



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y
CONTROL EN LA LÍNEA DE EXTRUSIÓN DE LA EMPRESA
VULCANO PLÁSTICO**

Trabajo de titulación previo a la obtención
del título de Ingeniero Mecatrónico

AUTORES: DAVID ISRAEL MEJÍA OCHOA
DUSTIN STEVEN RUIZ TIZÓN

TUTOR: ING. PAÚL ANDRÉS CHASI PESANTEZ, Msc.

Cuenca – Ecuador

2022

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, David Israel Mejía Ochoa con documento de identificación N° 0106002074 y Dustin Steven Ruiz Tizón con documento de identificación N° 0941129389; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 31 de julio del 2022

Atentamente,



David Israel Mejía Ochoa
0106002074



Dustin Steven Ruiz Tizón
0941129389

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, David Israel Mejía Ochoa con documento de identificación N° 0106002074 y Dustin Steven Ruiz Tizón con documento de identificación N° 09411293897, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: "Diseño e implementación de un sistema de monitoreo y control en la línea de extrusión de la empresa Vulcano Plástico", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Mecatrónico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 31 de julio del 2022

Atentamente,



David Israel Mejía Ochoa
0106002074



Dustin Steven Ruiz Tizón
0941129389

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Paúl Andres Chasi Pesantez con documento de identificación N° 0103652095, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL EN LA LÍNEA DE EXTRUSIÓN DE LA EMPRESA VULCANO PLÁSTICO, realizado por David Israel Mejía Ochoa con documento de identificación N° 0106002074 y Dustin Steven Ruiz Tizón con documento de identificación N° 0941129389, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 31 de julio del 2022

Atentamente,



Ing. Paúl Andres Chasi Pesantez, Msc.

0103652095

Dedicatoria

David Mejía

Dedico este trabajo a mi familia, en especial a mi madre y mi padre, ya que han sido mi motivación y un apoyo incondicional a lo largo de mi vida, también por su sacrificio y sabiduría durante todo mi proceso de formación académica y en especial como persona.

A mis hermanos que en todo momento estuvieron conmigo apoyándome y dándome ánimos cuando mas lo necesitaba

Dustin Ruiz

Dedicó el presente trabajo a Dios por la fortaleza, a mis padres Luis y Shirley por ser mi pilares fundamentales, guías y apoyo incondicional en mi formación cómo ser humano y profesional.

A mi estimado Ingeniero Juan Andrés por ser un amigo incondicional y a mi compañero David Mejía por el esfuerzo y dedicación para haber culminado esta etapa.

A mi estimada Ingeniera Sthefania por sus consejos y constante apoyo durante todo este periodo de titulación.

Finalmente, dedico a mis demás familiares que a pesar de no estar presentes siempre me han brindado sus buenos deseos a la distancia.

Agradecimientos

David Mejía

Le agradezco a Dios por haberme permitido culminar una etapa importante en mi vida, a mi familia por apoyarme en todo momento a lo largo de mi carrera universitaria, y en especial a mis padres por su dedicación, esfuerzo y por los consejos que me han servido de mucho para lograr este objetivo.

Quiero agradecer a la empresa Vulcano Plástico por abrirnos las puertas y darnos la oportunidad de realizar nuestro proyecto de titulación dentro de sus instalaciones.

Al Ing. Paúl Chasi, por haber aceptado ser nuestro tutor, brindándonos su apoyo y consejos que fueron fundamentales para el desarrollo de nuestro proyecto de grado.

Dustin Ruiz

Quiero mostrar mi agradecimiento a nuestro tutor de tesis el Ing. Paúl Andres Chasi Pesantez, Msc. Por brindarnos su tiempo, paciencia y experiencia al impartir sus conocimientos para el desarrollo del presente proyecto.

De igual forma agradezco a la empresa Vulcano Plástico por habernos permitido ingresar a sus instalaciones, brindar la información necesaria para culminar este proceso.

Este documento fue realizado enteramente en L^AT_EX

Índice

Certificado de responsabilidad y autoría del trabajo de titulación	I
Certificado de cesión de derechos de autor del trabajo de titulación a la Universidad Politécnica Salesiana	II
Certificado de dirección del trabajo de titulación	III
Dedicatoria	IV
Agradecimientos	V
Resumen	XIII
Abstract	XIV
1. INTRODUCCIÓN	1
2. PROBLEMA	1
2.1. Estudio del Problema	1
2.2. Justificación	2
2.3. Delimitación	3
2.3.1. Espacial	3
2.3.2. Temporal	3
2.3.3. Sectorial	3
3. OBJETIVOS	4
3.1. Objetivo General	4
3.2. Objetivos Específicos	4
4. MARCO TEÓRICO	4
4.1. Trituración	5
4.1.1. Maquinas de trituración	5
4.1.2. Molinos	6
4.2. Mezclado	8
4.3. Extrusión	8
4.3.1. Máquina Extrusora	9
4.3.2. Componentes de la extrusora	9
4.3.3. Equipos utilizados para extrusión de plástico	11
4.3.4. Mecanismo de control de la maquina Extrusora	12

4.3.5.	Termocuplas	13
4.3.6.	Tipos de Termocuplas	13
4.3.7.	Resistencias de abrazadera hermética	14
4.3.8.	Variador de Frecuencia	15
4.4.	Sistemas de Monitoreo y Control	16
4.4.1.	Controladores lógicos programables (PLC)	18
4.4.2.	HUMAN MACHINE INTERFACE (HMI)	19
5.	DISEÑO DEL SISTEMA	20
5.1.	Componentes del Sistema de Control	22
5.1.1.	Controlador Lógico Programable (PLC)	22
5.1.2.	Módulo de expansión de temperatura	24
5.1.3.	Pantalla HMI	25
5.1.4.	Switch Ethernet	25
5.1.5.	Sensores de temperatura (Termocuplas)	26
5.1.6.	Controlador de temperatura analógico	26
5.1.7.	Fuente de poder	27
5.1.8.	Elementos Protección	28
5.1.9.	Elementos de Señalización	28
5.2.	Circuitos de Potencia y Control	29
5.2.1.	Circuito de Potencia	29
5.2.2.	Selección del conductor para el motor	30
5.2.3.	Dimensionamiento de elemento de protección del motor	32
5.2.4.	Selección del conductor para las niquelinas	33
5.2.5.	Diseño del circuito de control	34
5.2.6.	Diseño de comunicación industrial	36
6.	IMPLEMENTACIÓN	38
6.1.	Montaje e Instalación de los Dispositivos	38
6.2.	Programa de control del PLC	41
6.3.	Interfaces gráficas HMI - Pc	44
6.3.1.	HMI	44
6.3.2.	Interfaz Gráfica Pc	46
7.	PRUEBAS, ANÁLISIS Y RESULTADOS	49
7.1.	Pruebas Eléctricas	49
7.2.	Pruebas de Comunicación entre las Interfaces Gráficas y PLC	50
7.3.	Pruebas con Niquelinas	50

7.4. Pruebas con la Materia prima	51
8. CONCLUSIONES	52
9. RECOMENDACIONES	53
REFERENCIAS	56
ANEXOS	57

Lista de Tablas

1.	Características de termopares metálicas. (Tania y Zujew, 2018)	14
2.	Requerimientos para seleccionar el PLC.	23
3.	Características eléctricas del PLC.(Siemens Simatic, 2021, 17 de enero) . .	24
4.	Características del Módulo de Temperatura.(Siemens Simatic, 6, 2010) . .	24
5.	Características de la pantalla HMI Kinco.(Kinco, s.f.)	25
6.	Características del Switch Ethernet TP-Link TL-SF1008D de 8 puertos.(TP-link, 2014)	26
7.	Características del controlador analógico de temperatura.(Electric, s.f.) . .	27
8.	Características de la Fuente de Poder.(RS Pro, s.f.)	27
9.	Características del breaker para riel 2P 63A tipo C.(Super eléctrico, s.f.) .	28
10.	Características de voltímetro luz piloto verde.(Electricidad Guzman, s.f.-b)	29
11.	Características de amperímetro luz piloto rojo.(Electricidad Guzman, s.f.-a)	29
12.	Perfiles flexibles fabricados por Vulcano Plástico.	69

Lista de Figuras

1.	Maquina trituradora de plástico. (Martí, 2019)	6
2.	Molino de Martillo.(Cuadrado Moncayo y Rueda Castillo, 2009)	6
3.	Molino de disco sencillo. (Avilez Arévalo y Ochoa Guaraca, 2021)	7
4.	Molino de doble disco. (Avilez Arévalo y Ochoa Guaraca, 2021)	7
5.	Máquina mezcladora de plástico. (Gester, 2019, octubre 21)	8
6.	Máquina extrusora. (Aristegui, 2020, Enero 20)	9
7.	Tornillo de extrusión. (Hilaño Chanatasi, 2011)	10
8.	Lazo de control proceso de extrusión.(Bolton, 2006)	12
9.	Termopar tipo "J". (Arian, 2010)	13
10.	Resistencia de abrazadera. (Julio Martinez Naya S.A., 2018)	15
11.	Variadores de velocidad de motores trifásicos. (Suarez, 2017)	15
12.	PLC Siemens S7-1200. (Guanokuiza Changoluisa, 2017)	18
13.	Human Machine Interface.	20
14.	Fuente: Indiamart.	20
15.	Esquema general del sistema de monitoreo y control.	21
16.	Termocupla tipo "J".(Arian, 2010)	26
17.	Circuito de Potencia.	30
18.	Placa de identificación del motor.	31
19.	Dimensionamiento de cables de cobre según el soporte de amperaje.(Uncable, 2020, febrero 15)	32
20.	Circuito de Potencia – Niquelinas	33
21.	Intensidad que consume Niquelina 2	34
22.	Circuito de control del sistema.	35
23.	Diagrama de flujo de la extrusora.	36
24.	Diagrama de comunicación industrial.	37
25.	Tablero de control.	38
26.	Disposición del disyuntor de motor.	39
27.	Disposición de fuente de poder - Plc S71200 - relés.	39
28.	Disposición breakers de protección.	40
29.	Montaje de la puerta del tablero de control.	41
30.	Conversión a grados Celsius.	42
31.	Accionamiento de niquelinas.	42
32.	Indicadores de Molino y Mezcladora.	43
33.	Diagrama de flujo del programa del PLC.	44
34.	Interfaz gráfica HMI.	45
35.	Interfaz gráfica HMI.	46

36.	Interfaz gráfica Pc "Principal".	47
37.	Interfaz gráfica Pc "Planta de producción".	47
38.	Interfaz gráfica Pc Recetas de producción".	48
39.	Barra de opciones.	48
40.	Interfaz gráfica Pc "Histórico de temperaturas".	49
41.	Pruebas HMI.	50
42.	Niquelinas.	51
43.	Amperímetros.	51
44.	Trituración de materiales reciclados.	52
45.	Compuesto de PVC.	52
46.	Programación en Ladder PLC - Segmento 1	59
47.	Programación en Ladder PLC - Segmento 2	60
48.	Diseño de la estructura del tablero de control	62
49.	Plano Eléctrico - Alimentación Principal	64
50.	Plano Eléctrico - Fuerza Niquelinas	65
51.	Plano Eléctrico - Circuito de Control	66
52.	Diferentes moldes para la extrusión de los perfiles flexibles	70
53.	Rollos de perfiles flexibles extruidos	70

Resumen

Hoy en día el proceso de extrusión va ganando terreno dentro del sector industrial, especialmente en el área de los polímeros, en donde como resultados de dicho proceso se obtienen productos con características uniformes, homogéneas y con formas determinadas según sea su aplicación. La empresa Vulcano Plástico cuenta con una línea de producción conformada por tres máquinas que realizan diferentes procesos: molino, mezcladora y extrusora, las cuales se encuentran bajo la supervisión de un operador todo el tiempo en el que la máquina se encuentra en funcionamiento, ninguna de las máquinas mencionadas posee algún tipo de control que permita una supervisión integral de los procesos. Para optimizar la línea de extrusión se ha propuesto un sistema mecatrónico que permita el monitoreo y control de toda la línea de producción mencionada que conforman los 3 diferentes procesos, con el fin de controlar y monitorear la producción sin la total presencia de un operario, esta implementación beneficiará a la empresa con un aumento de su capacidad productiva garantizando la misma calidad del producto.

Palabras clave: Polímeros, Procesos, Molino, Mezcladora, Extrusora, Control, Supervisión, Optimizar.

Abstract

Today the extrusion process is gaining ground within the industrial sector, especially in the area of polymers, where as results of said process are obtained products with uniform, homogeneous characteristics and with certain shapes depending on your application. The company has a production line made up of three machines that carry out different processes: mill, mixer and extruder, which are located under the supervision of an operator at all times when the machine is in operation, none of the mentioned machines has any type of control that allows a supervision integrates the processes. To optimize the extrusion line, it has been proposed a mechatronic system that allows the monitoring and control of the entire production line mentioned that according to the 3 different processes, in order to control and monitor the production without the total presence of an operator, this implementation will benefit the company with an increase in its production capacity guaranteeing the same quality of the product.

Keywords: Polymers, Processes, Mill, Mixer, Extruder, Control, Supervisión, Optimize.

1. INTRODUCCIÓN

En este presente proyecto de titulación, con enfoque técnico intitulado “Diseño e Implementación de un Sistema de Monitoreo y Control en la línea de extrusión de la empresa Vulcano Plástico”, en donde se evidencia la implementación de un sistema mecatrónico para la producción de perfiles transversales de caucho utilizados para el sellado de superficies en diferentes aplicaciones.

El objetivo de los sistemas de monitoreo es reunir información precisa y fuera de errores, que sirva de base para el proceso de toma de decisiones que conlleva los sistemas de control. Al integrar estos dos sistemas tenemos como resultado un solo sistema robusto que se encarga de la supervisión, control y adquisición de datos, con el objetivo de controlar y optimizar todo el proceso aumentando la capacidad de producción manteniendo la estandarización del producto.

En el capítulo 1 se desarrollará una revisión bibliográfica o marco teórico referente a todo el proceso que conlleva la línea de producción, Trituración, Mezclado, Extrusión. Así como también el sistema de monitoreo y control que se quiere implementar y los elementos necesarios para dicho sistema. En el capítulo 2 se desarrollará el diseño del sistema mecatrónico, en el cual constará de cálculos, diagramas, programación de interfaces gráficas tanto para el HMI implementado en el tablero de control y como para el monitoreo y control desde una Pc a la que tendrán acceso usuarios autorizados, y características que requiere el sistema para dar solución a la problemática planteada. En el capítulo 3 se explicará detalladamente cada etapa que se realizó para la implementación de la integración de los procesos que conlleva la línea de producción de extrusión. Finalmente, en el capítulo 4 constara de los resultados obtenidos, conclusiones y recomendaciones.

2. PROBLEMA

2.1. Estudio del Problema

La extrusión de plástico es el proceso de transformación más utilizado en la industria de los polímeros, mediante este equipo se pueden producir diferentes materiales con pro-

piezas compuestas según las diferentes aplicaciones. La empresa Vulcano Plástico se caracteriza por la producción de diferentes elementos a base de polímeros, sus máquinas se encuentran operando con sencillos paneles de control que son enteramente manuales, es decir carecen de un sistema de control y monitoreo óptimo que cuente con una interfaz gráfica que le brinde información al operador (HMI) y a su vez dicha información sea monitoreada y controlada por el jefe de área el proceso por medio de una computadora.

La línea de extrusión de la empresa consta de 3 máquinas que realizan 3 diferentes procesos, estos son el molino, la mezcladora y la extrusora. Una de las ramas de producción en el que este proyecto de titulación se enfocara, consiste en obtener materia prima (reciclaje de polímeros) que pasará por un molino para su trituración el cual nos dará como resultado una materia prima granulada, luego de su trituración pasará a una mezcladora en donde dicha materia prima granulada se mezclará en conjunto con resinas, tales como el compuesto de PVC y/o compuestos de EPDM en donde se pretende conseguir una composición homogénea para finalizar con el proceso de extrusión que dará como resultado los diferentes tipos de perfiles de sellado para las diferentes áreas de la industria. Cabe recalcar que los procesos de molienda y mezclado llevan operando sin algún sistema de monitoreo al que nos pueda indicar que dichas maquinas están en funcionamiento, se buscará la integración de los procesos de trituración, mezclado y extrusión implementándose dentro de un solo sistema de monitoreo y control para que la empresa pueda optimizar y reducir los tiempos de proceso para la elaboración de sus productos.

Con esta implementación se puede garantizar un menor tiempo de fabricación con la misma calidad con la que han venido elaborando sus productos dando como resultado una mayor tasa de producción, también se pueden realizar mejoras en el proceso administrativo en función de los insumos o materiales utilizados dentro la línea de producción.

Por ende se observa la necesidad de implementar un sistema de monitoreo y control para la línea extrusión, ya que se deben realizar procedimientos de monitoreo y control de las temperaturas de la extrusora, así como el monitoreo del funcionamiento de los otros dos procesos que constan dentro de la línea de producción como lo son el molino y la mezcladora, almacenar datos para generar históricos de la producción de los diferentes perfiles, y que estos datos puedan ser generados desde una sola computadora.

2.2. Justificación

Los sistemas de control y adquisición de datos son altamente estudiados en el campo de la ingeniería mecatrónica bajo la rama de la automatización industrial, aquí se estudia

a detalle todo lo relacionado a sistemas de instrumentación industrial, que incluyen los sensores, los transmisores de campo, los sistemas de control y supervisión, los sistemas de transmisión y recolección de datos y las aplicaciones de software en tiempo real para supervisar y controlar las operaciones de plantas o procesos industriales.

El objetivo del presente proyecto es la de garantizar las condiciones óptimas de operación necesarias para los 3 diferentes procesos involucrados dentro de la línea de producción. Para este fin se cuenta con los conocimientos técnicos necesarios que permiten el desarrollo del proyecto para realizar a cabalidad el diseño e implementación de un sistema de control y monitoreo de la misma.

2.3. Delimitación

El presente problema de estudio se delimitará en las siguientes dimensiones:

2.3.1. Espacial

El proyecto de titulación con enfoque técnico, se destinará a la ciudad de Cuenca, Provincia del Azuay, al departamento de producción y calidad dentro de la empresa Vulcano Plástico, el cual recibirá un sistema implementado de monitoreo y control integrando los 3 diferentes procesos que están involucrados directamente dentro de la línea de extrusión, reduciendo así el tiempo de producción de sus productos manteniendo la calidad con la que han venido trabajando anteriormente.

2.3.2. Temporal

El desarrollo del presente proyecto de titulación se llevó a cabo en los meses de Noviembre hasta Mayo del año 2022, dividiendo así las actividades en cuatro segmentos principales:

- Recopilación de datos.
- Diseño eléctrico y de control.
- Implementación del tablero de control.
- Pruebas de funcionamiento.

2.3.3. Sectorial

Según la “Clasificación Industrial Internacional Uniforme” (CIIU), avalada por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), este proyecto está dirigido a la

sección “Industrias Manufactureras”, grupo “Fabricación de otros productos poliméricos y compuestos.”, en el que se encuentra la “Fabricación perfiles flexibles de caucho, codos, tri codos, escuadras, guías” componentes necesarios para el ensamblaje de estructuras metálicas de aluminio.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo General

- Diseñar e implementar un sistema de monitoreo y control en la línea de extrusión de la empresa Vulcano Plástico.

