.12	3801.06
REPUESTOS			500	500
			<b>TOTAL</b> <b>(dólares)</b>	<b>10061.20</b>

Elaborado por: PERALTA, Paulina 2016.

#### **4.2 Evaluación de las variables del proceso de producción**

Con los datos obtenidos directamente con los directivos de la planta y confirmados en campo por medio de la técnica de registro y la utilización de instrumentos de medida se

detallan en la Tabla 4-4, se concluye que el consumo energético de toda la fábrica es elevado, llegando a un pago mensual de 4500 dólares cuando la máquina extrusora está en servicio, pero, lo preocupante es que se evidenció que, en un período de tiempo de un mes que la máquina extrusora estuvo fuera de servicio el costo energético bajo drásticamente a los 900 dólares mensuales. Lo que indica que efectivamente en las actuales condiciones la máquina de extrusión es la que demanda mayor cantidad de energía.

Tabla 4-4 Detalle del consumo de energía de la máquina extrusora, breaker 1.

LÍNEA	ENERGÍA KWh	CORRIENTE [A]	POTENCIA ACTIVA [Kw]	POTENCIA APARENTE [KVA]	POTENCIA REACTIVA [KVAr]	FACTOR DE POTENCIA
L1	26,00	65,2	7,27	5,26	1,8	0,86
L2		75,8	6,97	9,63	5,72	0,813
L3		64	5,65	7,81	3,46	0,621

Elaborado por: PERALTA, Paulina 2016.

En el detalle de la tabla 4-4, los datos se tomaron directamente del tablero principal que se encuentran todas las cargas inductivas (motor principal, ventilador, bobinas de contactores).

En la Tabla 5-4 se detallan los consumos energéticos que corresponden a las niquelinas (cargas resistivas) de la máquina de extrusión, las cuales en sus 8 zonas registran un consumo de 40 Amperios.

Tabla 5-4 Detalle del consumo de las niquelinas, breaker 2.

LÍNEA	ENERGÍA KWh	CORRIENTE [A]	POTENCIA ACTIVA	POTENCIA APARENTE	POTENCIA REACTIVA	FACTOR DE POTENCIA
			[Kw]	[KVA]	[KVAr]	
L1	18.07	40	9	7,59	3,4	0,86
L2		30	9	10,49	3,16	0,86

Realizado por: PERALTA, Paulina 2016.

### **4.3 Mejoras obtenidas**

Por medio de la implementación de este proyecto se logra reducir el costo de producción mensual considerando que se reducen los siguientes costos:

- Costo por repuestos.
- Costo por energía eléctrica.
- Costo por desperdicio de materia prima.

#### ***4.3.1 Reducción de costos por repuestos***

El gasto más significativo que tiene actualmente la empresa en lo relacionado con repuestos es el deterioro continuo de los contactores que energizan las niquelinas del sistema de calentamiento de la máquina extrusora.

En las condiciones actuales, para que la niquelina se mantenga a la temperatura que requiere el proceso, el contactor debe realizar continuos cambios en su estado.

Estos cambios continuos producen desgaste en los elementos mecánicos internos del contactor y repercuten en su deterioro prematuro.

Como alternativa para este problema se diseña un sistema de control para las niquelinas por medio de relés de estado sólido asociados a las salidas digitales del PLC, el diagrama esquemático de muestra en la figura 15-3.

Según los registros contables de la empresa se tiene un costo mensual por repuestos que alcanza los 500 dólares americanos solo en la adquisición de contactores y niquelinas para el sistema de calentamiento de la máquina de extrusión.

Para la reducción de costos por concepto de repuestos, la inversión es de 7753,00 dólares americanos que se justifica con la implementación de los siguientes elementos, cuyos costos se detallan en la tabla 7-4.

- 8 Relés de estado sólido 2 fases, I<sub>max</sub> 30A, voltaje de control 110 VCA.
- 10 SITRANS TH200; Transmisores de temperatura para montaje sobre el elemento sensor de conexión tipo DIN B.
- Módulo de entradas analógicas AI8 x 13 bits.
- 1 Transmisor de presión para medición de presión manométrica rango de 0 a 100 PSI, salida 4-20 mA.
- 10 Termocuplas tipo J.
- Cable para termocuplas.

#### ***4.3.2 Reducción de costos por energía eléctrica***

En la situación actual el consumo de energía eléctrica mensual en la máquina extrusora es de 31680 kWh, si calculamos con un precio de 0.12 centavos por cada kWh que cobra la Empresa Eléctrica Riobamba, resulta un costo mensual por energía que alcanza los 3801.06 dólares Americanos.

Este monto tan elevado por consumo de energía eléctrica afecta directamente el costo de producción y encarece el precio del producto final y consecuentemente la utilidad para la empresa.

Con la ayuda de instrumentos para análisis energético se determinó que existen pérdidas por consumo innecesario y distribución desequilibrada de las cargas como se muestra en los resultados de las tablas 1 y 2, que pueden ser controladas con la finalidad de reducir el costo por energía.

También se utilizaron técnicas como la termografía en todos los tableros eléctricos y se determinaron puntos calientes que generan pérdidas por efecto Joule.

#### ***4.3.3 Reducción de costos por pérdida de materia prima***

Las principales pérdidas de materia prima en el proceso de extrusión se producen cuando la diferencia de temperatura entre una y otra etapa es muy pronunciada a lo largo del proceso.



En esta condición se pierde todo el material que queda dentro de la máquina y es necesario desecharlo para empezar nuevamente el proceso.

La materia prima también se desperdicia cuando la velocidad de operación del motor principal no se controla adecuadamente, en la condición actual el control de la velocidad del motor se realiza de forma manual por medio de un potenciómetro instalado en la entrada analógica del variador de frecuencia, el operador de la máquina es el encargado de manipular el potenciómetro según su criterio y experiencia lo cual no garantiza la precisión que requiere el proceso.

En la condición actual se presentan pérdidas en el proceso que representan el 18% del total de la materia prima ingresada en el proceso, este dato es obtenido de los registros que lleva el jefe de planta.

Considerando que mensualmente en materia prima Polipropileno se procesan 4366 kg, quiere decir que se desperdician 785.88 kg, esto en costo de producción representa 895.90 dólares americanos, como se muestra en la tabla 3.

La materia prima Polietileno se procesa 490.58 kg, se desperdician 88.30 kg cada mes, esto relacionado con el costo de producción representa 83.00 dólares americanos en pérdidas.

#### 4.3.4 Resumen de mejoras

Tabla 6-4 Tabla resumen de mejoras mensuales a obtener

REDUCCIÓN DE COSTOS POR REPUESTOS		
INVERSIÓN	REDUCCIÓN	
\$ 7753,00	\$ 500,00	CONTACTORES, NIQUELINAS, BREAKER, etc.
REDUCCIÓN DE COSTOS POR ENERGÍA ELÉCTRICA		
INVERSIÓN	REDUCCIÓN	
\$ 2801,00	\$ 1.356,00	kWh
REDUCCIÓN DE COSTOS POR PÉRDIDA DE MATERIA PRIMA		
INVERSIÓN	REDUCCIÓN	
	\$ 895,90	POLIPROPILENO
\$ 5561,00	\$ 83,00	POLIETILENO
TOTAL:	\$ 2.834,90	

COSTO DE PRODUCCIÓN ACTUAL:	\$	10.061,20
TOTAL DE REDUCCIÓN:	\$	2.834,90
COSTO DE PRODUCCIÓN ESTIMADO:	\$	7.226,30

Elaborado por: PERALTA, Paulina 2016.

#### 4.4 Controlador y software requerido para el proceso

En nuestro país existen dos marcas reconocidas en lo referente a controladores lógicos programables de tipo industrial. SIEMENS y ALLEN BRADLEY.

