

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS**

### **SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO PARA LAS MÁQUINAS DE PROCESAMIENTO DE RESIDUOS PLÁSTICOS DE LA FUNDACIÓN FUCAE**

#### **TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO EN ELECTROMECÁNICA**

**QUINALUISA ALMACHE LUIS FERNANDO**

luis.quinaluisa@epn.edu.ec

**ROBALINO GUAMÁN GILSON ENRIQUE**

gilson.robolino@epn.edu.ec

**DIRECTOR: ING. ABRAHAM ISMAEL LOJA ROMERO**

abraham.loja@epn.edu.ec

**CO-DIRECTOR: ING. CARLOS ORLANDO ROMO HERRERA**

carlos.romo@epn.edu.ec

**Quito, octubre 2020**

## DECLARACIÓN

Nosotros, Gilson Enrique Robalino Guamán y Luis Fernando Quinaluisa Almache, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

Sin perjuicios de los derechos reconocidos en el primer párrafo del artículo 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación - COESC-, somos titulares de la obra en mención y otorgamos una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva de uso con fines académicos a la Escuela Politécnica Nacional. Entregaremos toda la información técnica pertinente. En el caso de que hubiese una explotación comercial de la obra por parte de la EPN, se negociará los porcentajes de los beneficios conforme lo establece la normativa nacional vigente”.



---

Gilson Enrique Robalino Guamán



---

Quinaluisa Almache Luis Fernando

## CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por Gilson Enrique Robalino Guamán y Luis Fernando Quinaluisa Almache, bajo nuestra supervisión.



---

Ing. Abraham Ismael Loja Romero MSc.

DIRECTOR DE PROYECTO



---

Ing. Carlos Orlando Romo Herrera MSc.

CO-DIRECTOR DE PROYECTO

## **AGRADECIMIENTO**

Le agradezco de todo corazón a mi madre quién es la persona que se ha mantenido a mi lado durante toda la carrera apoyándome en todo momento, por haberme brindado el tiempo y la paciencia para cuidar de mi salud, alimentación, hogar, dinero y permitirme seguir adelante con mi carrera. Le estoy infinitamente agradecido a ella por preocuparse por mis estudios, mis calificaciones, mi desarrollo como profesional, ya que con su ayuda pude llegar a convertirme en un estudiante responsable y tomar con seriedad mi futuro como profesional.

A mis compañeros por compartir sus conocimientos conmigo, a mi familia por sus consejos y su buen ánimo, y un agradecimiento muy especial a todos los profesores por darme ese conocimiento y destrezas que me ayudaron a entender y dominar ciertos temas que me serán muy útiles en mi vida profesional.

**Gilson Enrique Robalino Guamán**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios, por cuidar de mí y guiar mis pasos durante mi vida, quiero agradecer a toda mi familia por siempre estar pendiente de mí y de mis estudios, por apoyarme en cada momento y ayudarme a superar los inconvenientes presentados a lo largo de mi vida estudiantil.

A mis profesores que con sus enseñanzas y consejos me han ayudado mucho para seguir trabajando por mis metas y convertirme en un buen profesional, pero sobre todo en una buena persona.

A mis amigos y compañeros que he tenido el gusto de conocer durante este recorrido educativo, con quienes he celebrado momentos felices y quienes han estado apoyándome en momentos difíciles de mi vida.

A mi director de tesis Ing. Abraham Loja por ofrecerme su apoyo incondicional durante el desarrollo del proyecto y tenerme la paciencia suficiente para ayudarme a resolver mis dudas con respecto al tema de tesis.

**Luis Fernando Quinaluisa Almache**

## **DEDICATORIA**

El presente proyecto va dedicado a mi madre Norma por ser la persona que estuvo siempre a mi lado brindándome su apoyo incondicional. A mi familia por sus palabras de aliento para convertirme en un profesional. A mis amigos por ser un ejemplo a seguir como un profesional.

También se la dedico a mis profesores por ser quienes me entregaron sus habilidades y conocimientos, por ser los que dieron su tiempo para hacerme comprender mejor mis dudas, se la dedico a ellos para demostrar lo que soy capaz de hacer gracias a su labor como profesores.

**Gilson Enrique Robalino Guamán**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de titulación va dedicado a mis padres, quienes han sido mi motor principal durante el recorrido en mi carrera universitaria, aquellas personas que me han brindado su cariño y apoyo incondicional. A mis hermanos por ser un soporte fundamental durante todo este proceso de aprendizaje continuo, ya que han sido personas que me han ayudado a salir adelante y nunca me han dejado solo, por respetar mis decisiones y apoyarme en cada una de ellas.

A mis profesores, tutores y personal administrativo de la institución quienes han sido un apoyo muy importante durante mis estudios universitarios, por confiar en mis aptitudes y ofrecerme en más de una oportunidad su ayuda incondicional para solventar las dudas que siempre tiene uno como estudiante.

**Luis Fernando Quinaluisa Almache**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.	Planteamiento del problema .....	1
1.2.	Justificación.....	2
1.3.	Objetivo general .....	2
1.4.	Objetivos específicos.....	2
1.5.	Fundamentos teóricos .....	3
	• Sistemas de control.....	3
	• Proceso de reciclaje de plásticos .....	3
	• Propiedades de los plásticos.....	7
	• Controladores lógicos programables.....	8
	• Simulación de procesos .....	10
2.	METODOLOGÍA.....	11
2.1.	Tipo de metodología.....	11
2.2.	Procedimiento de la metodología .....	12
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	12
3.1.	Estudio de los requerimientos del sistema.....	12
	• Análisis del actual funcionamiento del sistema.....	12
	Análisis de las características del material plástico .....	15
	• Descripción del funcionamiento de las etapas de lavado y triturado.....	17
3.2.	Desarrollo del algoritmo de control .....	18
	• Entradas y salidas del sistema .....	18
	• Diagrama de flujo .....	20
	• Código de programación .....	21
3.3.	Diseño del circuito eléctrico del sistema .....	21
	• Características de los equipos eléctrico .....	21
	• Dimensionamiento del nuevo equipo.....	21
	• Selección de los elementos de control .....	47

•	Elaboración del diagrama eléctrico del sistema.....	50
3.4.	Diseño de la estructura de la banda transportadora .....	50
3.5.	Simulación del funcionamiento del sistema .....	57
•	Simulación del funcionamiento de las máquinas del sistema .....	57
•	Simulación de movimientos.....	59
•	Simulación de los circuitos de control.....	60
•	Simulación del código de control.....	63
3.6.	Manual de implementación .....	65
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	66
4.1.	Conclusiones.....	66
4.2.	Recomendaciones.....	67
5.	BIBLIOGRAFÍA.....	70
6.	ANEXOS .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Representación de un sistema de control abierto .....	3
Figura 1.2 Proceso de reciclado mecánico para botellas plásticas .....	4
Figura 1.3 Cinta transportadora plana .....	5
Figura 1.4 Componentes de un rodillo .....	6
Figura 1.5 Uso de tambores en cintas transportadoras .....	6
Figura 1.6 Motorreductor eléctrico .....	7
<i>Figura 1.7 Reductores de velocidad</i> .....	7
Figura 1.8 Simbología de algunos termoplásticos .....	8
Figura 1.9 PLC S7-1200 .....	9
Figura 1.10 Ventana HMI .....	10
Figura 1.11 Mesa de trabajo SolidWorks 2018 .....	11
Figura 1.12 Simulación en CADESIMU .....	11
Figura 3.1 Lavadora de la fundación FUCAE .....	13
Figura 3.2 Motor de lavadora .....	13
Figura 3.3 Características de la trituradora .....	14
Figura 3.4 Trituradora de la fundación FUCAE .....	15
Figura 3.5 Botellas PET de colores .....	16
Figura 3.6 Botellas de material HDPE .....	17
Figura 3.7 Proceso mecánico de reciclaje .....	18
Figura 3.8 Diagrama de flujo para el proceso automático .....	20
Figura 3.9 Características eléctricas del motorreductor de la cinta transportadora .....	29
Figura 3.10 Diagrama unifilar de conexiones .....	32
Figura 3.11 Puente de Wheatstone .....	43
Figura 3.12 Amplificador de instrumentación .....	46
Figura 3.13 Pulsador de control .....	48
Figura 3.14 Luz piloto .....	48
Figura 3.15 Botón de parada de emergencia .....	49
Figura 3.16 Sensor tipo boya .....	50
Figura 3.17 Diseño de la banda transportadora .....	51
Figura 3.18 Plano general de la cinta transportadora .....	51
Figura 3.19 Tubo con ranuras de tensión .....	52
Figura 3.20 Pieza del eje de tensión .....	52
Figura 3.21 Banda transportadora .....	53

Figura 3.22 Motorreductor Helicoidal.....	53
Figura 3.23 Soporte de motor.....	54
Figura 3.24 Eje chaveta .....	54
Figura 3.25 Cilindro de la caja reductora .....	55
Figura 3.26 Rodamiento .....	55
Figura 3.27 Apoyo de rodillo de la banda .....	56
Figura 3.28 Rodillo secundario.....	56
Figura 3.29 Rodillo principal .....	56
Figura 3.30 Banda transportadora.....	57
Figura 3.31 Lavadora de botellas .....	57
Figura 3.32 Trituradora.....	58
Figura 3.33 Banda transportadora y trituradora.....	58
Figura 3.34 Curvas de velocidad del motor y caja reductora .....	59
Figura 3.35 Curvas de velocidad de poleas.....	60
Figura 3.36 Simulación de velocidad de los ejes .....	60
Figura 3.37 Circuito detector de objetos .....	61
Figura 3.38 PCB circuito detector de objetos.....	61
Figura 3.39 Transmisor de temperatura .....	62
Figura 3.40 PCB de circuito de medición de temperatura.....	62
Figura 3.41 Proceso transporte y lavado de botellas .....	63
Figura 3.42 Ventana PLC SIM.....	64
Figura 3.43 HMI de la trituradora.....	64

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Características de la lavadora .....	14
Tabla 3.2 Características de la trituradora .....	14
Tabla 3.3 Variables de entrada y salida del PLC .....	19
Tabla 3.4 Características de la banda .....	22
Tabla 3.5 Características del plástico PET .....	24
Tabla 3.6 Factores de anchura de banda .....	25
Tabla 3.7 Factores de longitud de banda .....	25
Tabla 3.8 Factores de servicio .....	25
Tabla 3.9 Potencias necesarias para elementos adicionales.....	26
Tabla 3.10 Eficiencia de mecanismos reductores.....	28
Tabla 3.11 Accesorios de la instalación de la tubería .....	30
Tabla 3.12 Consumo de corriente nominal en el circuito de control.....	32
Tabla 3.13 Especificaciones técnicas del equipo eléctrico.....	34
Tabla 3.14 Balance de carga del sistema.....	34
Tabla 3.15 Tabla AWG de conductores CENTELSA .....	35
Tabla 3.16 Selección de calibre AWG para conexión a tierra .....	38
Tabla 3.17 Asignación de cable eléctrico .....	38
Tabla 3.18 Protección de sobrecargas en base a calibre AWG .....	39
Tabla 3.19 Características de Guardamotores seleccionados .....	41
Tabla 3.20 Categorías de contactores seleccionados .....	42
Tabla 3.21 Contactores seleccionados.....	42
Tabla 3.22 Rango de voltaje de acondicionamiento .....	46
Tabla 3.23 Componentes del circuito transmisor de temperatura .....	47

## **RESUMEN**

El presente proyecto de titulación, SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO PARA LAS MÁQUINAS DE PROCESAMIENTO DE RESIDUOS PLÁSTICOS DE LA FUNDACIÓN FUCAE, ha permitido observar el funcionamiento del sistema, en donde cada máquina es controlada y monitoreada desde un panel de control o a su vez desde una Interfaz Humano – Máquina (HMI).

Se ha dividido a la tesis en cuatro secciones las cuales serán detalladas a continuación:

La parte de la Introducción detalla el motivo por la cual se realiza este tema de tesis, justifica los elementos a aplicarse en el proyecto para que el sistema sea completamente funcional.

La parte de la Metodología contiene las técnicas aplicadas para la investigación, experimentación y desarrollo del proyecto; además, se basa en los conocimientos adquiridos durante la carrera e información obtenida de fuentes bibliográficas, utilizando herramientas aprendidas en la carrera para el desarrollo del proyecto.

En la parte de Resultados y Discusión se da conocimiento del estado de las máquinas, características y manejo de los plásticos a reciclar, a partir de estos temas se expone posteriormente el desarrollo de un algoritmo de control para el manejo manual y automático del sistema; luego se dimensiona los equipos adicionales y finalmente se detalla un manual para la implementación del proyecto.

Finalmente, se expone las conclusiones y recomendaciones del trabajo de titulación.

## **ABSTRACT**

*The present degree project, SIMULATION OF AN AUTOMATIC CONTROL SYSTEM FOR THE PLASTIC WASTE PROCESSING MACHINES OF THE FUCAE FOUNDATION, has allowed observing the operation of the system, where each machine is controlled and monitored from a control panel or in turn from a Human - Machine Interface (HMI).*

*The thesis has been divided into four sections which will be detailed below:*

*The Introduction part details the reason why this thesis topic is carried out, justifies the elements to be applied in the project so that the system is more effective and efficient and the way in which each stage of the project will be developed.*

*The Methodology part contains the techniques applied for the research, experimentation and development of the project, it is also based on the knowledge acquired during the career and information obtained from bibliographic sources using tools learned in the career for the development of the project.*

*In the Results and Discussion part, knowledge is given of the status of the machines, characteristics and handling of the plastics to be recycled, based on these topics, the development of a control algorithm for manual and automatic handling of the system is then exposed. dimension the additional equipment and finally a manual for the implementation of the project is detailed.*

*Finally, the conclusions and recommendations of the degree work are exposed.*

# **1. INTRODUCCIÓN**

## **1.1. Planteamiento del problema**

En la actualidad el uso desmedido de plásticos para uso diario en todo el ámbito de la vida, así como la manera en que se los desecha ha causado que un gran número de especies animales y seres humanos se vean afectados con la muerte, destrucción de ecosistemas, toxicidad de los alimentos y difícil eliminación del plástico. Los problemas que los residuos plásticos causan en el entorno generan un daño potencial en el ambiente, en donde se pierde la posibilidad de tener una vida saludable y un habitat lleno de vida.

Ante la preocupación por los efectos que están causando los residuos plásticos en el ambiente, cada persona ha generado conciencia por reducir el impacto en la contaminación causado por los plásticos, creándose hábitos de reducción, reutilización y reciclaje, se han generado asociaciones a favor del cuidado del ambiente y se han inventado métodos para generar productos útiles a partir del uso de material plástico reciclado.

Los plásticos son de material maleable con lo cual se pueden fundir, prensar o extruir, para convertirlos en diferentes formas como láminas, fibras, placas, tubos, botellas, cajas, etc.

La fundación FUCAE es una organización comunitaria sin fines de lucro con más de 20 años de experiencia, ubicada en San José de Minas. FUCAE cuenta con varias máquinas destinadas al reciclaje de plásticos; pero lastimosamente cuenta con máquinas de accionamiento manual, lo que dificulta el procesamiento de la cantidad de plásticos que reúnen diariamente en sus instalaciones.

La fundación tiene una lavadora de paletas y una trituradora de plásticos, que de manera manual son accionadas con el uso de termomagnéticos. Para las máquinas mencionadas se realizó el diseño del control eléctrico con los respectivos dispositivos de accionamiento, con el fin de evitar que el operador manipule peligrosamente los accionadores existentes. Además, se usó sensores de nivel para el llenado y vaciado automático del depósito de la lavadora. Finalmente, se diseñó un circuito de control para el accionamiento de la trituradora.

En el proceso no existía un mecanismo que permita transportar las botellas recicladas hacia la lavadora, el operador se encargaba de llevar dichas botellas y colocarlas en la máquina para su lavado.

La máquina trituradora sufría en ocasiones un sobrecalentamiento de sus devanados debido al esfuerzo mecánico que realizaba y al rozamiento del material plástico con las cuchillas de la máquina, al presentarse este problema el operador apagaba lo más rápido posible la máquina antes de que ocurra algún daño en la misma.

## **1.2. Justificación**

Las máquinas pueden dar mejores resultados en los procesos de reciclaje y evitar accidentes, cuando la operación de estas máquinas se produce de forma autónoma.

La fundación FUCAE recolecta una gran cantidad de botellas plásticas, este alto número de botellas requiere de lavado y triturado, para lo cual se requiere de un sistema mecánico automatizado que genere niveles de limpieza altos y el triturado del material, así como mayor rapidez del proceso y menor recurso humano. La alta rapidez que una máquina automatizada procesa el plástico, apoya a la reducción de la presencia con residuos plásticos en espacios públicos, la calidad de vida de los habitantes de la comunidad de San José de Minas mejoraría.

El proyecto se enfocó en la simulación de un diseño del control automático de las etapas de lavado y triturado. El sistema inicia con el transporte de botellas recicladas donde se diseñó una cinta transportadora, la cual es movida por un motor eléctrico, y permite llevar las botellas sucias hacia la lavadora de paletas, y así reducir el tiempo que le toma al operador llevar las botellas para su lavado y; además, contabilizar las botellas. Luego se acciona una bomba para el llenado del depósito de la lavadora y una electroválvula para el vaciado de esta, mediante un sensor de bajo y otro de alto nivel. En la etapa de triturado de plástico se diseñó un circuito que permite la puesta en marcha del motor con opción a cambio de giro. Además, se añadió un pulsador de paro de emergencia para la protección del operador en caso de mantenimiento o emergencia. Para el problema del sobrecalentamiento del motor de la trituradora, se seleccionó un sensor de temperatura RTD tipo sonda, el cual permite la medición de temperatura interna del motor, y así protegerlo en caso de un incremento de temperatura en los devanados del motor.

## **1.3. Objetivo general**

Simular un sistema de control automático para las máquinas de procesamiento de residuos plásticos de la fundación FUCAE.

## **1.4. Objetivos específicos**

- Definir los requerimientos del sistema
- Desarrollar el algoritmo de control

- Diseñar el diagrama eléctrico del sistema
- Simular los procesos de triturado, lavado y banda transportadora
- Elaborar un manual de implementación

## 1.5. Fundamentos teóricos

- **Sistemas de control**

Un sistema de control automático es una combinación de elementos interrelacionados que permiten manipular ciertas variables de un proceso o planta, de manera que pueda controlarse por sí mismo, sin necesidad de la intervención humana. [1]

- **Sistema de control en lazo abierto**

El sistema de control de lazo abierto es aquel en donde la señal de salida no se compara con la señal de entrada, por lo general se utiliza un regulador o actuador para conseguir una respuesta deseada. [1] En la Figura 1.1, se encuentra el esquema de la representación de un proceso de lazo abierto.



*Figura 1.1 Representación de un sistema de control abierto*

Fuente: [1]

Ante la presencia de señales internas o externas como perturbaciones, este sistema de control no puede compensar una tarea asignada.

El sistema de control de lazo abierto ha sido utilizado para el diseño del control de llenado y vaciado del tanque de la lavadora y para el control de temperatura en el motor de la trituradora.

- **Proceso de reciclaje de plásticos**

El reciclaje es el proceso, a través del cual los materiales ya utilizados (desperdicios), en este caso PET, son procesados con el propósito de integrarlos nuevamente a un ciclo productivo como materia prima. [2]

Existen tres maneras de reciclar estos residuos, las cuales son:

- Reciclado mecánico
- Reciclado químico
- Reciclado energético

El proceso de reciclaje en la fundación FUCAE tiene máquinas, que están diseñadas para funcionar en un reciclado mecánico, por ello se ha hecho énfasis en este tipo de reciclado que será utilizado en el proyecto

### Reciclado mecánico

Consiste fundamentalmente en aplicar calor y presión a los objetos para darles nueva forma. De todos los tipos de plásticos, este proceso solo puede aplicarse al grupo de los termoplásticos, se funden al ser calentados por encima de la temperatura de fusión. [2]. En la Figura 1.2, se observa el proceso de reciclaje mecánico.