3.2. Objetivos Específicos

- Diagnosticar el estado actual del área de extrusión, los equipos mecánicos, eléctricos, de control y condiciones de operación actual, necesaria para el diseño del sistema planteado.
- Diseñar un sistema de monitoreo y control para la línea de extrusión, con las variables y parámetros diagnosticados.
- Implementar el sistema de monitoreo y control en la línea de extrusión, en donde se obtendrá las señales necesarias para enviar la información a un dispositivo lógico programable.
- Realizar pruebas de funcionamiento para verificar la conexión entre el dispositivo y el sistema diseñado, donde se indicará los pasos del proceso y la información de toda la línea de extrusión.

4. MARCO TEÓRICO

Generalmente los polímeros están presentes en la mayoría de actividades cotidianas, que facilitan el desarrollo de ciertos sectores como son la construcción, sector automotriz o incluso en aeronaves, por lo cual se necesitan materiales cuyas propiedades sean eficientes que permitan soportar el trabajo y requerimientos necesarios a los problemas que pueden estar expuestos.

Dentro de la línea de extrusión de la empresa Vulcano Plástico, además de fabricar elementos como tubos, perfiles u otros productos, se centran en la producción de vinil de

caucho EPDM ya que su aplicación resulta útil para el sellado de líquidos hidráulicos, así como el sellado en juntas automotrices y juntas en edificaciones.

El caucho de etileno propileno dieno EPDM es un elastómero que tiene buena resistencia a la abrasión y al desgaste, su composición de etileno consta entre el 45 y el 75%, generalmente cuanto mayor sea el contenido de etileno, mayor será la resistencia al desgaste. El EPDM tiene propiedades aislantes eléctricas efectivas, una alta resistencia sobre los agentes atmosféricos y a productos químicos, y opera a temperaturas entre los -40 y los 140 °C. Ante todo lo antes ya mencionado, el EPDM es un compuesto rentable debido a su durabilidad, resistencia ante las diferentes condiciones físicas externas. (Karpeles y Grossi, 2000)

4.1. Trituración

La trituración como definición se conoce al método de procesamiento de materiales y minerales para reducir y refinar el tamaño de material, las técnicas más utilizadas en la trituración son de impacto, molienda, abrasión o desgaste. El método utilizado en este proyecto es el de molienda ya que nos proporciona un material homogéneo independientemente de su forma y tamaño original. (Sotecma|Especializados en Instalaciones, 2021, August 19)

4.1.1. Maquinas de trituración

Las máquinas trituradoras sirven para reducir grandes piezas plásticas sin tener que hacerlo manualmente o por procedimientos más rudimentales. Durante el proceso, el plástico es introducido a una tolva la cual está diseñada para evitar al máximo que las piezas sobresalgan al exterior, un rotor que posee varias cuchillas que, gracias a la fuerza y velocidad de giro, pueden cortar y triturar piezas de plástico. Luego se pasa por un tamiz que sólo deja pasar el plástico del tamaño requerido, hasta finalizar a un depósito donde será almacenado. Hay muchos tipos de trituradoras con diferentes tamaños, capacidades y velocidades. La elección entre uno y otro dependerá del tipo de material a triturar, capacidad de carga, propiedades, dimensiones y el sistema de corte. (Martí, 2019)

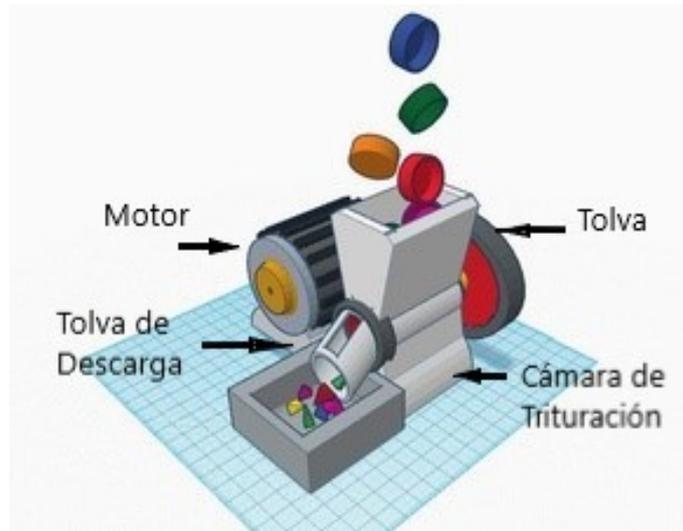


Figura 1: Máquina trituradora de plástico. (Martí, 2019)

4.1.2. Molinos

Los molinos son equipos que se utilizan para reducir el volumen de diversos materiales por diferentes medios mecánicos con el fin de obtener partículas más pequeñas de dichos materiales. Entre los métodos de reducción más empleados están los métodos compresión, impacto, frotamiento de cizalla y de cortado. (Cuadrado Moncayo y Rueda Castillo, 2009)

Y entre los tipos de molinos se destacan:

- **Molinos de martillo:** Este tipo de molino actúa por efecto de impacto, cizalladura y compresión del material entre dos cuerpos. Consiste en una serie de barras de libre movimiento o martillos los cuales están acopladas a unos pivotes y estos a un eje rotatorio, tal como se lo indica en la Figura 2.

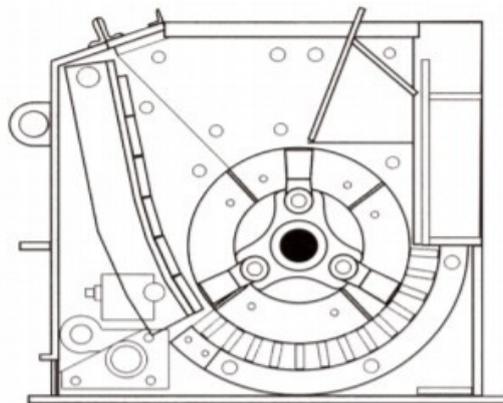


Figura 2: Molino de Martillo.(Cuadrado Moncayo y Rueda Castillo, 2009)

- Molino de disco:** Este tipo de molino de disco sencillo o de abrasión utiliza la fuerza de corte para reducir el tamaño de un material sólido y es principalmente utilizado en moliendas finas. De este modelo se resalta que los discos tienen una superficie dentada o con canaletas y su mecanismo se centra bajo el hecho de que uno de los discos gira a altas velocidades mientras que se enfrenta a un disco fijo Figura 3; mientras que un molino de atracción de doble disco, estos rotan direcciones opuesta lo que facilita el desgaste del material a moler Figura 4 (Pallasco Vizuite y Jami Jami, 2018).

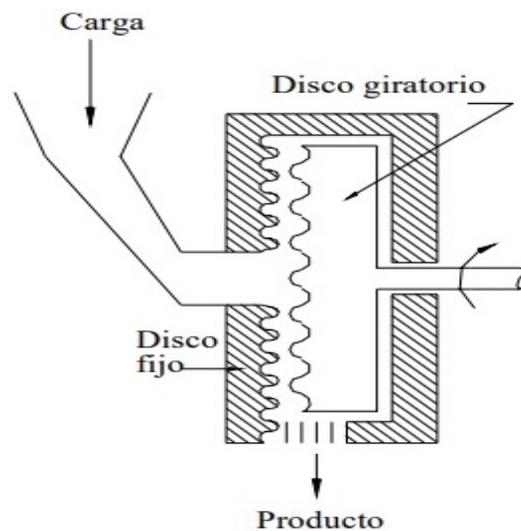


Figura 3: Molino de disco sencillo. (Avilez Arévalo y Ochoa Guaraca, 2021)

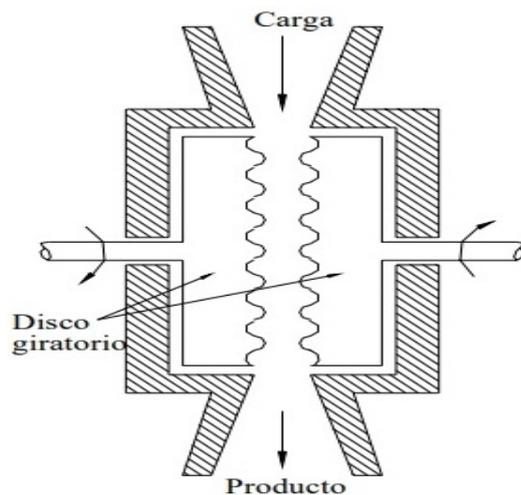


Figura 4: Molino de doble disco. (Avilez Arévalo y Ochoa Guaraca, 2021)

4.2. Mezclado

La mezcla es una operación en la que múltiples componentes con ciertas propiedades se ponen en contacto entre sí para producir un sistema homogéneo con la mayor distribución posible. Los sistemas de mezcla son dispositivos completamente integrados, y su funcionamiento sirve para el manejo de una amplia variedad de materiales, ya sean en polvo o gránulos.

Los mezcladores pueden combinar materiales por volumen (volumétrico) o peso (gravimétrico), y pueden funcionar de forma continua (extrusión) o por lotes (moldeo por inyección). Además, de que su estructura no es compleja y está compuesto por las siguientes piezas: tambor vertical, dispositivo mezclador y finalmente de la salida de descarga. Sus características principales son; tanto su manejo como su manteniendo son bastante fácil. Se aplica principalmente en la mezcla de materiales plásticos. (Gester, 2019, octubre 21)



Figura 5: Máquina mezcladora de plástico. (Gester, 2019, octubre 21)

4.3. Extrusión

La extrusión consiste en permitir el flujo del material termoplástico de forma continua y bajo presión por medio del agujero de manera compleja, de forma tal, que el material tenga una sección transversal igual al orificio. Por otro lado, la materia prima procesada se calienta y libera en el proceso de prevalecer la deformación por fricción interna y el calor externo del material. La extrusión, junto con el moldeo por inyección de plástico, es uno de los métodos más comunes para fabricar productos de plástico. (Ramos, 1993)

La extrusión de plástico puede ser continua (produciendo una pieza indefinidamente

larga) o semi continua (produciendo varias piezas). Si bien existen diferentes tipos de extrusoras, las más comunes son los extrusores de un solo husillo o de tornillo simple.

A nivel mundial el consumo de plásticos es de por lo menos 170 millones de toneladas, de las cuales aproximadamente el 78% corresponde a termoplásticos mientras el 22% restante a termofijos, donde se considera que el 36% del peso es procesado mediante la extrusión siendo este el proceso más empleado por las industrias dedicadas a la fabricación y procesamiento de plásticos. (Beltrán, 2011)

4.3.1. Máquina Extrusora

La máquina de extrusión es aplicada para la manufactura de materiales poliméricos que se utilizan para la elaboración de diferentes productos tales como: tubos extruidos, membranas para cables, sistemas ópticos de elementos compuestos de caucho, mangueras para jardinería, productos de ferrita, etc. Además, las extrusoras son utilizadas con gran frecuencia para mezclar y granular complejos, para establecer preformas para moldeo por soplado y para alimentar otras máquinas. (Aristegui, 2020, Enero 20)

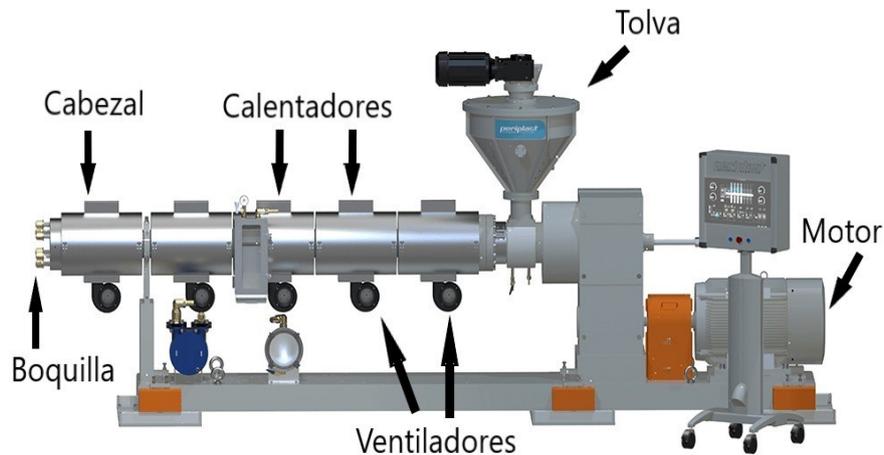


Figura 6: Máquina extrusora. (Aristegui, 2020, Enero 20)

4.3.2. Componentes de la extrusora

- **Tornillo de extrusión:** Es un cilindro extenso rodeado por un filete helicoidal y es una de las partes más importantes ya que contribuye a realizar las funciones de transportar, calentar, fundir y mezclar el material. El material se va presurizando a medida que avanza por el tornillo, comenzando con presión atmosférica en la tolva y aumentando hasta la salida por la boquilla. (Hilaño Chanatasi, 2011)

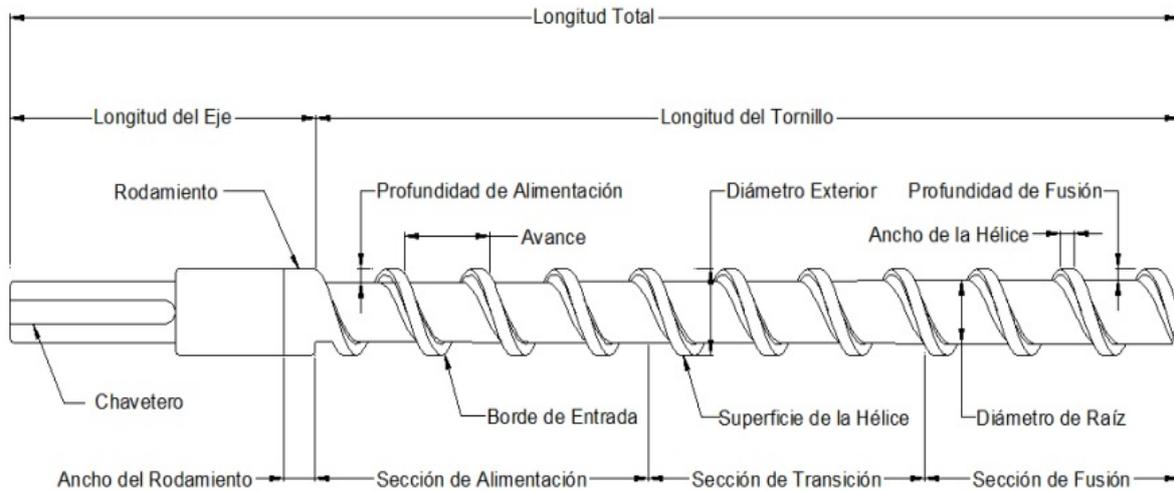


Figura 7: Tornillo de extrusión. (Hilaño Chanatasi, 2011)

- **Cilindro:** La superficie del cilindro debe ser muy rugosa con el objetivo de desarrollar las fuerzas de cizalla que soportará el material y permitir así que éste fluya a lo largo de la extrusora. Para evitar la corrosión y el desgaste mecánico, el cilindro suele construirse de aceros muy resistentes y en algunos casos viene equipado con un revestimiento bimetálico que le confiere una elevada resistencia, en la mayoría de los casos superior a la del tornillo, ya que éste es mucho más fácil de reemplazar. (Hilaño Chanatasi, 2011)

El cilindro por lo general posee sistemas de transferencia de calor. El calentamiento se lleva a cabo por medio de resistencias eléctricas circulares localizadas en toda su longitud, y también, aunque es menos usual, mediante radiación o encamisado con fluidos refrigerantes o calefactores.

- **Garganta de alimentación:** La garganta de alimentación está conectada con la tolva a través de la boquilla de entrada o de alimentación y suele estar desplazada del eje del tornillo para facilitar la caída del material a la máquina. (Rico M, 2012)
- **Tolva:** También denominada, garganta de alimentación y boquilla de entrada deben estar ensambladas perfectamente y diseñadas de manera que proporcionen un flujo constante de material. En ocasiones para asegurar el flujo constante del material se usan dispositivos de vibración, agitadores. (Hilaño Chanatasi, 2011)
- **Barril:** Este componente se trata de un cilindro metálico en el cual se encuentra el tornillo y forma parte del cuerpo principal de la máquina de extrusión. Este componente debe poseer un alto grado de compatibilidad y resistencia al plástico para procesarlo, por lo que el barril está fabricado a base de un metal de gran dureza

que reduce cualquier tipo de desgaste, por lo general a base de diferentes tipos de metal. Por otro lado, el barril cuenta con resistencias eléctricas que proporcionan una parte de la energía térmica que el material requiere para ser fundido. En muchos de los casos el conjunto de resistencias de este componente se complementando con un sistema de enfriamiento ya sea por ventilador o flujo de líquidos, el cual es controlado por un tablero donde se establece la función y el tipo de producto deseado.(Rico M, 2012)

- **Cañón:** Se trata de un ducto que cuenta con una dimensión que depende completamente de la aplicación que se calienta a temperaturas adecuadas gracias a las resistencias que permiten la calefacción a fin de llevar la materia prima al punto de operación y crear la masa de plástico que será moldeada posteriormente.(Rico M, 2012)
- **Resistencia de calefacción:** Este elemento se coloca directamente con el cañón con el propósito de llevar la misma temperatura que necesita para manipular el material y generalmente es fabricado con materiales de tipo cerámico y con accionamiento eléctrico.(Rico M, 2012)

4.3.3. Equipos utilizados para extrusión de plástico

Según (Moya Verdú, 2016) existen varios tipos de máquinas extrusoras, las cuales se muestran a continuación:

- Extrusoras continuas de tornillo simple.
- Extrusoras continuas de multitornillos.
- Extrusoras continuas de disco o tambor.

Los equipos que son empleados para la extrusión de plásticos generalmente son las extrusoras de tornillo simple al igual que las extrusoras de tornillo doble, debido que estos equipos cuentan con un diseño distinto que se adapta fácilmente a los requerimientos establecidos para la fabricas y cuyos enfoques son tanto técnicos como prácticos. Gran parte de estos equipos disponen de una zona que permite la plastificación de manera horizontal. Por otro lado, cabe mencionar que para la producción existen diseños limitados para posicionarlos verticalmente.

Las extrusoras más populares (tornillo simple) cuentan con diseños convencionales con diámetros muy precisos en el tornillo y barril, adicionalmente poseen un volumen decreciente en el tornillo, así como un una velocidad variable y continua, un mayor control

de presión y finalmente un sistema de desvolatización.