En base al listado de señales requerido para la aplicación de este proyecto, considerando sus prestaciones detalladas en la tabla 7-4 a modo comparativo y los precios en los que se comercializan en nuestro país dos marcas: SIEMENS y ALLEN BRADLEY, se concluye que la mejor alternativa en cuanto al controlador se refiere es la utilización del controlador SIMATIC S7-1200 con un CPU 1215C DC/DC/DC V4.1 de marca SIEMENS.

Presenta beneficios como: Memoria de trabajo 125KB; fuente de alimentación 24V DC con DI14 x 24V DC SINK/SOURCE, DQ10 x 24V DC, AI2 y AQ2 integradas; 6

contadores rápidos y 4 salidas de impulso integradas; Signal Board amplía E/S integradas; hasta 3 módulos de comunicaciones para comunicación serie; hasta 8 módulos de señales para ampliación E/S; 0,04ms/1000 instrucciones; 2 interfaces PROFINET para programación, HMI y comunicación PLC-PLC. Se muestra en el anexo B la disposición del PLC, módulo GSM, módulos de entradas analógicas.

Se complementa con dos módulos adicionales de entradas analógicas de las siguientes características: Módulo de entradas analógicas AI8 x 13 bits; bloques de bornes enchufables; entrada: 2,5V, 5V, 10V y 0/4...20mA; supresión de frecuencias parametrizable; filtrado parametrizable; diagnóstico parametrizable,

El software requerido para el proyecto se compone de tres programas:

- TIA Portal V13: Software para programación del PLC.
- WinCC RT Start: Software para simulación de panel view.
- PLC SIM V13: Software para simulación del PLC.

El presupuesto que se muestra en la Tabla 7-4, se lo realiza en de acuerdo a cotizaciones realizadas a fecha marzo del 2017, de acuerdo a los equipos que se utilizaron en el modelamiento del proceso de extrusión en el entorno virtual de la propuesta.

#### 4.5 Presupuesto de la automatización de acuerdo al diseño

Tabla 7-4 Presupuesto de la implementación

CANT	DESCRIPCIÓN	NOMBRE ABREVIADO	REFERENCIA	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	Procesador de comunicaciones CP 1242-7 para comunicación SIMATIC S7 1200 a la red GSM/GPRS	CP 1242-7	6GK7 241-7KX30-0XE0	992.00	992.00
1	Antena ANT 794-4MR GSM Quadband.	100016890	6NH9860-1AA00	95.00	95.00
2	Módulo de entradas analógicas AI8 x 13 bits; bloques de bornes enchufables; entrada: 2,5V, 5V, 10V y 0/4..20mA; supresión de frecuencias parametrizable; filtrado parametrizable; diagnóstico parametrizable	SM 1231 AI8	6ES7 231-4HF32-0XB0	723.00	1 446.00
1	PLC SIMATIS S7 1200, Memoria de trabajo 125KB; fuente de alimentación 24V DC con DI14 x 24V DC SINK/SOURCE, DQ10 x 24V DC, AI2 y AQ2 integradas; 6 contadores rápidos y 4 salidas de impulso integradas; Signal Board amplía E/S integradas; hasta 3 módulos de comunicaciones para comunicación serie; hasta 8 módulos de señales para ampliación E/S; 0,04ms/1000 instrucciones; 2 interfaces PROFINET para programación, HMI y comunicación PLC-PLC	CPU 1215C DC/DC/DC	6ES7 215-1AG40-0XB0	1 100.00	1 100.00
1	Pantalla de 9,0" TFT, 800 x 480 píxeles, colores 16M; pantalla táctil; 1 x MPI/PROFIBUS DP, 1 x interfaz	TP900 Comfort	6AV2 124-0JC01-0AX0	4 435.00	4 435.00

	PROFINET/Industrial Ethernet con soporte para MRP y RT/IRT (2 puertos); 2 x slots para tarjetas multimedia; 3 x USB				
1	Software runtime para visualización basada en PC (requiere WinCC Runtime Advanced)	WinCC RT Advanced	6AV2 104-0xxxx-xxxx Versión: 13.0.1.0	980.00	980.00
10	SITRANS TH200; Transmisores de temperatura para montaje sobre el elemento sensor de conexión tipo DIN B, señal de salida 4-20 mA, separación galvánica, para termocuplas y RTD's.	-	7NG3211-1NN00	356.56	3 565.00
8	Relés de estado sólido 2 fases, I <sub>max</sub> 30A, voltaje de control 110 VCA	-	3RF 22-AB30-1AB35	30.00	240.00
1	Transmisor de presión para medición de presión manométrica rango de 0 a 100 PSI, salida 4-20 mA sin display, conexión 1/2 NPT macho	SITRANS P	7MF1567-4BG00-1GA1	324.00	324.00
10	Termocuplas tipo J	-	7MC7511-1JA04-0CB2	217.00	2 170.00
4	Cable para termocuplas	-		2.00	8.00
1	Analizador de energía SENTRON PAC 3200	-	7KM2112-0BA00-3AA0	721.00	721.00
30	Cable control	-		0.40	12.00
45	Cable de comunicaciones	-		0.60	27.00
1	Diseño de automatización	-	HMI, SCADA	500.00	500.00
				<b>TOTAL USD</b>	16 115.00

## 4.6 Criterio de validación

### 4.6.1 Análisis costo beneficio

Mediante la utilización de esta herramienta que basa su razonamiento en el principio de obtener los mayores y mejores resultados al valor invertido, en los ámbitos técnicos y humanos,

La característica que distingue a esta herramienta para el análisis permitiendo cuantificar al máximo posible los beneficios y costos en términos económicos (Martínez, 2014).

Tabla 8-4 Resumen de gastos de producción mensual

<b>Mejoras</b>	<b>Inversión</b>
Reducción de costos por repuestos	7753,00
Reducción de costos por energía eléctrica	2801,00
Reducción de costos por pérdida de materia prima	5561,00
Total inversión	16115,00

Valor de reducción de producción mensual	2834,90
--	---------

Costo implementación una sola vez	-16115,00
Beneficio por año	34018,80
Beneficio neto anual	17903,80

Elaborado por: PERALTA, Paulina 2016.

$$\text{Costo beneficio} = \frac{\text{valor de beneficios}}{\text{valor de costos}}$$

$$\text{Costo beneficio} = \frac{17903,80}{16115,00}$$

$$\text{Costo beneficio} = 1,11$$

Como el resultado obtenido de 1.11 por lo tanto mayor a 1.00, se entiende que el proyecto es beneficioso para la empresa y los egresos considerados por la implementación serán recuperados en el lapso de seis meses por reducción de gastos en la producción, que corresponde al 22%.

De los datos obtenidos en la presente investigación y registrados en la tabla 7-4, se desprende el costo total de inversión correspondiente a equipos y materiales es de 16615.00 dólares americanos.

La contribución mensual de realizar la implementación sería de 2834.90 dólares americanos de acuerdo a la Tabla 6-4, que analiza el costo de: repuestos, materia prima y costo de energía que corresponde el 17.06% de ahorro mensual.

El tiempo de recuperación de la inversión es de 6 meses aproximadamente considerando la inversión total es de 16615.00 dólares y el ahorro es de 2834.90 dólares.

Con los datos obtenidos de la investigación propuesta de los capítulos III y IV se procede a modelar el proceso de extrusión en un entorno virtual que se detalla en el siguiente capítulo.

## CAPÍTULO V

### 5. PROPUESTA

El control que se propone en el presente trabajo es de tipo lazo cerrado, la variable física a ser controlada es la temperatura, es necesario mantener la temperatura en cada una de las zonas del proceso de extrusión lo más estable posible y dentro del parámetro requerido.

El sistema controla automáticamente la velocidad de avance del tornillo en base a la lectura de los parámetros de operación, la velocidad es controlada por el variador de frecuencia General Electric Fuji Electric AF-300 P11, ver figura 1-5, este variador controla las revoluciones del motor LEROY SOMER de 22kW, mismo que acciona la caja reductora que da movimiento al tornillo sin fin, ver figura 2-5.