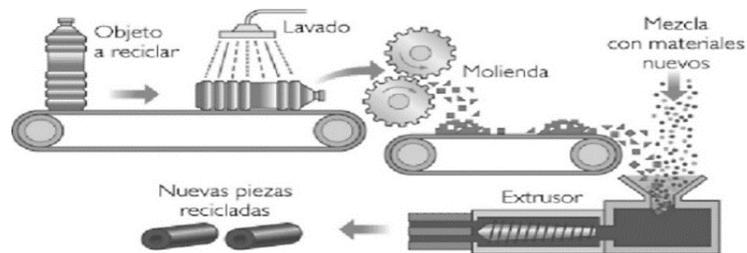


Figura 1.2 Proceso de reciclado mecánico para botellas plásticas  
Fuente: [2]

### Etapas de reciclado mecánico

- **Limpieza:** acondicionamiento para obtener materia prima adecuada, sin suciedad o sustancias que puedan dañar tanto a las máquinas como al producto final.
- **Clasificación:** separación y selección de plásticos. Se ha desarrollado varias técnicas de separación basada en métodos físicos.
- **Triturado:** corte del material reciclado en tamaño de grano mediante cuchillas de acero inoxidable.
- **Lavado:** eliminación de cualquier tipo de suciedad o impureza mediante lavado, aclarado y centrifugado (secado). Luego los residuos se vuelven a moler y a secar.
- **Secado:** en esta etapa se retira el agua que se encuentra junto al material, el método utilizado es conocido como centrifugado, aquí el material pasa por una máquina, la cual retira el exceso de agua.
- **Extrusión:** la extrusora funde y vuelve a la mezcla plástica a una masa homogénea. A la salida de la extrusora se encuentra el cabezal, del cual sale material de forma continua, que es enfriado con agua o aire. [3]

En el reciclado mecánico para el procesamiento de los plásticos se requiere un mecanismo que transporte las botellas de una etapa hacia otra, por ello un elemento que no puede faltar en este proceso es la cinta transportadora.

### **Cinta Transportadora**

Una cinta transportadora es un elemento o maquinaria de carácter principalmente electromecánico, destinado a trasladar productos y materias primas entre dos o más puntos, alejados entre sí. Transportan de forma horizontal o inclinada objetos sólidos o materiales a granel, recorren grandes distancias a grandes velocidades. [4]

El principal elemento de la cinta transportadora es la banda, ya que es la encargada de contener el material transportado y de transmitir la fuerza para transportar la carga.

- **Cintas planas:** en las cintas planas, los materiales se sitúan sobre la superficie de una banda, que viaja a lo largo del recorrido. La banda realiza un camino de ida, en el que transporta el material, y un camino de retorno, carente de carga, formando así un lazo continuo. La banda se desliza sobre rodillos a lo largo de todo su recorrido, y en los extremos, cambia de dirección gracias a los tambores. [4] En la Figura 1.3, se observa una cinta transportadora plana.

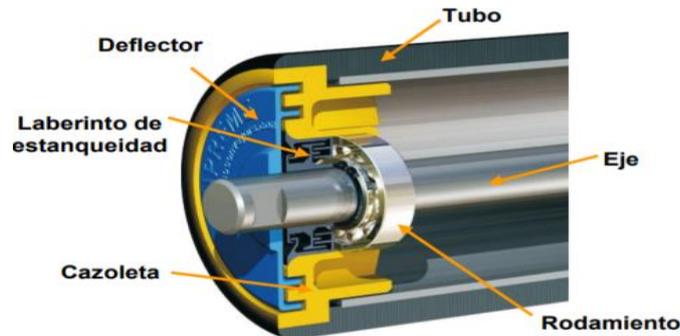


*Figura 1.3 Cinta transportadora plana*

Fuente: [4]

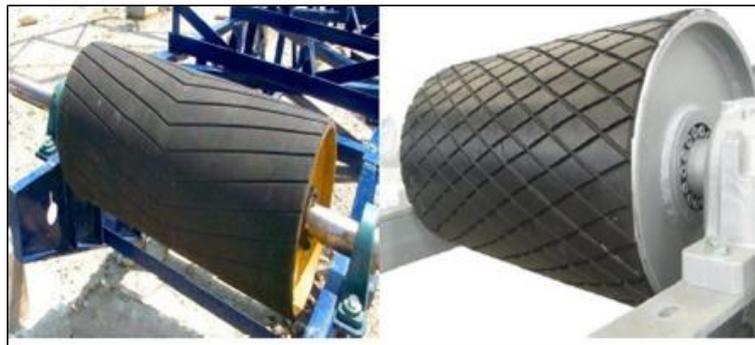
- **Bandas transportadoras:** la banda es uno de los elementos más importantes de toda la instalación, ya que sobre ella se disponen los elementos a transportar. Por ello, su coste suele ser uno de los más elevados de toda la instalación. Las principales funciones que debe cumplir son las siguientes:
  - Transportar la carga.
  - Absorber las tensiones desarrolladas en el arranque.
  - Absorber la energía de impacto en el punto de carga.
  - Resistir a los efectos de temperatura y agentes químicos.
  - Cumplir con los requisitos de seguridad.

- **Rodillos:** los rodillos son al igual que la banda, componentes principales para las cintas, y de su calidad depende el buen funcionamiento de estas. Si no giran adecuadamente, aumenta la fricción, produciendo desgastes en los recubrimientos de la banda y reduciendo su vida útil; además, producirá aumento en el consumo de energía. [4] En la Figura 1.4, se puede ver la composición interna de un rodillo.



*Figura 1.4 Componentes de un rodillo*  
Fuente: [4]

- **Tambores:** los tambores son los encargados de cambiar la trayectoria de la banda. Las dimensiones principales de los tambores, diámetro y longitud se encuentran normalizadas por la norma DIN 22101 y por la norma ISO 1536. [4] La determinación de los diámetros del tambor depende del tipo de banda, espesor y ancho. En la Figura 1.5, se observa varios tambores utilizados para el movimiento de la banda transportadora.



*Figura 1.5 Uso de tambores en cintas transportadoras*  
Fuente: [4]

- **Motores:** el elemento motriz de mayor uso en las bandas transportadoras es de tipo eléctrico. Para la selección de un motor, hay que cerciorarse de que la potencia mínima sea menor o igual que la requerida a la salida del reductor y a la entrada del eje del tambor motriz. La potencia en el arranque será un poco mayor, por lo que el motor debe ser sobredimensionado, siempre y cuando el costo lo permita. El motor aportará el par necesario para accionar el tambor y poner en funcionamiento la cinta. [4] Frecuentemente, se suele utilizar para el movimiento de la cinta un

equipo compacto formado por un motor y una caja reductora llamado también motorreductor, en la Figura 1.5, se muestra un motorreductor eléctrico utilizado en una cinta transportadora.



*Figura 1.6 Motorreductor eléctrico*  
Fuente: [4]

- **Reductores:** el reductor es el elemento encargado de transmitir el par motor y la velocidad correspondiente al tambor motriz. Mediante una serie de engranajes, reduce la velocidad y aumenta el torque que aporta el motor. Es posible unificar el motor y el reductor, formando solo un sólido, llamado motorreductor. En la *Figura 1.7*, se muestra la estructura de un reductor.



*Figura 1.7 Reductores de velocidad*  
Fuente: [4]

- **Propiedades de los plásticos**

Los plásticos comprenden una gran variedad de materiales formados por grandes moléculas, llamadas polímeros. Los diversos tipos de plásticos se fabrican al combinar distintas sustancias para formar largas cadenas moleculares. [5]

- **Termoplásticos:** los materiales termoplásticos se pueden moldear repetidamente, al calentarlos, porque su estructura química básica no cambia respecto de su forma lineal inicial. [5]
- **Resina poliéster termoplástico (PET):** el PET es un polímero, termoplástico, producido por la polimerización del Etilenglicol con Ácido Tereftálico. Forma parte

de la familia de los poliésteres, puede ser amorfo o parcialmente cristalizado dependiendo de la velocidad de enfriamiento después del conformado. [5]

- **Resistencia al ataque químico:** la resistencia al ataque químico obedece a la naturaleza de los grupos funcionales que conforman los monómeros y a su estructura. El PET presenta una resistencia química a los hidrocarburos, alcoholes, grasas, aceites, éter, bases diluidas y ácidos. [5]
- **Densidad:** la densidad se relaciona directamente con la productividad en la elaboración de los plásticos, debido a que influye en el peso. La densidad es un factor económico de alto valor en la industria plástica, ya que es determinante al momento de elegir el uso de un plástico con otro. El PET en estado amorfo tiene una densidad que oscila entre 1.33 – 1.37 g/cm<sup>3</sup>, en estado cristalino posee una densidad que oscila entre 1.45 – 1.51 g/cm<sup>3</sup>. [5]

En la Figura 1.8, se muestra la identificación de algunos termoplásticos.



*Figura 1.8 Simbología de algunos termoplásticos*

Fuente: [6]

- **Controladores lógicos programables**

El controlador lógico programable es también conocido como PLC, básicamente es un computador capaz de contener un programa de control. El PLC realiza tareas específicas, con el fin de recibir una señal por medio de los puertos de entrada, procesar la información y luego enviar una señal por medio de los puertos de salida para accionar un actuador. El PLC cumple con características únicas para trabajar en un ambiente industrial en donde las vibraciones, ruidos eléctricos, impactos, variaciones de temperatura no afecta al correcto funcionamiento de éste. [7]

## PLC S7-1200

Este controlador permite el control de una gran variedad de aplicaciones, ya que tiene las características de ser compacto, configuración flexible y amplio juego de instrucciones. [8]

El S7-1200 es un potente controlador que incorpora en su CPU un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, circuitos de entrada y salida, PROFINET integrado, E/S de control de movimiento de alta velocidad y entradas analógicas incorporadas. [8] En la Figura 1.9, se muestra un PLC en estado físico.

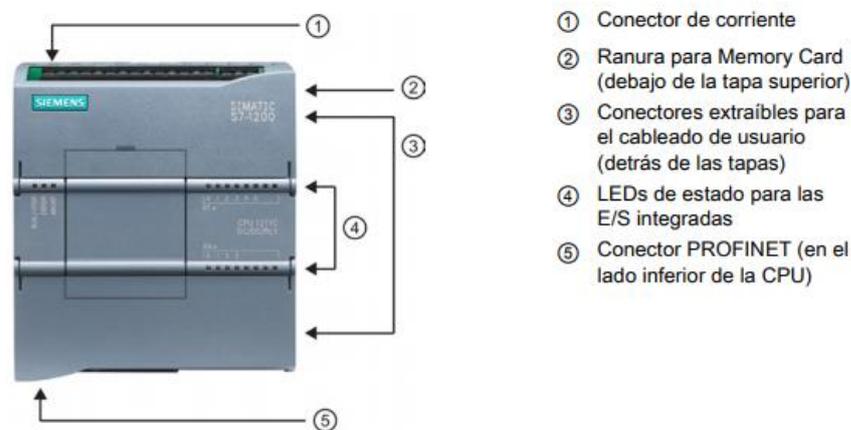


Figura 1.9 PLC S7-1200

Fuente: [8]

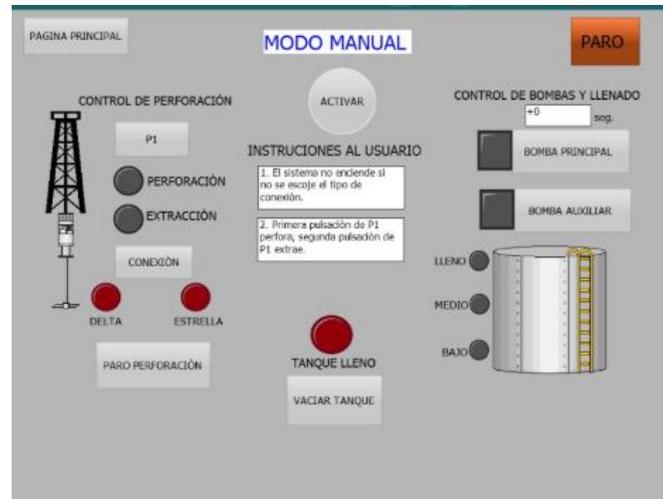
## Software de programación TIA PORTAL V15

TIA PORTAL V15 incorpora a STEP 7, un software que permite la automatización digital en un entorno confortable. Da la posibilidad de desarrollar y controlar cualquier aplicación, editarla y observar la lógica del programa; además, incluye herramientas para la gestión y configuración de dispositivos, tales como controladores y dispositivos HMI. Además, brinda la posibilidad del control a distancia.

Los lenguajes proporcionados por STEP 7 permiten que el programa de control pueda ser desarrollado de forma cómoda y eficiente. [8]

- **KOP** (esquema de contactos) es un lenguaje de programación gráfico. Su representación es similar a los esquemas de circuitos.
- **FUP** (diagrama de funciones) es un lenguaje de programación que se basa en los símbolos lógicos gráficos empleados en el álgebra booleana.
- **SCL** (*Structured Control Language*) es un lenguaje de programación de alto nivel basado en texto.

Los componentes del TIA PORTAL V15; además, del STEP 7, también contiene WinCC que permite el diseño y la ejecución de la visualización de procesos en *runtime*. [8] En la Figura 1.10 Ventana HMI se muestra la ventana de la Interfaz Humano Máquina.



*Figura 1.10 Ventana HMI*  
Fuente: Propia

- **Simulación de procesos**

La naturaleza inmaterial es la característica esencial de los modelos; sin embargo, se requiere un soporte material para su conservación, transmisión, difusión, elaboración y usos posteriores. [9]

Los modelos de carácter científicos y técnicos tiene las siguientes características:

- **Estructurales:** Análisis de las partes de un todo.
- **De calidad:** Precisión o aproximación, amplitud de alcance
- **Funcionales:** Posibilidad de aplicación, tiempo necesario para aplicarlo y coste de aplicación.

### **SOLIDWORKS**

Este es un software de diseño CAD 3D, el cual permite modelar piezas y ensamblajes en 3D y planos en 2D; además, ayuda a reducir el tiempo de los ciclos de diseño y ahorrar costos. Brinda herramientas para crear, simular, fabricar, publicar y gestionar los datos del proceso de diseño. [10]

Los modelos aquí diseñados pueden ser animados y visualizados de forma que representarán un modelo real. En la Figura 1.11, se muestra el espacio de trabajo de SolidWorks 2018.

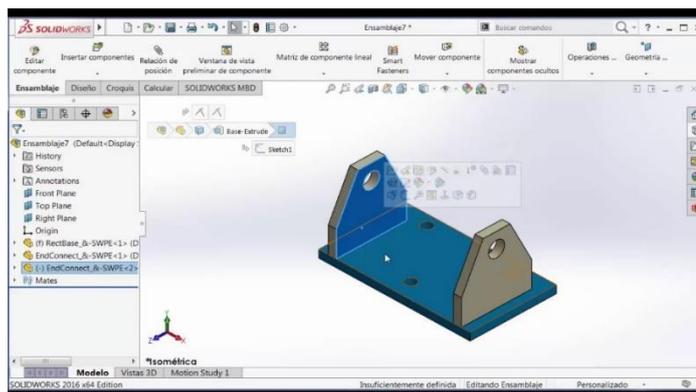


Figura 1.11 Mesa de trabajo SolidWorks 2018  
Fuente: Propia

## PROTEUS

Con Proteus se logra el diseño de proyectos electrónicos, la simulación del circuito electrónico y la detección de posibles errores, permitiéndole al usuario aprender de forma práctica y sin riesgos de dañar dispositivos reales. [11]

## CADE SIMU

Es un tipo de programa de CAD electrotécnico que ayuda a insertar una variedad de símbolos eléctricos y electrónicos, y a trazar un esquema eléctrico; además, permite realizar una simulación. [12] En la Figura 1.12, se muestra la simulación con un PLC en Cadesimu.

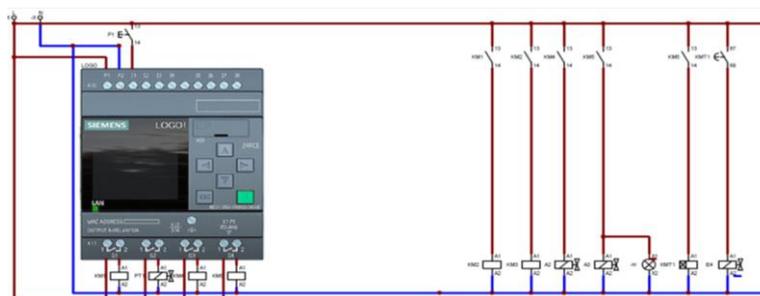


Figura 1.12 Simulación en CADESIMU  
Fuente: propia

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de metodología

El siguiente proyecto se basa en una metodología aplicada, ya que para su realización se emplean los conocimientos y destrezas técnicas desarrolladas durante la carrera universitaria; como, por ejemplo: el acondicionamiento de sensores para controlar la temperatura y nivel o la implementación de un mecanismo que transporte el plástico, la cual requiere de investigación en el área de mecánica. A través de una investigación sobre

los sistemas de control y automatización de procesos se reúne información importante y complementaria, para buscar implementar ideas que mejoren la funcionalidad de las máquinas de procesamiento de plástico y que el producto final tenga mejores características como la calidad de limpieza y el tamaño de triturado. Además, en la simulación del proceso automatizado se utiliza una metodología experimental, basada en el control de los parámetros que se debe cumplir en diagramas, circuitos, esquemas y otros elementos que componen un sistema de control.

## **2.2. Procedimiento de la metodología**

La simulación del sistema automatizado del proceso de reciclaje mecánico de botellas plásticas en la Fundación FUCAE, cuenta con el diseño de diagramas de control industrial, circuitos de acondicionamiento de sensores para el control de temperatura y el diseño de una banda transportadora, que permita llevar las botellas hacia la lavadora, para ello se estableció el siguiente procedimiento en el desarrollo del proyecto.

Con ayuda del personal de la fundación FUCAE, se obtuvo información sobre el estado en el que se encontraban los equipos que se utilizan actualmente para el procesamiento del plástico, con ello se estableció requerimientos y equipos necesarios para la automatización del proceso.

A continuación, se diseñó un algoritmo de control en base a controladores lógicos programables de la marca Siemens, la cual provee de un software de programación llamado TIA PORTAL V15, en el cual se realizó la representación del proceso automatizado a través de diagramas de instrumentación P&ID bajo la Norma ISA-S5.4; además, se realizó diagramas eléctricos de control y potencia para los equipos que componen el sistema.

## **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **3.1. Estudio de los requerimientos del sistema**

- **Análisis del actual funcionamiento del sistema**

La fundación FUCAE tiene a su disposición máquinas para el reciclaje de botellas plásticas, estas máquinas son de uso manual.

La lavadora es movida por un motor eléctrico, el cual se alimenta con 110 V y ofrece una potencia de 1/10 Hp con una velocidad nominal de 1725 RPM, el eje del motor se encuentra unido a través de un sistema reductor de poleas con el eje del tanque de la máquina, que permite realizar el giro de las aspas para realizar el lavado de las botellas.

En la Figura 3.1, se observa la lavadora de paletas.



Figura 3.1 Lavadora de la fundación FUCAE  
Fuente: Propia

El motor está conectado a la lavadora por medio de una banda que mueve el eje de las paletas de la lavadora. Las características eléctricas de la lavadora son necesarias para el rediseño del sistema con la implementación de elementos de protección y control del motor. En la Figura 3.2, se muestra la placa de datos del motor de la lavadora.



Figura 3.2 Motor de lavadora  
Fuente: Propia

En la Tabla 3.1 se muestra los datos técnicos del motor de la lavadora

Tabla 3.1 Características de la lavadora

Características de lavadora	
Voltaje	115 V
Potencia	$\frac{1}{10}$ HP
Velocidad	1725 RPM
Reductor de velocidad	
Velocidad	86 RPM

Fuente: Propia

La máquina trituradora de plástico posee un motorreductor eléctrico, cuyo motor bifásico es alimentado por 220 V, trabaja a una velocidad nominal de 1710 RPM, y tiene una potencia de 0.75 Hp. A la salida del eje de la caja reductora se tiene una velocidad de 40 RPM, estas características se encuentran en la placa de datos de la máquina, tal como se muestra en la Figura 3.3.



Figura 3.3 Características de la trituradora  
Fuente: Propia

En la Tabla 3.2 se puede observar las características técnicas del motor de la trituradora.

Tabla 3.2 Características de la trituradora

Características de trituradora	
Voltaje	220 V

Potencia	$\frac{3}{4} HP$
Velocidad	1710 RPM
Reductor de velocidad	
Velocidad	40 RPM

Fuente: Propia

La trituradora se compone por un motor, caja reductora de velocidad, eje de transmisión y las cuchillas de triturado, como se observa la Figura 3.4. Es necesario conocer la estructura completa de la máquina para realizar el rediseño del sistema.