Otros de los equipos empleados para extrusión de plásticos son la extrusoras sin tornillos que se usan específicamente para investigación y para el desarrollo de diseños como aquellos que usan tambores rotativos. Estos equipos por lo general suelen contar con espacios de variación gradual entre dos componentes (el barril y el rotor) que sirven para plastificar el termoplástico por calentamiento. Estos diseños son utilizados para incrementar la tasa de salida que incluye el uso del tornillo extendido desde el rotor con el fin de transferir la fusión por medio de los agujeros u orificios. Así, mismo estos diseños están dirigidos para lograr una reducción en el consumo de energía que empleado para el procesamiento, mejoramiento de propiedades y reducir los tiempos de residencia.(Beltrán, 2011)

4.3.4. Mecanismo de control de la maquina Extrusora

Los mecanismos de control serán necesarios para llevar a cabo el respectivo control del trabajo, así como también la debida protección para la etapa de potencia. Para su automatización la maquina extrusora realiza un control on/off por histéresis. Se conoce como histéresis o tambien llamado control de todo o nada al flujo oscilatorio de una variable dentro de una tolerancia para realizar un control deseado.(Bolton, 2006)

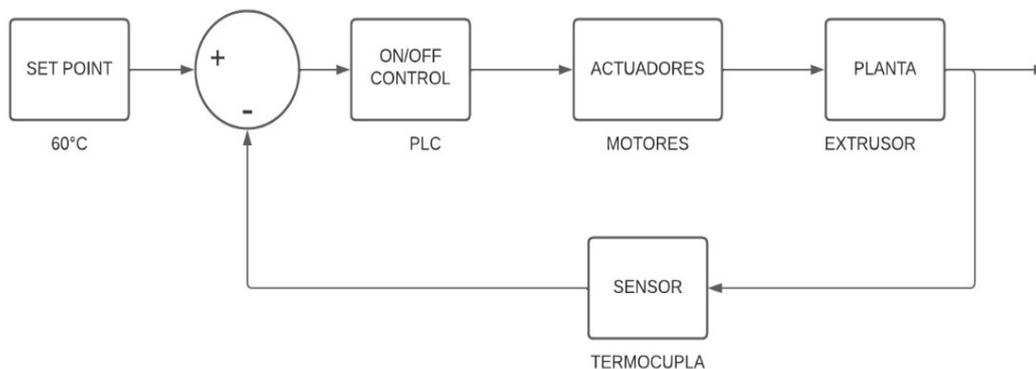


Figura 8: Lazo de control proceso de extrusión.(Bolton, 2006)

En la fig 1, se observa el lazo de control establecido para el sistema de extrusión, en donde se fija un set point, en este ejemplo un set point de 60°C que ingresa a un diferenciador, el control on/off ejerce sobre los actuadores para que realicen una acción en la planta. El sensor receipta los valores de la variable en cuestión y los envía al nodo diferenciador para la retroalimentación y así el controlador pueda tomar una decisión con respecto al funcionamiento del proceso.

4.3.5. Termocuplas

Los termopares (o también llamados termocuplas) en la industria son los sensores de temperatura mas utilizados actualmente. Los termopares se fabrican uniendo (generalmente soldados) dos conductores de diferentes materiales en cada extremo. Cuando se aplica temperatura a la unión metálica, un voltaje muy pequeño del orden en milivoltios, aumentará con la temperatura (efecto Seebeck). Por ejemplo, un termopar tipo J esta hecho de hierro y alambre sólido (una aleación de cobre y níquel). Cuando la unión de estos metales se fija a 750°C , aparecen $42,2\text{ mV}$ en los extremos.(Arian, 2010)

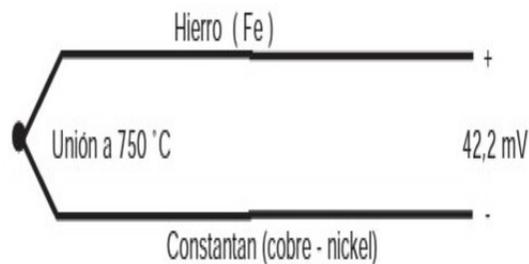


Figura 9: Termopar tipo "J". (Arian, 2010)

Por lo general, los termopares industriales están encerrados en un tubo de acero inoxidable u otro material (vainas) con un conector en un extremo y el terminal eléctrico para el cable en el otro, protegidos en una caja redonda de aluminio (cabezal).(Arian, 2010)

4.3.6. Tipos de Termocuplas

En la industria existen variedad de tipos de termopares, pero las más comúnmente utilizadas en la industria son los de tipo "J" y "K". Los termopares tipo "J" principalmente son utilizados en la industria del plástico y el caucho (Extrusión e Inyección) así también como en la fundición de metales a baja temperatura (Zamac, Aluminio). Los termopares "K" se usan comúnmente en fundiciones y hornos por debajo de 1300°C , y fundiciones de cobre y hornos de tratamiento térmico. Los termopares de tipo "R", "S", "B" se utilizan casi exclusivamente en la industria del acero (fundiciones de acero). El último tipo "T" eran utilizados últimamente en la industria alimentaria, pero en esta aplicación se ha sustituido por las sondas Pt100.(Arian, 2010)

La tasa entre la diferencia de voltaje y la temperatura no es completamente lineal (una recta), pero puede obtener casi un valor fijo con la ayuda de un dispositivo electrónico diseñado para efectuar la linealización y mostrar la lectura. Es decir, tomar el voltaje y conociendo el tipo de termocupla, ver en tablas internas a que temperatura corresponde

este voltaje.(Arian, 2010)

Tipo (ANSI-ISA)	Cable “+” Aleación	Cable “-” Aleación	Sensibilidad $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	Composición Química	Rangos de Temperatura $^\circ\text{C}$
J	Hierro	Cobre/Nickel	53 - 54	Fe 44Ni:55Cu	-180, 750
K	Nickel/Cromo	Nickel/Aluminio	41 - 42	90Ni:9Cr 94Ni:Al:Mn:Fe	-180, 1372
T	Cobre	Cobre/Nickel	43 - 49	Cu 44Ni:55Cu	-250, 400
E	Nickel/Cromo	Nickel/Cobre	68 - 79	90Ni:9Cr 44Ni:55Cu	-40, 900
R	Platino/Rhodio	Platino	10 - 12	87Pt:13Rh Pt	0, 1767
S	Platino/Rhodio	Platino	10 - 11	90Pt:10Rh Pt	0, 1767
B	Platino/Rhodio	Platino/Rhodio	3	70Pt:30Rh 94Pt:6Rh	0, 1820

Tabla 1: Características de termopares metálicas. (Tania y Zujew, 2018)

Hay mucha disparidad en la información de los rangos publicados ya que se puede tratar de:

Rango límite de temperaturas: Aquellas que garantizan que no altera la integridad de la termocupla.

Rango de comportamiento lineal: Franja de trabajo en donde el parámetro sensibilidad tiene sentido.

Rango de operación Es la franja de temperaturas para una aplicación particular.

4.3.7. Resistencias de abrazadera hermética

Las resistencias o también llamadas niquelinas son elementos fabricados a base de níquel, en las cuales circula la energía eléctrica y se transforma en calor, puede ser determinado mediante la ley de Joule. Estas Resistencias Eléctricas pueden alcanzar hasta 400 grados centígrados con potencias desde 50W hasta 5KW.

Las niquelinas son elementos en forma de abrazaderas que están distribuidas por secciones a lo largo del tambor de la extrusora que calientan el barril para que llegue a la temperatura adecuada o seteada para el tratamiento de la materia prima.(Zumba Aldaz, 2017)



Figura 10: Resistencia de abrazadera. (Julio Martinez Naya S.A., 2018)

4.3.8. Variador de Frecuencia

Un variador de frecuencia (siglas VFD, del inglés: Variable Frequency Drive o bien AFD Adjustable Frequency Drive) es un sistema para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna (AC) por medio del control de la frecuencia de alimentación suministrada al motor.(Suarez, 2017)

Los variadores de velocidad son dispositivos electrónicos que permiten variar la velocidad y la cupla de los motores asincrónicos trifásicos, convirtiendo las magnitudes fijas de frecuencia y tensión de red en magnitudes variables. Muchas aplicaciones con maquinaria de velocidad única son convertidas a velocidad ajustable con la intención de reducir el consumo de energía o de aumentar la flexibilidad de los procesos de fabricación.(Suarez, 2017)



Figura 11: Variadores de velocidad de motores trifásicos. (Suarez, 2017)

4.4. Sistemas de Monitoreo y Control

Los sistemas de monitoreo y control son más conocidos como sistemas SCADA, en español quiere decir Supervisión, Control y Adquisición de datos. Los sistemas SCADA son una aplicación de software o conjunto de aplicaciones diseñadas específicamente para ejecutarse en una computadora de control de producción que puede acceder a una planta de producción por medio de una comunicación digital con instrumentos y actuadores, así como una interfaz gráfica mejorada para el operador como por ejemplo una pantalla táctil HMI. A pesar de que inicialmente fue un programa que permitía la supervisión y la captación de datos en los procesos de control, la innovación tecnológica que se ha estado desarrollando en el campo de las industrias logro el surgimiento de varios productos de hardware y buses de comunicación que se adaptan específicamente para este tipo de sistemas. (Pérez López, 2015)

Los sistemas SCADA poseen su propia interconexión, realizada mediante una interfaz gráfica del PC a la planta de producción, cerrando de esa manera el lazo sobre el ordenador principal de supervisión. El sistema permite la comunicación con dispositivos de campo (controladores autónomos, controladores programables, etc) para controlar automáticamente el proceso desde una pantalla de ordenador que el usuario configura y puede modificar fácilmente. Además, pone a disposición de los distintos usuarios toda la información que se genera durante el proceso productivo. (Panamá y Rojas, 2021)

La función de monitoreo de estos sistemas se realiza sobre un computador industrial, ofreciendo una visión de los parámetros de control sobre la pantalla de ordenador, lo que se denomina un HMI (Human Machine Interface), como en SCADA, pero solo ofrecen una función complementaria de monitorización: observar mediante aparatos especiales el curso de uno o varios parámetros fisiológicos o de otra naturaleza para detectar posibles anomalías. Es decir, los sistemas de automatización de interfaz gráfica tipo HMI básicos ofrecen una gestión de alarmas básica, mediante las cuales la única opción que le queda al operario es realizar una parada de emergencia, reparar o compensar la anomalía y hacer un reset. (Pérez López, 2015)

Los sistemas Scada usan un HMI interactivo con el que ayuda a detectar alarmas que a través de la pantalla solucionar problemas generados mediante las acciones adecuadas en tiempo real, siendo así una herramienta de gran flexibilidad. Los sistemas SCADA utilizan un HMI interactivo que permite detectar alarmas y a través de la pantalla solucionar el problema mediante las acciones adecuadas en tiempo real. Esto otorgándole una gran flexibilidad. Es cierto que todos los sistemas SCADA tienen una interfaz de operador de

computadora gráfica de tipo HMI, pero no todos los sistemas de automatización con HMI son SCADA. La diferencia es que este último puede realizar la función de monitoreo a través de la interfaz hombre-máquina. (Panamá y Rojas, 2021)

Las principales funciones de un SCADA son las siguientes:

- Recopilación y almacenamiento de datos. La información recibida se recopila, procesa y almacena de forma continua y fiable
- Visualización gráfica y animada de las variables del proceso y su seguimiento mediante alarmas.
- Se realizan acciones de control para cambiar la evolución del proceso actuando sobre controladores autónomos básicos (setpoints, alarmas, menús, etc.) o directamente sobre el proceso a través de salidas conectadas.
- Arquitectura abierta y flexible con capacidad de escalar y adaptarse.
- Conexiones a otras aplicaciones y bases de datos localmente o distribuidas a través de redes de comunicación.
- Monitoreo, donde se observa el progreso de la variable de control desde el monitor.
- Transferencia de información con dispositivos de campo y otras computadoras.
- Base de datos, gestión de datos con tiempos de acceso cortos.
- Presentación, visualización gráfica de datos. Interfaz de operador o HMI.
- Utilizar los datos obtenidos para la gestión de la calidad, el control estadístico, la gestión de la producción y la gestión administrativa y financiera.

Los sistemas de control con frecuencia usan controladores lógicos programables debido a su alta adaptabilidad a los sistemas de control, monitoreo y su capacidad para interactuar con computadoras. La instalación de esta unidad de control no requiere un alto grado de complejidad ya que ha sido diseñada para operar en ambientes hostiles y cumple con los estándares de instalación eléctrica industrial.

4.4.1. Controladores lógicos programables (PLC)

El PLC (controlador lógico programable) es un equipo popular utilizado por la industria que intenta obtener un gran salto en la automatización de todos sus procesos. Puede cumplir con los requisitos de proceso continuos y sin errores, como presión, temperatura, configuración de corriente, etc., así como funciones relacionadas de tiempo, conteo, tiempo y lógica. (Guanokuiza Changoluisa, 2017)

El PLC procesa sus entradas y se enciende/apaga dependiendo de su estado su producción. El usuario ingresa a un programa, generalmente a través de un software que proporciona el resultado deseado. Los PLC se utilizan en muchas aplicaciones en todo el mundo. De hecho, casi cualquier aplicación que requiera algún tipo de control eléctrico requiere un PLC. Entonces, un PLC se puede definir como una computadora especializada diseñada para el control máquinas y procesos en un entorno industrial operando en tiempo real. (Guanokuiza Changoluisa, 2017)



Figura 12: PLC Siemens S7-1200. (Guanokuiza Changoluisa, 2017)

Algunas de sus características son:

- Controlan de forma segura las entradas y salidas.
- Tienen una programación que es compatible con diferentes lenguajes.
- Interfaz amigable, fácil de comunicarse con los usuarios.
- Conexión a sistemas de supervisión.
- Ejecutan la programación de forma continua.
- Memorias divididas en dos partes.

Debido a que hay tantos tipos diferentes de PLC, se pueden clasificar por función, capacidad, puntos de E/S, tamaño de memoria y apariencia, etc.

- PLC compactos.
- PLC modular.
- PLC de tipo de ranura.
- PLC de tipo software.
- PLC de tipo montaje en rack.
- PLC con panel Operador y Controlador Lógico Programable (OPLC).
- Ordenador industrial (Pc industrial).

Su lenguaje de programación sirven como canal de comunicación entre el sistema operativo que interpreta el lenguaje, y el usuario que tiene acceso a la configuración del programa, con la finalidad de crear instrucciones secuenciales que el CPU del PLC traduce como salidas digitales para el control de máquinas o procesos. Existen dos tipos de lenguajes:

Lenguaje de alto nivel: Este es el lenguaje de interface grafica más utilizado, su nombre se debe a su forma estructural que se asemeja a una escalera y su lectura obedece siempre la misma instrucción; de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo. (SEIKA, 2019)

Lenguaje de nivel bajo: Este lenguaje se utiliza para pequeñas aplicaciones debido a la complejidad de su estructura, ya que es muy parecido al viejo lenguaje ensamblador. (SEIKA, 2019)

4.4.2. HUMAN MACHINE INTERFACE (HMI)

HMI significa "Interfaz hombre-máquina", es un dispositivo o sistema que permite la comunicación hombre-máquina. Tradicionalmente, estos sistemas consistían en tableros que incluían indicadores y controles, como luces indicadoras, indicadores digitales y analógicos, registros, perillas, selectores y otros, interconectados con máquinas o procesos. (Cuenca y Leon, 2013)

Segun (Cuenca y Leon, 2013) "Hoy en día, dado que las máquinas y los procesos generalmente se realizan con controladores y otros dispositivos electrónicos que tienen puertos de comunicación disponibles, son posibles sistemas HMI mucho más potentes y eficientes, además de permitir una conexión al proceso más simple y menos costosa". Sus principales funciones son:

Monitoreo: Es la capacidad de obtener y mostrar datos de la planta en tiempo real. Estos datos se pueden mostrar como números, texto o gráficos para una fácil lectura e interpretación.

Supervisión: Además del monitoreo, brinda la capacidad de ajustar las condiciones de trabajo del proceso directamente desde la computadora.

Alarmas: Es la capacidad de reconocer y reportar eventos especiales en el proceso, estas se notifican en función de los límites de control o prioridades establecidos.

Control: Es la capacidad de aplicar algoritmos que ajustan los valores del proceso y así mantener estos valores dentro de ciertos límites.

Históricos: Es la capacidad de mostrar y almacenar en archivos, para procesar datos con una frecuencia determinada. Este almacén de datos es una poderosa herramienta para la optimización y calibración de procesos.



Figura 13: Human Machine Interface.

Figura 14: Fuente: Indiamart.

5. DISEÑO DEL SISTEMA

El diseño de los sistemas de monitoreo y control brindan grandes beneficios al área productiva de toda empresa industrial y el área de la plastificación no es la excepción, ya que para la línea de extrusión requiere usar variables y parámetros diagnosticados que permiten determinar diferentes aspectos técnicos necesarios para llevar a cabo la extrusión

de plásticos.

Para el sistema de control se incorpora un controlador lógico programable (PLC), el cual debe ser capaz de adquirir los valores de temperatura por medio de sensores (termocuplas), procesarlas para enviar las acciones necesarias a las resistencias calefactoras (níquelinas) o a los ventiladores para su sistema de enfriamiento.

Para la visualización y control de todas las variables del proceso se tiene dos interfaces gráficas: una pantalla táctil HMI y una Pc que contendrán una interfaz gráfica para la configuración y monitoreo del sistema.

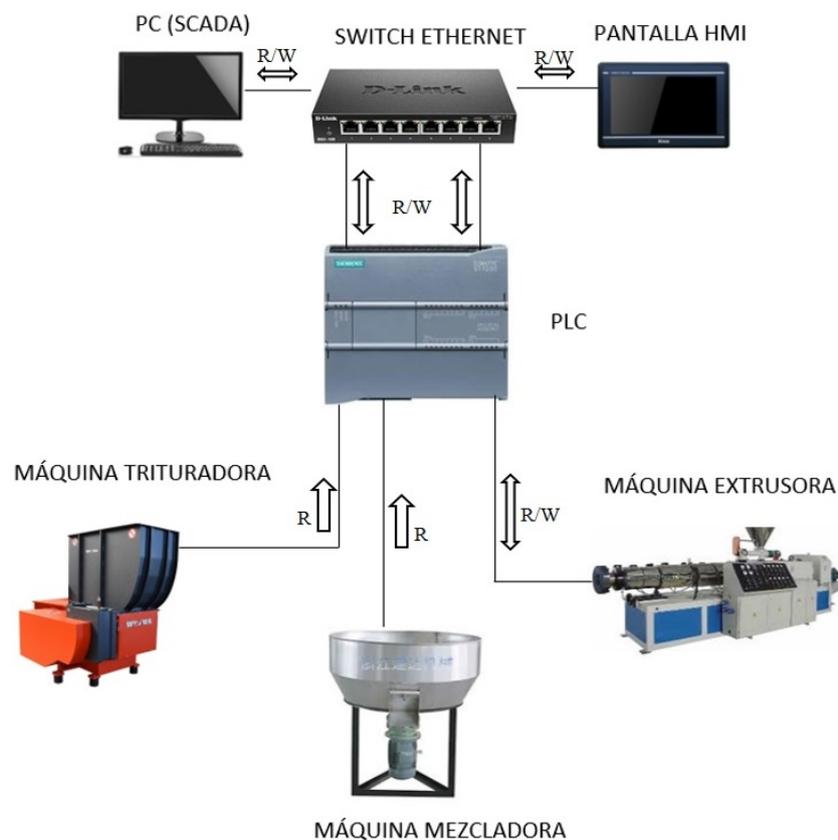


Figura 15: Esquema general del sistema de monitoreo y control.