Figura 1-5 Variador de frecuencia general Fuji Electric

Fuente: Fotografía Inducuerdas 2016.





Figura 2-5 Motor trifásico Lery Somer

Fuente: Fotografía Inducuerdas 2016

Las niquelinas son controladas por medio de relés de estado sólido comandados por las salidas digitales del PLC-01 siempre bajo la configuración del set point que requiere el proceso.

La presión a la salida del proceso es controlada y monitoreada permanentemente con rangos de alarma para evitar posibles incrementos de presión descontrolados en el proceso.

### **5.1 Diseño del sistema automatizado.**

Para la presente propuesta se consideró dos tipos de PLC de tipo industrial como SIEMENS Y ALLEN BRADLEY por sus múltiples prestaciones como: robustez, versatilidad, disponibilidad en el mercado, escalabilidad y comunicaciones; pero debido a la accesibilidad del software y costo de los equipos para la implementación se optó por SIEMENS.

En la ANEXO A se puede observar la arquitectura desarrollada para el proyecto, cuenta con un controlador principal de la familia SIMATIC, con procesador CPU1215C, tiene prestaciones de monitoreo tanto local como remoto a través de dos HMI.

En la ANEXO B se puede observar la arquitectura desarrollada para el proyecto, cuenta con un controlador principal de la familia Allen Bradley, CPU1756-L71, tiene prestaciones de monitoreo tanto local como remoto a través de dos HMI Factory Talk View V7.0.

El módulo PAC 3200 es el encargado de monitorear permanentemente y en tiempo real todas las variables eléctricas del proceso. Por medio de comunicación Ethernet toda la información llega al procesador central y es proyectada hacia las dos interfaces de monitoreo tanto local como remoto.

Toda la información y registro histórico de parámetros tanto del proceso como de magnitudes eléctricas, se almacenan en la base de datos interna y están disponibles para que el operador y los funcionarios de la empresa puedan acceder, monitorear y evaluar el comportamiento del proceso. Esta herramienta es fundamental para el control estadístico del proceso.

El sistema está diseñado con la capacidad de enviar mensajes de alerta al propietario de la planta vía texto directamente a su teléfono celular, esta herramienta le brinda al propietario de la planta la confianza y seguridad de que si ocurre algo dentro del proceso de producción el estará completamente informado y podrá tomar acciones al respecto.

En el anexo C se puede observar las características del GSM, CP1242-7 dentro de la configuración del programa.

Para el control de proceso se utilizan dos módulos de entradas analógicas adicionales SM1231 AI8, en estos módulos se conectan todas las señales provenientes de los transmisores de temperatura y presión, en el anexo D se muestra las características.

El panel view TP900 Confort, ubicado en la máquina de extrusión en el Anexo E, es un panel de nueve pulgadas con facilidades táctiles de tipo industrial y soportable en tablero.

Brinda todas las facilidades para monitoreo y control a pie de equipo directamente por el operador de la máquina de extrusión.

Adicional se cuenta con una estación de monitoreo remoto por medio de una consola y comunicación Ethernet que tiene las mismas prestaciones que el panel local, con la ventaja que el propietario de la planta puede monitorear el proceso y descargar el histórico de variables desde la comodidad de su oficina; La estación de monitoreo remoto está

compuesta por un computador, una tarjeta de comunicaciones y el software WinCC RT Advanced.

La tarjeta de comunicaciones utilizada para este proyecto es de propósito general, detallada en la programación como: IE general.

## 5.2 Simulación del proceso de extrusión

Por medio de las herramientas S7-PLC SIM y WinCC RT, se realiza el modelado en el entorno virtual de la simulación del proceso y se demuestra el funcionamiento del proyecto, considerando las condiciones detalladas en la filosofía de operación en el capítulo III.

Todas las etapas de simulación se verifican de forma real en la animación HMI.

La animación de todo el proceso dentro del panel view es amigable e intuitiva, de fácil entendimiento para el operador, cuenta con siete pestañas para monitoreo de todo el proceso, se puede observar figura 3-5.



Figura 3-5 Pantalla de Inicio

Fuente: PERALTA, Paulina 2016.

Para poder ingresar los datos indicados en el párrafo anterior el operador debe ingresar su clave personal de acceso, si no ingresa la clave correctamente el sistema no le permite ingresar al proceso.

La figura 4-5, muestra la pantalla de inicio de operación del proceso en el HMI de 9,0" TFT; para operar el proceso debe realizarse por personal autorizado lo que implica que operadores, jefe de planta e ingeniería puedan acceder por medio de contraseñas.



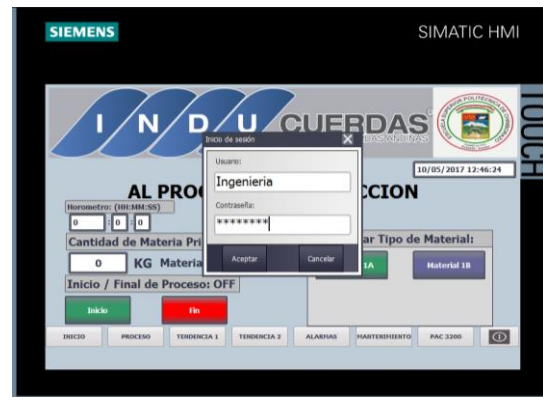
a)



b)



c)



d)

Figura 4-5 Pantalla de acceso por usuario (a) Operador 1, (b) Operador 2, (c) Jefe de planta, d) Ingeniería

Fuente: PERALTA, Paulina 2016.

Dependiendo del tipo de usuario se puede seleccionar el tipo de material que se desea trabajar material 1A o material 1B que por sus características depende de la temperatura del proceso y la velocidad de arrastre para proceder al inicio del proceso como se muestra en la figura 5-5.



Figura 5-5 Pantalla de selección del tipo de material

Fuente: PERALTA, Paulina 2016.

También hay que registrar la cantidad de materia que se ha ingresado a la tolva para almacenar en el registro del historial y se procede a dar inicio como se visualiza en la figura 6-5 y el sistema iniciara el contador de tiempo (horómetro), y procederá a registrar el tiempo de funcionamiento.



Figura 6-5 Pantalla de selección del tipo de material

Fuente: PERALTA, Paulina 2016.

Una vez ingresado al proceso la pantalla indica ocho pestanas, en la figura 7-5 se muestra la parte inferior de la pantalla en la que se puede visualizar 8 botones que permiten el acceso a:

INICIO:	Página principal de acceso.
PROCESO:	Monitoreo de todo el proceso.
TENDENCIA 1:	Visualización de tendencias del primer grupo de variables.
TENDENCIA 2:	Visualización de tendencias del segundo grupo de variables.
ALARMAS:	Presencia de alarmas dentro del proceso.
MANTENIMIENTO:	Configuración de parametros y set point de los instrumentos.
PAC3200:	Monitoreo de parametros eléctricos del proceso.
OFF:	Pestana para apagar el panel view.



Figura 7-5 Pantalla de selección del tipo de material

Fuente: PERALTA, Paulina 2016.

Cada una de estas pantallas se presenta a continuación:

El panel view local notifica al operador cuando se presenta alguna alarma dentro del proceso, le indica de forma clara cuál es el evento que se presentó y él puede tomar acción inmediata.

En la pantalla de proceso se muestra en la figura 8-5 a las termocuplas con el valor que están registrando, así como de color rojo las niquelinas que están funcionando y de color gris las que están apagadas, los switch de nivel y el valor de la frecuencia que mantiene el variador de velocidad, para el ingreso de los valores de temperaturas se debe realizar en el S7 PLC SIM ver anexo G.