Figura 3.4 Trituradora de la fundación FUCAE

Fuente: Propia

### **Análisis de las características del material plástico**

El plástico procesado en la fundación FUCAE proviene principalmente de las botellas de bebidas, las mismas que en su mayoría están compuestas de material PET (Tereftalato de Polietileno).

En la etapa de lavado se requiere de botellas plásticas sin tapas, libres de etiquetas y cualquier desecho que se encuentre dentro de las mismas, durante el lavado se utilizará detergente que permita quitar completamente la suciedad de ellas; las botellas de material PET no sufrirán algún tipo de daño en su estructura molecular en la etapa de lavado gracias a su resistencia al ataque químico.

Para la etapa de triturado se requiere que las botellas se encuentren completamente limpias y secas, para realizar el respectivo corte del material en trozos. El plástico PET al contar con una alta resistencia mecánica a la compresión es un material que, para ser cortado, requiere de un mecanismo que proporcione suficiente fuerza para vencer dicha resistencia, por ello se requiere controlar la temperatura del motor de la

tritурadora, ya que puede presentar sobrecalentamientos debido al continuo roce de sus cuchillas con el material.

Para el procesamiento de las botellas se trabaja con una cantidad aproximada de 10 kg de plástico a la semana, el cual llega desde diferentes lugares en San José de Minas. Una vez dentro de la fundación las botellas son clasificadas, de acuerdo con el color del plástico; por lo general se dividen de la siguiente manera:

- Transparentes
- Azul
- Verde
- Café

Existen una variedad de plásticos y envases PET; sin embargo, los más comunes son aquellos que se muestran en la Figura 3.5.



*Figura 3.5 Botellas PET de colores*  
Fuente: [13]

También se trabaja con material HDPE (Polietileno de alta densidad), el cual se obtiene principalmente de las tapas de cualquier tipo de botellas plásticas, y de algunos recipientes de detergentes o de algún otro producto químico, este material no es clasificado por su color, ya que poseen diversos colores y la mezcla de estos generan productos atractivos. En la Figura 3.6, se muestran botellas de tipo plástico HDPE.



*Figura 3.6 Botellas de material HDPE*  
Fuente: [13]

- **Descripción del funcionamiento de las etapas de lavado y triturado**

Para la etapa de lavado se colocó una banda transportadora que contabiliza las botellas ingresadas en la lavadora, una vez llegue a la cantidad especificada de botellas, una bomba llena de agua el tanque y un sensor de nivel apaga la bomba, después se activará el motor de las paletas para lavar las botellas durante varios minutos y luego se apagará el motor, después de esto se descarga el agua por medio de una electroválvula, se repite el paso de llenado de agua, lavado y vaciado una vez más, por último se activa solo el motor de paletas y la electroválvula para sacar toda el agua restante.

En la etapa de triturado se activa el motor y el operador ingresa las botellas en la caja de la trituradora, los trozos de plástico caen sobre una malla que permite pasar solamente pedazos de plástico a un tamaño específico. Cuando el motor se atasca se invierten los terminales del devanado de arranque acompañado de la conmutación del condensador de arranque para cambiar el sentido de giro, mientras se tenga accionado el pulsador de cambio de giro se mantiene girando en sentido contrario, una vez solucionado el atasco se puede soltar el pulsador de tal forma que se apague la trituradora y finalmente, el operador pueda volver a encender la trituradora a través del pulsador de marcha. En la Figura 3.7, se muestra las etapas de reciclaje desde el transporte, lavado y finalmente triturado.

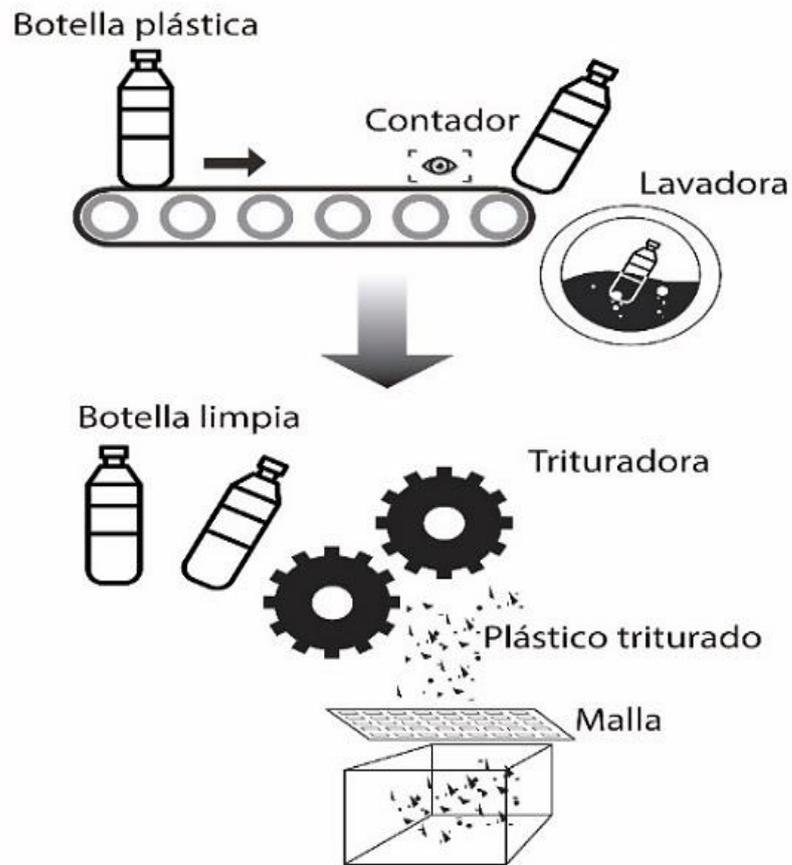


Figura 3.7 Proceso mecánico de reciclaje  
Fuente: Propia

### 3.2. Desarrollo del algoritmo de control

- **Entradas y salidas del sistema**

Se direccionó las entradas al PLC de acuerdo con las etapas del sistema. La banda transportadora cuenta con un sensor contador de botellas que envía una señal de 1 o 0. Dentro de la lavadora se implementó dos sensores de nivel con una dirección asignada en cada sensor. La banda es activada por un pulsador que envía la señal al PLC para que inicie el proceso.

La trituradora cuenta con tres direcciones de entrada al PLC, dos direcciones para el control de activación e inversión de giro y una dirección para leer un sensor de temperatura.

Las direcciones de salida del PLC corresponden a cada actuador del sistema de reciclaje. En la Tabla 3.3, se muestra las entradas y salidas al PLC

Tabla 3.3 Variables de entrada y salida del PLC

VARIABLES DE ENTRADA Y SALIDA			
ENTRADAS		SALIDAS	
Nombre	Dirección	Nombre	Dirección
CONTADOR_DE_BOTELLAS	%I0.0	BANDA_TRANSPORTADORA	%Q0.0
NIVEL_BAJO	%I0.1	LAVADORA	%Q0.1
NIVEL_ALTO	%I0.2	BOMBA	%Q0.2
ACTIVAR_BANDA	%I0.3	ELECTROVALVULA	%Q0.3
ACTIVAR_TRITURADORA	%I0.4	TRITURADORA	%Q0.4
INVERTIR_GIRO	%I0.5	Cambio_Giro_TRITURADORA	%Q0.5
Paro_Emergencia	%I0.6		
TEMP_IN	%IW64		

Fuente: Propia

- **Diagrama de flujo**

En la Figura 3.8, se representa el proceso automático del sistema de reciclaje.

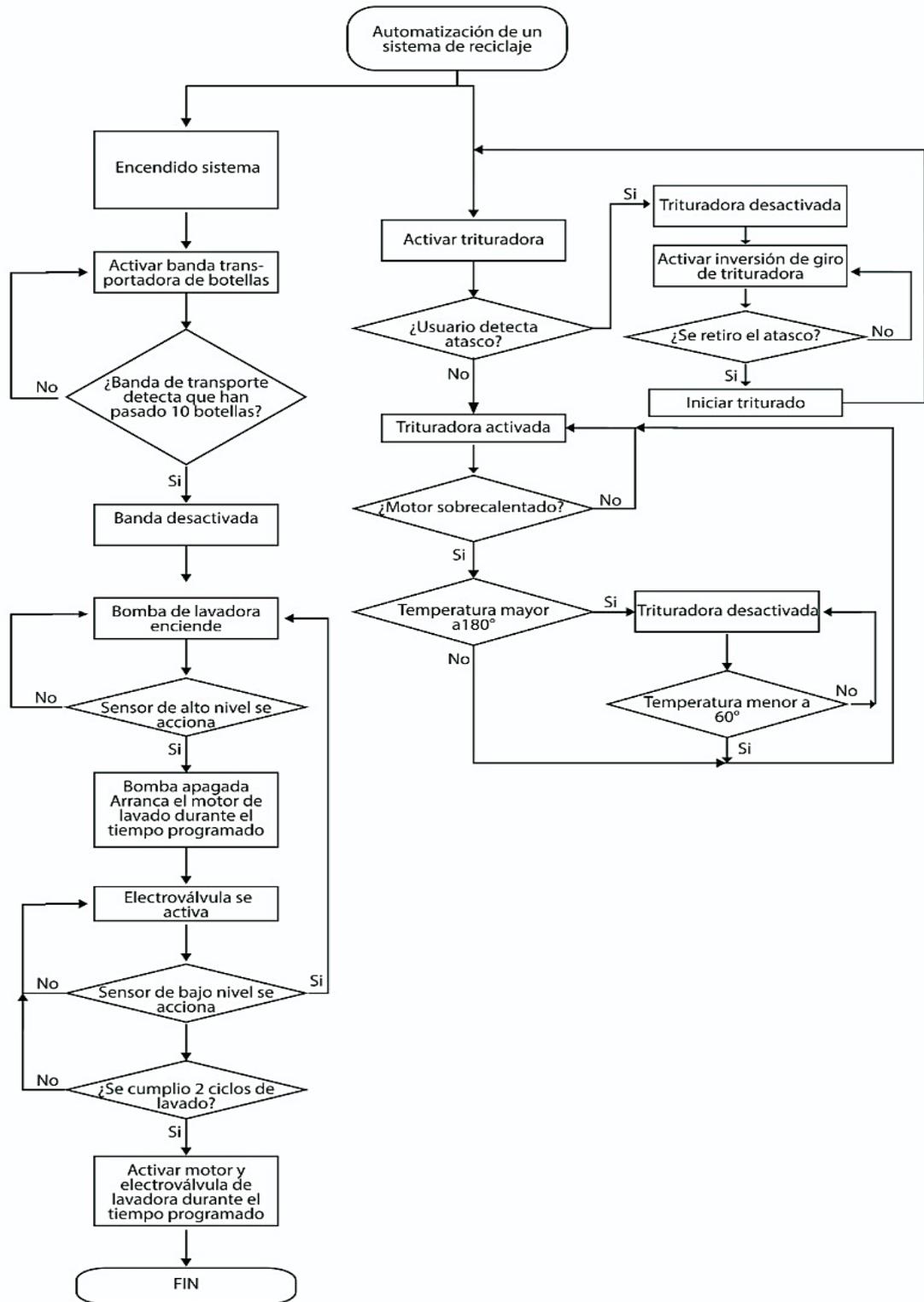


Figura 3.8 Diagrama de flujo para el proceso automático  
Fuente: Propia

- **Código de programación**

El código de programación para la automatización de la planta de reciclaje fue realizado en lenguaje KOP (diagrama de contactos). El código de programación se puede ver en el **ANEXO A**.

### **3.3. Diseño del circuito eléctrico del sistema**

- **Características de los equipos eléctrico**

Para el procesamiento de las botellas plásticas en la fundación FUCAE actualmente se cuenta con los siguientes equipos:

**Termomagnéticos**

Voltaje: 110 V/ 220 V

Nº de polos: 1 y 2 polos

**Trituradora**

Voltaje: 220 V

Potencia: 0.75 Hp

Peso: 150 Kg

Velocidad del motor: 1710 RPM

**Motor de Lavadora**

Voltaje: 115 V

Velocidad: 1725 RPM

Potencia: 0.1 Hp

- **Dimensionamiento del nuevo equipo**

**Banda**

Para la selección de la banda se ha revisado varios catálogos de fabricantes de estos equipos, y se ha elegido la siguiente denominación de banda.

**400 EP 250/3 2+1.5 Y**

Las características que contiene la anterior nomenclatura se detalla en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4 Características de la banda

Características comerciales de la banda	
Superficie de banda	Lisa
Tipo de material	EP (Polyester y Poliamida)
Carga de rotura	$250 \frac{N}{mm^2}$
Numero de telas	3
Cobertura superior e inferior	3+1.5 mm
Calidad de la goma de cubierta	Y

Fuente: Propia

En el anexo C de catálogo de componentes se puede observar más datos de la banda utilizada.

### Motorreductor (Cinta transportadora)

La potencia total para el accionamiento de la cinta transportadora, se obtiene a través de la suma de las siguientes potencias parciales.

**P1:** Potencia que se requiere para mover la cinta vacía y cargada, con desplazamiento horizontal.

**P2:** Potencia requerida para subir la carga hacia cierta altura.

**P3:** Potencia para superar el rozamiento que producen elementos auxiliares

Para obtener P1 se requiere primero encontrar la capacidad de transporte de la cinta  $Q_m$ , que se encuentra expresado en  $\frac{ton}{h}$ .

Con la siguiente ecuación se puede obtener la capacidad volumétrica de la cinta.

$$Q_v = 3600 * V * A * K \quad (1)$$

En donde:

**Qv:** Es la capacidad volumétrica de la cinta en  $(\frac{m^3}{h})$

**V:** Velocidad de la banda  $(\frac{m}{s})$

**A:** Sección transversal del material sobre la banda  $(m^2)$

**K:** coeficiente de reducción por inclinación (-)

**3600:** Es un factor de conversión que conforma la ecuación

**0.2  $\frac{m}{s}$ :** Es la velocidad lineal de la cinta transportadora, dicho valor ha sido establecido de acuerdo al tiempo requerido para llenar la lavadora de botellas.

**0.06  $m^2$ :** Es la sección transversal del material a transportar se ha realizado un promedio de acuerdo a los tamaños de las botellas plásticas y las dimensiones de la banda.

**1:** Representa el coeficiente de reducción por inclinación, debido a que la cinta de este proyecto no presenta inclinación, se ha seleccionado el factor mínimo.

$$Qv = 3600 * V * A * K$$

$$Qv = 3600 * 0.2 \frac{m}{s} * 0.06 m^2 * 1$$

$$Qv = 43.2 \frac{m^3}{s}$$

El valor obtenido se pasa a unidades de  $\frac{m^3}{h}$  con un valor de conversión de 3600.

$$Qv = 43.2 \frac{m^3}{s} * \frac{3600 s}{1h} \quad (2)$$

$$Qv = 155520 \frac{m^3}{h}$$

Una vez obtenida la capacidad volumétrica de la cinta, se calcula la capacidad de transporte de la cinta, a través de la siguiente fórmula:

$$Qm = Qv * \gamma \quad (3)$$

En donde:

**Qm:** Es la capacidad de transporte de la cinta ( $\frac{ton}{h}$ )

**Qv:** Es la capacidad volumétrica de la cinta ( $\frac{m^3}{h}$ )

**$\gamma$ :** Peso específico del material ( $\frac{ton}{m^3}$ )

**1.39  $\frac{gr}{cm^3}$ :** Es el peso específico del plástico PET, cuyo valor se ha obtenido de la Tabla 3.5 que indica algunas características de dicho material.

Tabla 3.5 Características del plástico PET

POLIETILENTEREFTALATO				
PET				
PROPIEDADES MECANICAS A 23°C	UNIDAD	ASTM	DIN	VALORES
PESO ESPECIFICO	gr/cm <sup>3</sup>	D-792	53479	1.39
RESIST. A LA TRACC.(FLUENCIA / ROTURA)	Kg/cm <sup>2</sup>	D-638	53455	900 / -
RES. A LA COMPRESION ( 1 Y 2 % DEF)	Kg/cm <sup>2</sup>	D-695	53454	260 / 480
RESISTENCIA A LA FLEXION	Kg/cm <sup>2</sup>	D-790	53452	1450

Fuente: [14]

Y se ha realizado la conversión de unidades a  $\frac{ton}{m^3}$  con la siguiente ecuación:

$$\gamma = 1.39 \frac{gr}{cm^3} * \frac{1 ton}{1 * 10^6 gr} * \frac{(100 cm)^3}{1m^3} \quad (4)$$

$$\gamma = 1.39 \frac{ton}{m^3}$$

Este valor obtenido se reemplaza en la siguiente ecuación:

$$Qm = Qv * \gamma$$

$$Qm = 155520 \frac{m^3}{h} * 1.39 \frac{ton}{m^3}$$

$$Qm = 216172.8 \frac{ton}{h}$$

**P1:**

La potencia P1 se obtiene con el fin de conocer la energía necesaria para mover la cinta, ya sea vacía o cargada en un desplazamiento horizontal.

$$P1 = \frac{Cb * V + Qm}{Ci * Kf} \quad (5)$$

En donde:

**Cb:** Es el factor de anchura de la banda ( $\frac{Kg}{s}$ )

**V:** Es la velocidad de avance de la banda ( $\frac{m}{s}$ )

**Qm:** Es la capacidad de transporte en masa de la cinta ( $\frac{ton}{h}$ )

**Ci:** Es el factor de la longitud de la banda ( $m^{-1}$ )

**Kf:** Es el factor de servicio (-)

$59 \frac{Kg}{s}$ : Es el factor de anchura de la banda, obtenido de la Tabla 3.6, que indica la relación ancha de banda y peso específico del material a transportar, cuyos valores han sido obtenidos por la empresa Dunlop.

Tabla 3.6 Factores de anchura de banda

Peso específico $\gamma$ [t / m <sup>3</sup> ]	Ancho de Banda [mm]											
	300	400	500	650	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200
$\gamma \leq 1$	31	54	67	81	108	133	194	227	291	-	-	-
$1 < \gamma \leq 2$	36	59	76	92	126	187	277	320	468	554	691	745
$\gamma > 2$	-	65	86	103	144	241	360	414	644	727	957	1033

Fuente: [15]

$667 m^{-1}$ : Es el factor de longitud de la banda, obtenido de la Tabla 3.7.

Tabla 3.7 Factores de longitud de banda

<b>Longitud [m]</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>1,5</b>	<b>16</b>	<b>20</b>
<b>C<sub>L</sub></b>	667	625	555	526	454	417	370	323	286
<b>Longitud [m]</b>	<b>25</b>	<b>32</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>63</b>	<b>80</b>	<b>90</b>	<b>100</b>	<b>150</b>
<b>C<sub>L</sub></b>	250	222	192	167	145	119	109	103	77
<b>Longitud [m]</b>	<b>200</b>	<b>250</b>	<b>300</b>	<b>350</b>	<b>400</b>	<b>450</b>	<b>500</b>	<b>550</b>	<b>600</b>
<b>C<sub>L</sub></b>	63	53	47	41	37	33	31	28	26
<b>Longitud [m]</b>	<b>700</b>	<b>800</b>	<b>900</b>	<b>1000</b>	<b>1500</b>	<b>2000</b>	<b>&gt;2000</b>		
<b>C<sub>L</sub></b>	23	20	18	17	12	9	8		

Fuente: [15]

1: Se ha asignado como el factor de servicio, según las condiciones de trabajo de la máquina y en base a la Tabla 3.8.

Tabla 3.8 Factores de servicio

Condiciones de Trabajo	$k_f$
Favorables, buena alimentación, bajas velocidades	1,17
Normal, condiciones estándar.	1
Desfavorables, baja temperatura y alta velocidad.	0,87-0,74
Temperaturas extremadamente bajas.	0,57

Fuente: [15]

$$P1 = \frac{Cb * V + Qm}{Ci * Kf}$$

$$P1 = \frac{59 \frac{Kg}{s} * 0.2 \frac{m}{s} + 216172.8 \frac{ton}{h}}{667 m^{-1} * 1}$$

$$P1 = 324.11 W$$

**P2:**

La potencia P2 se obtiene cuando la cinta transportadora tiene un ángulo de elevación. Para este proyecto dicha potencia es nula, ya que el grado de inclinación de la cinta es 0.

$$P2 = 0 W$$

**P3:**

La potencia P3 se enfoca en las pérdidas generadas por el rozamiento de elementos como, por ejemplo, los dispositivos de limpieza y se expresa en KW.