En los siguientes apartados se presenta los diagramas de flujo y diseños componentes que conforman el sistema de monitoreo y control, cabe mencionar que algunos de estos diseños se rigen en base a normativas vigentes como es el caso de la norma IEC 60617 utilizado para el diseño de la red eléctrica y la norma NEC sección 430 empleada para el dimensionamiento de componentes eléctricos.

5.1. Componentes del Sistema de Control

Los componentes que forman parte del sistema de control son:

- Controlador Lógico Programable (PLC).
- Módulo de expansión de temperatura.
- Pantalla HMI.
- Switch Ethernet.
- Sensores de temperatura (termocuplas).
- Fuente de poder.
- Elementos de protección.
- Relés electromecánicos.
- Elementos de señalización.

5.1.1. Controlador Lógico Programable (PLC)

Para seleccionar el PLC que se utilizó en el control del sistema se consideraron los siguientes parámetros:

- Puertos de comunicación.
- Entradas y salidas requeridas.
- Versatilidad.

ENTRADAS DIGITALES	
Elementos	Cantidad
Módulo de expansión de temperatura	1
Relés de estado sólido	2
Botón de paro de emergencia	1
SALIDAS DIGITALES	
Elementos	Cantidad
Relés electromecánicos	4
Modulo de control de temperatura analógica	1
PUERTOS DE COMUNICACIÓN	
Elementos	Cantidad
Pantalla HMI	1
Pc	1

Tabla 2: Requerimientos para seleccionar el PLC.

Como se observa en la Tabla 2. se indican los principales requerimientos en cuanto a entradas y salidas que se debe disponer en el PLC. Para este proyecto el PLC que se decidió utilizar el SIMATIC S7-1200 de la marca Siemens, debido a su versatilidad para realizar diferentes tipos de tareas, así como sus opciones de expansión modulares.

SIMATIC S7-1200	
Tensión de alimentación	24 VDC
Intensidad de entrada	500mA; Solo CPU
Consumo máximo	1500mA; CPU con todos los módulos de ampliación
Entradas digitales	14
Entradas analógicas	2
Corriente de entrada	5mA
Salidas digitales	10



Tabla 3: Características eléctricas del PLC.(Siemens Simatic, 2021, 17 de enero)

5.1.2. Módulo de expansión de temperatura

Para la medición de las temperaturas de la máquina extrusora mediante las termocuplas tipo "J", las señales analógicas será necesario agregarlas al PLC. Y esto se logra por medio del módulo de temperatura SM 1231 RTD que nos ayudara a convertir esas señales analógicas a señales digitales, las características de este elemento se detallan en la Tabla 4

MODULO SM 1231 RTD	
Tensión de alimentación	24 VDC
Entradas analógicas	4(Pt100/Pt1000)
Rango permisible	20,4V - 28,8V CC
Resolución	15 bits



Tabla 4: Características del Módulo de Temperatura.(Siemens Simatic, 6, 2010)

5.1.3. Pantalla HMI

Por medio de la pantalla HMI KINCO 7 GL070E se visualizará las variables que integran el proceso y a su vez se podrá seleccionar los modos de operación de la máquina mostrando toda la información que se requiera según el operario, las características de esta pantalla se mostraran en la Tabla 5

HMI KINCO 7 GL070E	
Voltaje de operación	24 VDC
Potencia nominal	3.6W
Comunicación	Ethernet, RS232/RS485/RS422
Tipo de display	LED, 7"
Resolución	800*480 pixels



Tabla 5: Características de la pantalla HMI Kinco.(Kinco, s.f.)

5.1.4. Switch Ethernet

Al tener varios dispositivos conectados entre sí vía Ethernet, se optó por un Switch TP-Link TL-SF1008D de 8 puertos para optimizar la velocidad de comunicación garantizando la eficiencia del trabajo. En la Tabla 6. se observa las características del dispositivo mencionado.

TP-LINK TL-SF1008D		
Voltaje de operación	24VDC	
Puertos	8, RJ-45 Fast Ethernet 10/100Mbps	
Estándar	IEEE 802.3x	
Conexión	Pug and play	

Tabla 6: Características del Switch Ethernet TP-Link TL-SF1008D de 8 puertos.(TP-link, 2014)

5.1.5. Sensores de temperatura (Termocuplas)

En el proceso de extrusión de la empresa Vulcano Plástico el rango de temperatura con los cuales trabajan está entre los 40°C a 150°C, para ello se escogió las termocuplas tipo J que son apropiadas ya que su rango de trabajo es de -40°C a 750°C con un diámetro de 3/16 de pulgada.



Figura 16: Termocupla tipo "J".(Arian, 2010)

5.1.6. Controlador de temperatura analógico

Al contar con una variable de temperatura cuyo valor sera constante durante todo el proceso, ya que es la primera zona de calentamiento y no precisa de un control mas

complejo del que otorga un controlador de temperatura analógico. Por tal razón se optó por un modelo JTC-903 de un controlador de temperatura que cumplirá con el trabajo que se requiere en la primera zona de calentamiento de la extrusora.

CONTROL DE TEMPERATURA JTC-903	
Señal de entrada	Termocupla J, K
Control	ON/OFF o PID
Salida	Relay
Alimentación	AC 110V 220V 50/60HZ
Resolución	LED 7"



Tabla 7: Características del controlador analógico de temperatura.(Electric, s.f.)

5.1.7. Fuente de poder

Como se observó las características de los elementos anteriores (PLC, pantalla, módulos) todos se alimentan con 24VDC, por consiguiente la fuente de poder debe ser específica para ese voltaje, las características de la fuente utilizada se presentan en la Tabla 8.

FUENTE 5A - 24VDC 120W	
Voltaje de entrada	AC110-220V 50/60Hz
Voltaje de Salida	24VDC
Potencia Máxima de salida	120W
Temperatura de trabajo	-10 + 50°C
Humedad ambiente	20% 95% sin condensación



Tabla 8: Características de la Fuente de Poder.(RS Pro, s.f.)

5.1.8. Elementos Protección

Como elementos de protección se utilizaron breakers de diferentes amperajes debido a su eficacia al momento de interrumpir sobre corrientes debidas a cortocircuitos. Para los circuitos individuales que se alimentan de 24VDC se dispone de breakers de menor amperaje (4A), en cambio para los elementos que consumen más corriente se dispuso de breaker de mayor amperaje (63A). En la Tabla 9. se mostrará las características del breaker utilizado.

BREAKER PARA RIEL 2P 63A 6KA TIPO C 400V EBS	
Corriente nominal (A)	1 63
Tensión nominal (V)	240 / 415V CA 50 / 60Hz
Característica de disparo	B, C, D
Capacidad de Interrupción	6000A
Tensión nominal de aislamiento	500V



Tabla 9: Características del breaker para riel 2P 63A tipo C.(Super eléctrico, s.f.)

5.1.9. Elementos de Señalización

Las luces pilotos se utilizan para indicar que el tablero se encuentra energizado con cada una de sus fases, también indican el consumo de corriente de cada una de las resistencias calefactoras (niquelinas), esto permite una mejor optimización de recursos.

LUZ PILOTO CON VOLTÍMETRO VERDE 22MM	
Material	Componentes eléctricos
Pantalla digital	22mm
Rango de medición de voltaje	CA 50 500V
Frecuencia nominal	50/60Hz
Normativa	IEC 947-5-1



Tabla 10: Características de voltímetro luz piloto verde.(Electricidad Guzman, s.f.-b)

LUZ PILOTO CON AMPERÍMETRO ROJO 22MM	
Material	Componentes eléctricos
Pantalla digital	22mm
Rango de medición de corriente	0 - 100A
Frecuencia nominal	50/60Hz
Normativa	IEC 947-5-1



Tabla 11: Características de amperímetro luz piloto rojo.(Electricidad Guzman, s.f.-a)

5.2. Circuitos de Potencia y Control

5.2.1. Circuito de Potencia

El diseño del circuito está conformado por conductores, protecciones y aparatos de maniobras por donde circula energía eléctrica que permite hacer funcionar a los motores entre otros elementos, del mismo modo el diseño de este circuito consta de un breaker que brinda protección a cada a uno de los equipos eléctricos. A continuación, en la Figura 17 se presenta el diagrama del circuito de potencia.

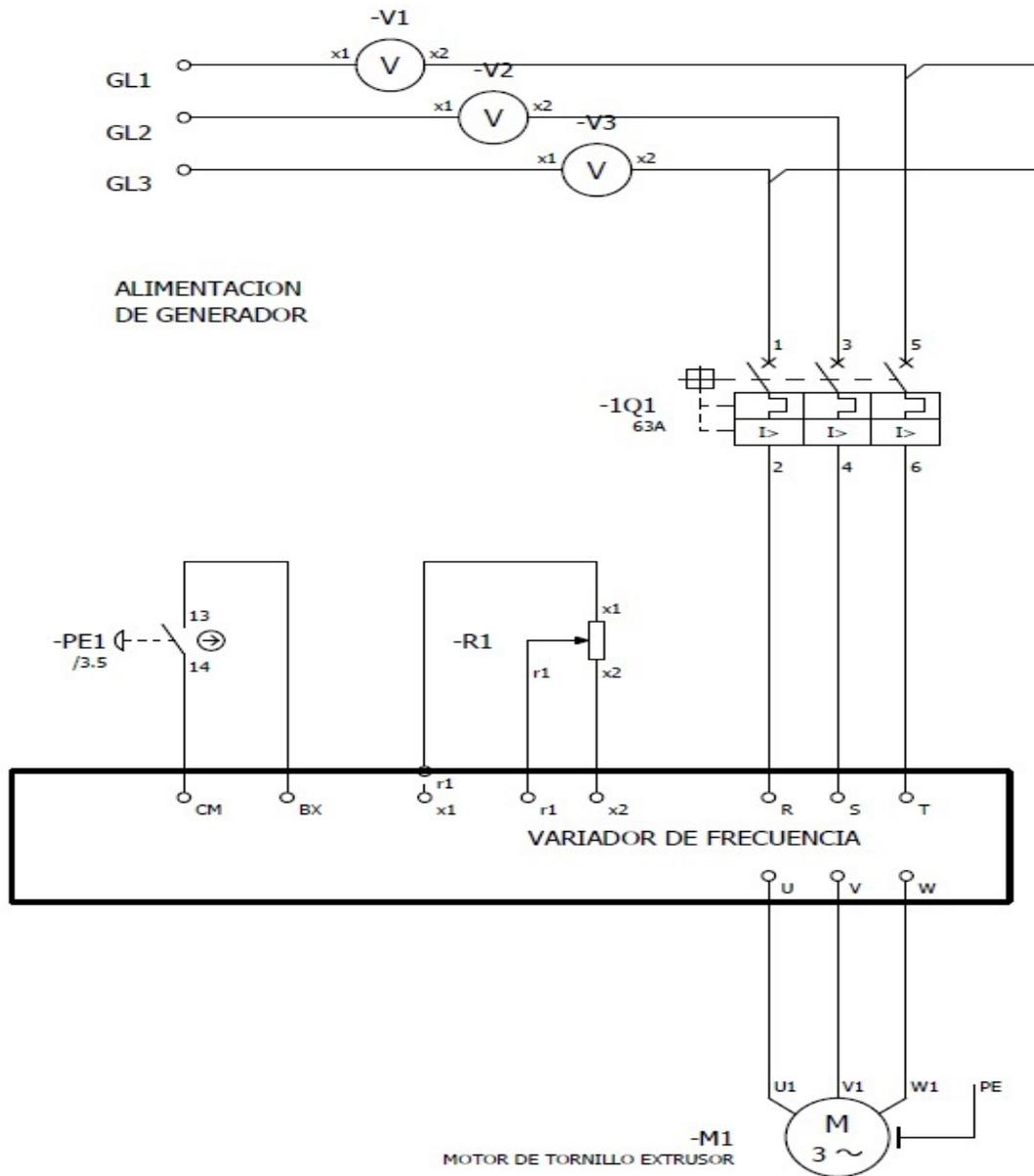


Figura 17: Circuito de Potencia.

5.2.2. Selección del conductor para el motor

Para el dimensionamiento de los conductores para el motor la norma NEC en la sección 430-22, establece que el conductor que alimenta a un solo motor de corriente alterna, debe tener una capacidad no menor del 125% de la corriente nominal del motor.

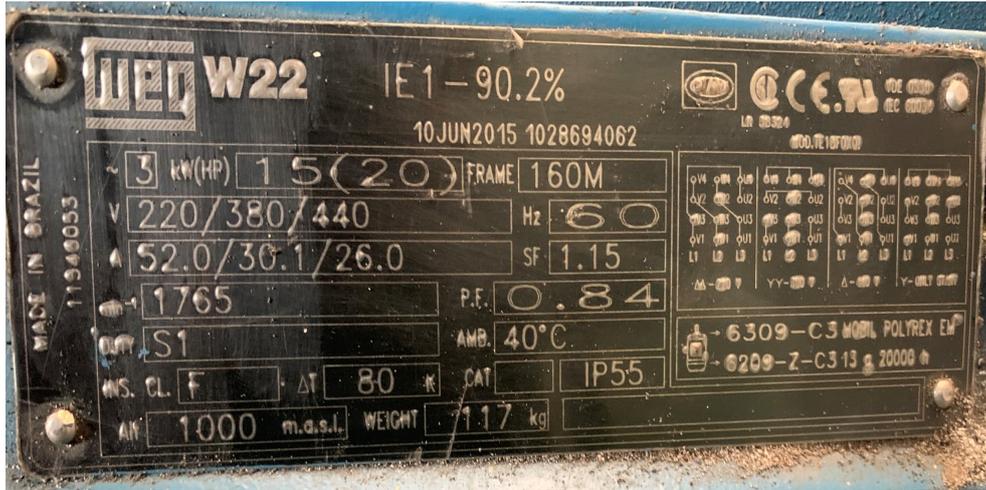


Figura 18: Placa de identificación del motor.

Para la elección del conductor tenemos la siguiente ecuación:

$$I = 1.25 * \frac{I_{pc}}{Factor} \quad (1)$$

Dónde,

$I_{pc} = 52A$; es la corriente nominal del motor, este dato se obtuvo de las especificaciones del modelo del motor que se usó.

$Factor = 0.8$; se toma un factor de 0.8 que corresponde al cableado de 1 a 3 conductores portadores de corriente por ducto.

$$I = 1.25 * \left(\frac{52}{0.8} \right)$$

$$I = 81.25Amp$$

Para el cableado del circuito de fuerza del motor utilizamos un conductor AWG #4 que tiene una capacidad de conducción de 81.25Amp según la imagen que se presenta a continuación.

Amperaje que soportan los cables de cobre					
Nivel de temperatura:	60°C	75°C	90°C	60°C	
Tipo de aislante:	TW	RHW, THW, THWN	THHN, XHHW-2, THWN-2	SPT	
Medida / calibre del cable	Amperaje soportado			Medida / calibre del cable	Amperaje soportado
14 AWG	15 A	15 A	15 A	20 AWG	2 A
12 AWG	20 A	20 A	20 A		
10 AWG	30 A	30 A	30 A		
8 AWG	40 A	50 A	55 A		
6 AWG	55 A	65 A	75 A		
4 AWG	70 A	85 A	95 A		
3 AWG	85 A	100 A	115 A		
2 AWG	95 A	115 A	130 A		
1 AWG	110 A	130 A	145 A		
1/0 AWG	125 A	150 A	170 A		
2/0 AWG	145 A	175 A	195 A	14 AWG	18 A
3/0 AWG	165 A	200 A	225 A		
4/0 AWG	195 A	230 A	260 A		
				12 AWG	25 A

Figura 19: Dimensionamiento de cables de cobre según el soporte de amperaje. (Uncable, 2020, febrero 15)

5.2.3. Dimensionamiento de elemento de protección del motor

La norma NEC en su artículo 430-57 nos dice “El interruptor en la alimentación de un motor tendrá una intensidad de régimen continuo mínimo de 125% de la intensidad a plena carga del motor se debe tomar en cuenta factores de corrección cuando son interruptores termo magnéticos de caja moldeada, ya que este estará calibrado a 25 °C”

$$I = 1.25 * I_{pc} \quad (2)$$

$$I = 1.25 * 52 \text{ Amp}$$

$$I = 65 \text{ Amp}$$

El valor comercial mas cercano es un breaker con capacidad de 63A.

5.2.4. Selección del conductor para las niquelinas

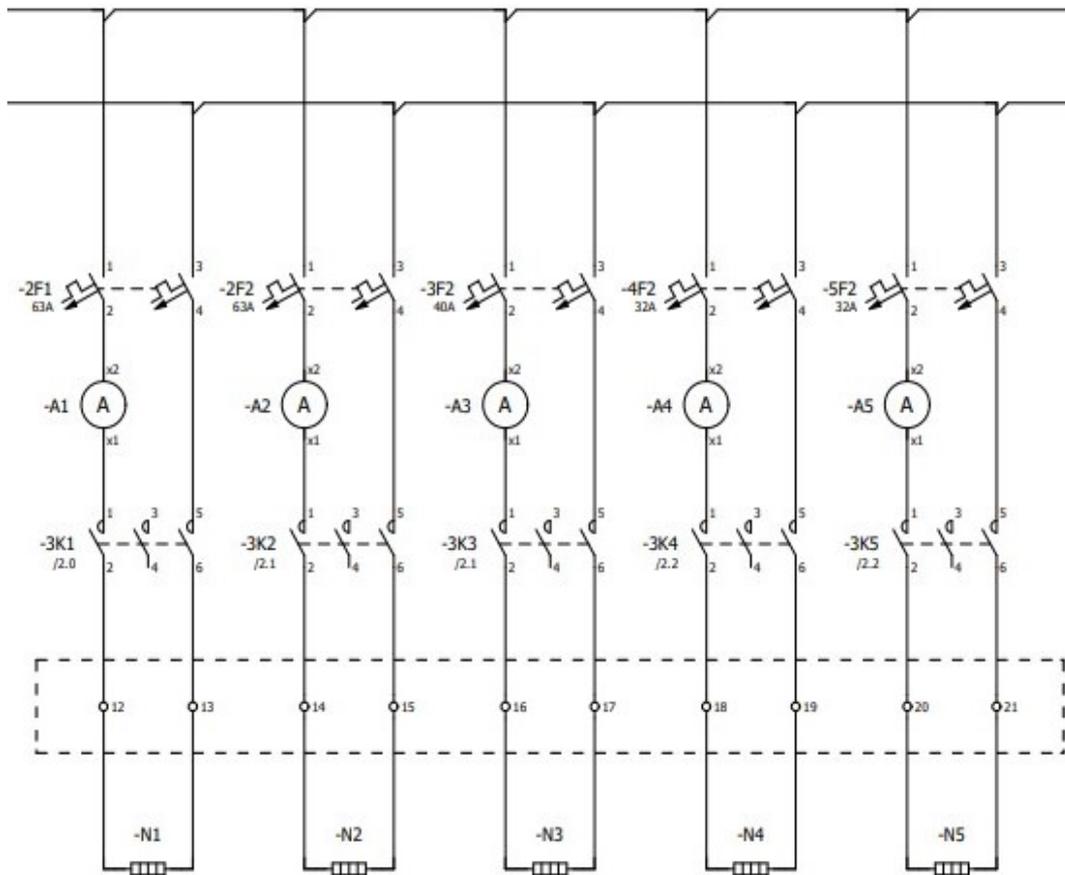


Figura 20: Circuito de Potencia – Niquelinas

Para la elección del conductor para las niquelinas tenemos de la siguiente ecuación para el cálculo de la intensidad de corriente.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * V * C \text{ o } s\varphi} \quad (3)$$

Dónde,

$P = 9.8KW$ es la Potencia de las Niquelinas, calculamos al obtener el voltaje y la intensidad de cada una de las niquelinas, en este caso tenemos la corriente de la Niquelina 2 como ejemplo, como se observa en la figura 21.