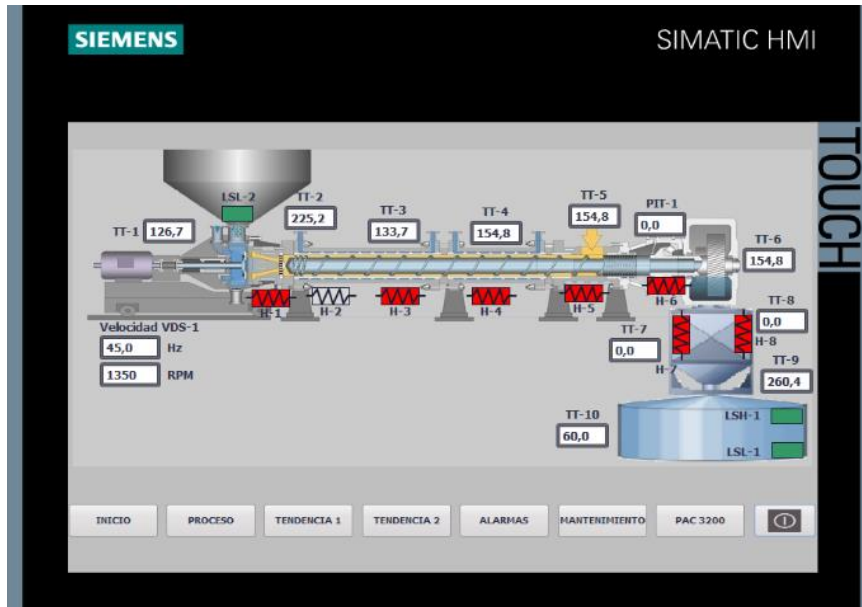


Figura 8-5 Pantalla PROCESO  
Elaborado por: PERALTA, Paulina 2016

Para la presentación de alarmas de ser el caso las notifica visualmente en la pantalla de proceso mostrada en la figura 9-5, y las almacena en la pantalla de alarmas como se muestra en la figura 10-5.

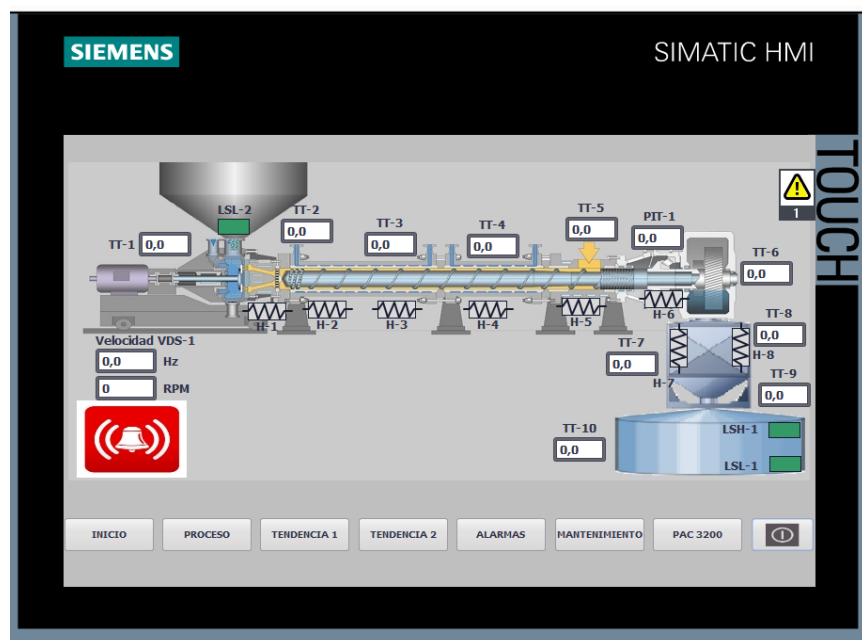


Figura 9-5 Panel view local  
Elaborado por: PERALTA, Paulina 2016

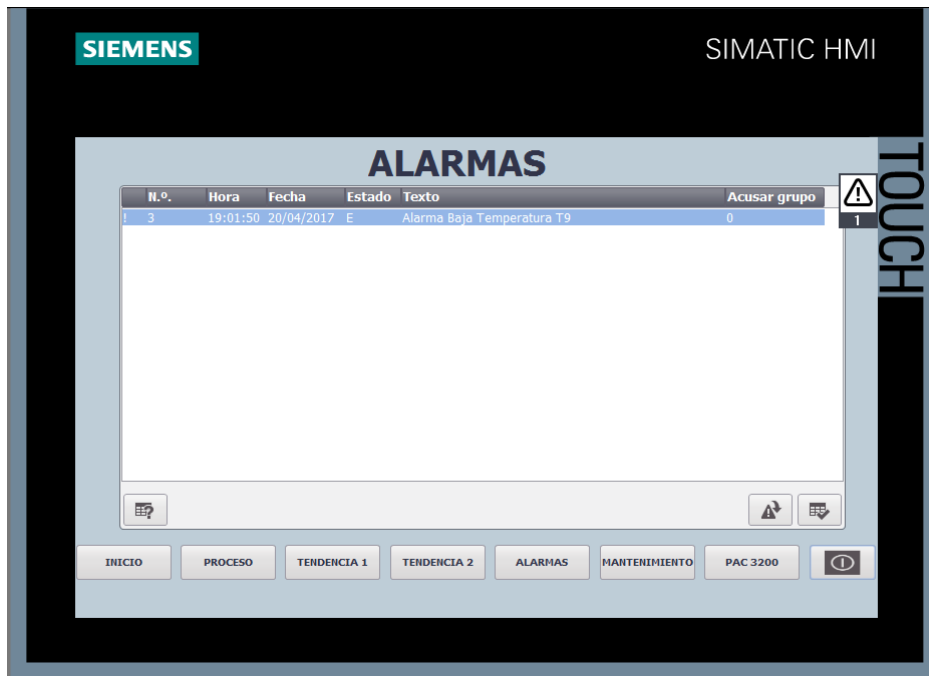


Figura 10-5 Pantalla alarmas

Elaborado por: PERALTA, Paulina 2016

En la pestaña mantenimiento mostrado en la figura 11-5, se presenta la siguiente pantalla en la que se detallan set poin de cada tipo de material la temperatura para activar las alarmas, también en esta pantalla se pueden cambiar los set point por medio del usuario de ingeniería en caso de requerirlo.

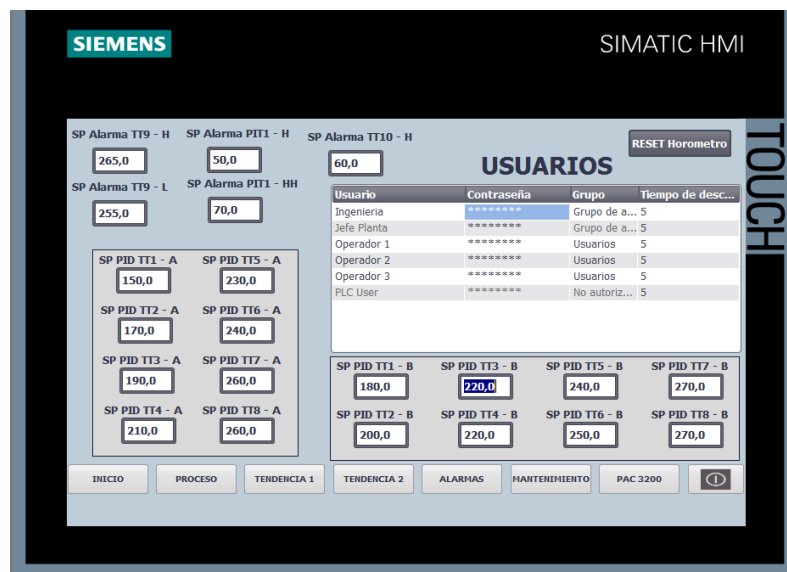


Figura 11-5 Pantalla mantenimiento

Elaborado por: PERALTA, Paulina 2016



### 5.3 Control estadístico del proceso de extrusión.

El control estadístico permite monitorizar detenidamente la variable del proceso y de este modo supervisar que se encuentre bajo control. Un HMI o SCADA indica el gráfico de control y además advierte cuando alguna señal exceda los límites. (Electric, General, 2017)

Una vez que el proceso está trabajando de forma eficiente y se encuentran habilitadas las herramientas para lectura y almacenamiento de valores se puede iniciar con el análisis de las variables, mismas que se almacenan cada determinado tiempo con el fin de registrar, distinguir y alertar variaciones que estén fuera de los límites preestablecidos de control del programa.