Para obtener este parámetro se utilizó la información de la Tabla 3.9, que indica algunas opciones para obtener la potencia necesaria para otros elementos que conforman la cinta transportadora.

*Tabla 3.9 Potencias necesarias para elementos adicionales*

<b>POTENCIA ADICIONALES</b>		
<b>Trippers, <i>Pa</i></b>	<b>Ancho de Banda [m]</b>	<b>Potencia [Kw]</b>
	≤ 500	0,8·v
	≤ 1000	1,5·v
	> 1000	2,3·v
<b>Dispositivos de limpieza <i>Pb</i></b>	<b>Tipo de contacto/ Presión</b>	
	Contacto Simple	0,3·B·v
	Contacto de Presión elevada	1,5·B·v
<b>Guías de Carga <i>Pc</i></b>	<b>Longitud Lf [m]</b>	
	Desde punto de carga	0,16·v·Lf

Fuente: [15]

$$P3 = Pb$$

$$Pb = 0.3 * B * V \quad (6)$$

En donde:

**Pb:** Pérdidas por los elementos de limpieza (KW)

**B:** Ancho de banda (m)

**V:** Velocidad de la cinta transportadora ( $\frac{m}{s}$ )

**0.3:** Es un factor de conversión de unidades que conforma la ecuación para obtener valores resultantes en KW.

**0.4 m:** Es el ancho de banda obtenido de los planos de las dimensiones de la banda

$$Pb = 0.3 * B * V$$

$$Pb = 0.3 * 0.4 \text{ m} * 0.2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Pb = 0.024 \text{ KW}$$

$$P3 = Pb = 0.024 \text{ KW}$$

Luego de obtener las potencias parciales se realizará la suma de todas éstas, para obtener la potencia total (PT) para mover la cinta transportadora.

$$PT = P1 + P2 + P3 \quad (7)$$

En donde:

**P1:** Potencia requerida para desplazamiento horizontal (W)

**P2:** Potencia requerida para desplazamiento con elevación (W)

**P3:** Potencia requerida para superar las pérdidas de rozamiento (W)

$$PT = P1 + P2 + P3$$

$$PT = 324.11 \text{ W} + 0 \text{ W} + 24 \text{ W}$$

$$PT = 348.11 \text{ W}$$

Finalmente, para obtener la potencia del motor se aplica la siguiente ecuación:

$$PM = \frac{PT}{n * \varepsilon} \quad (8)$$

En donde:

**PM:** Potencia de motor (HP)

**n:** Rendimiento del motor

**ε:** Eficiencia mecánica del sistema reductor

**0.77:** Es el valor de la eficiencia del motor seleccionado, el cual se encuentra en la Figura 3.9.

**0.94:** Es la Eficiencia que tiene el sistema de reducción del motorreductor, este valor se obtuvo de la Tabla 3.10, en la cual se especifica la eficiencia de acuerdo al tipo de mecanismo reductor.

Tabla 3.10 Eficiencia de mecanismos reductores

Tipo de mecanismo reductor	Eficiencia
Poleas y bandas en V	94%
Cadena de rodillos	93%
Cadena de rodillos lubricados en aceite	95%
Reductor de engranajes helicoidales, una reducción	95%
Reductor de engranajes helicoidales, doble reducción	94%
Reductor de engranajes helicoidales, triple reducción	93%
Reductor de tronillo sin fin (relación 20:1)	90%
Reductor de tronillo sin fin (relación 20:1 a 60:1)	70%
Reductor de tronillo sin fin (relación 60:1 a 100:1 )	50%
Reductor de engranajes rectos (mecanizados)	90%
Reductor de engranajes rectos (fundidos)	85%

Fuente: [15]

$$PM = \frac{PT}{n * \varepsilon}$$

$$PM = \frac{348.11W}{0.77 * 0.94}$$

$$PM = 480.94 W$$

$$PM = 0.48 KW \approx 0.55 KW$$

Luego de revisar varios catálogos de fabricantes de motorreductores se ha seleccionado uno de ¾ Hp de potencia con una velocidad reducida a 112 RPM.

En la Figura 3.9, se ha señalado las características del motor seleccionado para la cinta.

Selection and ordering data (continued)														
Size	Motor	$P_{rated}$	$n_{rated}$	$T_{rated}$	$I_{rated}$	$\cos \varphi$	$\eta$	$I_{st}/I_{rated}$		Article No.				Order code Number of poles
		kW	rpm	Nm	A	-	%	4/4 load	3/4 load	Data position				
4-pole, 1 800 rpm at 60 Hz, 50 Hz power														
80	LE80MD4E	0.55	1 750	3	1.17	0.74	80.00	80.00	5.70	D	C	2	2	-
	LE80MH4E	0.75	1 750	4.09	1.58	0.72	82.50	82.50	6.80	D	E	2	2	-
90	LE90SG4E	1.10	1 740	6.04	2.20	0.74	84.00	84.00	7.00	E	K	2	2	-
	LE90LH4E	1.50	1 745	8.21	3.00	0.75	84.00	84.00	7.50	E	M	2	2	-
100	LE100LE4E	2.20	1 760	11.9	4.05	0.78	87.50	87.10	8.10	F	L	2	2	-
	LE100LK4E	3.00	1 765	16.2	5.40	0.79	87.50	88.30	8.30	F	M	2	2	-
112	LE112ME4E	3.70	1 770	20	6.90	0.77	87.50	87.00	8.70	G	H	2	2	-
132	LE132SF4E	5.50	1 770	29.7	9.90	0.78	89.50	89.60	8.00	H	G	2	2	-
	LE132MF4E	7.50	1 770	40.5	12.80	0.82	89.50	90.30	8.00	H	J	2	2	-
	LE132ZMM4E	9.20	1 760	49.9	15.50	0.82	89.50	O. R.	8.10	H	V	2	2	-
160	LE160MF4E	11.00	1 775	59.2	18.10	0.84	91.00	91.30	7.70	J	P	2	2	-
	LE160LD4E	15.00	1 780	80.5	24.50	0.84	91.00	90.70	8.50	J	U	2	2	-
180	LES180MM4E	18.50	1 770	99.8	30.50	0.83	92.40	92.60	7.70	K	L	3	2	-
	LES180ZLJ4E	22.00	1 770	118.7	36.00	0.83	92.40	92.50	8.40	K	N	3	2	-
200	LES200LN4E	30.00	1 778	161.1	48.00	0.84	93.00	92.90	8.20	L	M	3	2	-
225	LES225SD4E	37.00	1 778	198.7	57.00	0.87	93.00	93.20	7.20	M	F	3	2	-
	LES225YMF4E	45.00	1 778	241.7	70.00	0.86	93.60	93.80	7.60	M	T	3	2	-
250	LES250MD4E	55.00	1 785	294	87.00	0.84	94.10	94.10	7.30	N	M	3	2	-
2-pole, 3 600 rpm at 60 Hz, 50 Hz power														
80	LE80MA2E	0.75	3 445	2.08	1.50	0.83	75.50	75.50	6.00	D	B	2	2	P00
	LE80ME2E	1.10	3 465	3.03	2.05	0.82	82.50	82.50	6.80	D	M	2	2	P00
90	LE90SG2E	1.50	3 505	4.09	2.75	0.82	84.00	84.00	8.50	E	K	2	2	P00
	LE90LH2E	2.20	3 510	5.99	3.90	0.83	85.50	85.50	8.70	E	M	2	2	P00
100	LE100LD2E	3.00	3 520	8.14	5.20	0.83	87.50	87.30	8.10	F	K	2	2	P00
112	LE112MA2E	3.70	3 565	9.91	6.30	0.84	87.50	87.40	9.30	G	G	2	2	P00
132	LE132SB2E	5.50	3 555	14.8	9.10	0.86	88.50	88.30	7.60	H	E	2	2	P00
	LE132SF2E	7.50	3 560	20.1	12.10	0.87	89.50	89.60	8.20	H	G	2	2	P00
160	LE160MB2E	11.00	3 560	29.5	17.80	0.86	90.20	89.60	8.20	J	N	2	2	P00
	LE160MG2E	15.00	3 565	40.2	24.00	0.87	90.20	89.90	8.40	J	Q	2	2	P00
	LE160LB2E	18.50	3 565	49.6	29.50	0.87	91.00	90.50	8.90	J	T	2	2	P00
6-pole, 1 200 rpm at 60 Hz, 50 Hz power														
80	LE80MD6E	0.37	1 140	3.1	0.98	0.63	75.30	74.10	4.60	D	C	2	2	P01
	LE80MK6E	0.55	1 135	4.63	1.47	0.61	77.00	77.50	5.20	D	F	2	2	P01
90	LE90SH6E	0.75	1 145	6.25	1.98	0.65	73.00	O. R.	4.50	E	C	2	2	P01
	LE90LLB6E	1.10	1 145	9.17	2.80	0.66	75.00	O. R.	4.80	E	P	2	2	P01

Figura 3.9 Características eléctricas del motorreductor de la cinta transportadora  
Fuente: [16]

### Bomba centrífuga

Para la selección de la bomba centrífuga del sistema es necesario conocer la altura manométrica que se debe superar para llevar el líquido de un punto hacia otro de mayor altura; además, de establecer un caudal volumétrico a desarrollar en la bomba, para este proyecto se requiere llevar un caudal de 1 litro/ s, este valor se ha establecido en base a las dimensiones del tanque de la lavadora y el tiempo de llenado del mismo.

Para obtener la altura manométrica se resuelve la siguiente ecuación:

$$H_m = H_g + PC + 10 * \frac{P_i - P_a}{\gamma} \quad (9)$$

Donde:

**H<sub>m</sub>**: Altura manométrica (m)

**Hg:** Altura geométrica (m)

**PC:** Pérdidas por accesorios de la instalación (m)

$(P_i - P_a) / \gamma$ : Presión diferencial de las superficies (bar)

**2 m:** Representa la diferencia de altura entre el punto de succión y de descarga de la instalación de la bomba.

**0 bar:** Representa la diferencia de presión que existe entre el tanque de succión y de descarga, en este proyecto se tienen tanques completamente abiertos.

**4.75 m:** Se obtiene de las pérdidas por accesorios de la instalación, las cuales están distribuidas en la Tabla 3.11.

*Tabla 3.11 Accesorios de la instalación de la tubería*

Accesorio	Pérdida c/u (m)	Cantidad	Pérdida (m)
Codo 90° ½"	0.82	5	4.10
Reduccion ½"	0.65	1	0.65
<b>TOTAL</b>			<b>4.75</b>

Fuente: Propia

$$Hm = Hg + PC + 10 * \frac{P_i - P_a}{\gamma}$$

$$Hm = 2m + 4.75 m + 0 bar$$

$$Hm = 6.75 m$$

A través de la siguiente ecuación se calcula la potencia necesaria de la bomba para el sistema.

$$Hp = \frac{Q * Hm}{75 * \eta} \quad (10)$$

En donde

**Q:** Caudal elevado (l/s).

**Hm:** Carga total o dinámica (m).

**$\eta$ :** Eficiencia de la bomba,  $0 < \eta < 1$

El valor de eficiencia de la máquina se obtuvo de la hoja de datos técnicos de la bomba seleccionada, cuyo valor se encuentra en el Anexo C del catálogo de componentes.

**75:** Es un factor de conversión de la ecuación para obtener resultados en unidades de Hp.

$$Hp = \frac{Q * Hm}{75 * \eta}$$

$$Hp = \frac{1 \frac{l}{s} * 6.75 m}{75 * 0.44}$$

$$Hp = 0.20$$

A continuación, se muestra algunos datos que posee la bomba seleccionada

- **Potencia:** ¼ Hp
- **Voltaje:** 127 V
- **Caudal:** Caudal óptimo de 70 L/min
- **Altura máxima:** 16 m

Las características de la bomba se observan detalladamente en el catálogo de componentes, que se encuentra en el Anexo C.

### **Cables**

Para realizar el dimensionamiento de los conductores para las instalaciones eléctricas del sistema, es necesario realizar un diagrama de conexiones, que permita establecer los circuitos que conforman el sistema. En la Figura 3.10, se muestra un diagrama unifilar de conexiones eléctricas del sistema.

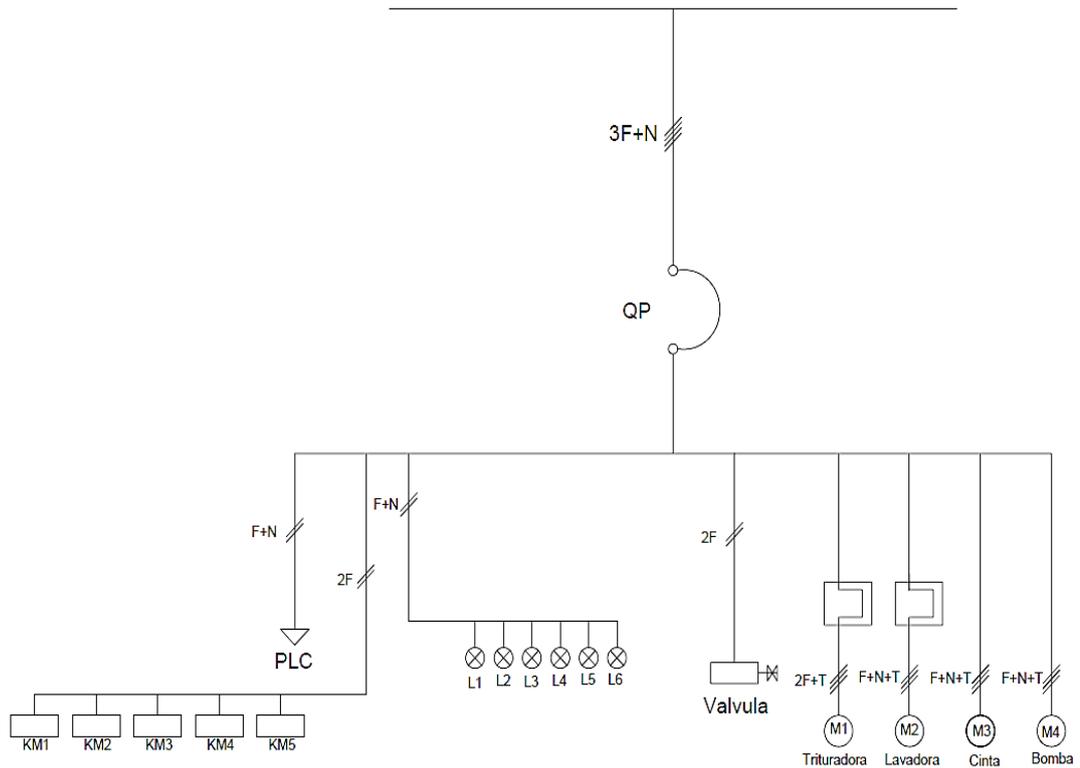


Figura 3.10 Diagrama unifilar de conexiones

Fuente: Propia

Los elementos de control se encuentran conectados en la parte izquierda del diagrama de la Figura 3.10, en la Tabla 3.12, se muestra los elementos que conforman el circuito de control con sus respectivas corrientes.

Tabla 3.12 Consumo de corriente nominal en el circuito de control

Elemento	Corriente c/u [A]	Cantidad	Corriente [A]
PLC siemens S7-1200	0.24	1	0.24
Luces Piloto	0.02	6	0.12
Contactores (Bobinas)	0.2	5	1.00
<b>TOTAL</b>		<b>12</b>	<b>1.36</b>

Fuente: Propia

Para obtener la corriente nominal de las cargas que componen el sistema se realiza la resolución de las siguientes ecuaciones:

### Trituradora

Potencia: 0.75 Hp

Voltaje: 220 V

Fp: 0.8

$$P = 2 VF * IL * Fp \quad (11)$$

$$559.5 W = 2(110 V) * IL * 0.8$$

$$IL = \frac{559.5 W}{(220 V) * 0.8}$$

$$IL = 3.18 A$$

### **Lavadora**

Potencia: 0.10 Hp

Voltaje: 110 V

Fp: 0.8

$$P = Vf * If * Fp \quad (12)$$

$$74.6 W = (110 V) * If * 0.8$$

$$If = \frac{74.6 W}{(110 V) * 0.8}$$

$$If = 0.85 A$$

### **Cinta Transportadora**

Potencia: 0.75 Hp

Voltaje: 220 V

Fp: 0.61

$$P = \sqrt{3} VL * IL * Fp \quad (13)$$

$$559.5 W = \sqrt{3} \sqrt{(220 V)} * If * 0.61$$

$$If = \frac{559.5 W}{\sqrt{3} (220 V) * 0.61}$$

$$If = 2.40 A$$

### **Bomba Centrífuga**

Las características de la bomba seleccionada se observan en el ANEXO C del catálogo de los equipos nuevos para el sistema.

De dicha información se obtuvo las siguientes características de la máquina:

- **Motor monofásico**
- **Potencia:** 0.25 Hp
- **Voltaje:** 110 V
- **Corriente:** 3.5 A

Una vez obtenidas todas las corrientes de las máquinas que componen el sistema se ha resumido la información en la Tabla 3.13, en donde se observan las características eléctricas principales.

*Tabla 3.13 Especificaciones técnicas del equipo eléctrico*

Componentes	Cantidad	# de Fases	Potencia (W)	Voltaje (V)	Corriente (A)
Trituradora	1	2 Ø	559.50	220	3.18
Lavadora	1	1 Ø	74.60	110	0.85
Cinta	1	3 Ø	559.50	220	2.40
Bomba	1	1 Ø	186.50	110	3.50
Electroválvula	1	2 Ø	3.30	220	0.02
<b>TOTAL</b>	<b>5</b>		<b>1383.40</b>		<b>9.95</b>

Fuente: Propia

Con la información obtenida de las máquinas se realiza un balance de carga para el circuito trifásico de alimentación, como se muestra en la Tabla 3.14.

*Tabla 3.14 Balance de carga del sistema*

<b>Balance de carga</b>							
	<b>Cargas</b>	<b># de fases</b>	<b>I nominal [A]</b>	<b>R</b>	<b>S</b>	<b>T</b>	<b>N</b>
Potencia	Trituradora (M3)	2 Ø	3.18		3.18	3.18	
	Lavadora (M2)	1 Ø	0.85			0.85	0.85
	Cinta (M1)	3 Ø	2.40	2.40	2.40	2.40	
	Bomba (M4)	1 Ø	3.50	3.50			3.50
control	Electroválvula	2 Ø	0.02		0.02	0.02	
	PLC	1 Ø	0.24		0.24		0.24
	Contactores (Bobinas)	2 Ø	1.00	1.00	1.00		
	Luces Piloto	1 Ø	0.12		0.12		0.12
	<b>TOTAL</b>		<b>11.31</b>	<b>6.90</b>	<b>6.96</b>	<b>6.45</b>	<b>4.71</b>

Fuente: Propia

### **Cable alimentador del tablero**

Para la selección del cable alimentador del tablero de control, se ha utilizado la información previa del balance de carga, en donde se observa la corriente total que consume el sistema, cuyo valor ha sido utilizado para la resolución de la siguiente ecuación:

$$I_{\text{alimentador}} = 1.25 * (I_{\text{motor mas grande}} + I_{M1}) + I_{M2} + I_{M3} + I_{M4} + I_{c. \text{control}} \quad (14)$$

$$I_{\text{alimentador}} = 1.25 * (2.40 \text{ A}) + 0.85 \text{ A} + 3.18 \text{ A} + 3.5 \text{ A} + 1.38 \text{ A}$$

$$I_{\text{alimentador}} = 11.91 \text{ A}$$

Una vez obtenida la corriente que circulará por el cable alimentador, se ha seleccionado el calibre en base a los valores de la siguiente tabla, en donde se ha señalado el cable 14 AWG con un recubrimiento aislante tipo THW – LS, resistente a altas temperaturas y al agua para el cable de alimentación del tablero.

En la Tabla 3.15 se observa la tabla AWG de las secciones de conductores.