Figura 21: Intensidad que consume Niquelina 2

Con estos datos calculamos la potencia.

$$P = V * I \quad (4)$$

$$P = V * \sum I_{Niquelinas}$$

$$P = 220 * (13.5 + 13.5 + 13.5 + 0.71 + 0.08)$$

$$P = 9.8KW$$

Una vez calculada la potencia de las niquelinas se obtiene la intensidad de los conductores.

$$I = \frac{9.8KW}{\sqrt{3} * 220 * 0.84}$$

$$I = 30.61Amp$$

Para el cableado del circuito de las niquelinas se propone un conductor flexible #10 AWG que tiene una capacidad de 30Amp, ya que es el más cercano al cálculo obtenido. Además, otra característica importante que debe tener este conductor es que debe soportar altas temperaturas.

5.2.5. Diseño del circuito de control

El desarrollo del sistema de control permite llevar un proceso controlado, evaluando permanentemente un fallo o problema, para ello se han utilizado sensores que miden temperatura los cuales envían señales al sistema de control los cuales remiten una respuesta inmediata a los actuadores para la respectiva corrección.

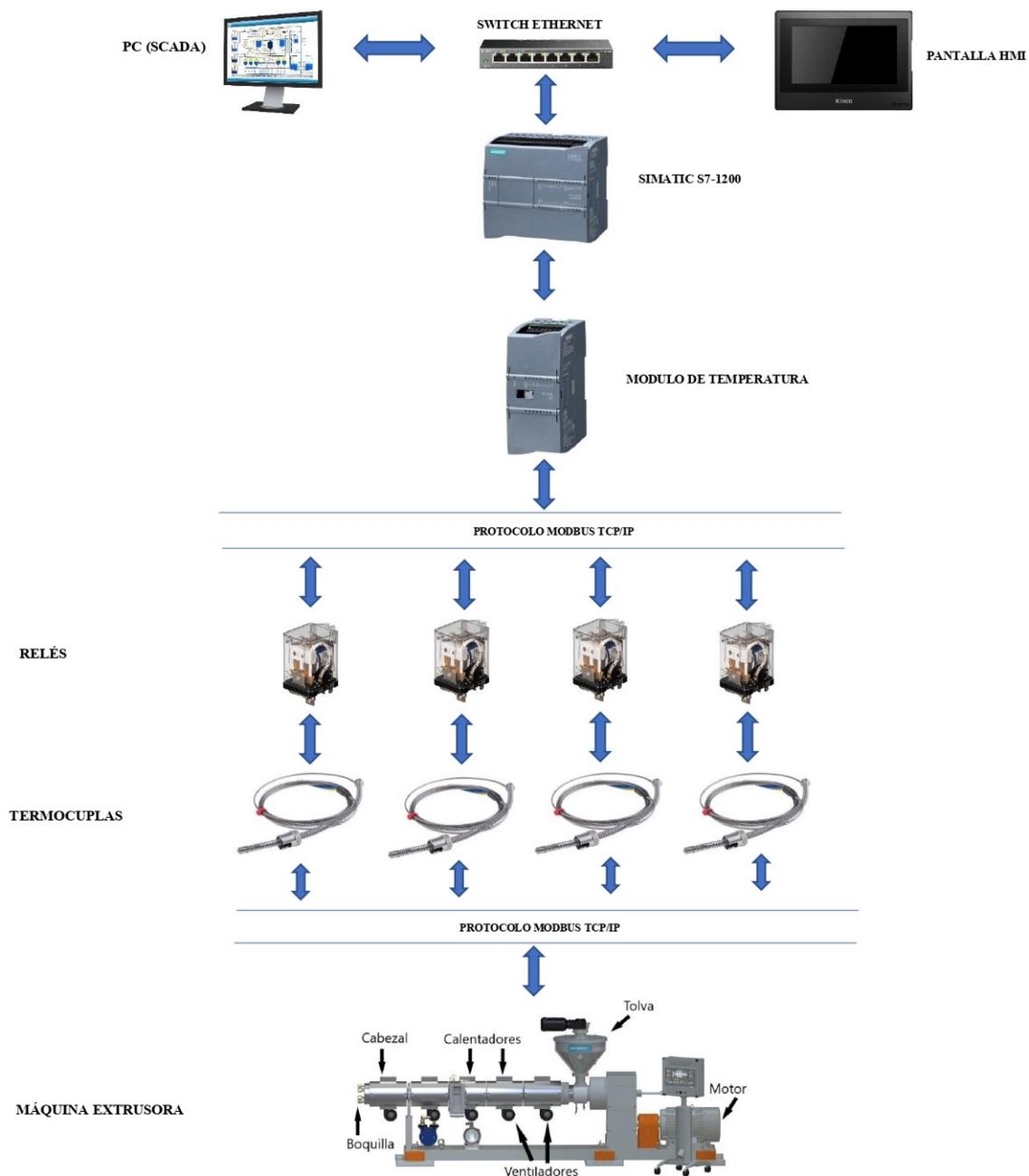


Figura 23: Diagrama de flujo de la extrusora.

5.2.6. Diseño de comunicación industrial

El diseño de comunicación industrial permite visualizar la comunicación entre los equipos (maestros y esclavos) para la comunicación entre ambos equipos, para lo cual es necesario emplear el protocolo Modbus TCP a través de conexiones ethernet, la cual hace posible el intercambio eficiente de información con los dispositivos que se encuentran en red, del mismo modo permite la comunicación entre el sistema, el maestro, el control e incluso la adquisición de datos.

Modbus es un protocolo de comunicación abierto, utilizado para transmitir información a través de redes en serie entre dispositivos electrónicos. El dispositivo que solicita la información se llama maestro Modbus y los dispositivos que suministran la información son los esclavos Modbus.

Modbus TCP se introdujo para aprovechar las infraestructuras LAN actuales y se ha convertido en un protocolo bastante común, usado frecuentemente por muchos fabricantes en muchas industrias. Así pues, este sistema de comunicación se usa generalmente para transmitir señales de los dispositivos de instrumentación y control a un controlador principal o a un sistema de recolección de datos.

Entre sus aplicaciones destaca su uso en múltiples aplicaciones maestro-esclavo para monitorear y programar dispositivos; para comunicarse entre dispositivos inteligentes y sensores e instrumentos; para monitorear dispositivos de campo usando Pc y HMI.

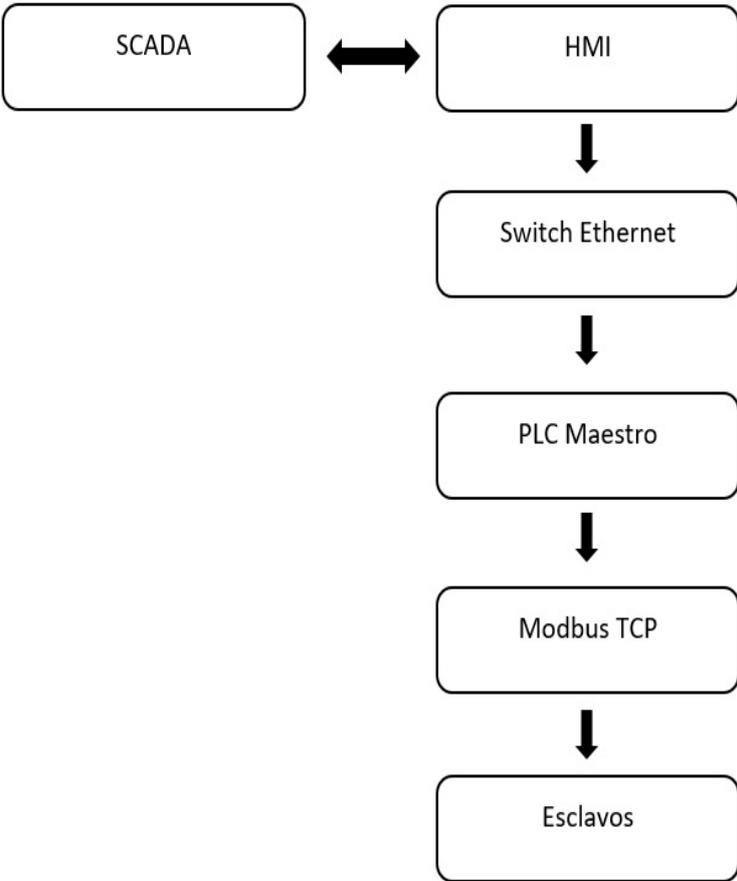


Figura 24: Diagrama de comunicación industrial.

6. IMPLEMENTACIÓN

6.1. Montaje e Instalación de los Dispositivos

Para la implementación del sistema de control se construyó un tablero metálico de 80cm x 60cm x 28cm como se observa en la Figura 25, donde se instalarán todos los equipos y dispositivos tanto de control como de protección y demás accesorios de conexión.



Figura 25: Tablero de control.

Para el montaje del disyuntor principal (breaker) se la realizó en la parte media del tablero de control, se colocó en una parte visible en caso de emergencia.

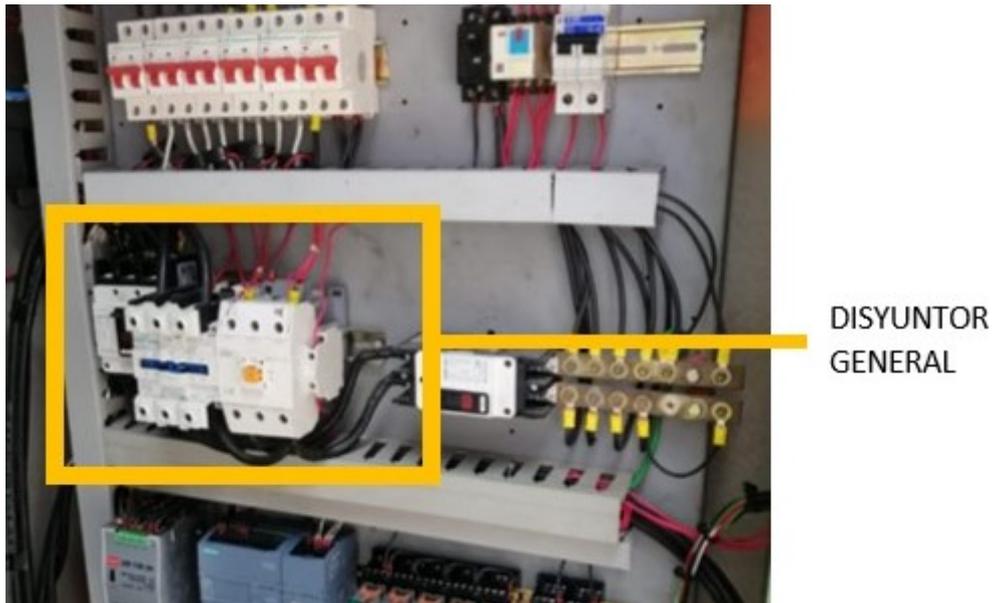


Figura 26: Disposición del disyuntor de motor.

En la parte inferior se instaló la fuente de poder que alimentará al PLC siemens SIMATIC S7-1200 y al módulo de expansión, seguido se tiene los relés que estarán conectados a las resistencias calefactoras y a las máquinas de trituración y mezclado.



Figura 27: Disposición de fuente de poder - Plc S71200 - relés.

En la parte superior del disyuntor general se colocaron los contactores que se activaran o desactivaran según la temperatura ingresada para cada resistencia calefactora de la máquina extrusora.

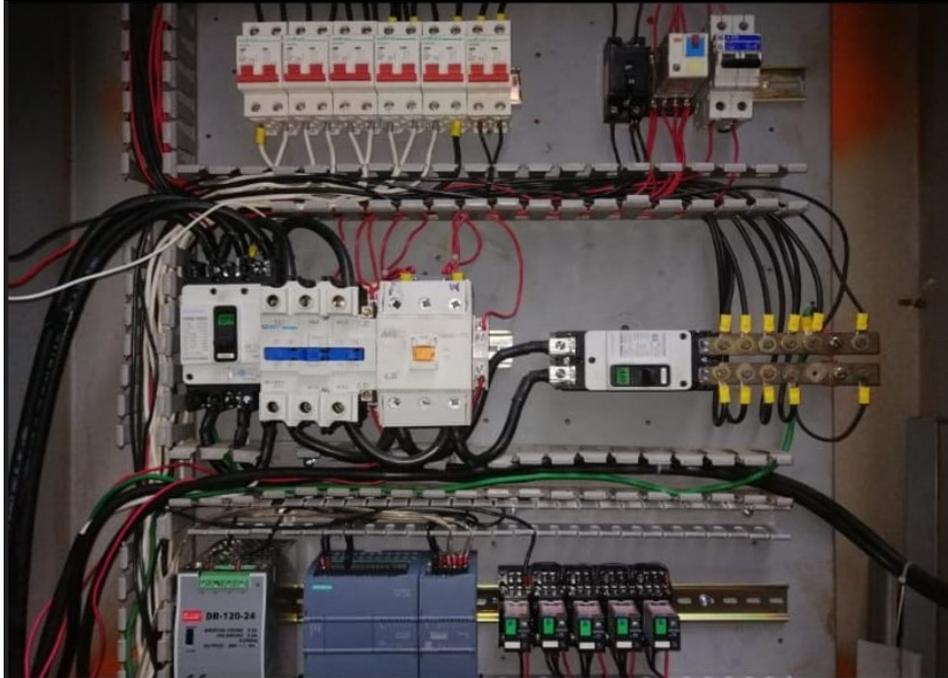


Figura 28: Disposición breakers de protección.

En la puerta del tablero se colocó el módulo de temperatura analógico, la pantalla HMI, luces piloto tanto que nos indicaran el consumo de voltaje como de intensidad, un potenciómetro para regular la velocidad del motor mediante el variador de frecuencia, un selector que permite encender o apagar todo el sistema, y finalmente un botón de paro de emergencia.



(a)



(b)



(c)

Figura 29: Montaje de la puerta del tablero de control.

6.2. Programa de control del PLC

El PLC instalado se encarga de controlar principalmente las temperaturas en las diferentes etapas del proceso de extrusión, además del monitoreo y encendido de las máquinas de trituración y mezclado, también el control de los actuadores para el sistema de enfriamiento. El software utilizado para la programación del PLC es el TIA PORTAL versión 17 que soporta cinco lenguajes de programación que son: Ladder Diagram (LD), Sequential Function Chart (SFC), Function Block Diagram (FBD), Instruction List (IL) y Structured Text (ST).

Para el presente proyecto se seleccionó el lenguaje de programación Ladder como se muestra en las figuras 30, 31 y 32. En la figura 30 se observa la programación de la conversión del valor censado por las termocuplas en tiempo real (temperatura actual) a grados Celsius. En la figura 31 se puede observar cómo funciona el accionamiento de las niquelinas, cabe recalcar que en esta línea de programación se realiza una comparación de la temperatura actual con la temperatura ingresada, permitiendo o no el accionar de la niquelina según la comparación establecida, sin olvidar que previamente se establece un paro de emergencia que se encargará de interrumpir toda la programación en caso de ser accionado. Y finalmente en la figura 32 se observa como las maquinas de trituración y mezclado indicaran si estan en funcionamiento o no.

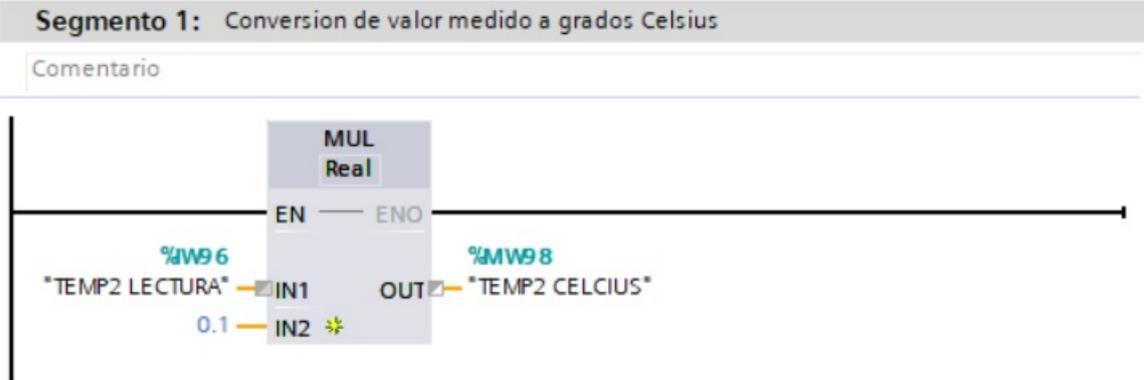


Figura 30: Conversión a grados Celsius.

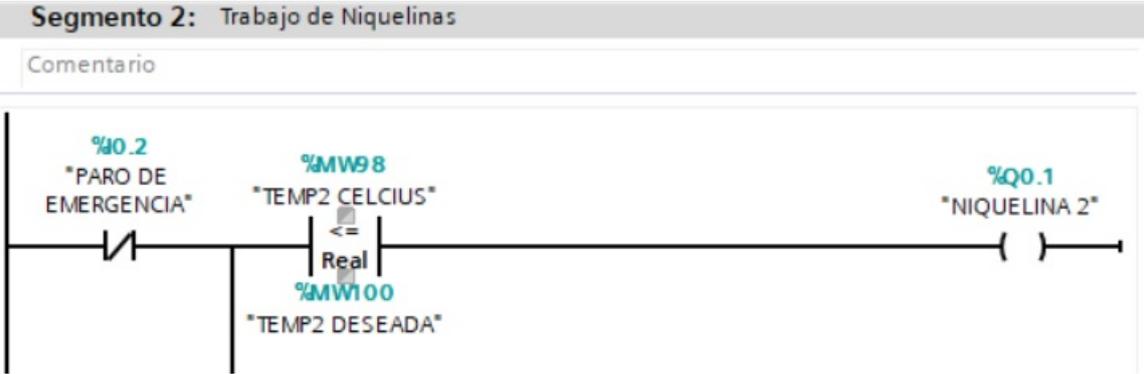


Figura 31: Accionamiento de niquelinas.