En este proyecto se pueden medir y almacenar las siguientes variables:

- Corriente (A)
- Voltaje (V)
- Potencia (P, Q, S)
- Factor de potencia ( $\text{Cos } \phi$ )
- Energía (kWh)
- Temperatura del proceso ( $^{\circ}\text{C}$ )
- Tiempo de operación (h)
- Cantidad de materia prima utilizada (kg)
- Nombre del operador
- Presión del sistema (psi)
- Alarmas del proceso

Cada una de ellas incluye la posibilidad de presentación gráfica de los datos en un determinado período de tiempo, como se muestra en la figura 12-5 las variables de potencia, corrientes y tensiones registradas por el analizador de energía.

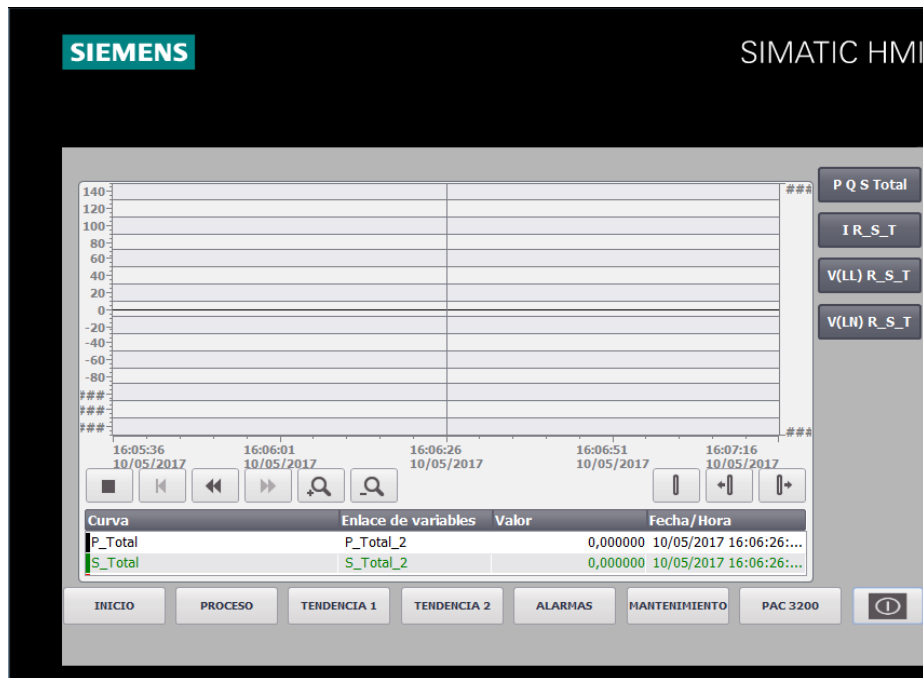


Figura 12-5 Pantalla de tendencias

Elaborado por: PERALTA, Paulina 2016

Para cada una de las variables se determina un valor medio, con la finalidad de determinar los límites considerados de advertencia e intervención en el anexo F se muestra como direccionar los historiales de las variables.

La parte que permite recopilar las señales del proceso recogidas por las entradas del PLC y el analizador de energía, la concepción de este sistema es un SCADA que permite mostrar el estado del proceso de forma gráfica para poder detectar variaciones además de tener en cuenta los datos precedentes y su posible tendencia y mantenerse en control el proceso.

Para mejorar la calidad del producto y reducir los gastos dentro del proceso de producción hay que considerar la información que aporta del sistema.

En el proceso de extrusión se analiza la relación entre una variable y otra para relacionar la causa-efecto de la temperatura y la velocidad para obtener un producto de calidad, y determinar la variable que está causando la variación.

Al obtener una gráfica lineal en la que se determinan el límite superior y un límite inferior, la línea en medio el control del proceso es esta dentro de la banda de control, en el caso del alejamiento de la banda de control de la variable el programa diseñado permite tomar acciones correctivas inmediatamente y da aviso al jefe de planta y almacena en el historial para su posterior envío.

Las herramientas estadísticas que se usaran para graficar las variables y deducir el funcionamiento del proceso va orientado para el análisis del:

- Personal Técnico
- Personal gerencial

### **5.3.1 Personal técnico**

Utiliza la información almacenada en los históricos para el análisis de las variables involucradas en el proceso de producción con la finalidad de planificar mantenimientos preventivos y realizar posibles reajustes en el sistema de control; las variables a ser analizadas por el personal técnico son las siguientes:

- Voltaje
- Corriente
- Potencias activa, reactiva y aparente
- Factor de potencia
- Frecuencia
- Tiempo de operación
- Alarmas

**Con la información de las variables se puede elaborar:**

- Gráficas de control por variable
- Histogramas de frecuencia

Las gráficas de control estadístico mostradas en la figura 13-5 de procesos son útiles para medir la calidad actual generada por el proceso y detectar si éste ha cambiado en deterioro de la calidad.

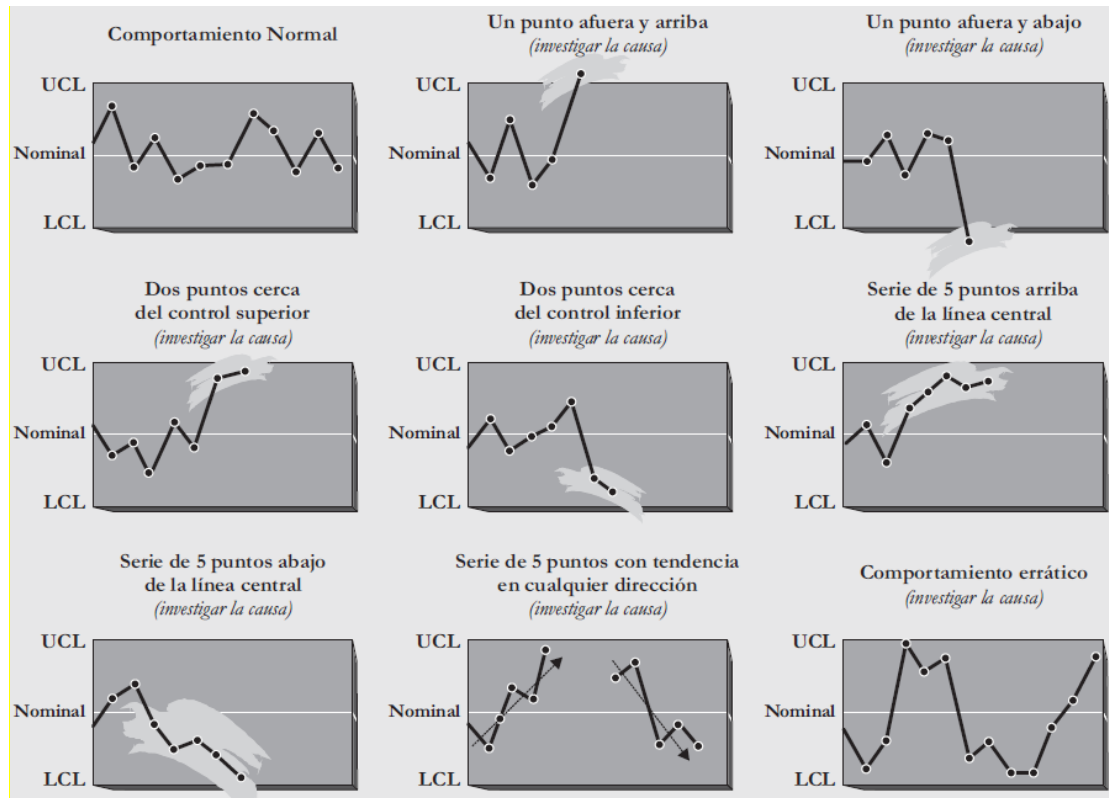


Figura 13-5 Tipos de gráficos de control

Fuente: Control estadístico de procesos, González 2014.