Tabla 3.15 Tabla AWG de conductores CENTELSA

1. Conductor			2. Espesor Alambriento	Resistencia DC a 20°C	Diámetro Exterior	Peso Total Aproximado	Capacidad de Corriente (*)	
Calibre	Cableado	Diámetro					THW-LS	THW-LS
AWG/kcmil	No Hilos	mm	mm	Ohm/km	mm	kg/km	A	A
14	7	1,79	0,76	8,44	3,39	29	20	25
12	7	2,26	0,76	5,31	3,88	42	25	30
10	7	2,85	0,78	3,34	4,45	62	35	40
8	7	3,59	1,14	2,10	5,07	104	50	55
6	7	4,53	1,52	1,32	7,69	168	65	75
4	7	5,71	1,52	0,832	8,87	249	85	95
2	7	7,20	1,52	0,523	10,38	378	115	130
1/0	19	8,83	2,03	0,329	13,11	595	150	170

1. Conductor			2. Espesor Aislamiento	3. Espesor Chaqueta	Resistencia DC a 20°C	Diámetro Exterior	Peso Total Aproximado	Capacidad de Corriente (*)
Calibre	Cableado	Diámetro						
AWG	No Hilos	mm	mm	mm	Ohm/km	mm	kg/km	A
18	1	1,02	0,38	0,1	20,9	2,12	11,0	6
16	1	1,28	0,38	0,1	13,2	2,39	16,0	8
18	7	1,16	0,38	0,1	21,4	2,26	12,0	6
16	7	1,46	0,38	0,1	13,4	2,56	17,0	8

Fuente: [17]

## Cables de distribución

El dimensionamiento del calibre de los cables utilizados para las conexiones eléctricas de las máquinas se basa en el criterio de la corriente máxima que puede conducir el cable en condiciones de trabajo normales.

Para ello se debe conocer las corrientes nominales que circulan por cada circuito y el factor de seguridad (Fs), cuyo valor permite sobredimensionar el cable en caso de futuras adiciones de cargas al circuito. La siguiente ecuación permite calcular la corriente máxima que puede conducir el cable.

$$Ic\ max = In * Fs \quad (15)$$

En donde:

**Ic max:** Es la corriente máxima que puede conducir el cable

**In:** Corriente nominal del circuito

**Fs:** Factor de seguridad

El factor de seguridad que se asignado para el dimensionamiento del calibre del cable ha sido de 125% de la corriente nominal.

#### **Trituradora**

I nominal: 3.18 [A]

$$Ic\ max = In * Fs$$

$$Ic\ max = 3.18 [A] * 1.25$$

$$Ic\ max = 3.97 [A]$$

#### **Lavadora**

I nominal: 0.85 [A]

$$Ic\ max = In * Fs$$

$$Ic\ max = 0.85 [A] * 1.25$$

$$Ic\ max = 1.06 [A]$$

#### **Cinta transportadora**

I nominal: 2.40 [A]

$$Ic\ max = In * Fs$$

$$I_c \text{ max} = 2.40[A] * 1.25$$

$$I_c \text{ max} = 3 [A]$$

### **Bomba centrifuga**

I nominal: 3.5 [A]

$$I_c \text{ max} = I_n * F_s$$

$$I_c \text{ max} = 3.5 [A] * 1.25$$

$$I_c \text{ max} = 4.37 [A]$$

### **Electroválvula**

I nominal: 0.02 [A]

$$I_c \text{ max} = I_n * F_s$$

$$I_c \text{ max} = 0.02 [A] * 1.25$$

$$I_c \text{ max} = 0.025 [A]$$

### **Conductor de circuito a Tierra**

La selección del cable para la conexión a tierra de los equipos se ha realizado de acuerdo con el valor de la corriente de protección del circuito, en base a la Tabla 3.16, la cual muestra el calibre de conductor que se debe elegir en base a la corriente de protección.

Tabla 3.16 Selección de calibre AWG para conexión a tierra

Capacidad o ajuste del dispositivo automático de protección contra sobrecorriente en el circuito antes de los equipos, canalizaciones, etc. Sin exceder de:	Tamaño nominal mm <sup>2</sup> (AWG o kcmil)	
	(A)	Conductor de cobre
15	2,08 (14)	---
20	3,31 (12)	---
30	5,26 (10)	---
40	5,26 (10)	---
60	5,26 (10)	---
100	8,37 (8)	13,3 (6)
200	13,3 (6)	21,2 (4)
300	21,2 (4)	33,6 (2)
400	33,6 (2)	42,4 (1)

Fuente: [18]

La selección de los conductores se realizó en base a los calibres que se muestran en la Tabla 3.15 , cuyos productos son del fabricante CENTELSA.

Finalmente se han seleccionado los conductores que se muestra en la Tabla 3.17, en donde se especifica el calibre AWG y el tipo de aislamiento del cable para cada carga.

Tabla 3.17 Asignación de cable eléctrico

Circuito	# AWG	Tierra #AWG	Capacidad de corriente (A)	Aislamiento
Alimentador del tablero	14	14	20	THW - LS
Cinta transportadora	16	16	8	THW
Lavadora	18	18	6	THW
Bomba de agua	16	16	8	THW
Trituradora	16	16	8	THW
Electroválvula	18	-	6	THW
PLC	18	-	6	THW
Luces Piloto	18	-	6	THW
Contactores (bobinas)	18	-	6	THW

Fuente: Propia

## Termomagnéticos

La selección de los dispositivos de protección se basa en la información que se muestra en la Tabla 3.18, la cual indica que, de acuerdo con el calibre del conductor seleccionado, se establece la protección contra sobrecorriente, que está expresada en amperios, según el NEC (*National Electrical Code*).

Tabla 3.18 Protección de sobrecargas en base a calibre AWG

Corriente nominal del circuito	15A	20A	30A	40A	50 A
Conductores (Calibre mínimo):	14	12	10	8	6
Alambres del circuito <sup>1</sup>	14	14	14	12	12
Derivaciones					
Alambres y cordones de artefactos					
<b>Protección contra sobrecorriente</b>	<b>15A</b>	<b>20A</b>	<b>30A</b>	<b>40A</b>	<b>50 A</b>
Dispositivos de salida:					
Portabombillas permitidos	Cualquier tipo	Cualquier tipo	Trabajo pesado	Trabajo pesado	Trabajo pesado
Capacidad nominal del tomacorriente <sup>2</sup>	15A máx.	15 ó 20 A	30A	40 ó 50 A	50A
<b>Carga máxima</b>	<b>15A</b>	<b>20A</b>	<b>30A</b>	<b>40A</b>	<b>50 A</b>

Fuente [19]

## Termomagnético principal

Para el dimensionamiento de esta protección se requiere revisar la Tabla 3.14, del balance de carga y revisar el calibre asignado para este circuito, con esa información se debe cumplir la siguiente condición.

$$1.25 I_n < I_{\text{termomagnético}} < 1.45 I_{\text{max cable}}$$

La corriente con mayor valor en el balance de carga es la que circula por la fase S y tiene un valor de 6.96 A.

Como se está trabajando con motores de baja tensión y de baja potencia se ha asignado el incremento del 25% de la corriente nominal para obtener la corriente máxima que puede llegar a circular por el conductor durante el arranque del motor más grande que se tiene en el sistema, que en este caso es el motor de la cinta.

$$I_1 = 1.25 * I_n \quad (16)$$

$$I_1 = 1.25 * 6.96 A$$

$$I_1 = 8.70 A$$

Mientras que la corriente máxima que soporta el cable 14 AWG de aislamiento tipo THW asignado para este circuito según la Tabla 3.15, es de 20 A, y según el NEC (*National Electric Code*), indica que un conductor puede soportar sobrecargas transitorias de hasta el 45% mayor a su capacidad.

$$I2 = 1.45 * I_{max. cable} \quad (17)$$

$$I2 = 1.45 * 20 A$$

$$I2 = 29 A$$

De acuerdo con los resultados obtenidos de las ecuaciones 16 y 17, y en base a la Tabla 3.18, se tiene la siguiente condición:

$$8.70 A < 16 A < 29 A$$

Por tanto, se ha seleccionado una protección termomagnética con una corriente de disparo de 16 A.

#### **Guardamotor para trituradora**

El guardamotor es muy importante para este proyecto, ya que la trituradora tiende a sobrecalentarse frecuentemente debido a atascamientos del material, lo que podría causar daños severos al motor y estructura de la máquina.

Corriente nominal: 3.18 [A]

Factor de servicio: 1.25

$$I (\text{Guardamotor}) = F_s * I_n \quad (18)$$

$$I (\text{Guardamotor}) = 1.25 * 3.18 A$$

$$I (\text{Guardamotor}) = 3.98 A \approx 4 A$$

Una vez de haber obtenido la corriente máxima a la que se puede sobrecargar el motor de la trituradora, se busca un guardamotor que posea dentro del rango de ajuste de corriente el valor de 4 A.

#### **Guardamotor para lavadora**

Se ha establecido añadir un guardamotor a la lavadora, ya que debido a su funcionamiento puede presentar algún atascamiento y provocar sobrecalentamientos en los bobinados del motor.

Corriente nominal: 0.85 A

Factor de servicio: 1.40

$$I (\text{Guardamotor}) = 1.40 * I_n$$

$$I (\text{Guardamotor}) = 1.40 * 0.85 A$$

$$I (\text{Guardamotor}) = 1.19 A \approx 1.20 A$$

Una vez dimensionada la corriente para los guardamotores, se han seleccionado los que se muestran en la Tabla 3.19.

Tabla 3.19 Características de Guardamotores seleccionados

G. Trituradora	
Corriente de trabajo	Regulación de 2.80 a 4 A
Voltaje máximo	Hasta 400 V
# de Polos	3
Soporte de montaje	Rail
G. Lavadora	
Corriente de trabajo	Regulación de 1 a 1.6 A
Voltaje máximo	Hasta 690 V
# de Polos	3
Soporte de montaje	Rail

Fuente: Propia

## Contadores

Los contactores pueden ser seleccionados en base a las siguientes características que poseen:

- Corriente de carga
- Voltaje de conexión
- Voltaje de control
- Categoría IEC

La última normativa IEC para contactores y arrancadores define 10 categorías de servicio para aplicaciones en corriente alterna de las cuales, se han elegido solamente dos para la selección de contactores y se muestran en la Tabla 3.20.

*Tabla 3.20 Categorías de contactores seleccionados*

Categoría	Aplicaciones
AC-3	Motores de jaula de ardilla, corte del motor lanzado.
AC-4	Motores de jaula de ardilla: arranque, frenado a contracorriente, y funcionamiento por sacudidas.

Fuente: Propia

De acuerdo al tipo de aplicación de los motores de cada máquina y a sus características eléctricas, se han seleccionado los contactores que se muestran en la Tabla 3.21.

*Tabla 3.21 Contactores seleccionados*

Contactador N°	Equipo	# de polos	Categoría IEC	Corriente de maniobra (A)	Tensión de mando (V)
KM1	Trituradora	3	AC-4	9	220
KM2	Trituradora	4	AC-4	25	220
KM3	Lavadora	3	AC-3	6	220
KM4	Cinta Transportadora	3	AC-4	9	220
KM5	Bomba	3	AC-3	9	220

Fuente: Propia

### **Circuito para la medición de temperatura**

- **Sensor:** Tipo sonda PT100
- **Rango de temperatura:** 20 a 180 °C
- **Rango de Voltaje:** 0 a 10 V

Para acondicionar el sensor resistivo de temperatura, se necesita un circuito adaptador utilizando un puente de Wheatstone como se muestra en la Figura 3.11.

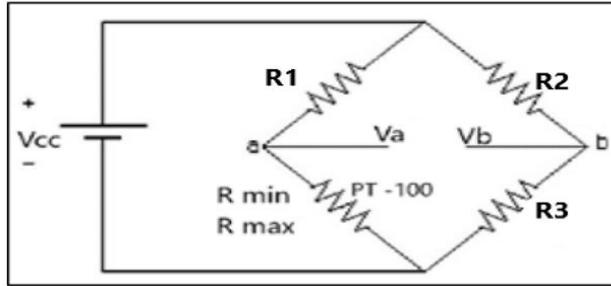


Figura 3.11 Puente de Wheatstone  
Fuente: propia

Para calcular el valor de la resistencia del sensor en la temperatura mínima del proceso, se utiliza la siguiente fórmula:

$$R_{min.}(20^{\circ}C) = R_o * (1 + \alpha\Delta T) \quad (19)$$

En donde:

**R min:** Es la resistencia a 20°C ( $\Omega$ )

**Ro:** Es la resistencia del sensor a 0 °C ( $\Omega$ )

**$\alpha$ :** Es el coeficiente de temperatura ( $^{\circ}C^{-1}$ )

**$\Delta T$ :** Diferencia de temperaturas ( $^{\circ}C$ )

$$R_{min.}(20^{\circ}C) = R_o * (1 + \alpha\Delta T)$$

$$R_{min.}(20^{\circ}C) = 100 * (1 + 0.0039^{\circ}C^{-1} * (20^{\circ}C - 0^{\circ}C))$$

$$R_{min.}(20^{\circ}C) = 107.8 \Omega$$

El diseño del acondicionamiento del sensor establece que las resistencias Rmín y R3 van a ser del mismo valor.

Para calcular el valor de resistencia del sensor a temperatura máxima se resuelve la siguiente ecuación:

$$R_{max.}(180^{\circ}C) = R_o * (1 + \alpha\Delta T)$$

$$R_{max.}(180^{\circ}C) = 100 * (1 + 0.0039^{\circ}C^{-1} * (180^{\circ}C - 0^{\circ}C))$$

$$R_{max.}(180^{\circ}C) = 170.2 \Omega$$

Los valores para las resistencias R1 y R2, las cuales tienen el mismo valor, permiten proteger el sensor y se calculan con la siguiente fórmula:

$$R1 = \frac{V_{cc}^2}{4 P_{max.}} \quad (20)$$

En donde:

**Vcc:** Voltaje de alimentación del circuito

**Pmax.:** Potencia máxima disipada

**15 mW:** Es el valor de potencia máxima del sensor resistivo, el cual se ha obtenido de la hoja de datos, que se encuentra en el ANEXO C de catálogo de componentes.

$$R1 = \frac{V_{cc}^2}{4 P_{max.}}$$

$$R1 = \frac{12^2 V}{4(15mW)}$$

$$R1 = R2 = 2.4 K\Omega$$

La diferencia del voltaje en la salida del puente de Wheatstone para el circuito acondicionador, se determina con la siguiente fórmula:

**Voltaje en el punto a (Va)**

$$Va(20^\circ C) = \frac{V_{cc} * R_{min}}{R1 + R_{min}} \quad (21)$$

$$Va(20^\circ C) = \frac{12 V * 107.8 \Omega}{2.4 K\Omega + 107.8 \Omega}$$

$$Va(20^\circ C) = 0.52 V$$

Rmín y Rmáx son valores de resistencias obtenidas del sensor cuando varía su temperatura o la temperatura del entorno que lo rodea y son utilizadas para calcular el voltaje (Va).

$$Va(180^\circ C) = \frac{V_{cc} * R_{max}}{R1 + R_{max}}$$

$$Va(180^\circ C) = \frac{12 V * 170.2 \Omega}{2.4 K\Omega + 170.2 \Omega}$$

$$Va(180^\circ C) = 0.79 V$$

**Voltaje en el punto b (Vb)**

Para obtener el voltaje en este punto del circuito la resistencia R3 no cambia su valor con respecto al incremento o decremento de temperatura se mantiene con el valor de la Rmín.

$$R_{\text{mín}} = R3$$

$$Vb(20^{\circ}C) = \frac{V_{cc} * R3}{R1 + R3} \quad (22)$$

$$Vb(20^{\circ}C) = \frac{12 V * 107.8 \Omega}{2.4 K\Omega + 107.8 \Omega}$$

$$Vb(20^{\circ}C) = 0.52 V$$

$$Vb(180^{\circ}C) = \frac{V_{cc} * R3}{R1 + R3}$$

$$Va(180^{\circ}C) = \frac{12 V * 107.8 \Omega}{2.4 K\Omega + 107.8 \Omega}$$

$$Va(180^{\circ}C) = 0.52 V$$

#### Diferencia de voltaje Va- Vb

$$Vab(20^{\circ}C) = Va(20^{\circ}C) - Vb(20^{\circ}C) \quad (23)$$

$$Vab(20^{\circ}C) = 0.52V - 0.52 V$$

$$Vab(20^{\circ}C) = 0 V$$

$$Vab(180^{\circ}C) = Va(180^{\circ}C) - Vb(180^{\circ}C)$$

$$Vab(180^{\circ}C) = 0.79 V - 0.52 V$$

$$Vab(180^{\circ}C) = 0.27 V$$

Luego, se obtiene la función lineal para la amplificación de la señal de salida del puente de Wheatstone, los valores de voltaje de acondicionamiento se muestran en la Tabla 3.22.

Tabla 3.22 Rango de voltaje de acondicionamiento

Temperatura	X in	Y out
20°C	0 V	0 V
180°C	0.27 V	10 V

Fuente: Propia

$$\frac{Y - Y1}{X - X1} = \frac{Y2 - Y1}{X2 - X1} \quad (24)$$

$$\frac{Y - 0 V}{X - 0 V} = \frac{10 V - 0 V}{0.27 V - 0 V}$$

$$\frac{Y - 0 V}{X - 0 V} = \frac{10 V}{0.27 V}$$

$$Y - 0 V = \frac{10X}{0.27}$$

$$Y = 37.03 X$$

$$Y = 37.03 V_{in}$$

La ganancia para la amplificación de la señal es de 37.03 veces el voltaje diferencial de entrada al amplificador de instrumentación.

Para el circuito amplificador se usó un amplificador de instrumentación, el cual se muestra en la Figura 3.12.

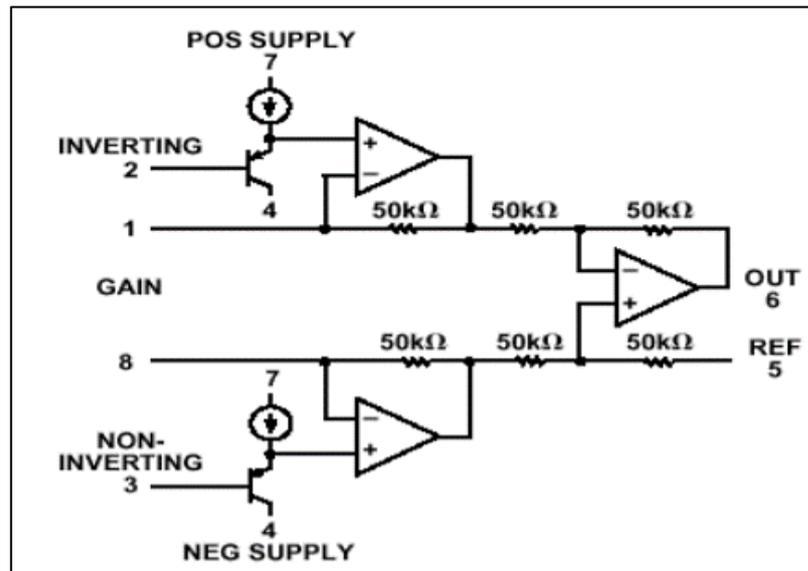


Figura 3.12 Amplificador de instrumentación

Fuente: [20]

En la etapa de amplificación de la señal del sensor resistivo RTD, se utilizó el integrado de 8 pines AD623, el cual contiene internamente el circuito de la Figura 3.12. El cálculo de su resistencia de ganancia (RG) se obtiene de la siguiente ecuación:

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{1 + 100 K\Omega}{RG} \quad (25)$$

$$\frac{10 V}{0.27 V} = \frac{1 + 100 K\Omega}{RG}$$

$$37.03 = \frac{1 + 100 K\Omega}{RG}$$

$$37.03 RG = RG + 100 K\Omega$$

$$36.03 RG = 100 K\Omega$$

$$RG = 2.77 K\Omega$$

Se ha obtenido un valor referencial de resistencia de ganancia de 2.77 KΩ, el cual se ha utilizado en el diseño del circuito.

El circuito del transmisor de temperatura está compuesto por los componentes que se muestran en la Tabla 3.23.

*Tabla 3.23 Componentes del circuito transmisor de temperatura*

<b>Componente</b>	<b>Cantidad</b>
Resistencia 2.4 KΩ	2
Resistencia 107.8 Ω	1
Resistencia variable 2.77 KΩ	1
Resistencia 10 KΩ	4
Amplificador de instrumentación AD623	1
Amplificador operacional 741	1
Sensor resistivo PT -100	1
Fuente de Corriente DC 12 V y -12 V	1
Fuente de Corriente DC 5V	1

Fuente: Propia

- **Selección de los elementos de control**  
**Botón pulsador**

Para la selección de los pulsadores se debe tomar en cuenta las características que pose como, por ejemplo: el diámetro, color, accionamiento, estado inicial en reposo, entre otras. En la Figura 3.13, se observa el pulsador elegido para el sistema.