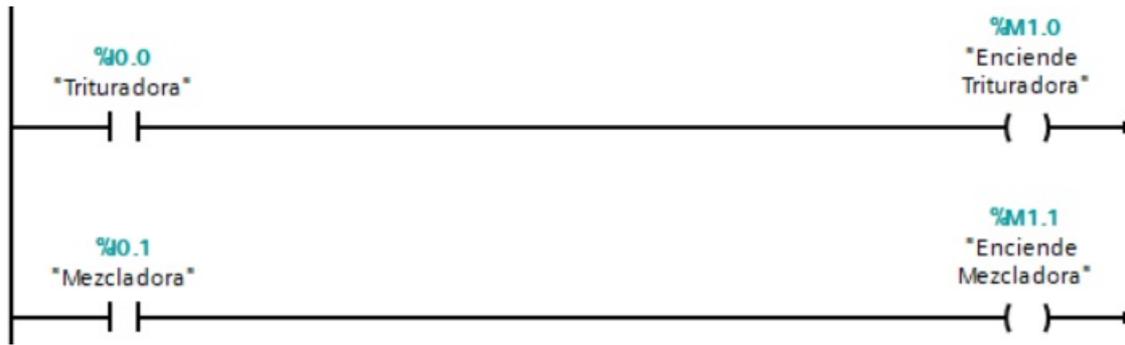


Figura 32: Indicadores de Molino y Mezcladora.

En la Figura 33, se encuentra el diagrama de flujo de la programación diseñada para la línea de extrusión de la empresa Vulcano Plástico, el cual comanda todas las órdenes de forma secuencial según las necesidades del operario.

En el diagrama se observa que el programa establece la comunicación con los equipos que conforman la línea de extrusión, permite monitorear el encendido de las máquinas de trituración, mezclado y extrusión, también se ingresan todos los parámetros a los que se desea trabajar.

Para el proceso de extrusión se verifica si el Paro de Emergencia (PE) está accionado, de no ser el caso posteriormente se realiza un control ON/OFF, es decir la variable de temperatura que leen los sensores (termocuplas) deben ser iguales a los valores que se ingresan por medio de la pantalla HMI o por el sistema incorporado a la Pc, de ser así las niquelinas dejan de funcionar y encienden el sistema de enfriamiento (ventiladores) hasta que la temperatura vuelva a disminuir, en este caso el proceso se vuelve a repetir según la temperatura ingresada.

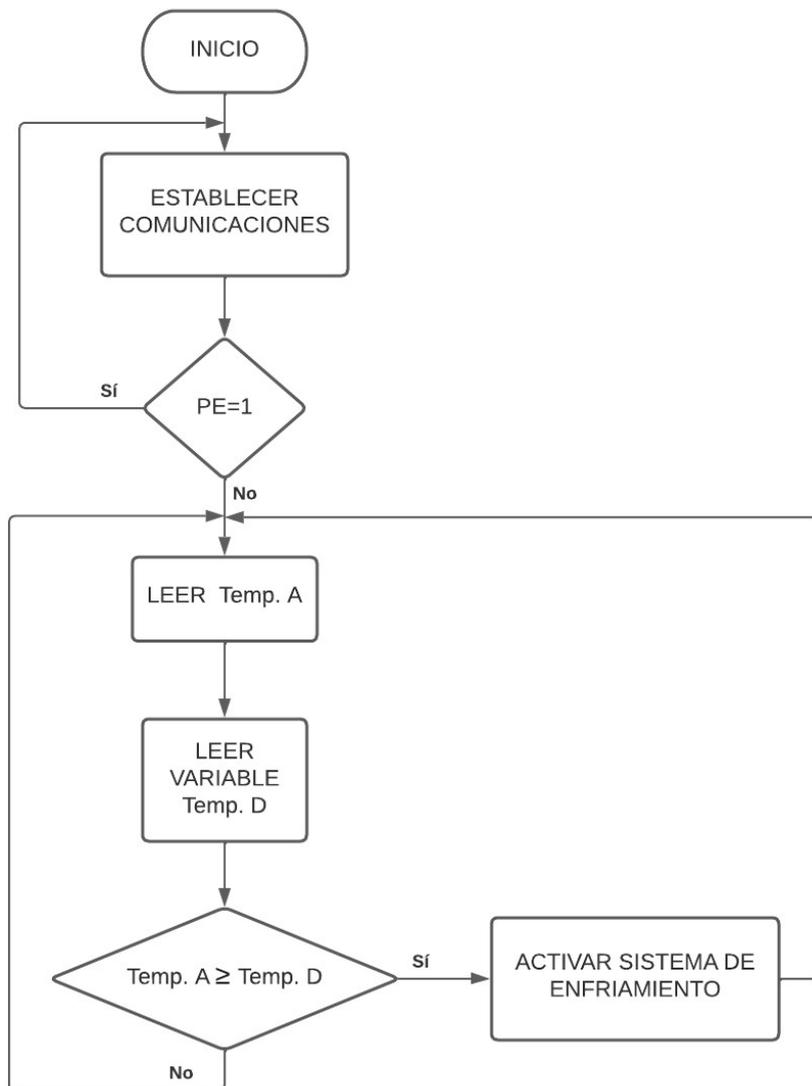


Figura 33: Diagrama de flujo del programa del PLC.

6.3. Interfaces gráficas HMI - Pc

6.3.1. HMI

La interfaz gráfica HMI, se desarrolló en una pantalla táctil marca KINCO que se encuentra en el tablero de control y tiene como objetivo principal monitorear el encendido de las máquinas que conforman la línea de extrusión de la empresa y hacer un control de las temperaturas del proceso de extrusión, dándole al operador la opción de visualizar el proceso de manera local.

El software que se usó para la programación del HMI se llama SIMATIC WinCC Unified, que es un sistema de visualización que permite digitalizar máquinas e instalaciones de forma sencilla y eficiente, además que se pueden utilizar con el TIA Portal. En la siguiente figura se muestra la ventana desarrollada para este proyecto, donde se encuentran elementos como indicadores de textos, luces piloto, pulsantes, máquina extrusora, entre otros.

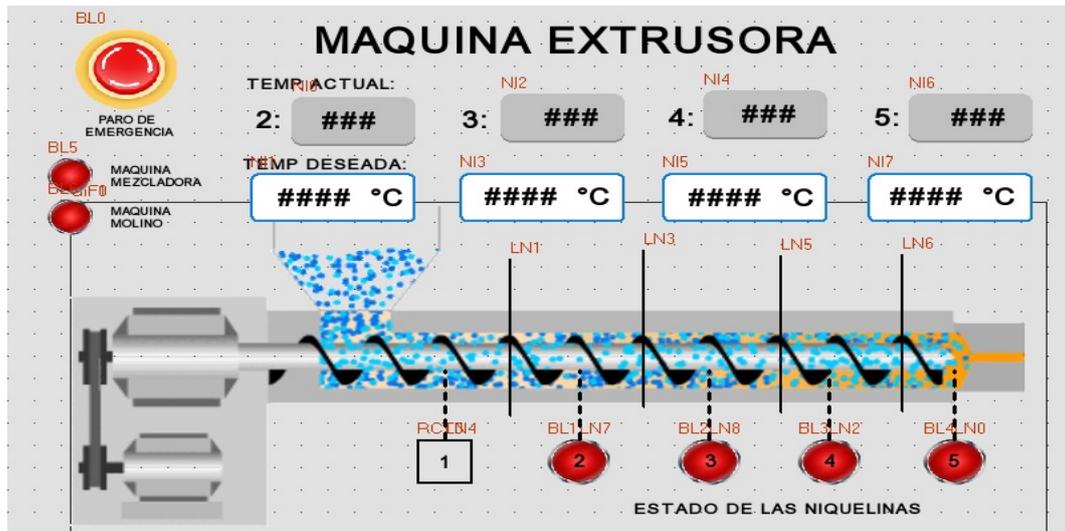


Figura 34: Interfaz gráfica HMI.

En la Figura 35, se observa el diagrama del diseño realizado para el HMI, el cual controla el proceso enviando y recibiendo datos para la ejecución de la tarea programada, también se visualizará y controlará la variable de temperatura accediendo a la comunicación entre el operador y la máquina.

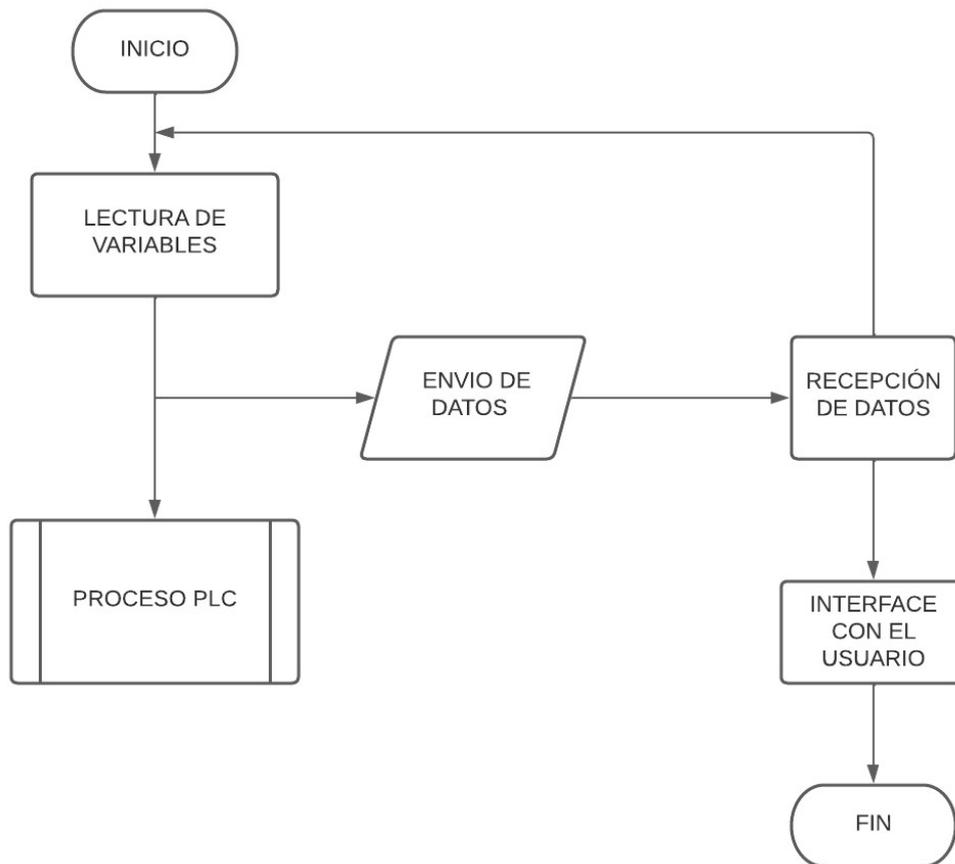


Figura 35: Interfaz gráfica HMI.

6.3.2. Interfaz Gráfica Pc

La interfaz gráfica que se desarrolló para la Pc mediante SIMATIC WinCC Unified, está constituida por una ventana principal y cuatro ventanas secundarias, las cuales se describen a continuación:

Pantalla Principal: Esta pantalla se muestra al momento de ejecutar el programa, consta de 6 botones; 2 para inicio y cierre de sesión, y 4 botones que permiten ingresar tanto a las plantas de Cuenca y Quito, como para los departamentos de recetas y laboratorio de calidad. Para ingresar, el operario debe escribir el usuario y contraseña según el departamento al que corresponda. Cabe recalcar que la empresa Vulcano Plástico aún no tiene una planta en Quito, pero próximamente contará con una, por petición de la empresa se puso un botón con nombre PLANTA QUITO. En la Figura 36 se muestra la disposición de los botones y un cuadro que indica que usuario ha ingresado anteriormente.



Figura 36: Interfaz gráfica Pc "Principal".

Planta de Producción - Cuenca: En esta pantalla se encuentra esquematizada la línea de extrusión de la empresa Vulcano Plástico, consta de imágenes de cada máquina que constituye la línea de extrusión. Cuenta con indicadores gráficos y numéricos para el monitoreo del encendido de las máquinas de trituración y mezclado, así como para la configuración de las temperaturas de la máquina extrusora. En la parte superior derecha se encuentra un botón que permite salir de la ventana actual hacia la pantalla principal, dentro de esta pantalla se encuentra un botón verde de paro de emergencia que permite detener todo el proceso en el instante en el que se acciona. En la Figura 37 se muestra la disposición de cada elemento mencionado anteriormente.

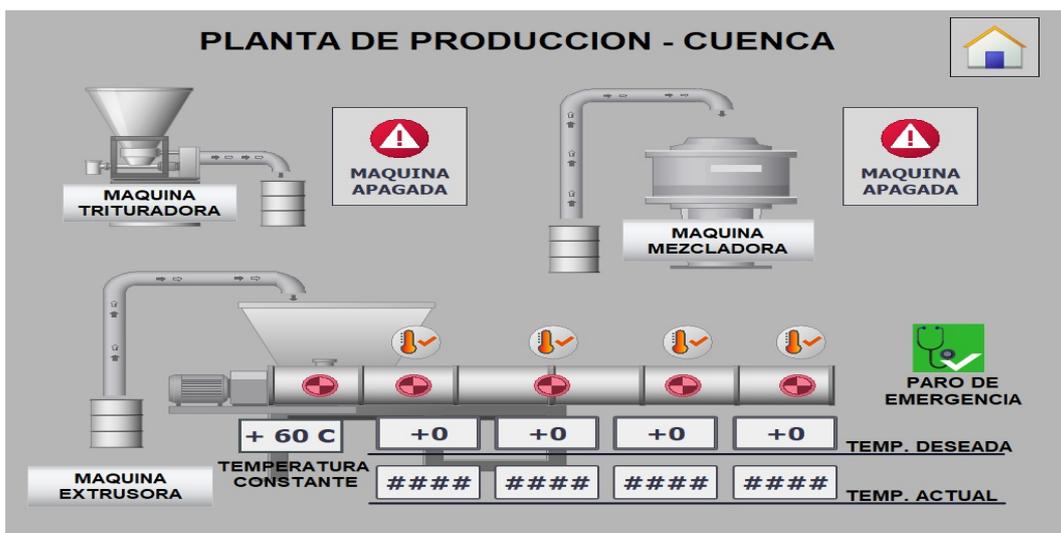


Figura 37: Interfaz gráfica Pc "Planta de producción".

Recetas de producción: En esta pantalla existe la opción de seleccionar el material con el que se va a trabajar; primero se escoge el proveedor del material, luego el perfil generado, entonces aparecerá los valores de temperatura con que trabaja el material seleccionado, finalmente con la opción de subir datos, enviamos los datos al PLC para que las niquelinas de la extrusora empiecen a calentarse. En caso de no encontrar un material, se puede crear un nuevo; escogemos la opción crear nuevo elemento como se muestra en la Figura 39 insertamos las temperaturas y guardamos con el nombre del perfil que se requiera, con esto vamos creando una base de datos que se guarda en el mismo programa con todos los materiales a trabajar. En el Anexo 1 se observa los perfiles con los que cuenta la empresa. En la Figura 38 se observa la disposición de los elementos antes mencionados.

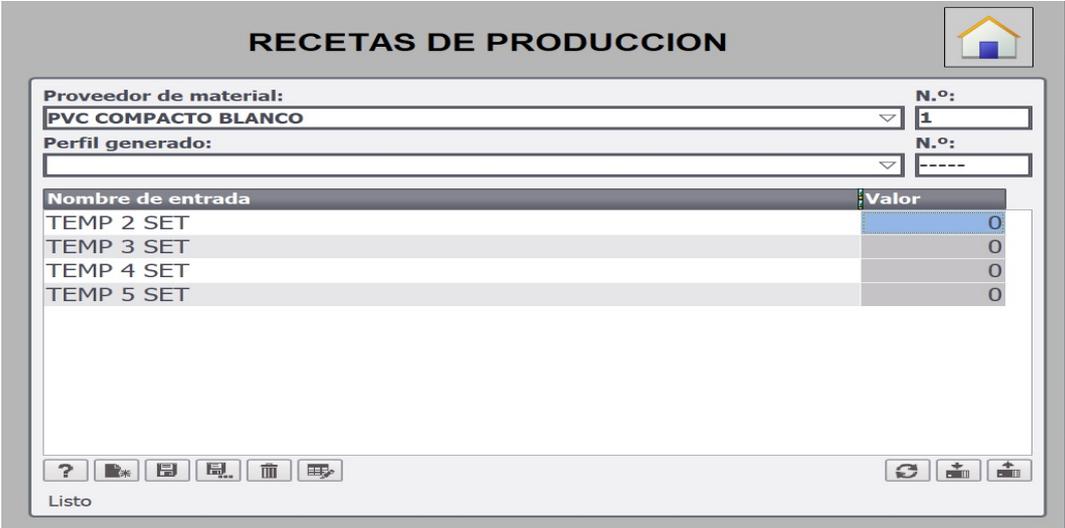


Figura 38: Interfaz gráfica Pc Recetas de producción".

En la Figura 39 se observa la barra de opciones de la pantalla de Recetas de Producción donde se encuentran los botones que sirven para crear un nuevo material con las especificaciones necesarias.



Figura 39: Barra de opciones.

Histórico de temperaturas: En esta pantalla se puede visualizar mediante un gráfico de tendencia, las temperaturas en cada zona de la máquina extrusora en tiempo real

Figura 40. Para este caso se tiene 4 curvas de diferente color que simbolizan las temperaturas a las que deben llegar en un intervalo de tiempo, las temperaturas pueden ser modificadas por el operador. Estos datos pueden ser exportados en formato Excel y se van actualizando automáticamente.

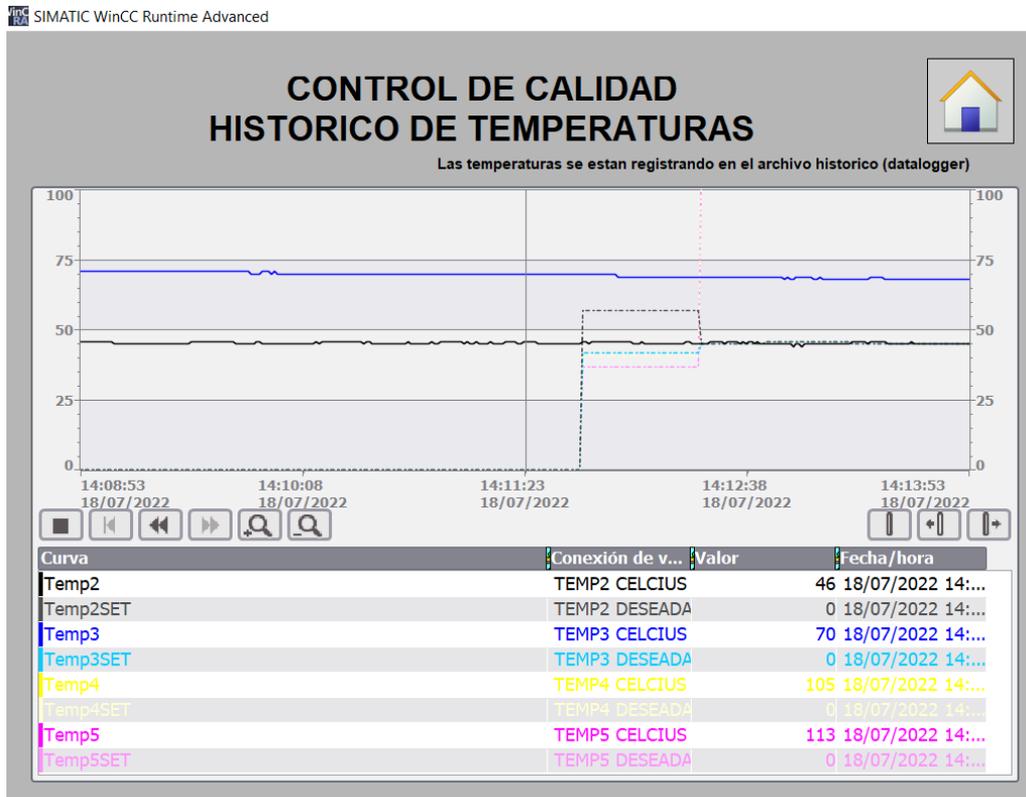


Figura 40: Interfaz gráfica Pc "Histórico de temperaturas".