El histograma es útil cuando se tiene un gran número de datos que es preciso organizar para analizar detalladamente o tomar decisiones sobre la base de ellos, además es una herramienta eficaz para transmitir información sobre un proceso de forma precisa e inteligible.

Tener este tipo de información es muy importante puesto que se convierte en una herramienta de análisis y proyecciones tanto en costos como en la planificación de mantenimientos en función a las horas de trabajo de la máquina.

En el HMI se muestra estos gráficos que permiten la visualización gráfica del proceso en tiempo real y posibles variaciones del proceso, pero con su respectiva notificación de alarmas y correcciones por parte del sistema de control.

### 5.3.2 *Personal gerencial*

Con la información registrada de las variables del proceso como:

- Energía
- Tiempo de operación
- Cantidad de materia prima utilizada
- Nombre de los operadores en cada turno

Se puede construir gráficas de control e histogramas que permiten entender de forma sintetizada el consumo de energía en determinado tiempo de operación y con la cantidad de materia prima que se utilizó en cada turno de operación con el nombre de responsable en el turno, con el fin de proyectar la demanda de energía, insumos y operaciones.

Con estas herramientas elaboradas con los datos entregados por el proceso se puede prever la cantidad de producción por día y mes, permitiendo disponer y ofertar al mercado nacional los productos.

Al realizar la simulación de la propuesta que se muestra en este capítulo se demuestra la ejecución de todos los parámetros considerados en la filosofía de programación en el capítulo III, y además se puede analizar el programa diseñado para el PLC S7 1200 en el software de programación TIA Portal V13.

Se realizó la programación por Tags de forma independiente las condiciones para el funcionamiento.

- Control de producto, ver anexo H
- Alarmas, ver Anexo I
- Enviar email, ver anexo J
- Medidor de energía, ver Anexo K
- Salida a niquelinas, ver anexo L
- Envío de SMS, ver Anexo M
- Linealizar entradas, ver Anexo N

La modelación virtual de la propuesta se muestra en los anexos se realizó de acuerdo a la filosofía de programación citada en el capítulo III y la simulación corresponde a los programas de SIEMENS en el entorno virtual de TIA Portal V13.

## CONCLUSIONES

- La forma en la que se procesa actualmente el polipropileno en la planta de producción no es eficiente, genera pérdidas económicas por el frecuente recambio de repuestos, registra un excesivo consumo energético y mantiene una elevada cantidad de desperdicios en la materia prima, esto se muestra en la figura 11 del capítulo 3.
- La automatización industrial planteada para el proceso de extrusión se fundamenta en la investigación realizada en el capítulo 2 en el que se describe las estrategias de control a utilizar y los diagramas planteados para el proceso de extrusión automatizado.
- El monitoreo permanente del proceso tanto de modo local como remoto, brinda la posibilidad de tomar decisiones oportunas, en el capítulo 5 se demuestra virtualmente la funcionabilidad del proceso en base a la filosofía descrita en el capítulo 3.
- Se determinó el costo total de la implementación del proyecto y el detalle de los valores y característica de cada uno de los elementos necesarios se describen en la tabla 7 del capítulo 4. Todos los materiales necesarios se encuentran disponibles en el mercado nacional.

## **RECOMENDACIONES**

- Poner a consideración a los directivos de la planta de producción las ventajas y beneficios que obtendría si se implementa este proyecto de automatización, la ventaja más significativa es la reducción del costo de producción.
- Investigar permanentemente los avances tecnológicos que puedan ser implementados a futuro para mantener actualizado el proceso de extrusión.
- Poner a consideración de los directivos de la empresa como utilizar todas las variables disponibles con la finalidad de sacarle el máximo provecho a todos los registros almacenados en la base de datos del sistema.
- En la medida de lo posible utilizar los materiales y equipos según las características indicadas en la tabla 7 del capítulo 4 considerando que todas las pruebas y simulaciones fueron realizadas con elementos de estas características.
- Implementar un programa de mantenimiento basado en la condición de la máquina y los registros de las horas de servicio almacenados en la base de datos, con la finalidad que la maquina salga de operación solo el tiempo programado.