*Figura 3.13 Pulsador de control*  
Fuente: [21]

Los pulsadores que han sido seleccionados para añadir al sistema tienen las siguientes características:

- **Voltaje de operación:** 125 / 250 VDC
- **Corriente nominal de empleo:** 0.22 / 0.1
- **Diámetro de encajamiento:** 22 mm
- **Vida mecánica:** 1000000 ciclos
- **Temperatura de empleo:** -25°C + 70 °C

### **Luz piloto**

Para elegir las luces se han revisado las características importantes que poseen estos dispositivos; además, de conocer la función que cumplen dentro del sistema, ya sean como luces de advertencia, emergencia o simplemente indicar la activación de alguna máquina.

La Figura 3.14, muestra la luz piloto que normalmente se utiliza en los sistemas de control.



*Figura 3.14 Luz piloto*  
Fuente: [21]

Para el sistema se ha seleccionado 6 luces piloto de color verde que poseen las siguientes características:

- **Terminales:** De tornillo
- **Tensión:** 12 -24 VDC / 110 – 220 VAC
- **Corriente:** 14 mA
- **Entradas de cables:** Lateral

### **Botón de paro de emergencia**

El botón de paro de emergencia se debe seleccionar tomando en cuenta su tamaño y diseño, ya que su accionamiento debe ser rápido y sencillo para el operador; además, de ser un dispositivo resistente. En la Figura 3.15, se muestra el botón de paro de emergencia que ha sido elegido para la apertura de los circuitos en caso de fallas o accidentes en el sistema.



*Figura 3.15 Botón de parada de emergencia*  
Fuente: [21]

El dispositivo de parada de emergencia seleccionado tiene un estado de reposo normalmente abierto y su accionamiento se realiza mediante una pulsación con rotación de su base, cuenta con las siguientes características:

- **Material de fabricación:** Aleación de aluminio y zinc.
- **Vida mecánica:** 300000 ciclos.
- **Dimensión de agujeros:** de 22 mm de diámetro.
- **Bloqueo y desbloqueo:** Por rotación.
- **Norma:** ISO 13850.

### **Sensor de nivel**

Los sensores de nivel dentro del sistema cumplen la función de conmutar un circuito conectado hacia las entradas del PLC, dependiendo del nivel de agua que haya en el tanque de la lavadora.

Para este sistema se ha seleccionado un sensor de tipo boya, el cual permite trabajar muy bien con casi todos los fluidos, sin necesidad de que estos estén completamente libres de suciedades o desperdicios, no les afecta mucho la espuma,

formación de burbujas, efectos de ebullición y vibraciones. Su funcionamiento e instalación es sencilla y económica.

En la Figura 3.16, se observa el tipo de sensor de nivel seleccionado para este sistema.



*Figura 3.16 Sensor tipo boya*  
Fuente: [22]

El sensor de nivel seleccionado tiene las siguientes características:

- **Voltaje de ruptura:** 230 VDC
- **Corriente máxima:** 0.5 A

En el ANEXO C se encuentran las características técnicas de forma detallada.

- **Elaboración del diagrama eléctrico del sistema**

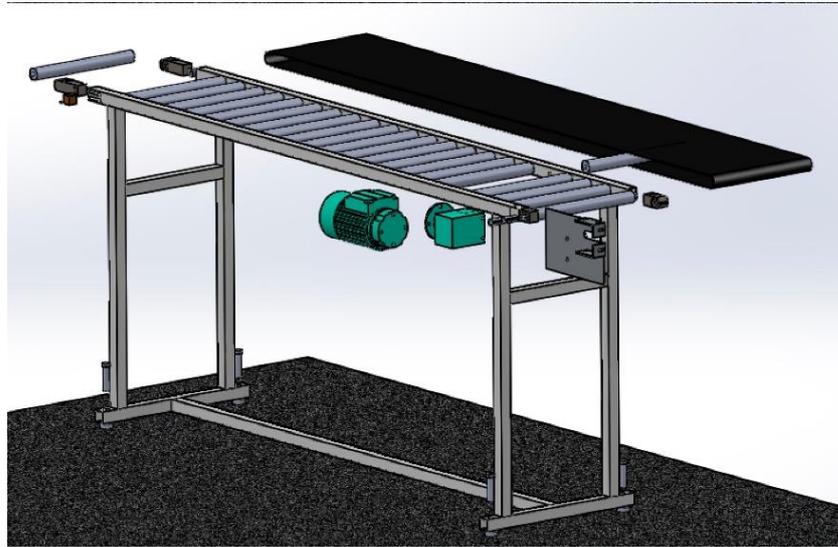
El diagrama eléctrico representa las conexiones de las máquinas eléctricas, sensores y protecciones; además, de las entradas y salidas del PLC. El diagrama del circuito de control y potencia del sistema se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, el diagrama de conexiones de las entradas del PLC en el tablero se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y el diagrama de conexiones de los componentes del tablero se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, todas estas se encuentran en el ANEXO A.

### **3.4. Diseño de la estructura de la banda transportadora**

La banda transportadora está diseñada para operar junto a la etapa de lavado, las dimensiones de la banda transportadora fueron aplicadas según la altura del tanque de la lavadora y el tamaño estándar de las botellas, la estructura esta empotrada al piso con tornillos de cabeza hexagonal de ½ pulgada.

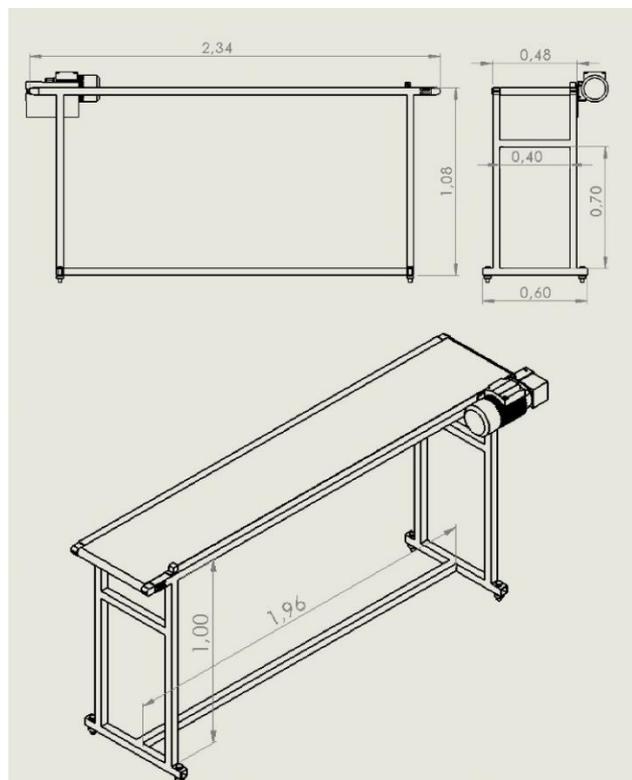
Esta banda transportadora ha sido diseñada de acuerdo a modelos comerciales, se ha tomado como ejemplo principal la estructura.

En la Figura 3.17, se observa el modelo en tres dimensiones con vista isométrica y con los componentes separados.



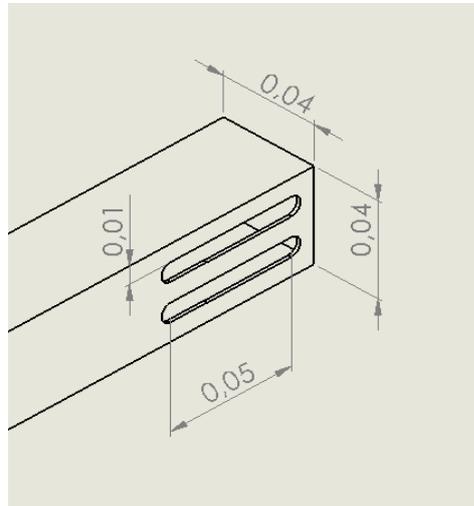
*Figura 3.17 Diseño de la banda transportadora*  
Fuente: Propia

A continuación, se muestra los planos de la banda transportadora con las dimensiones en vista de dibujo. En la Figura 3.18, se muestra un plano general con las dimensiones en unidades metros.



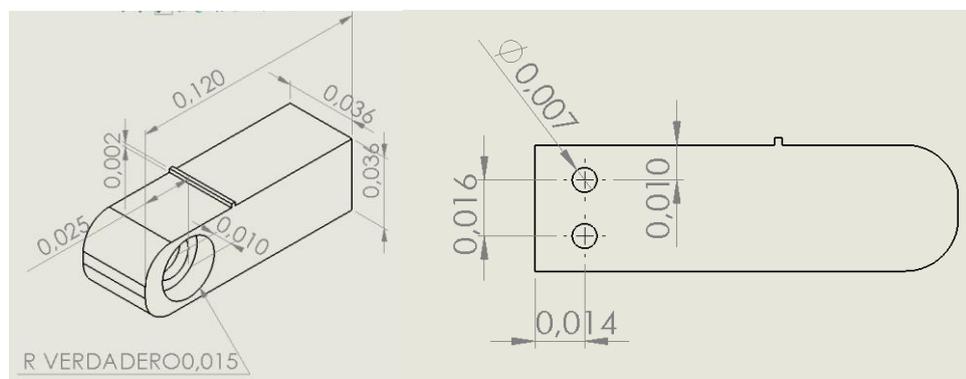
*Figura 3.18 Plano general de la cinta transportadora*  
Fuente: Propia

La Figura 3.19, muestra las dimensiones de las ranuras de los tubos, en las cuales se ubican los pernos para calibrar la tensión de la banda. La pieza que da apoyo se ubica dentro del tubo y dos pernos ajustan la tensión de la banda.



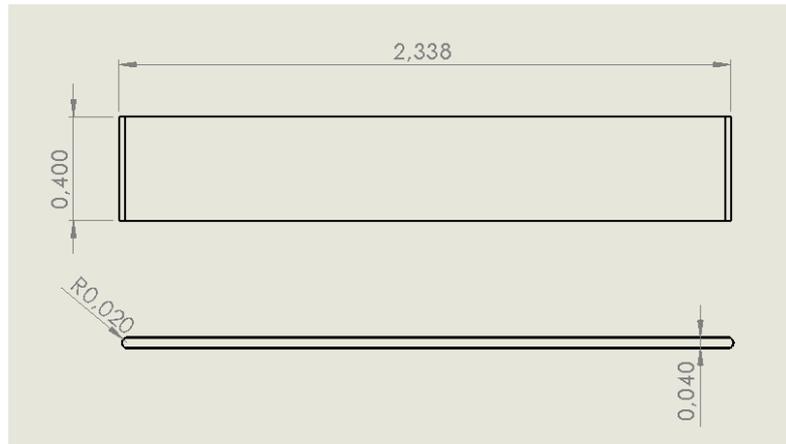
*Figura 3.19 Tubo con ranuras de tensión*  
Fuente: Propia

En la Figura 3.20, se muestra las dimensiones de la pieza en donde se apoya el rodamiento y rodillo que servirán para la tensión de la banda transportadora. Dos pernos ajustan la pieza y el tubo con ranuras para calibrar la tensión de la banda.



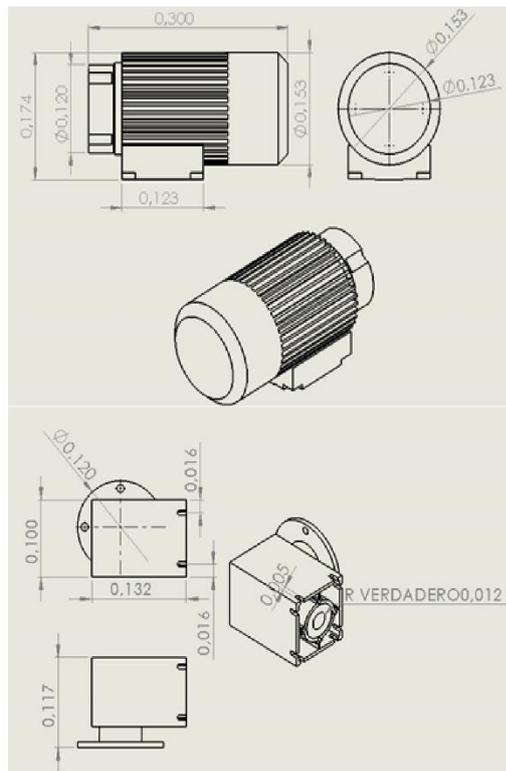
*Figura 3.20 Pieza del eje de tensión*  
Fuente: Propia

En la Figura 3.21, se muestra las dimensiones de la banda transportadora. La banda está construida para que ingrese en la estructura y se ajusta hasta una tensión adecuada.



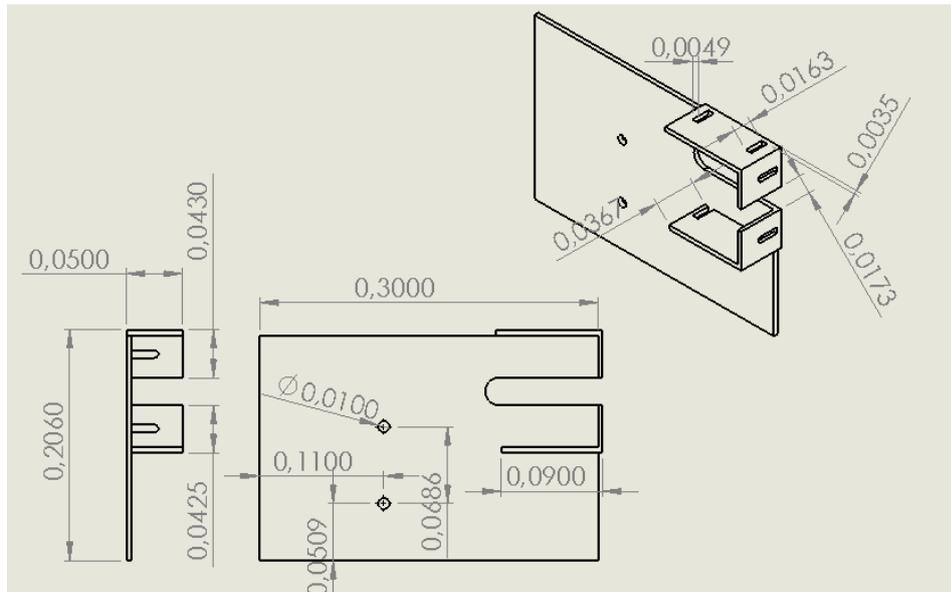
**Figura 3.21 Banda transportadora**  
Fuente: Propia

En la Figura 3.22, se muestra las dimensiones del motor reductor de velocidad.



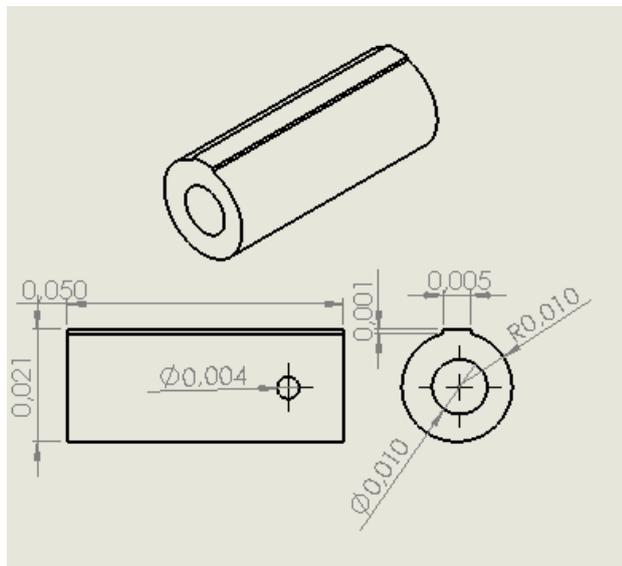
**Figura 3.22 Motorreductor Helicoidal**  
Fuente: Propia

En la Figura 3.23, se muestra las cotas del soporte de apoyo para el motorreductor.



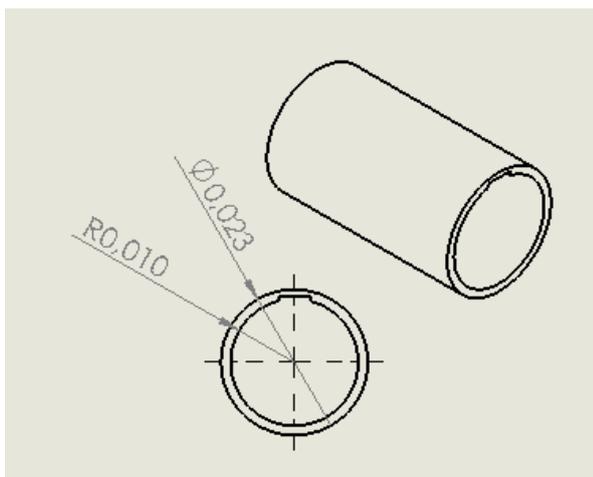
*Figura 3.23 Soporte de motor*  
Fuente: Propia

En la Figura 3.24, se muestra el eje con chaveta que permite el acoplamiento con el rodillo de la banda.



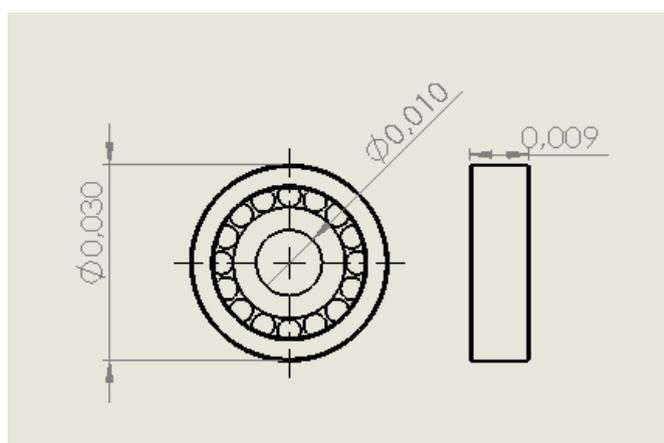
*Figura 3.24 Eje chaveta*  
Fuente: Propia

En la Figura 3.25, se muestra el cilindro de la caja reductora en donde se acopla el eje chaveta.



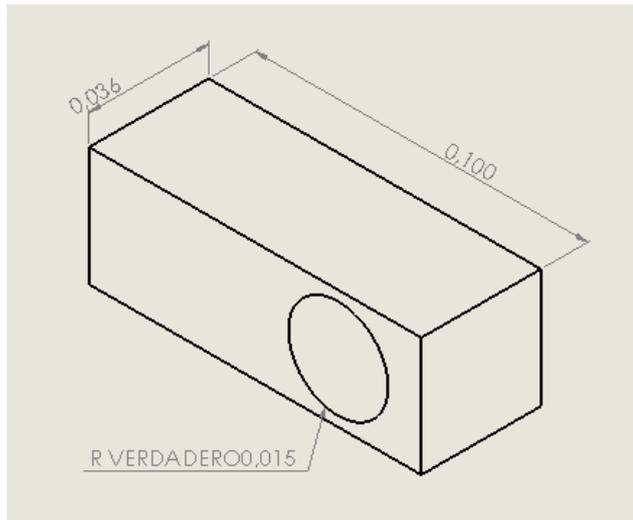
*Figura 3.25 Cilindro de la caja reductora*  
Fuente: Propia

En la Figura 3.26, se muestra el rodamiento que se acopla en los rodillos de la banda



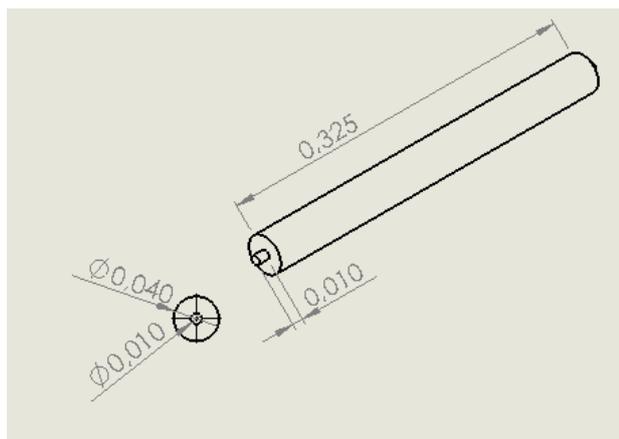
*Figura 3.26 Rodamiento*  
Fuente: Propia

En la Figura 3.27, se muestra el soporte, en donde se apoya el rodillo acoplado junto al eje de la caja reductora.