7. PRUEBAS, ANÁLISIS Y RESULTADOS

En el siguiente capítulo se describen las pruebas que se realizó en la parte eléctrica, en los componentes que conforman el tablero de control, las máquinas que conforman la línea de extrusión y se comparó los valores calculados con los valores medidos, también se verificó la comunicación entre el HMI, el Pc y el PLC.

7.1. Pruebas Eléctricas

Para las pruebas eléctricas se utiliza un multímetro para comparar si los valores de corrientes son similares a los cálculos realizados, también se verifica la conexión de cada uno de los componentes con la finalidad de descartar errores que afecten al funcionamiento, para ello se mide continuidad entre los diferentes puntos, esto se realiza con el mismo multímetro.

7.2. Pruebas de Comunicación entre las Interfaces Gráficas y PLC

El objetivo de esta prueba es verificar la comunicación entre el HMI, Pc y el PLC, para ello se ejecuta el programa y se digita diferentes valores de temperatura y se observa si cambian en cada interfaz gráfica, tanto en el HMI como en el Pc.



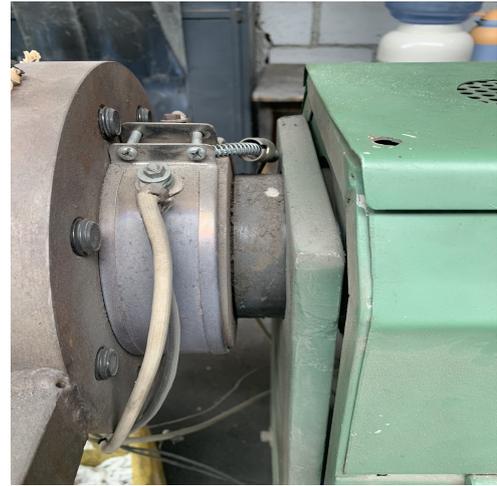
Figura 41: Pruebas HMI.

7.3. Pruebas con Niquelinas

En la Figura 42, se puede visualizar 2 de las 5 niquelinas que están conectadas cerca de la boquilla de la extrusora, seguido de las termocuplas que censan los valores de temperatura. Por lo general estos valores suelen ser altos y sobrepasan los 120°C.



(a)



(b)

Figura 42: Niquelinas.

Se realizó pruebas con distintas temperaturas en cada una de las niquelinas, y se verificó su funcionamiento mediante amperímetros que están en los breakers que protegen cada sensor de temperatura como se observa en la Figura 8, estos valores se visualizan en la parte exterior del tablero de control por medio de luces pilotos, también en el HMI y en la interfaz de la Pc.

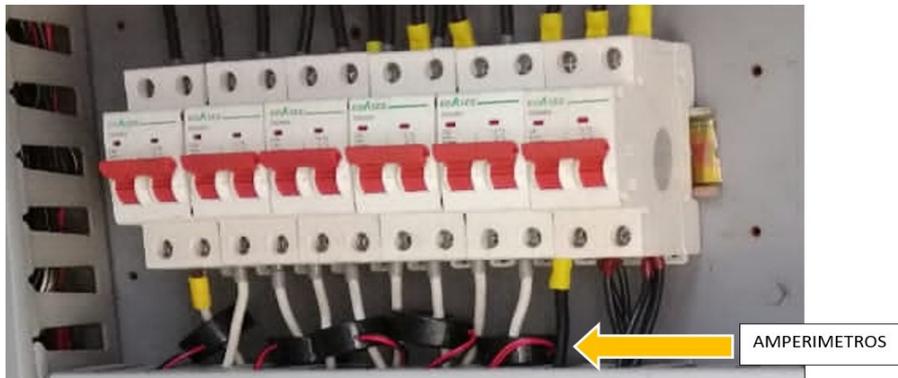


Figura 43: Amperímetros.

7.4. Pruebas con la Materia prima

Para la máquina de trituración, el proceso que se realiza es separar por colores todos los elementos plásticos que consiguen en estado de deterioro ya sean sillas, mesas, jabs de cola, etc., y también los restos de los procesos que ellos mismo realizan, ya sea por extrusión o por inyección, para luego ser triturados quedando el producto como se muestra en la Figura 44, y almacenados en sacos para utilizarlos de manera directa en la extrusión o añadir aditivos.



(a)



(b)

Figura 44: Trituración de materiales reciclados.

Como se mencionó anteriormente, en la empresa Vulcano Plástico existe una reutilización de material, y conforme se repite el proceso de extrusión el material va perdiendo cada vez sus propiedades, por ello en el proceso de mezclado se añaden aditivos para compensar en cierto grado la pérdida de estas propiedades. El aditivo añadido se llama compuesto de PVC como se muestra en la Figura 45.



Figura 45: Compuesto de PVC.

8. CONCLUSIONES

Por medio de este proyecto se logró implementar el sistema de monitoreo y control de la línea de extrusión en la empresa Vulcano Plástico, mejorando la operación de la

maquina de una manera mas versátil y óptima para la reducción del tiempo de producción y su vez otorgándole al gerente la facilidad de visualizar todo el proceso en tiempo real.

Se realizó el control de 4 de las 5 resistencias calefactoras (niquelinas) que conforman cada zona de la máquina extrusora, debido a que la temperatura de la primera zona siempre es constante para cualquier material que usan, se mantiene en 60°C y para ello se utilizó un controlador de temperatura analógico que la empresa proporcionó, la cual se encargara de mantener fija dicha temperatura.

La implementación de una interfaz de monitoreo y control incorporada a una Pc permite el control de históricos de temperatura de manera detallada, con indicación de la fecha de la captura de los datos, para que mediante un gráfico se pueda observar la tendencia de las temperaturas en cada etapa del proceso.

Las variables de temperatura en la máquina extrusora trabaja mediante un control ON/OFF, ya que es apropiado para el proceso de extrusión, y no se necesita que la temperatura sea exacta, descartando así los controladores PID.

9. RECOMENDACIONES

En la línea de extrusión, para las máquinas de trituración y mezclado se recomienda implementar un variador de frecuencia, para garantizar que el motor no funcione a velocidades superiores a las necesarias.

Se recomienda implementar un sistema de enfriamiento adecuado en la máquina extrusora, ya que posee 3 ventiladores que no están bien distribuidos en la máquina, estos se accionan cuando llegan a la temperatura deseada bajando la temperatura de las resistencias calefactoras que están juntas.

Se recomienda integrar la variable de velocidad del husillo de la maquina extrusora dentro del sistema de monitorio y control para obtener una mayor precisión y control.

La empresa Vulcano Plástico también cuenta con una línea de inyección, se recomienda realizar la integración al sistema de monitoreo y control implementado para obtener un mayor control de la producción general de la empresa.

Referencias

- Arian. (2010). Nota tecnica 2: Que són y como funcionan las termocuplas. obtenido de: <http://www.arian.cl/downloads/nt-002.pdf>.
- Aristegui, M. (2020, Enero 20). Método de extrusión su proceso y aplicación. *Aristegui Maquinaria. Máquinas para soldar plásticos*. <https://www.aristegui.info/metodo-de-extrusion-su-proceso-y-aplicacion/>.
- Avilez Arévalo, R. S., y Ochoa Guaraca, S. D. (2021). *Diseño de una máquina trituradora-extrusora de residuos de impresiones 3d para la empresa alium ec ubicada en la ciudad de cuenca* (B.S. thesis).
- Beltrán, M. (2011). Tema 4. extrusión. *Tecnología de los Polímeros*.
- Bolton, W. (2006). *Sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica y de electricidad, 3ª*. Edición.
- Cuadrado Moncayo, I. R., y Rueda Castillo, J. L. (2009). *Diseño y construcción de un molino de martillos* (B.S. thesis). Quito: USFQ, 2009.
- Cuenca, A., y Leon, M. (2013). Diseño e implementación del sistema de monitoreo, supervisión y control automático del proceso de destilación de agua en el área de inyectables de life ca. *MASKAY*.
- Electric, Z. X. (s.f.). Temperature controller series. *Electric Suntime*. *Página web*. [Consultado el 28 de marzo de 2022: <https://www.chinasuntree.com/uploads-suntree/1-m/pdf/relay-and-temperature-controller.pdf>].
- Electricidad Guzman. (s.f.-a). Piloto led rojo 22mm 60-500vac con amperímetro 0-100a ad112-22dsa lexo. obtenido de: <https://www.guzman.cl/pilotos/20442-piloto-led-rojo-22mm-60-500vac-con-amperimetro-0-100a-ad112-22dsa-lexo.html>.
- Electricidad Guzman. (s.f.-b). Piloto led rojo 22mm 60-500vac con voltímetro digital ad16-22dsv lexo. obtenido de: <https://www.guzman.cl/pilotos/21000-piloto-led-rojo-22mm-60-500vac-con-voltimetro-digital-ad16-22dsv-lexo.html>.
- Gester. (2019, octubre 21). Maquinas mezcladoras de plástico: Funciones dentro de una planta recicladora. *Blog de maquinaria* <https://gester.es/blog/maquinas-mezcladoras-plastico/>.
- Guanquiza Changoluisa, S. N. (2017). *Implementación y desarrollo de prácticas de automatización a través de un módulo didáctico con el plc s7-1200 para el control y funcionamiento de motores trifásicos* (B.S. thesis). Ecuador: La Mana: Universidad Técnica de Cotopaxi; Facultad de Ciencias de
- Hilaño Chanatasi, M. G. (2011). *Estudio del proceso de extrusión de pvc recuperado, para optimizar la producción en la empresa plasticaucho industrial sa* (B.S. thesis). Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica
- Julio Martinez Naya S.A. (2018). Resistencias de abarazadera. obtenido de:

- <https://www.juliomartineznaya.com/resistencias-de-abrazadera/>.
- Karpeles, R., y Grossi, A. V. (2000). Epdm rubber technology. En *Handbook of elastomers* (pp. 863–894). CRC Press.
- Kinco. (s.f.). Green series hmi gl070/gl070e. datasheet. obtenido de: https://en.kinco.cn/download/d_encatalog/hmi/flyer_gl070_en_m202007.pdf. *Kinco Automation*.
- Martí, E. B. (2019). Qué son las máquinas trituradoras de plásticos y para qué sirven. *Plásticos Universales*(228), 88 - 89.
- Moya Verdú, G. (2016). *Estudio, diseño, simulación y optimización de una matriz de extrusión de plástico* (Tesis Doctoral no publicada). Universitat Politècnica de València.
- Pallasco Vizuete, L. F., y Jami Jami, A. P. (2018). *Diseño y construcción de un molino para triturar hojas disecadas de plantas medicinales para ingrediente del té sachet, con capacidad de 25 kg/h para "la fundación familia salesiana salinas"*. (B.S. thesis).
- Panamá, X., Leonardo, y Rojas, X., Carlos. (2021). Diseño e implementación de un sistema de supervisión, control y adquisición de datos en el área de molienda de la planta concentradora de minerales multicoexpancia.ltda. *Universidad Politècnica Salesiana - Sede Cuenca*.
- Pérez López, E. (2015). Los sistemas scada en la automatización industrial. *Revista Tecnología en Marcha*, 28(4), 3–14.
- Ramos, L. F. (1993). *Extrusión de plásticos*. Editorial Limusa.
- Rico M, G. A. (2012). *Tecnología de polímeros*. Universidad de Alicante.
- RS Pro. (s.f.). Fuente de alimentación de montaje en carril din rs pro, 1 salida 24v dc 5a 120w. obtenido de: <https://docs.rs-online.com/26bd/a700000007350002.pdf>. *RS Components*.
- SEIKA. (2019). 5 lenguajes de programación para plc. obtenido de: <https://www.seika.com.mx/5-lenguajes-de-programacion-para-pl/>.
- Siemens Simatic. (2021, 17 de enero). Modulo de señales sm 1231 rtd.datasheet. obtenido de: https://media.automation24.com/datasheet/se/6es72121be400xb0_en.pdf. *6ES72121BE400XB0*.
- Siemens Simatic. (6, 2010). Modulo de señales sm 1231 rtd.datasheet. *A5E02885130-01*.
- Sotecma|Especializados en Instalaciones. (2021, August 19). Trituración y molienda de materiales - sotecma. obtenido de: <https://www.sotecma.es/proceso-trituracion-molienda-minerales/>.
- Suarez, L. X. A. (2017). *Variadores de frecuencia para el control de velocidad de motores asíncronos jaula de ardilla* (B.S. thesis). Universidad Central del Ecuador. Tecnología electromecánica.

- Super eléctrico. (s.f.). Breaker para riel 2p 63a 6ka tipo c 400v. obtenido de: <https://www.superelectrico.com/producto/breaker-para-riel-2p-63a-6ka-tipo-c-400v/>.
- Tania, S., y Zujew, C. (2018). Termocuplas. obtenido de: <https://catedra.ing.unlp.edu.ar/electrotecnia/cys/di/termocuplas.pdf>. *Fisica II Diseño industrial*.
- TP-link. (2014). 8-port 10/100mbps desktop switch. datasheet. obtenido de: https://static.tp-link.com/res/down/doc/tl-sf1008d_v8_datasheet.pdf. *TL-SF1008D*.
- Uncable. (2020, febrero 15). Medidas de los cables electricos awg, amperajes y colores. obtenido de: <https://uncable.com.ar/custom-post/>.
- Zumba Aldaz, F. I. (2017). *Automatización de un sistema extrusor de pvc para fabricación de vinil sellador (empaquetadura) entre el metal y su acristalamiento* (B.S. thesis).