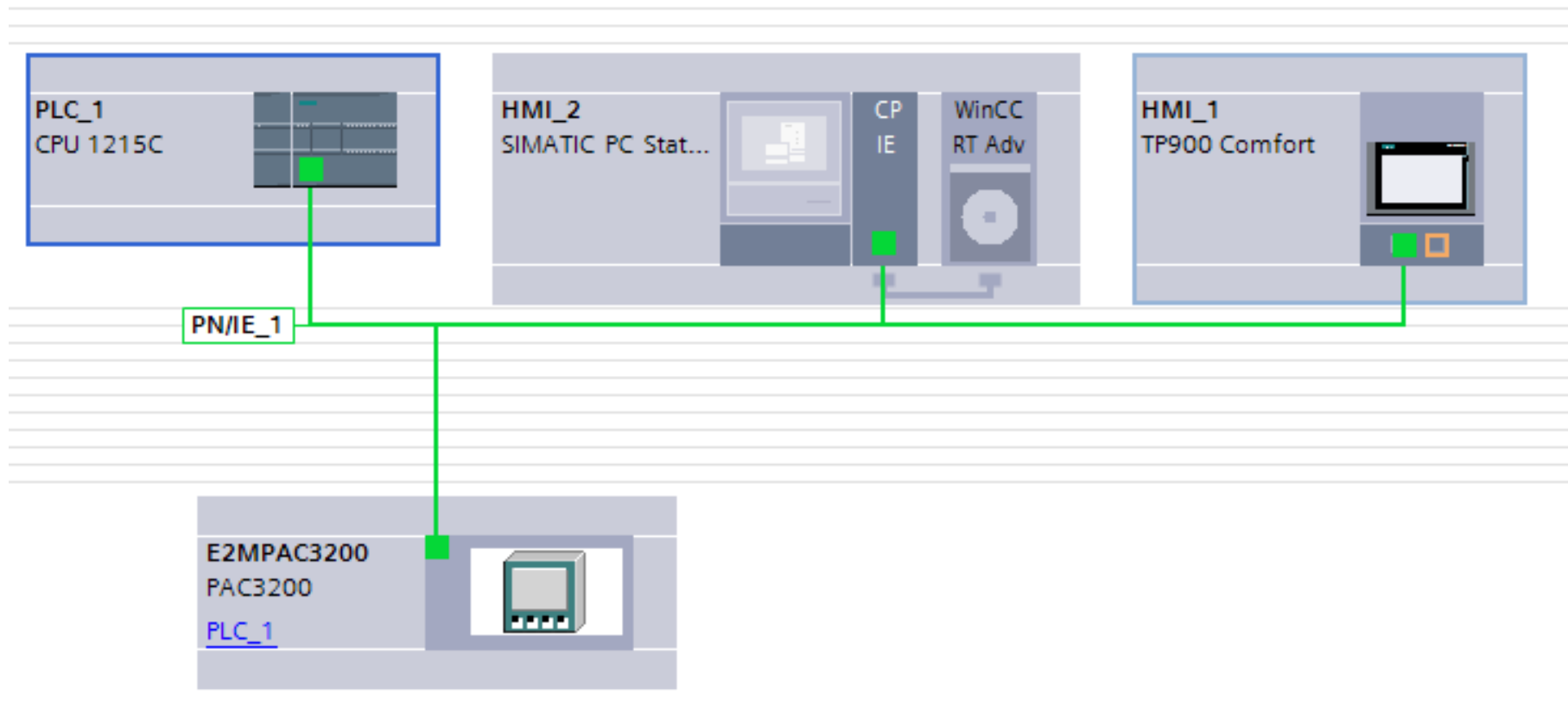
## BIBLIOGRAFÍA

1. **Allen-Bradley Company, I.** (2005). Descripción y aplicación de controladores programables. Estados Unidos.
2. **Arias J, C. A.** (2011). Diseño y construcción de una máquina extrusora de plástico para peletizar polímeros reciclados mediante el uso de microcontroladores.
3. **Beltran, M.** (2012). *Tecnología de polímeros*. une. Obtenido de <http://iq.ua.es/TPO/Tema4.pdf>
4. **Smith, Carlos A.** (1997). *Control automatico de procesos*. New York: Limusa.
5. **Creus, A.** (2012). Instrumentación Industrial. Marcombo.
6. **Daneri, P. A.** (2008). PLC automatización y control industrial. Argentina: Hispano Americana S.A. H.A.S.A.
7. **Durán, J.** (2012). Automatismos Eléctricos Industriales. En H. Martinez. Barcelona-España: Marcombo.
8. **Ecuador: El telegrafo.** (2016). <http://www.letelegrafo.com.ec>. Obtenido de <http://www.letelegrafo.com.ec/noticias/economia/8/20-000-personas-recolectan-botellas-plasticas-tipo-pet-infografia>
9. **Eléctricos, B. P.** (1991). R. Lawrie. Bogota-Colombia: Océano Centrum.
10. **Escandon E, M. C.** (2006). *Automatización del sistema de un proceso de extrusión de cintas de polipropileno*. Guayaquil.
11. **Fink Donald, B. W.** (2004). Manual de Ingeniería Eléctrica. México: Mc Graw-Hill.
12. **Gesellschaft, D.** (1983). *Matemática Aplicada a la Electrónica*. Alemania.
13. **Gronona, C. N.** (2016). Automatización Industrial. Chile, Chile.
14. **Instituto Petroquímico Ecuatoriano.** (2015). <http://www.ipe.org.ec/>. Obtenido de Instituto Petroquímico Ecuatoriano: <http://www.ipe.org.ec/>
15. **Ogata, K.** (2010). Ingeniería de control moderna. Madrid.
16. **OMEGA.** (20 de enero de 2017). *OMEGA*. Obtenido de [www.omega.com](http://www.omega.com)
17. **Ecuador: Ministerio de Recursos Naturales No Renovables; M. d.** (2015). *ministerio de recursos naturales*. Obtenido de [www.recursosnaturales.gob.ec](http://www.recursosnaturales.gob.ec)
18. **Roadstrum, W.** (1999). Ingeniería Eléctrica Para Todos los Ingenieros. En W. D. México: Alfaomega.

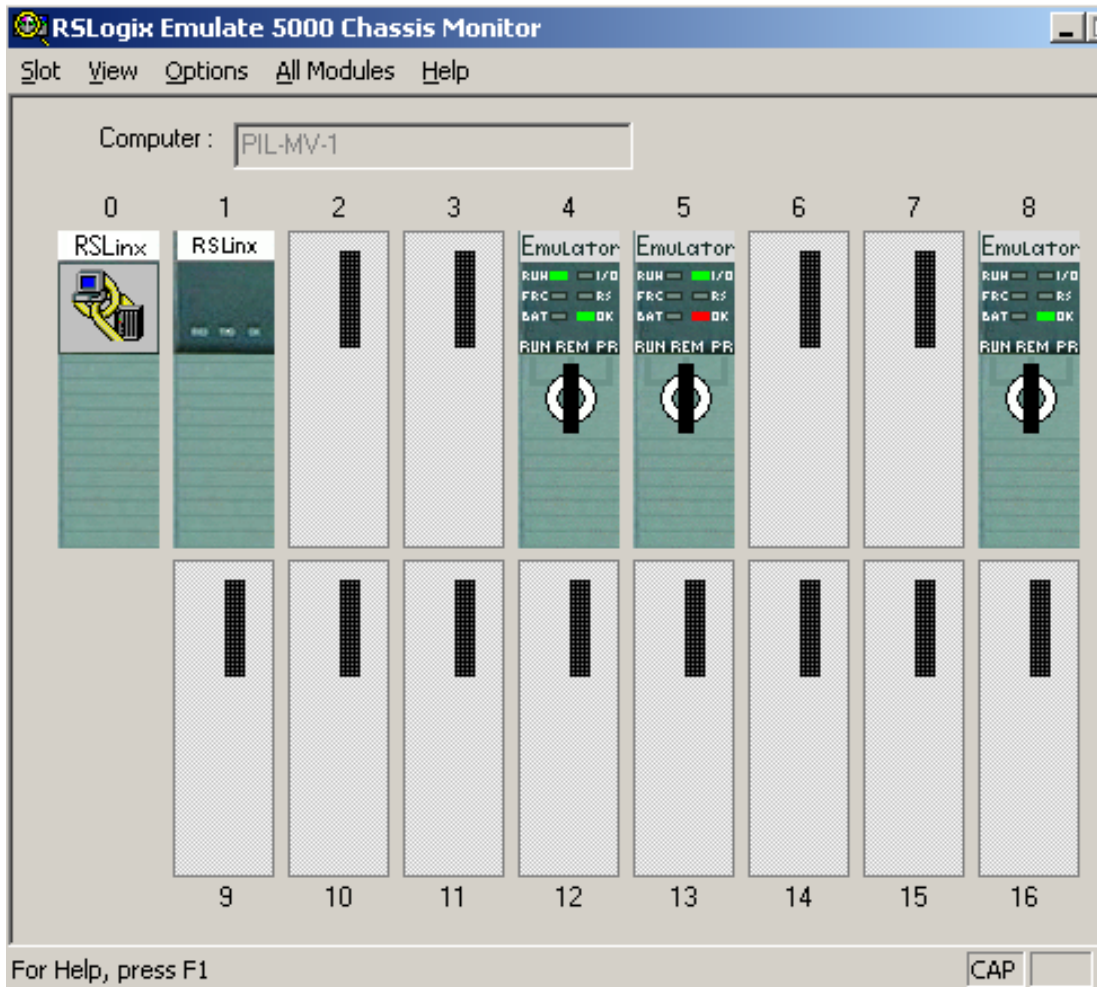
19. **Sabaca, M.** (2006). *Automatismos y cuadros eléctricos*. España: Mc Graw Hill.
20. **Ecuador. Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo.** (s.f.). *Buen Vivir plan Nacional 2013-2017*. Obtenido de <http://www.buenvivir.gob.ec/el-sistema-nacional-de-planificacion>
21. **Seymour, R. B.** (2002). *Introducción a la química de los polímeros*. Barcelona: Reverté S.A.
22. **Textos científicos.** (25 de 06 de 2016). *Textos científicos*. Obtenido de <http://www.textoscientificos.com/polimeros/tipos-de-polimeros>
23. **Veritas, Bureau.** (2015). *Bureau Veritas formación* . Obtenido de [https://control-estadistico-de-la-calidad.wikispaces.com/file/view/UC17\\_Control\\_estadistico\\_procesos.pdf](https://control-estadistico-de-la-calidad.wikispaces.com/file/view/UC17_Control_estadistico_procesos.pdf)