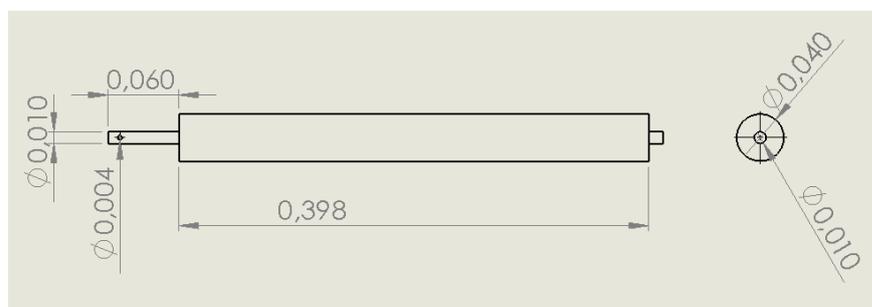
*Figura 3.27 Apoyo de rodillo de la banda*  
Fuente: Propia

En la Figura 3.28, se muestra el rodillo que sirve de base de la banda.



*Figura 3.28 Rodillo secundario*  
Fuente: Propia

En la Figura 3.29, se muestra el rodillo principal que se acopló al eje de la caja reductora del motor.

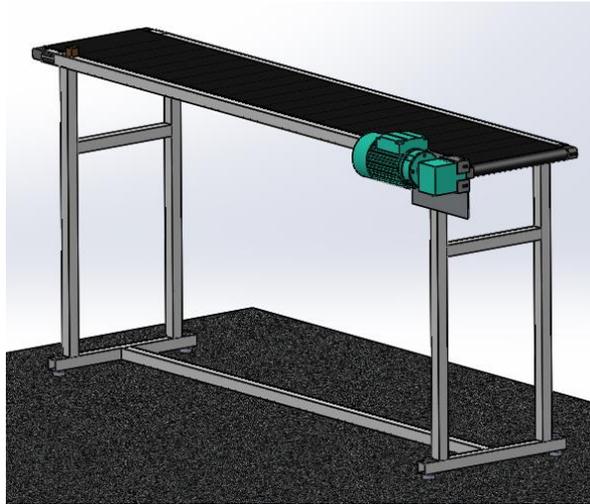


*Figura 3.29 Rodillo principal*  
Fuente: Propia

### 3.5. Simulación del funcionamiento del sistema

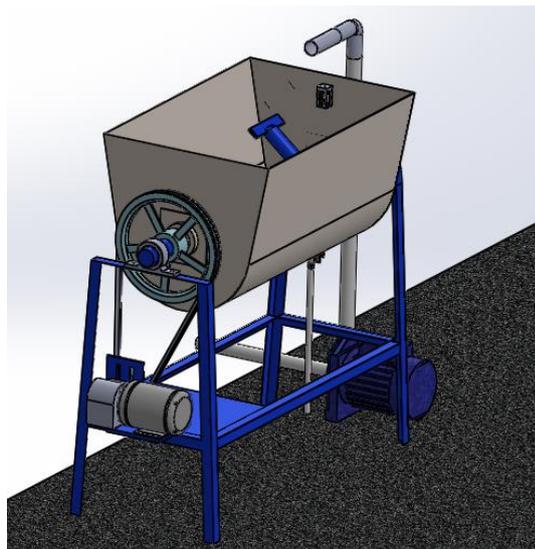
- **Simulación del funcionamiento de las máquinas del sistema**

Se realizó la construcción de todas las máquinas en modelos de tres dimensiones mediante el software SolidWorks 2018. En la Figura 3.30, se muestra el diseño de una banda transportadora de botellas plásticas.



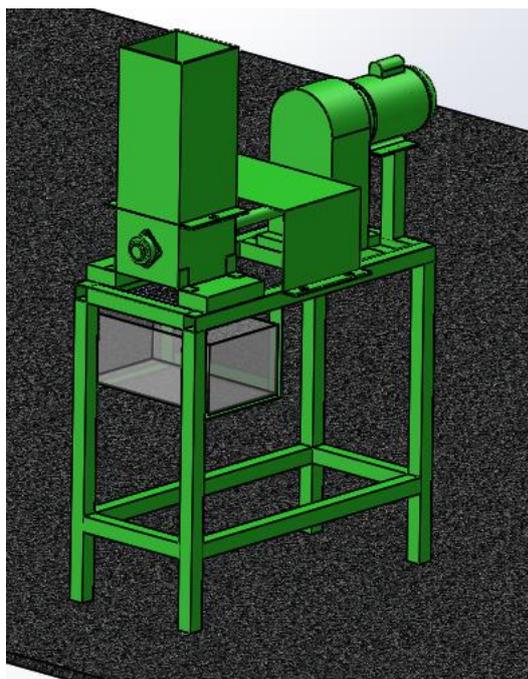
*Figura 3.30 Banda transportadora*  
Fuente: Propia

En la Figura 3.31, se muestra el modelo de una lavadora de botellas plásticas junto a una bomba de agua.



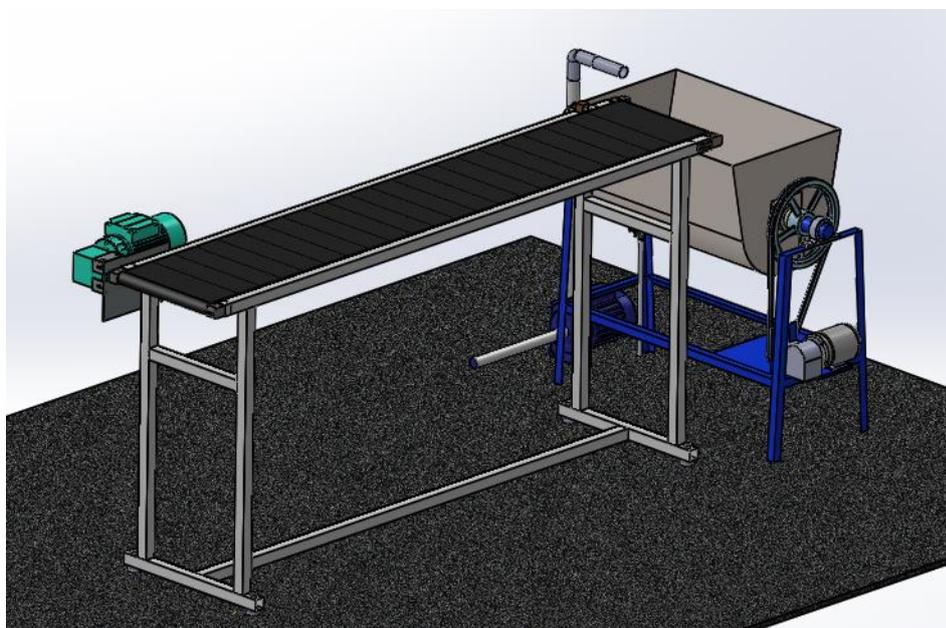
*Figura 3.31 Lavadora de botellas*  
Fuente: Propia

En la Figura 3.32, se muestra el modelo de una trituradora de botellas plásticas.



*Figura 3.32 Trituradora*  
Fuente: Propia

En la Figura 3.33, se muestra la banda transportadora en posición para depositar las botellas en la lavadora.

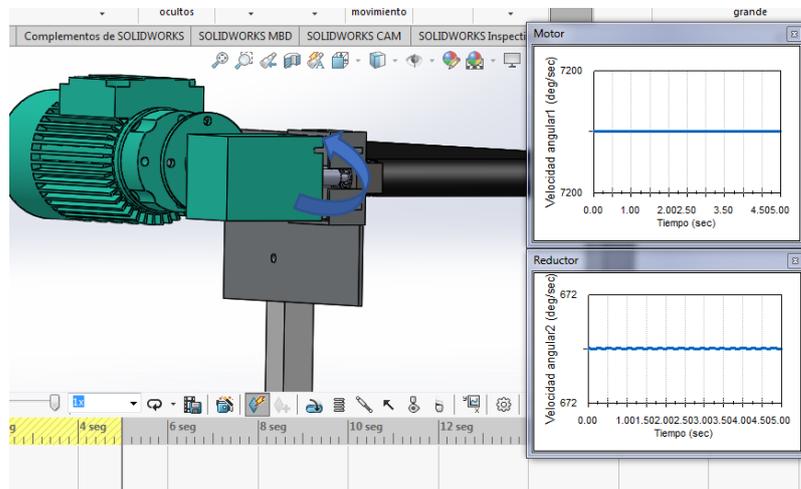


*Figura 3.33 Banda transportadora y trituradora*  
Fuente: Propia

- **Simulación de movimientos**

Se utilizó la herramienta de *SOLIDWORKS MOTION 2018* para la simulación de movimiento y velocidades de las diferentes piezas motrices. La velocidad de cada máquina muestra el tiempo que la banda transportadora lleva la botella hasta la lavadora, en la lavadora muestra la velocidad que giran las paletas para mover las botellas en el momento de lavado, y en la trituradora muestra la velocidad que giran las cuchillas, el cual la velocidad es baja.

En la Figura 3.34, se muestra que la banda transportadora tiene una velocidad lineal de 0.23 m/s mientras que el eje de la caja reductora gira a 112 RPM, y el eje del motor gira a 1200 RPM.



*Figura 3.34 Curvas de velocidad del motor y caja reductora*  
Fuente: Propia

Para las poleas de la lavadora se determinó la velocidad de las paletas mediante la velocidad de la polea motriz principal accionada por el motor. En la Figura 3.35, se muestra la representación de las poleas de la lavadora, la polea motriz más pequeña (Polea 1) gira a una velocidad angular de 86 RPM (516 *deg/sec*), mientras que la polea más grande (Polea 2) gira a una velocidad angular de 21,5 RPM (129 *deg/sec*).

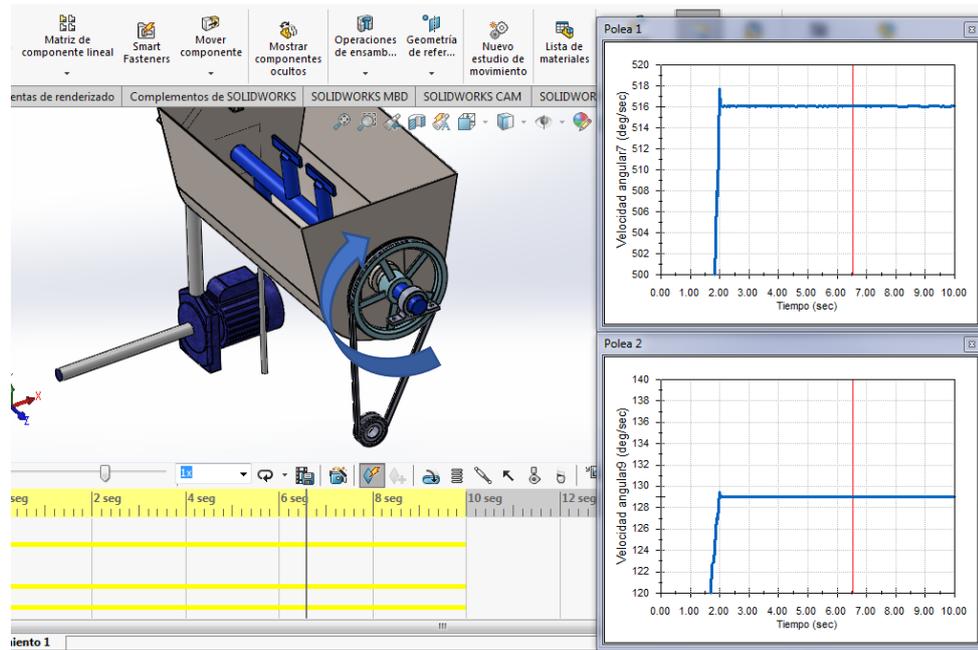


Figura 3.35 Curvas de velocidad de poleas

Fuente: Propia

En la Figura 3.36, se muestra las velocidades en los ejes de la trituradora. La velocidad en el eje del triturador es de 40 RPM (240 *deg/sec*), mientras que la velocidad del eje del motor es de 1710 RPM (10260 *deg/sec*).

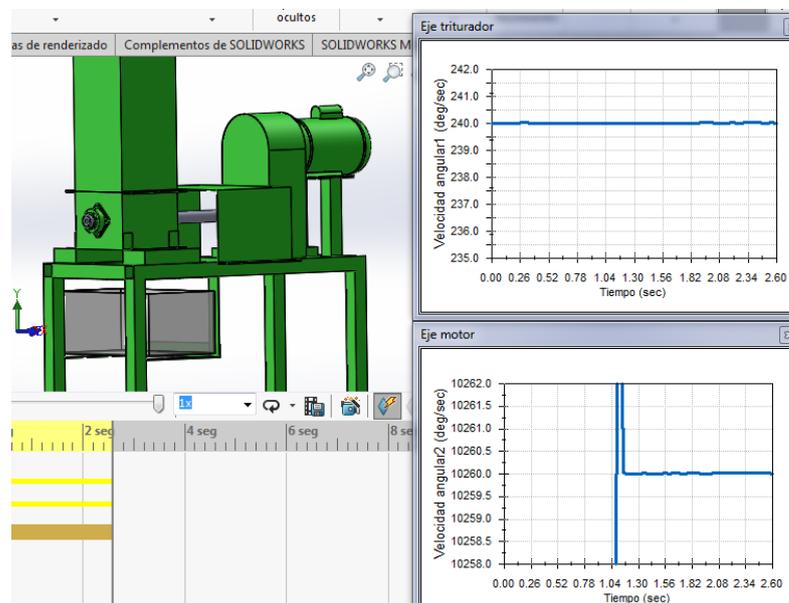


Figura 3.36 Simulación de velocidad de los ejes

Fuente: Propia

- **Simulación de los circuitos de control**

Circuito detector de botellas

El circuito de la Figura 3.37, muestra la utilización de un fotodiodo como elemento emisor y un fototransistor como elemento receptor, para detectar un objeto que se encuentre hasta 50 cm de distancia del emisor, dicho valor ha sido obtenido de las hojas de datos del fotodiodo que se pueden observar en el ANEXO C del catálogo de componentes del sistema.

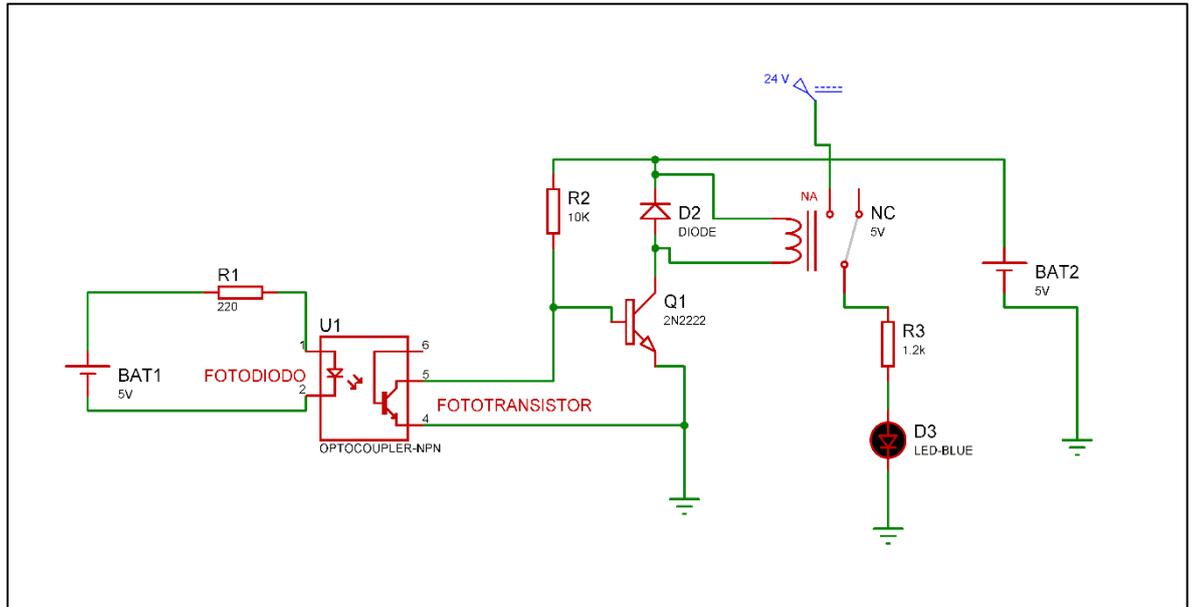


Figura 3.37 Circuito detector de objetos  
Fuente: Propia

Para la etapa de implementación se ha diseñado una placa PCB con los elementos del circuito de la Figura 3.37, En el circuito PCB se asigna una placa para la parte del emisor y otra para el receptor por separado como se muestra en la Figura 3.38.

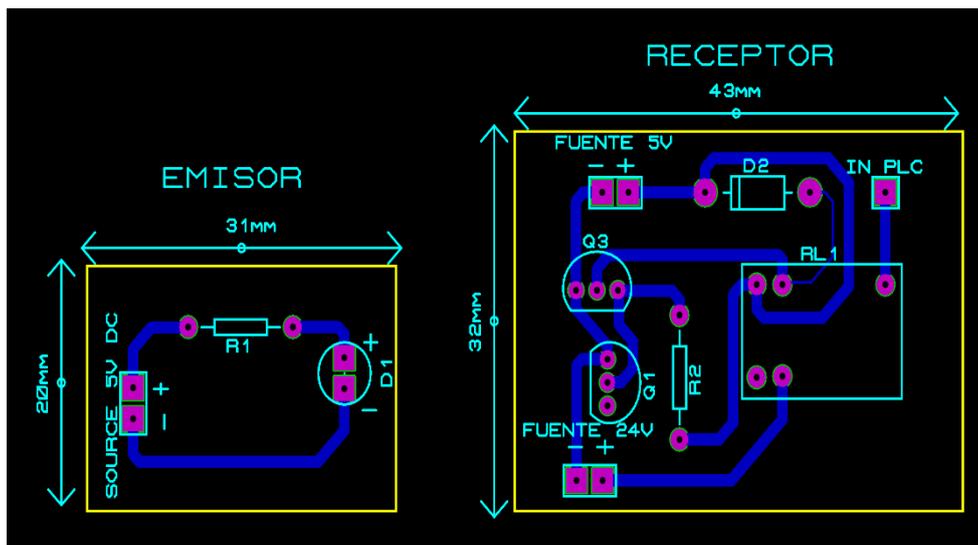


Figura 3.38 PCB circuito detector de objetos  
Fuente: Propia

En la Figura 3.39, se muestra un circuito transmisor de temperatura que entrega señales de voltaje a la salida y recepta señales físicas de proceso como en este caso la temperatura en su entrada.

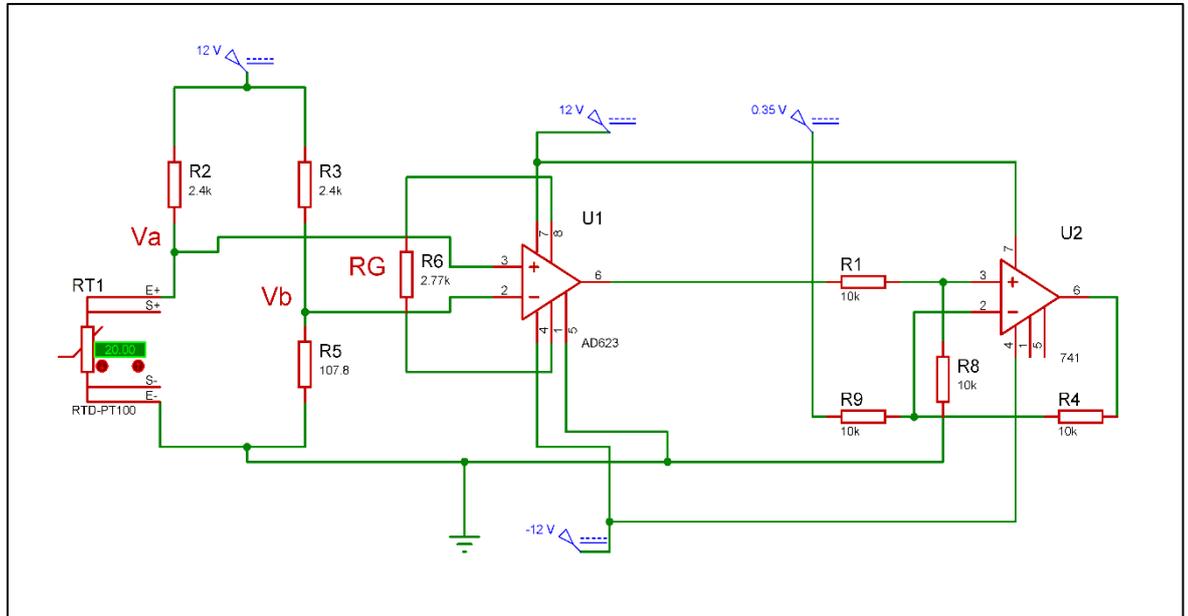


Figura 3.39 Transmisor de temperatura  
Fuente: Propia

Se ha diseñado una placa PCB para el circuito de medición de temperatura, el cual se muestra en la Figura 3.40.