ANEXOS

Anexo A: Programación del PLC

Segmento 1: Conversion de valor medido a grados Celsius

Comentario

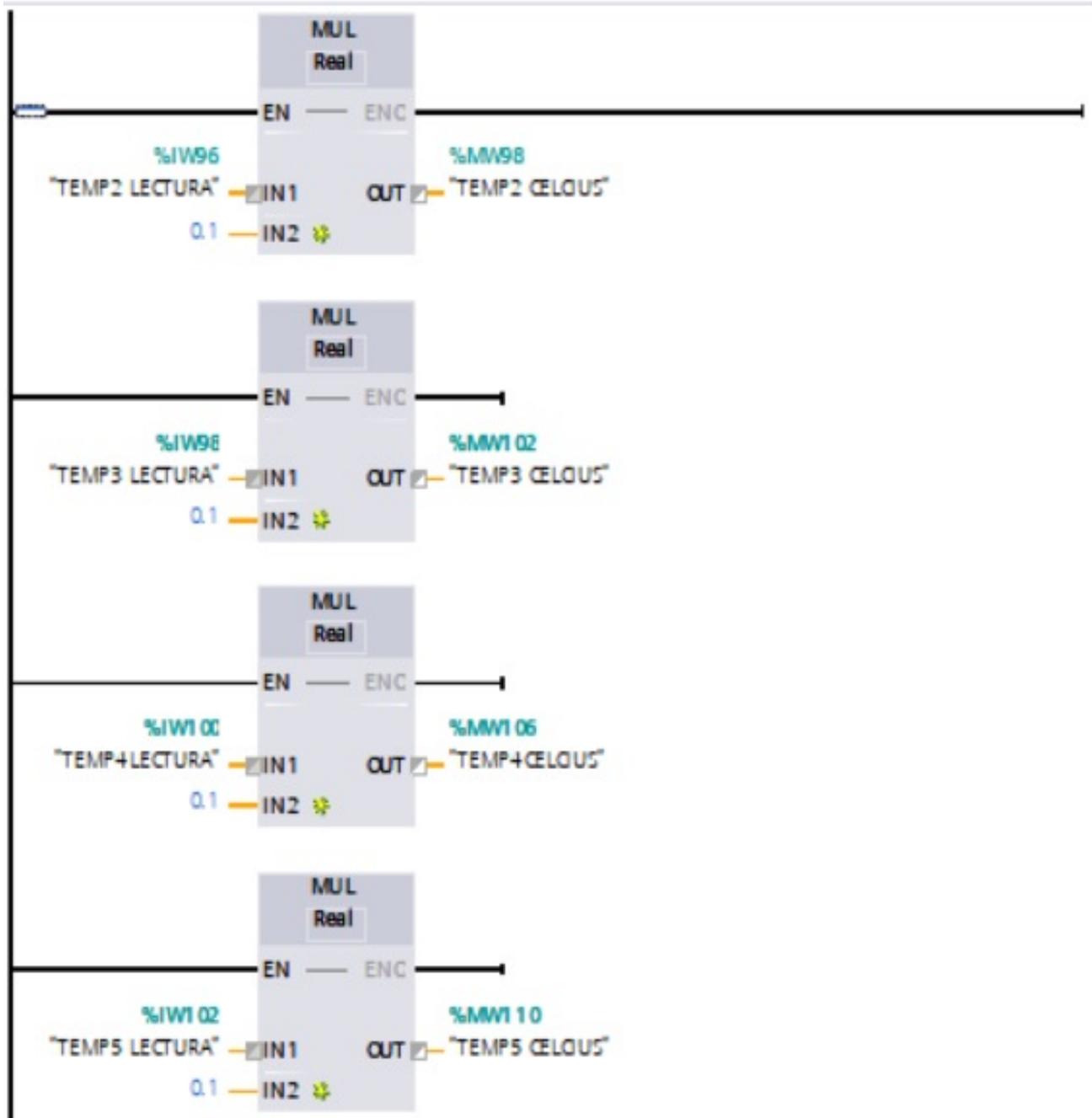


Figura 46: Programación en Ladder PLC - Segmento 1

Segmento 2: Trabajo de Niquelinas e Indicador de maquinas

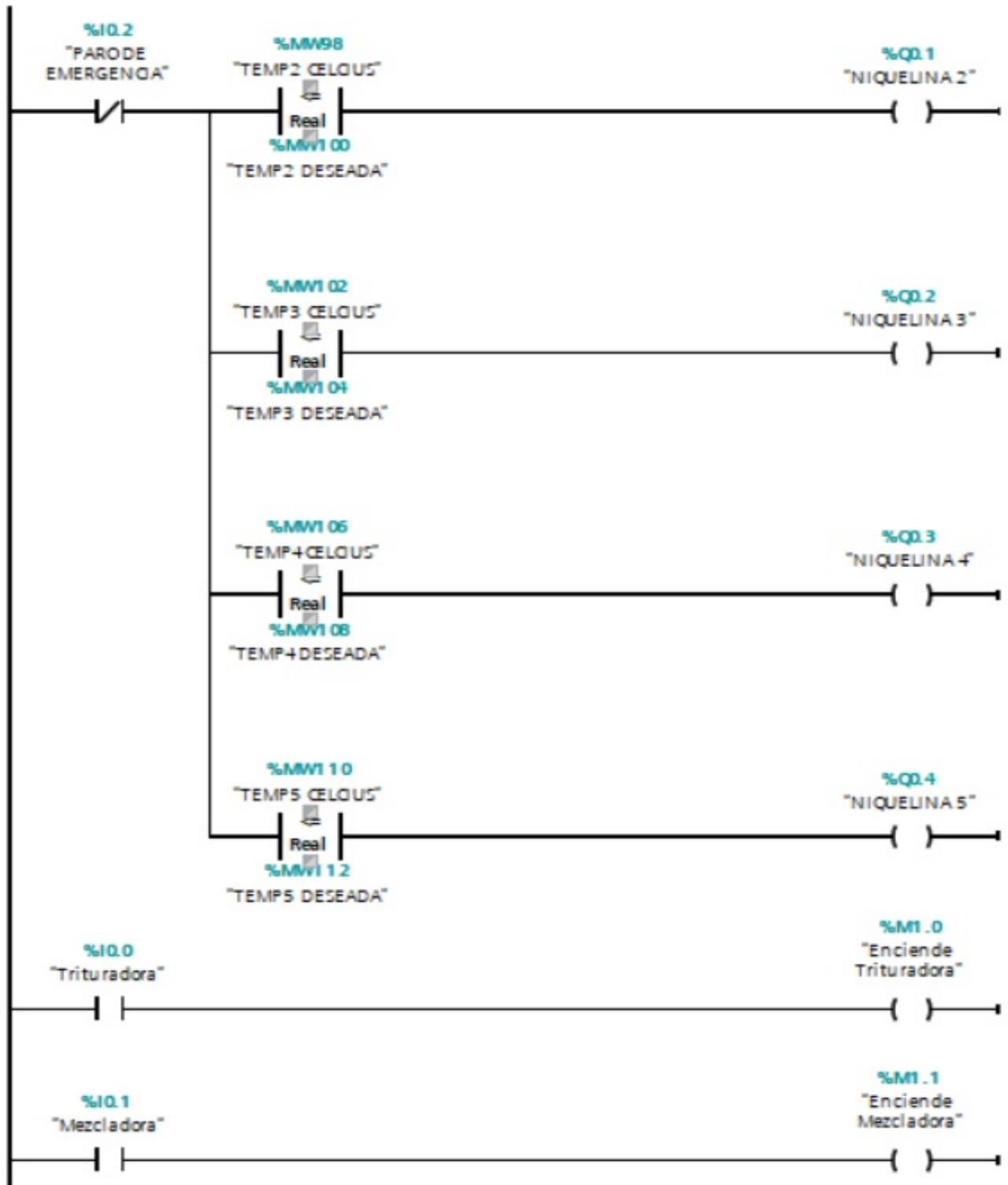


Figura 47: Programación en Ladder PLC - Segmento 2

Anexo B: Diseño de la estructura del tablero de control

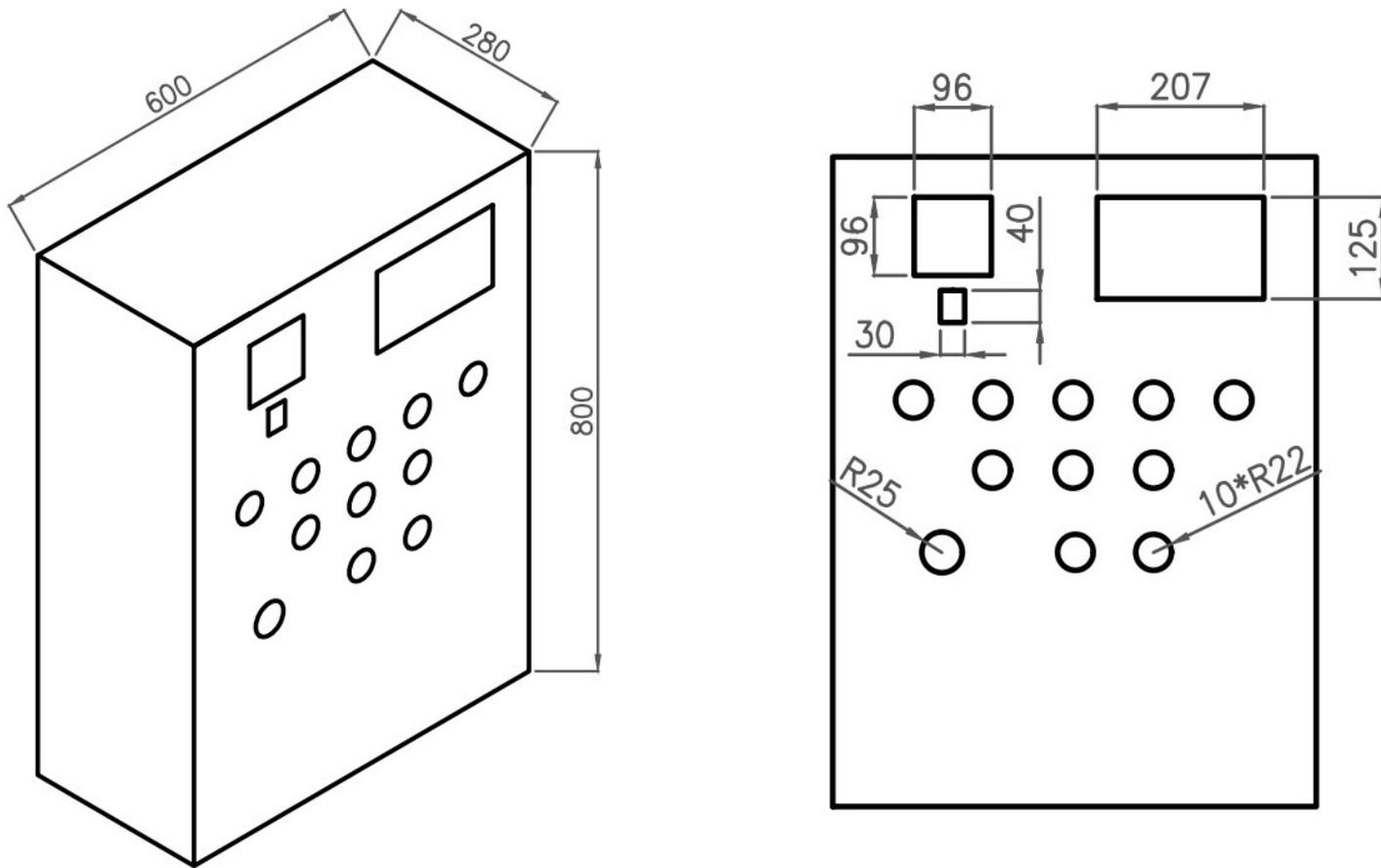
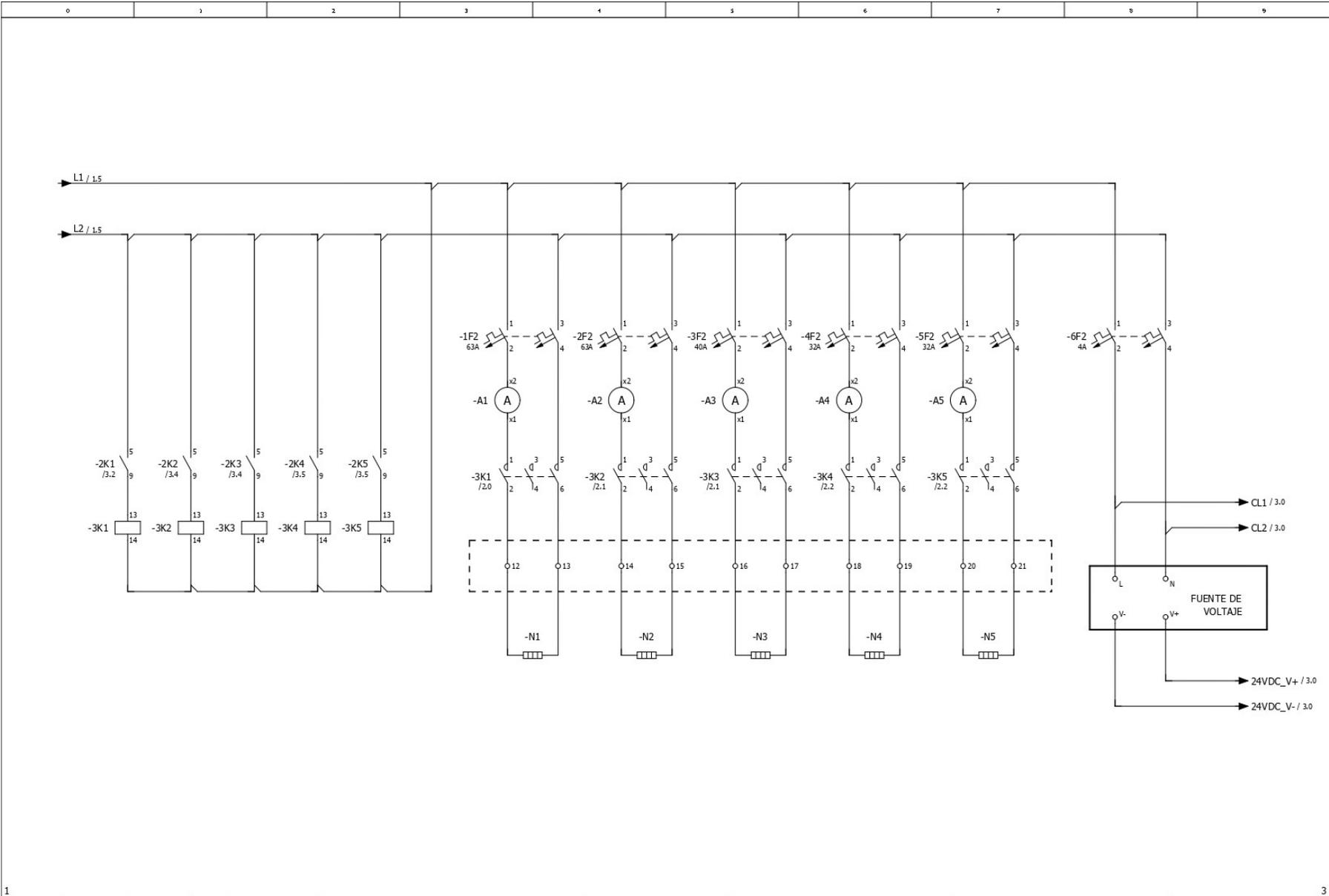


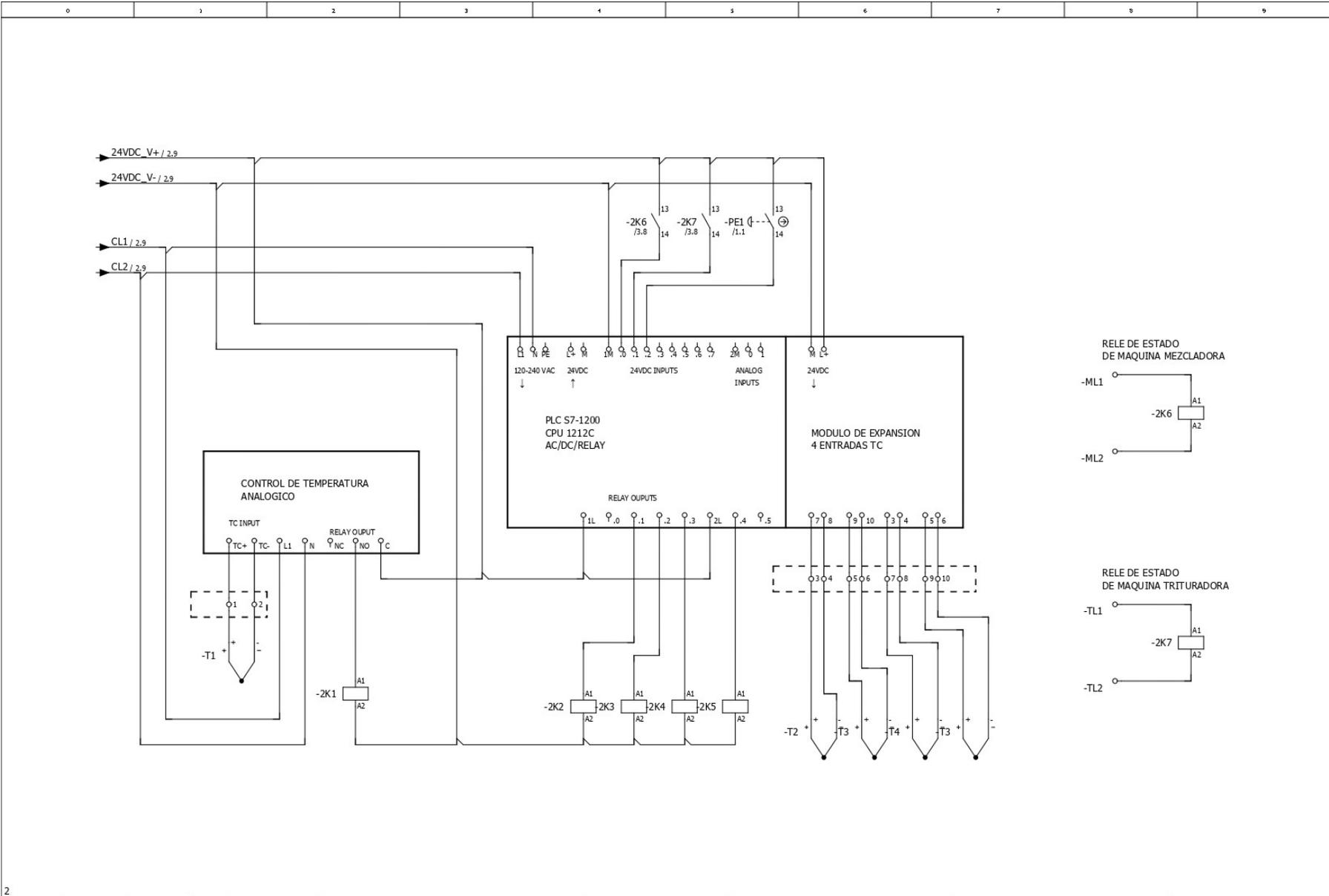
Figura 48: Diseño de la estructura del tablero de control

Anexo C: Planos Eléctricos del tablero de control



		Fecha 31/5/2022				FUERZA NIQUELINAS			
		Resp. Dustrn							
		Probado							
Cambio	Fecha	Nombre	Original	Sustitución por	Sustituido por			1	Hoja 2 Página 2 / 3

Figura 50: Plano Eléctrico - Fuerza Niquelinas



			Fecha	31/5/2022			CONTROL		=
			Resp.	Dustín					+
			Probado						
Cambio	Fecha	Nombre	Original	Sustitución por	Sustituido por			1	Hoja 3 Página 3/3

Figura 51: Plano Eléctrico - Circuito de Control

Anexo D: Manual instructivo del funcionamiento del sistema de monitoreo y control en la línea de extrusión

Seguridad General

1. Asegúrese que la fuente de alimentación eléctrica no se encuentre activa mientras la máquina no este en funcionamiento.
2. Infórmese como apagar la máquina e identifique los bloqueos y/o paros de emergencia existentes en la máquina, antes de ponerla en funcionamiento.
3. Infórmese como funciona el equipo y comprenda los procesos de operación.
4. Utilice un adecuado equipo de protección personal al momento de operar la máquina, como por ejemplo protección ocular, protección auditivo, calzado de protección, etc.
5. Asegúrese no llevar ropa holgada o accesorios que pueda quedar atrapado en la máquina.
6. Manténgase dentro del área de operación libre de obstáculos que puedan producir que la persona tropiece o caiga sobre la máquina en movimiento.
7. Asegúrese que no se encuentren herramientas, suministros de limpieza encima de la máquina antes de ponerla en marcha.

Puesta en marcha de la línea de extrusión

1. Asegurarse que todas las protecciones del tablero de control estén activas antes de energizar las máquinas que conforman la línea de extrusión.
2. Encender los interruptores que alimentan a las máquinas de trituración, mezclado y extrusión.
3. Escoger mediante el switch selector del tablero de control la fuente de alimentación con la que se trabajará (red eléctrica – generador).
4. Verificar que los dispositivos de control estén encendidos (Pantalla HMI-PLC).
5. Asegurarse que entre el PLC y la Pantalla HMI exista comunicación.
6. Verificar en la Pantalla HMI, mediante los indicadores gráficos si las máquinas de trituración y mezclado están encendidas.

7. Una vez verificado se procede a trabajar con el material que se requiera en cada etapa del proceso.
8. Para la máquina extrusora, se puede ingresar los valores de temperatura por medio del HMI, por ende, las niquelinas se empezarán a calentar hasta llegar la temperatura ingresada.
9. Se ingresa el material a trabajar en la tolva de la máquina extrusora.
10. Una vez que el material esté en la tolva y las temperaturas sean las deseadas, se enciende el variador de frecuencias que controla el tornillo.
11. Con el potenciómetro del tablero de control, se controla la velocidad del tornillo con la que avanzará el material.
12. En caso de alguna falla se debe tomar en cuenta el botón de emergencia, ya que se puede accionar en cualquier etapa del proceso.

Puesta en marcha de la línea de extrusión con la interfaz gráfica del sistema de monitoreo y control

Nota: Este espacio es uso exclusivo para el jefe de producción, ya que se encargará de monitorear el proceso en tiempo real y en caso de ser requerido podrá controlar ciertas etapas del proceso.

1. Ejecutar el programa WinCC RunTime Loader de Siemens.
2. Ingresar usuario y contraseña para tener acceso a las diferentes áreas que conforman el proceso.
3. Ingresamos a la interfaz de planta de producción Cuenca para el monitoreo de la línea de extrusión.
4. Asegurarse con los indicadores que si las maquinas de trituración y mezclado se encuentren activas o no. A su vez que no este activado el paro de emergencia.
5. Para la configuración de las temperaturas usaremos la interfaz Recetas en donde se podrá setear las temperaturas deseadas para cada uno de los perfiles de producción.
6. Dentro de la interfaz de control de calidad se obtiene una base de datos de los históricos de las temperaturas usadas a lo largo de todo el proceso.

Anexo E: Perfiles producidos por la línea de extrusión

Descripción	Presentación	Perfil
Para ventana fija (6mm - 13mm)	Rollo (5-10-15-20Kg)	
Para ventana corrediza (3mm y 4mm)	Rollo (5-10-15-20Kg)	
Para ventana corrediza (6mm)	Rollo (5-10-15-20Kg)	
Para puerta corrediza (4mm y 6mm)	Rollo (5-10-15-20Kg)	
Para carrocería	Rollo (5-10-15-20Kg)	
Perfil guía vidrio templado	Rollo (5-10-15-20Kg)	

Tabla 12: Perfiles flexibles fabricados por Vulcano Plástico.



Figura 52: Diferentes moldes para la extrusión de los perfiles flexibles



Figura 53: Rollos de perfiles flexibles extruidos