## ANEXOS

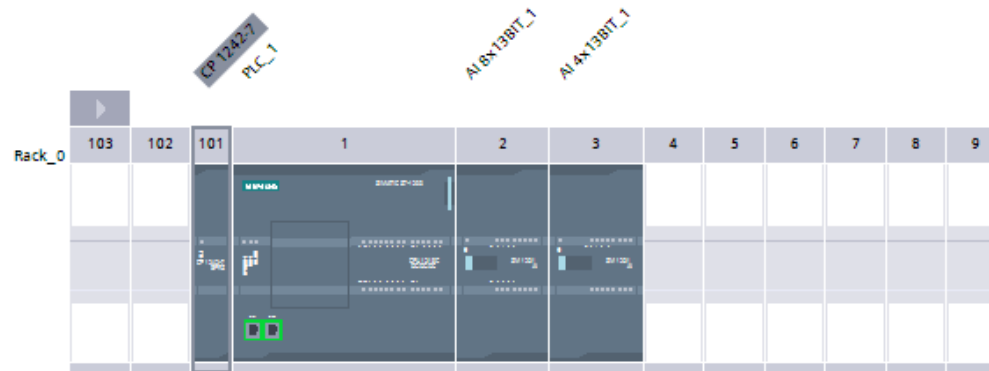
### Anexo A. Arquitectura de automatización con SIEMENS



**Anexo B.** Arquitectura proceso de automatización con Allen Bradley



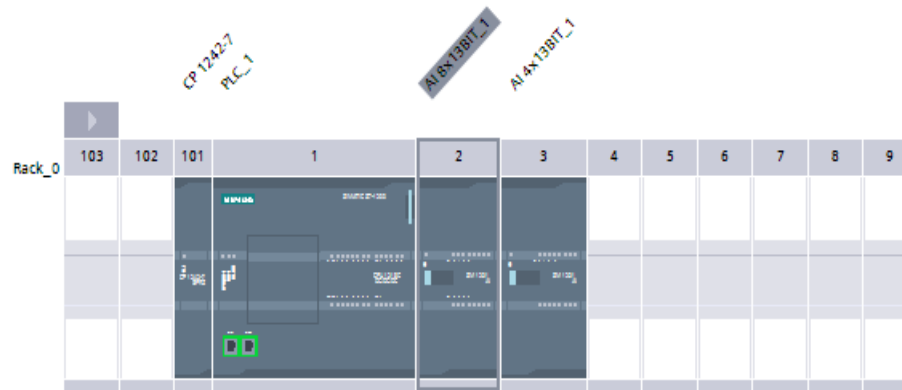
## Anexo C. Características módulo GSM de SIEMENS



The screenshot shows the Siemens SIMATIC Manager software interface. The window title is '1242-7 [CP 1242-7]' and the active tab is 'Propiedades'. The 'Información de catálogo' section displays the following information:

- Descripción abreviada: CP 1242-7
- Descripción: Procesador de comunicaciones CP 1242-7 para la conexión de SIMATIC S7-1200 a la red GSM/GPRS
- Referencia: 6GK7 242-7KX30-0XE0
- Versión de firmware: V1.4

**Anexo D.** Características de los módulos de entradas analógicas



8x13BIT\_1 [Module] 75%

Propiedades Información Diagnóstico

General Variables IO Constantes de sistema Textos

**General**

AI 8

- ▶ Entradas analógicas
- Direcciones E/S
- ID de hardware

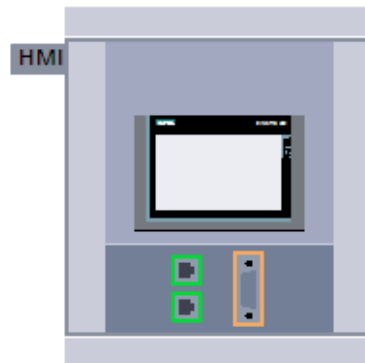
Descripción abreviada: SM 1231 AI8

Descripción: Módulo de entradas analógicas AI8 x 13 bits; bloques de bornes enchufables; entrada: 2,5V, 5V, 10V y 0/4..20mA; supresión de frecuencias parametrizable; filtrado parametrizable; diagnóstico parametrizable

Referencia: 6ES7 231-4HF32-0XB0

Versión de firmware: V2.0

## Anexo E. Características panel view TP9000

Una captura de pantalla de un software de configuración de HMI. La interfaz muestra un árbol de configuración a la izquierda y un panel de propiedades a la derecha. El árbol de configuración está expandido en "General" y muestra "Genera" seleccionado. El panel de propiedades muestra los siguientes datos:

Propiedad	Valor
nombre abreviado:	TP900 Comfort
designación:	Pantalla de 9,0" TFT, 800 x 480 píxeles, colores 16M; pantalla táctil; 1 x MPI/PROFIBUS DP, 1 x interfaz PROFINET/Industrial Ethernet con soporte para MRP y RT/IRT (2 puertos); 2 x slots para tarjetas multimedia; 3 x USB
Referencia:	6AV2 124-0JC01-0AX0
Versión:	13.0.1.0

## Anexo F. Direccionamiento de historiales de las variables.

The screenshot displays the TIA Portal software interface. The main window is titled 'EXTRUSORA INDUCUERDAS Rev3' and shows the 'Ficheros de variables' table. The table has the following data:

Nombre	Ubicación	Registros por ...	Ruta	Modo del ori...	Nombre del orig...
PQ3200	Archivo RDB	500	C:\Users\PAULINA\Desktop\docum...	Nombre defin...	
Presión	Archivo RDB	500	IStorage Card SDLogs	Nombre defin...	
Resistencias	Archivo RDB	500	IStorage Card SDLogs	Nombre defin...	
SP_Temp	Archivo RDB	500	IStorage Card SDLogs	Nombre defin...	

Below this table is the 'Variables de fichero' table:

Nombre	Variable de proceso	Modo de adquisición	Ciclo de archiva...	Límit
PIT1	DB_AI_PIT1_Real	Cíclico	5 s	
<Agregar>				

A 'Buscar carpeta' dialog box is open in the foreground, showing a file explorer view with 'Escritorio' selected. The background interface includes a project tree on the left, a top menu bar, and a status bar at the bottom with a message log.



**Anexo G.** Pantalla PLCSIM para ingresar temperaturas.

Árbol del proyecto Tabla SIM\_1

---

Nombre

- ▼ Proyecto34 ✓
- ▼ PLC\_1 [CPU 1215C DC/DC/DC] ✓
- Configuración de dispositivos
- ▼ Tablas SIM
- Agregar nueva tabla SIM
- Tabla SIM\_1
- ▶ Secuencias

	Nombre	Dirección	Formato de visua..	Observar/forzar valor	Bits	Forzar coherente...	
01	*TT1*	%IW96	Hex	16#1200		16#0000	<input type="checkbox"/>
01	*TT2*	%IW98	Hex	16#2000		16#0000	<input type="checkbox"/>
01	*TT3*	%IW100	Hex	16#1300		16#0000	<input type="checkbox"/>
01	*TT4*	%IW102	Hex	16#1600		16#0000	<input type="checkbox"/>
01	*TT5*	%IW104	Hex	16#1600		16#0000	<input type="checkbox"/>
01	*TT6*	%IW106	Hex	16#1600		16#0000	<input type="checkbox"/>
01	*TT7*	%IW108	Hex	16#0000		16#0000	<input type="checkbox"/>
01	*TT8*	%IW110	Hex	16#0000		16#0000	<input type="checkbox"/>
01	*TT9*	%IW112	Hex	16#2500		16#0000	<input type="checkbox"/>
01	*LSL2*	%I0.2	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE	<input type="checkbox"/>
01	*TT10*	%IW114	Hex	16#0885		16#0000	<input type="checkbox"/>
01	*PIT_1_H*	%M20.6	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE	<input checked="" type="checkbox"/>

**Anexo H** Programa control de producto

**Anexo I.** Programación de Alarmas

**Anexo J** Programación envío de Email

**Anexo K.** Programación de medidor de energía

**Anexo L.** Programación de entradas

**Anexo M.** Programación de envío de SMS

**Anexo N.** Programa linealizar entradas y salidas