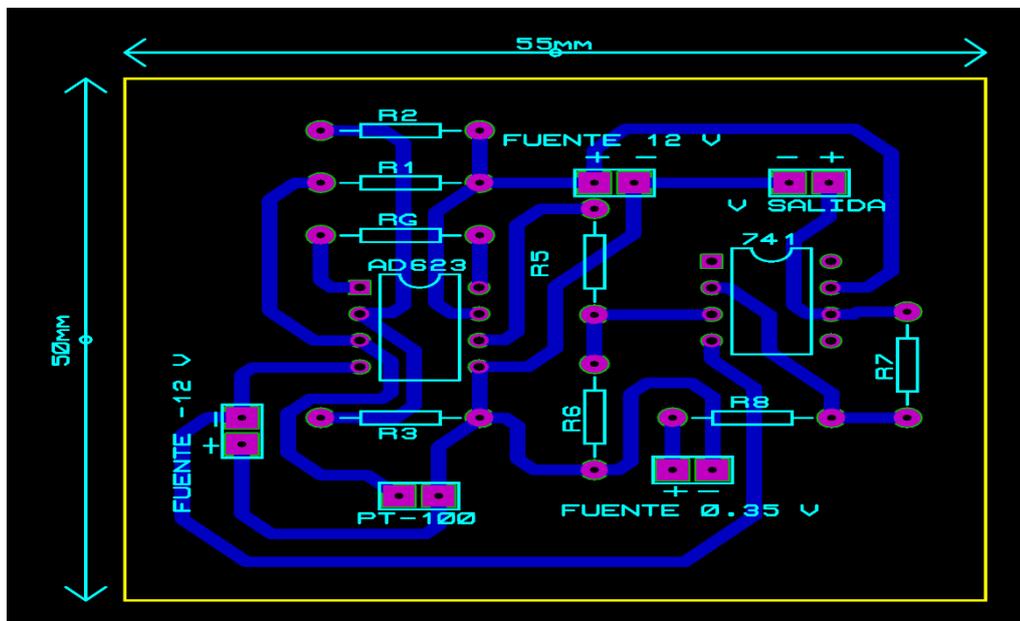


Figura 3.40 PCB de circuito de medición de temperatura  
Fuente: Propia

- **Simulación del código de control**

Se realiza la simulación de código de control mediante el componente WinCC del TIA PORTAL V15, para la representación de los procesos de reciclaje y creación del interfaz humano máquina HMI para el control remoto. En la Figura 3.41, se muestra el proceso de transporte de botellas hacia la lavadora. Los botones ubicados en la parte izquierda corresponden a los botones de activación de la banda, botón simulador de contador de botellas, botones de simulación de nivel bajo y alto de agua, botón de reinicio de simulación de la etapa de la lavadora. Se agregó un pulsador para acceder al panel de control de la trituradora, este se ubica en la parte inferior izquierda de la ventana.



*Figura 3.41 Proceso transporte y lavado de botellas*  
Fuente: Propia

En la Figura 3.42, se muestra la ventana de simulación PLC SIM, que permite simular las variaciones de temperatura en el puerto de entrada analógica con la dirección %IW64.

"CICLOS_LAVAD...	DEC+/-		0		0	
"Retardo".PT	Hora		T#0MS		T#0MS	
"Retardo".ET	Hora		T#0MS		T#0MS	
"Retardo".JIN	Bool		FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE	
"Retardo".Q	Bool		FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE	
"CONTADOR_DE...	%IO.0:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE	
"NIVEL_BAJO".P	%IO.1:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE	
"NIVEL_ALTO".P	%IO.2:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE	
"ACTIVAR_BAND...	%IO.3:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE	
"ACTIVAR_TRITUR...	%IO.4:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE	
"INVERTIR_GIRO".P	%IO.5:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE	
"TEMP_IN".P	%IW64:P	DEC	0		0	
"BANDA_TRANSP...	%Q0.0	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE	
"LAVADORA"	%Q0.1	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE	
"BOMBA"	%Q0.2	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE	
"ELECTROVALVU...	%Q0.3	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE	
"BLOQUEO_BAN...	%Q1.1	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE	
"APAGAR_LAVA...	%Q1.4	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE	
"BLOQUEAR_BO...	%Q1.2	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE	
"AUX2"	%Q1.3	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE	
"AUX1"	%Q1.0	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE	

Figura 3.42 Ventana PLC SIM  
Fuente: Propia

La máquina trituradora de plástico es accionada por medio de un pulsador ON-OFF, mientras trabaja la trituradora un sensor mide la temperatura de los devanados del motor, en caso de producirse sobrecalentamiento una luz piloto de emergencia se activa, al mismo tiempo que se detiene el motor de manera automática. En la ventana del HMI se tiene; además, un pulsador de cambio de giro el cual se debe mantener presionado hasta que se encienda la luz piloto y empiece a girar en sentido inverso. De la misma manera en la ventana HMI de la lavadora se tiene un botón para cambiar al panel de la trituradora. En la Figura 3.43, se muestra la ventana HMI de la trituradora de botellas.

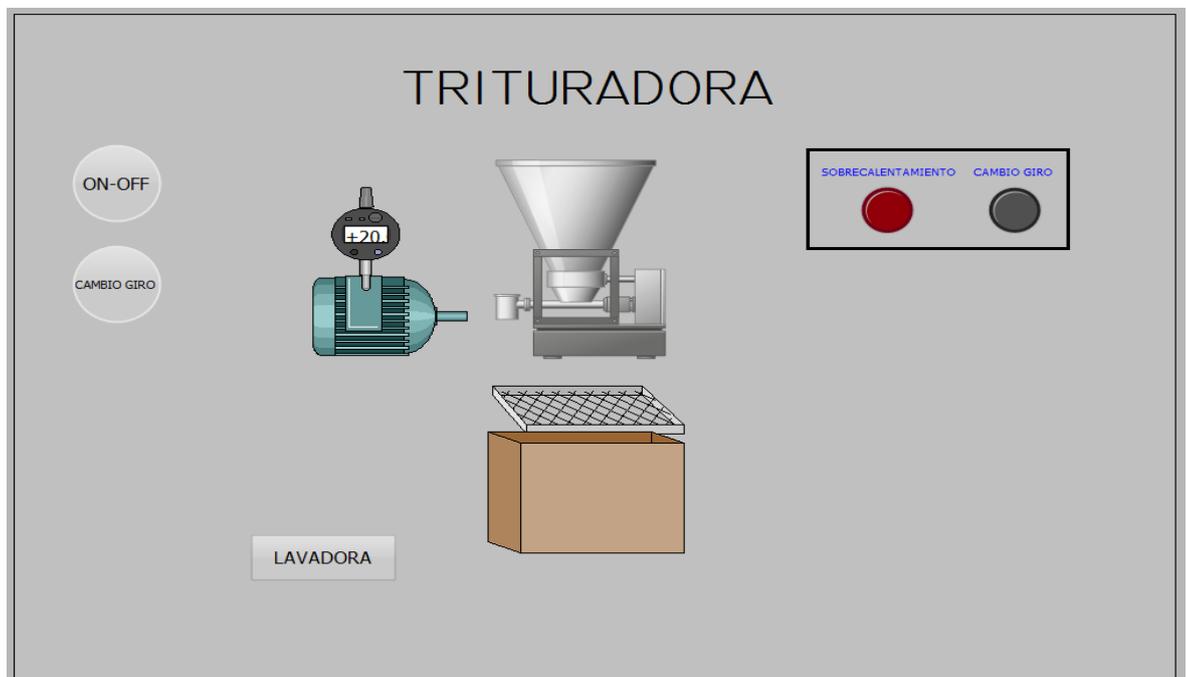


Figura 3.43 HMI de la trituradora  
Fuente: Propia

### 3.6. Manual de implementación

Para realizar una correcta implementación del sistema es necesario conocer todas las normas y técnicas. Estas pueden ser:

- Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC).
- *National Electric Code* (NEC).
- Norma Técnica Ecuatoriana (NTE).
- Norma ANSI / ISA 5.1
- Código de práctica, disposiciones legales publicadas por instituciones profesionales, especificaciones de trabajo.

Para determinar la demanda total de energía se debe tomar datos de la intensidad de corriente de cada carga, así como la ubicación de estas cargas, otros aspectos a tomar en cuenta para el consumo de energía son: los modos de funcionamiento de las cargas, el consumo en régimen nominal, condiciones de arranque, funcionamiento no simultaneo, etc. El consumo total permitirá establecer el tipo de conexión a la red eléctrica en media tensión o baja tensión.

Se debe proteger los equipos contra descargas eléctricas, sobretensiones y cortocircuitos utilizando conexión a tierra, sección de los conductores correctos, equipos de protección eléctrica.

El manual de implementación se encuentra en el Anexo B.

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. Conclusiones

- Para establecer el rango de medición de la temperatura en la trituradora, se tomó como valor inferior o mínimo la temperatura ambiente del lugar donde se encuentra la máquina, mientras que para el valor máximo se tomó la temperatura más alta soportada por los devanados del motor, cuyo valor es de 180 grados debido a que el tipo de aislamiento de las bobinas es de clase H, de acuerdo a la clasificación del tipo de aislamiento de devanados de motores, estos soportan hasta un incremento máximo de temperatura de 140° C desde una temperatura menor a 40°C.

- Dentro de las necesidades que se ha requerido en el sistema, existe una que realiza el control del número de botellas que ingresa al tanque de la lavadora, para ello se utilizó un circuito en base a dispositivos fotodetectores que a través del uso de un Led Infrarrojo IR55 y un fototransistor de silicio NPN, ubicados en la parte final de la banda, permiten detectar la presencia de las botellas, cuando éstas obstaculizan el paso de la luz infrarroja que emite el dispositivo emisor hacia el receptor, generando así una conmutación por cada botella que caiga al tanque.

- En el dimensionamiento del motorreductor para la cinta transportadora se obtuvo las potencias parciales requeridas para mover la banda en base al peso específico del plástico PET, las pérdidas por accesorios para limpieza de la banda y las dimensiones de la banda previamente establecidas para el diseño, lo que permitió establecer una potencia total para mover la cinta.

- Las condiciones extremas de operación que frecuentemente sufre la trituradora como la inversión de giro en caso de atascamiento y otras han llevado a seleccionar un contactor lo suficientemente adaptado a este ambiente de trabajo, por tal razón se ha elegido un contactor de categoría IEC AC – 4, el cual permite trabajar dentro de operaciones que involucran esfuerzos térmicos, tales como un frenado en contracorriente o un arranque con altas corrientes.

- Para las conexiones eléctricas de los equipos del tablero de control se ha establecido el uso de cable unipolar flexible que permita realizar conexiones sometidas a flexiones de acuerdo con la ubicación de cada elemento, así se podrá tener un recorrido de cables ordenado y que permita fácilmente identificar los circuitos que componen el sistema.

- Los sensores de nivel tipo flotador (*Switch*) son elementos que pueden ser configurados físicamente para funcionar como un *switch* normalmente abierto o

normalmente cerrado, se realiza una parte del código con las señales de los sensores como normalmente abiertos y a partir de esta condición, envía las señales para activar el motor de la lavadora, la bomba y la electroválvula.

- Para la implementación de los nuevos componentes se tuvo que realizar una adaptación en la estructura. Dentro del software de modelado SolidWorks 2018 se procedió a perforar el depósito de la lavadora para colocar la electroválvula. Se adaptó una malla para proteger y colocar los sensores de nivel. En el motor de la trituradora se colocó el sensor de temperatura, se aseguró el sensor dentro del bobinado del motor.

- En la parte del algoritmo de control de la lavadora se debe separar en segmentos al ciclo de lavado con el ciclo de centrifugado, estos dos ciclos funcionan de forma diferente; además, se debe separar estos ciclos para accionar las máquinas de forma autónoma para que los sensores de nivel no interfieran en el ciclo de centrifugado.

- En las máquinas que de acuerdo a su operación dentro del proceso pueden sufrir atascamientos o bloqueo del eje de giro, se ha añadido una protección térmica, que permite proteger de sobrecargas que podrían quemar los devanados del motor, su dimensionamiento se ha realizado en base al factor de servicio que tienen las máquinas como valor máximo de sobrecarga de corriente que puede soportar el motor de las máquinas.

- En la interfaz humana máquina se seleccionó gráficos que representan los elementos del sistema de control automático de la recicladora y cuadros de texto que muestran en tiempo real el número de botellas contabilizadas y la temperatura del bobinado del motor de la trituradora; además, se encuentra en la ventana de control de la lavadora los botones de alto para simular que el tanque está lleno y bajo para simular que el tanque está vacío.

- Los cálculos, herramientas y modelos gráficos obtenidos en este trabajo permiten que sea aplicado a la fundación FUCAE de forma eficaz, se debe utilizar los circuitos impresos, algoritmo de control, gráficos de la ventana HMI, sensores, motores, componentes electrónicos, planos de la banda transportadora y el manual de implementación para la implementación del sistema de reciclaje automático.

## **4.2. Recomendaciones**

- En la selección de una protección termomagnética se recomienda elegir siempre un valor de capacidad de corriente media dentro del rango de valores a

elegir, con el fin de no elegir uno ni muy cercano a la corriente de la carga protegida ni uno muy cercano a la corriente máxima que soporta el conductor.

- Para el dimensionamiento del cable que alimenta directamente las cargas, se recomienda utilizar el criterio de sobrecarga del 125% de la corriente que circula por el conductor en condiciones normales, con el fin de asegurar de que no existan sobrecalentamientos o en el peor de los casos quemaduras del conductor al adicionar nuevas cargas en un futuro.

- Se recomienda que para la disposición de los elementos internos y externos del gabinete no se amontone en un solo sitio los dispositivos de control y maniobra; y no realizar empalmes en medio del corrido del conductor con el fin de mejorar la accesibilidad para el manejo y posterior mantenimiento de los equipos, previniendo contactos accidentales que pueda sufrir el operador.

- Para una posible implementación del sistema se recomienda realizar la medición del recorrido de los conductores, para establecer la longitud de cada uno, ya que, por razones de la situación sanitaria del país, no se tuvo acceso para realizar dichas actividades en la Fundación.

- Se recomienda realizar la medición real de las máquinas de la Fundación FUCAE, ya que los valores de las dimensiones que se encuentran en este documento son numeros estimados, debido a que no se realizó personalmente la medición de dichas máquinas.

- Para la selección de calibre del conductor se recomienda basarse en tablas AWG que sean de fabricantes cuyos productos se puedan encontrar en el mercado local, y una vez seleccionado el fabricante se debe adquirir el producto de dicha marca, ya que cada fabricante produce sus cables con diferentes características eléctricas.

- Para la selección del motor de la banda transportadora de 0,55 KW de potencia se realizó la selección dentro de un catálogo de motores con reductores de velocidad, el catálogo brinda la posibilidad de seleccionar un motorreductor con potencias, materiales, modelos, características eléctricas y velocidades de gran variedad.

- El algoritmo de control tiene las instrucciones básicas de temporizador y contador que son las funciones principales para la configuración del conteo de botellas, ciclos de lavado, tiempos de lavado y centrifugado; además, se cuenta con la instrucción de *SCALE* en el segmento 10 en donde se puede ajustar la temperatura mínima y máxima del bobinado del motor.

- Es necesario colocar el sensor contador de botellas en la parte final de la banda transportadora, esto para que la última botella contabilizada caiga en la lavadora, debido a que una vez arranque la lavadora, la banda transportadora se bloquea hasta que termine los ciclos de lavado y centrifugado.
- Para el circuito acondicionador de la señal del transmisor de temperatura se recomienda utilizar un amplificador de instrumentación, ya que para el control de su ganancia se requiere de un único elemento, que puede ser un potenciómetro, el cual facilita la calibración del transmisor cada vez que sea necesario.
- Para la selección de la bomba centrífuga se recomienda revisar las curvas de operación que ofrecen los fabricantes de estas máquinas, ya que ahí se encuentra información necesaria sobre parámetros importantes de la máquina, tal como la eficiencia, caudal a desarrollar, altura manométrica, entre otras, con ello se puede comparar los valores de los parámetros requeridos para la instalación de la bomba, que permite el llenado del tanque de la lavadora.
- Debido a la variedad de tamaños de botellas plásticas, se debe relacionar la capacidad del tanque de la lavadora con la cantidad de botellas que deben ingresar al tanque, una vez determinado el número de botellas en el tanque, configurar el algoritmo en la instrucción CONT.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. varios, «Introducción a los sistemas de control y modelo matemático para sistemas lineales invariantes en el tiempo,» S/N, San Juan, 2017.
- [2] C. López, «Reciclado del plástico PET para la obtención de fibra textil,» Universidad Tecnológica Nacional UTN, Santa Cruz, 2016.
- [3] J. J. G. B. Zea, «Reciclado de Plástico PET,» Arequipa, 2019.
- [4] C. M. Bronchal, «Diseño y Desarrollo de una cinta para transporte de áridos,» Teruel , 2018.
- [5] D. F. S. Flores, «Degradación de materiales plásticos PET,» Quito, 2017.
- [6] RECOUP, «Envases de plástico, diseñados para reciclar,» S/N, Madrid, 2016.
- [7] M. Á. Pulido, Controladores Lógicos, Barcelona: MARCOMBO, 2004.
- [8] S. AG, Controlador programable S7-1200, Nurnberg: Postfach, 2014.
- [9] J. M. Storch de Gracia, B. Herrero Sanchez, M. D. Storch de Gracia, B. LLamas y E. Saleté, Organización, gestión y ejecución de proyectos industriales, Madrid: Díaz de Santos, 2019.
- [10] Solidbi, «solid-bi.es,» 19 Enero 2016. [En línea]. Available: <https://solid-bi.es/solidworks/>. [Último acceso: Agosto 2020].
- [11] Hubor-Proteus, «Hubor-Proteus,» 13 Enero 2016. [En línea]. Available: <https://www.hubor-proteus.com/proteus-pcb/proteus-pcb/2-proteus.html>. [Último acceso: Agosto 2020].
- [12] C. G. Valiente, «Frigoristas.wordpress,» 17 Mayo 2016. [En línea]. Available: <https://frigoristas.wordpress.com/cade-simu/>. [Último acceso: Agosto 2020].

- [13] R. S. Ariel, «Reciclado de material plástico - Taller protegido,» UNICEN QUEQUÉN, Buenos Aires, 2015.
- [14] Inalcoa, «Inalcoa,» [En línea]. Available: <https://www.inalcoa.net/catalogo/plasticos-2/plasticos-pet/>. [Último acceso: 20 11 2020].
- [15] Siemens, «SIMMOGEAR Geared Motors,» S/N, Alemania , 2015.
- [16] CENTELSA, «CENTELSA,» [En línea]. Available: <https://www.centelsa.com/catalogo-ecuador/>. [Último acceso: 26 10 2020].
- [17] A. varios, «NEC (Norma Ecuatoriana de la Construcción),» S/N, Quito, 2018.
- [18] NFPA, «Código Electrico Nacional,» S/N, Cincinatti, 1999.
- [19] S. Electric, «Schneider Electric,» [En línea]. Available: <https://www.se.com/mx/es/product/XB7NA35/pulsador---de-impulso%2C-verde---no%2Bnc/?range=635-harmony-xb7&selected-node-id=12144411139&parent-subcategory-id=89188>. [Último acceso: 14 10 2020].
- [20] WIKA, «WIKA,» [En línea]. Available: <https://www.directindustry.es/prod/wika-alexander-wiegand-se-co-kg/product-6196-2179267.html>. [Último acceso: 18 10 2020].